

낙동강 소수계별 유달부하량 산정 및 평가

윤영삼[†] · 유재정 · 김문수 · 이혜진

국립환경과학원 낙동강물환경연구소

Computation and Assessment of Delivery Pollutant Loads for the Streams in the Nakdong River Basin

Young-Sam Yoon[†] · Jae-Jeong Yu · Moon-Su Kim · Hae-Jin Lee

Nakdong River Water Environment Research Center National Institute of Environmental Research

(Received 17 October 2005, Accepted 9 January 2006)

Abstract

Production loads of the contaminants near the Nakdong-river are, BOD : 1,006 ton · day⁻¹, TN : 117 ton · day⁻¹, and TP : 21 ton · day⁻¹. Among the sources of contamination, the biggest contribution to the production load was shared by the human population, which maintains 40.7% of BOD, 44.2% of TN, and 52.5% of TP production. Similarly, among the sources of discharge load, the human population contributed 45.0% of BOD, 34.5% of TN, and 45.8% of TP. Results of flow investigation in 2001 and 2002 indicate that among the side streams, Nam-river showed the greatest average flow. In case of main stream flow, it was increased in the downstream due to the increase of the influents from the side streams. In case of BOD, COD, TOC and SS, high values were detected at Keumho-river where industrial wastewater was discharged as high level concentration. In case of the main stream, Koryoung point where direct influence of Keumho-river and Seongseo industrial complex is evident showed high BOD, COD and TOC. Oxidized nitrogen compounds and total nitrogen showed similar patterns of BOD, COD, and TOC. Especially, nitrate nitrogen was relatively high at all points. However, in case of Chlorophyll-a, relatively high values were observed at mid- and downstream areas such as Koryoung, Namjee, Soosan, Moolkeum and Hakooeun. This could be caused by the slow flow rate and the abundant nutrient salts attributed by the side streams. Relatively better water quality was observed in 2002 when the flow was relatively abundant than that in 2001. Results of investigation during 2001-2002 showed that delivery load increased as the flow reaches downstream. In 2001, delivery loads at the downstream Soosan-bridge were BOD 22,152 ton · day⁻¹, COD 45,467 ton · day⁻¹, TN 22,062 ton · day⁻¹, TP 926 ton · day⁻¹. Delivery loads in 2002 were increased due to the increase of the rainfall. They are BOD 25,876 ton · day⁻¹, COD 64,200 ton · day⁻¹, TN 41,101 ton · day⁻¹, and TP 1,362 ton · day⁻¹.

keywords : Delivery loads, Production loads, Stream flow, Water quality

1. 서론

넓은 유역 면적과 긴 유로를 가진 낙동강 유역의 경우 구미, 대구, 진주 등 주변의 산업 및 환경이 복잡·광역화 되어감에 따라 환경오염 요인 또한 복잡·다변화되고 있는 실정이며, 이러한 다변적 환경요인들을 체계적으로 관리하기 위해서는 전체수계의 유량 및 수질변동과 함께 유달부하량에 대한 조사자료가 절실한 실정이다. 그러나 현재까지 낙동강 유역에 대한 신뢰성 있는 체계적인 수질·유량조사를 통한 종합적인 부하량 산정 자료가 미미한 실정이며, 타 수계 역시 유달부하량에 대한 실측자료가 미미하여 수질관리를 위한 오염부하 삭감량 설정 등에 대한 운용에 어려움이 따르고 있다.

또한 낙동강은 유역 및 유역인근에 거주하는 일천만 주민의 상수원으로 이용되고 있을 뿐만 아니라 각종 농·공용수원으로 이용되고 있는 중요한 수자원이다. 그러나 낙동강 중·상류 유역에는 인구의 도시 집중화와 내륙지방의 대규모 신규 공단들이 조성되면서 하·폐수 발생량이 증가하고 있으나 이를 처리할 수 있는 환경기초시설이 아직 완전히 설치되지 않아 처리되지 않은 채 방류되는 경우도 있으며, 처리는 되었지만 완전하지 못하여 낙동강의 오염을 가중시키고 있는 실정이다. 특히 낙동강 유역의 수천개의 공장에서 발생하는 하루 100만톤 이상의 각종 공단 폐수에 함유되어 있는 난분해성 유해물질과 경작지의 과도한 농약 및 비료사용으로 인해 용수 및 상수원에 대한 수질오염을 가중시키고 있는 실정이다(낙동강물이용조사단, 2001; 포항산업과학연구원, 1999).

더욱이 낙동강은 중·상류 지역에 있는 댐과 하구둑의 영향으로 낙동강 중·하류의 경우 유속이 현저히 감소되어

[†] To whom correspondence should be addressed.
ysyoons3@me.go.kr

오염물질의 침전에 따른 저질오염은 물론 자정기능 상실로 인해 하천의 기능을 상실해 가고 있으며 계절에 따라 호소와 같이 정체하는 경향을 나타내어 전형적인 호소형 하천의 특성을 보이기도 한다. 특히 강수량이 적은 겨울과 봄에 낙동강 하류는 오염물질의 유입과 하천유지 유량의 절대부족으로 인하여 수질오염이 심화되고 있으며 이러한 요인에 의해 수질관리 및 용수이용을 더욱 어렵게 하고 있다(김, 1999; 과학기술처, 1992).

따라서 낙동강수계 등 4대강 수질을 획기적으로 개선하기 위한 물 관리 종합대책을 추진함에 있어 수질개선 정책의 주요한 기본 틀은 물 관리 정보화를 통한 과학적인 수질관리모델에 근거한 수계별, 유역별 물 관리 종합시스템의 구축에 두고 있다. 오염원 등 물 관리 기초정보의 D/B 화와 유역 GIS시스템 구축 및 응용프로그램 개발 등의 물 관리 정보화 사업이 물 환경종합정보시스템으로 확대 보완되어 추진하고 있으나 환경정보시스템에 이용 할 수 있는 신뢰성 있는 물 환경 기초자료의 확보를 위한 지속적인 실측조사가 선행되어야 한다(정 등, 2000). 이수과 치수를 위한 유량조사와 수질관리를 위한 수질조사가 별개로 이루어져 수질에 대한 정보는 많으나, 수량정보는 매우 미흡한 실정이다. 그러므로 낙동강수계 환경정보시스템 운용과 수질모델링체계 확립에 필요한 중·소하천의 유량과 수질에 대한 조사자료가 필수적으로 요구되고 있다(김 등, 1997; 한국환경정책평가연구원, 1994). 따라서, 본 연구에서는 낙동강수계에 대한 환경정보시스템 구축과 이를 바탕으로 한 수질예측모델과의 연계프로그램 개발 및 오염물질 총량관리제 시행에 필요한 기초자료 확보 차원에서 낙동강 유역 전 수계를 대상으로 수질, 유량 동시조사, 유역별 오염 발생 및 배출부하량 조사를 통한 유달율을 산정하여 낙동강 유역에 대한 종합적인 수질관리 기초자료 제시는 물론 수질보전 대책수립 시 기초 자료로 활용할 수 있는 종합적인 자료를 제시하고자 한다.

2. 연구내용 및 방법

2.1. 연구대상 하천의 개요

본 연구의 대상하천인 낙동강은 유로길이 525.5 km, 유역면적 23,846 km²로 우리나라에서 가장 긴 유로 연장과 전국토의 24.1%에 해당하는 제2의 유역면적을 갖고 있는 대하천이다. 낙동강은 강원도 태백시 황지천에서 발원하여 낙동강 하구둑에 이르는 동안 경상북도 일원과 전라북도 남원시, 대구광역시와 경상남도 및 부산광역시의 일부 구간을 유하한 후 낙동강 하구둑을 통하여 남해로 유입된다(정부합동, 1999; 환경부, 1992~1996).

2.2. 낙동강수계 수질오염도 및 유량 조사

수질조사는 낙동강 본류 17개 지점, 지천 17개 지점 등 총 34개 지점에 대하여 조사하였으며, 유량은 본류 8개 지점 포함 총 25개 지점에 대하여 실시하였다(조 등, 2001; 양 등, 2002). 낙동강 본류와 유입지천의 수질·유량 조사

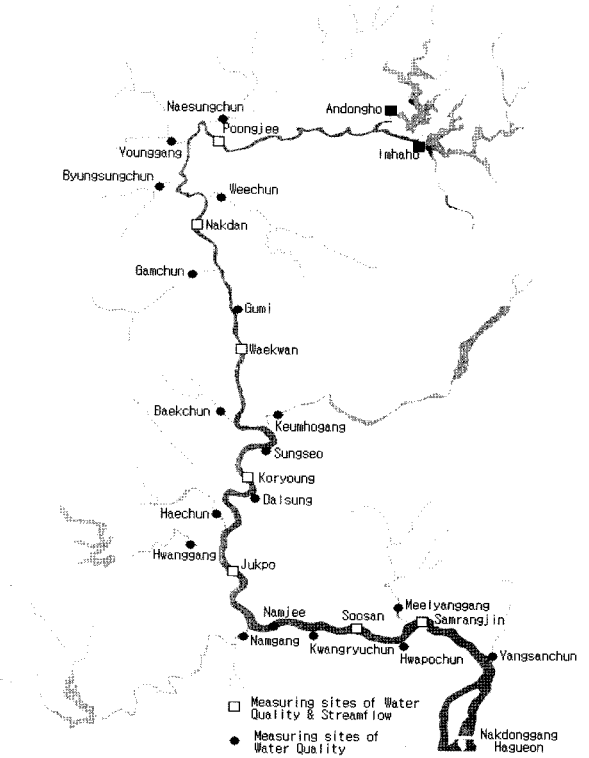


Fig. 1. The illustration of study sites.

지점은 Fig. 1에 도시하였다. 조사항목은 현장측정항목(수온, pH, DO, 전도도), 유속, 유기물항목(BOD, COD, TOC), 영양염류항목(TN, TP)으로 수질오염공정시험법 및 Standard Methods에 준하였다. 본 연구에서 낙동강 본류 및 지천의 유량은 유량이 일정하고 하상의 상태가 고른 지점을 선정하여 물이 흐르는 방향과 직각이 되도록 하천의 양끝을 고정하고, 등 간격으로 측정 점을 정하여 하천 단면적을 구하고, 수심 0.6 m 이하일 때 1점법, 수심이 0.6 m 이상 1 m 이하일 때는 2점법, 수심이 1 m 이상일 때는 3점법으로 하여 하천 수심이 낮은 지점의 경우 도섭법으로 영국 VALEPORT 사의 회전식 유속계를 사용하여 유속을 구하였으며, 낙동강 본류와 같이 수심이 깊은 지점은 교량위에서 대하천용 일본 알렉주식회사의 전자식 유속계를 사용하여 유속을 측정하였다. 유량은 중간단면적법을 이용하여 유속과 단면적의 곱으로 유량을 측정하였다.

2.3. 오염물질의 유달부하량 및 유달율 산정

유역내 존재하는 오염원으로부터 발생된 오염물은 수체까지 도달하는 과정에서 유역의 특성이나 지천의 자정능력 등에 의해 그 양이 변하게 되며 수체에 도달된 오염물질이 다시 하천을 유하하면서 여러 가지 오염현상을 유발하게 된다. 이때 오염원으로부터 발생하는 오염물질총량을 발생부하량이라 하고 폐수 처리장과 같은 환경기초시설을 통하여 일정부분 제거된 후 배출되는 오염물질량을 배출부하량이라 한다. 또한, 배출부하량이 소형 지천을 통하여 대상수역까지 유입되는 과정에서 자정되어 다시 감소되는데, 이때 대상지점까지 도달된 부하량을 유달부하량이라 한다.

본 연구에서는 오염원의 전체 수에 Table 1에 수록된 오

Table 1. The pollutant load factors for pollutant sources

Pollutants sources		Loads						
		Producing			Discharge			
		Unit	BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P
Population	treat	g · Person ⁻¹ · Day ⁻¹	61.5	7.75	1.63	11.30	4.42	0.87
	untreat					46.56	5.32	1.05
Industrial		g · m ⁻¹ · Day ⁻¹	545	23.9	6.8	pure 40 Ga 80 Na120 Sewage 20 Waste Water 30	foul · wastewater 18.74 other 19.12	foul · wastewa ter0.99 other 5.83
Livestock	Cow and Horse	g · Head ⁻¹ Day ⁻¹	175	22.8	3.6	below item application		
	Pig		60	7.8	1.24			
Fish raising	Shut in	g · m ⁻¹ · Day ⁻¹	86	10.52	5.37	same left		
	Flowing stream		38.4	5.15	0.98			
Soil	Paddy	g · km ⁻¹ · Day ⁻¹	7,100	2,330	170			
	Field		5,120	2,330	170			
	Forest		960	550	13	same left		
	Settlement		87,590	759	27			
	Others		960	759	27			

Livestock(Discharge) (Unit : g · Head⁻¹ · day⁻¹)

Sorts		BOD		T-N		T-P	
		Cow · Horse	Pig	Cow · Horse	Pig	Cow · Horse	Pig
Publictreat	Foul	0.7	0.24	2.1	0.72	0.28	0.1
	Livestock · Manure	1.05	0.36	4.2	1.44	0.28	0.1
Permission	Special region	1.75	0.6	22.75	7.8	36.1	12.38
	Other region	5.25	1.8	22.75	7.8	36.1	12.38
Report	Special region	12.25	4.2	22.75	7.8	36.1	12.38
	Other region	17.5	6	22.75	7.8	36.1	12.38
Regulation under	Whole region	175	60	22.75	7.8	36.1	12.38

* 근거 : 1. 수환경정책자료집(환경처, 1994)
 2. '97 상수도통계 및 '97 하수도통계(환경부, 1998) ← '97년말 기준
 3. 팔당호특별종합대책(환경부, 1998)
 4. 우수·분뇨및축산폐수의처리에관한법률
 5. 환경부고시 제91-49호(1991. 9. 20) 사육두수별 가축 별 배출원단위

염원단위(개별 오염원당 일일 오염물질 배출량)을 곱하여 발생부하량을 추정하였고, 여기에 부하량 삭감정도를 고려하여 배출부하량을 산정하였으며, 유달부하량의 경우 수질과 유량을 동시에 측정하여 이들의 곱으로 부터 직접적으로 구하였으며, 유달율은 산정된 배출부하량과 실측된 유달부하량과의 비로부터 유달율을 산정하였다(환경부, 1991, 1994).

3. 결과 및 고찰

3.1. 낙동강 수계 소수계별 수질오염 및 유량 조사

3.1.1. 수질특성

낙동강 본류 및 지천들에 대한 '01년도 월별 및 월 평균 DO 농도 범위는 본류의 경우 상류 안동, 풍지, 상풍, 일선교 지점의 경우 계절에 관계없이 7.5 mg/L 이상 높은 농도를 보였다.

그러나 중류 지점인 왜관, 고령, 적포 지점이 각각 7, 8, 9월 7.5 mg/L 이하의 낮은 농도를 보였다. 또한 하류 지역인 남지 5, 7월, 수산 4, 7월, 물금 4, 5, 7, 8월, 하구연 7,

8월 등에서 7.5 mg/L 이하의 낮은 농도를 보였으며, 상류에서 하류로 진행됨에 따라 낮은 DO 값을 보였다.

'02년의 경우 증가된 유량에 따라 수체 표면의 교란 작용의 증가에 기인하여 대기에서 수체로의 산소의 전달속도가 증가되어 본류지점의 경우 조사대상 모든 기간에 7.5 mg/L 이상의 높은 DO 값을 보였다.

이와 같이 '01년의 경우 DO 농도 7.5 mg/L 이하를 보이는 시기는 5~8월까지의 시기로 이 기간은 수체의 수온이 상승하여 상대적으로 대기 중으로 부터 재포기 되는 산소의 양이 감소하여 이러한 결과를 보이는 것으로 생각할 수 있다.

'01년 BOD의 경우 본류 구간에서의 조사지점별 평균 BOD는 0.9~4.0 mg/L 범위로 상류에서 하류로 진행됨에 따라 증가하였는데, 낙동강 하류의 수산교 지점에서 월 평균 4.0 mg/L로 가장 높은 값을 보였으며, 상류의 안동, 풍지, 상풍, 일선교 지점은 0.9~1.6 mg/L의 범위로 비교적 양호한 수질상태를 보였다. 그러나 하류의 BOD는 3.0 mg/L 이상으로 상수원수 III 등급 수준을 보였다.

지천의 BOD 값은 낙동강 상류에 위치한 내성천, 영강,

감천, 회천, 황강 등이 1.0~1.4 mg/L의 범위로 양호한 수질상태를 보였으나, 금호강, 구미공단, 성서공단천, 달성공단이 각각 5.0, 5.4, 10.3, 8.8 mg/L의 월 평균값으로 높은 농도를 보였다.

또한 조사대상 하천들 중 비교적 유하 거리가 길고 하천변 오염원이 적은 내성천, 위천, 황강 등의 수질이 양호한 것으로 조사되었다.

'02년 낙동강 상류 지점의 경우 본류 및 지천 모두 5, 6월 등 몇몇 시기를 제외하고는 2 mg/L 이하의 낮은 값을 보였으며, 중류의 왜관, 고령 역시 3, 4, 5, 10월 등을 제외하고는 2 mg/L 이하의 농도 값으로 '02년이 '01년에 비해 대단히 낮은 BOD 농도를 보였다. '02년의 월 평균 본류 BOD 값은 고령 지점의 3.2 mg/L를 제외하고는 3.0 mg/L 이하의 비교적 양호한 수질상태를 보였다. 지천 역시 구미공단, 성서공단, 달성공단, 금호강, 광려천 및 양산천 등을 제외하고는 '01년에 비해 비교적 낮은 농도를 보였다. 월 평균값의 경우 상류의 영강, 감천, 중류의 회천, 황강 등이 1.0 mg/L 이하의 양호한 수질을 보였으나, 금호강, 광려천 등이 3.0 mg/L 이상의 높은 값을 보였다. 반면 공단천은 '01년과 마찬가지로 월 평균 구미공단 5.7 mg/L, 성서공단 11.5 mg/L 및 달성공단 7.9 mg/L의 값으로 조사되었다.

'01년 본류 및 각 지천에 대한 COD 조사결과 지점별 월 평균 COD는 대구광역시의 생활하수 및 성서공단 등의 공단폐수가 대량 유입되는 금호강이 구미공단 등의 공단폐수를 제외하고는 월 평균 11.3 mg/L로 가장 높게 나타났고, 내성천이 2.3 mg/L로 가장 낮게 조사되었다. 본류 구간의 경우 3.6~7.4 mg/L의 값을 보였으며, 본류 지점들 중에서는 고령지점에서 8.2 mg/L로 가장 높은 값을 보였으며, 상류의 안동교, 풍지교, 상풍교 등에서 비교적 낮은 농도를 보였다. 구미공단, 달성공단, 성서공단천의 월 평균 COD 값은 각각 11.9, 17.7, 15.7 mg/L의 값으로 대단히 높은 농도를 보였다.

반면 '02년의 COD 값은 본류의 안동, 풍지, 지천의 내성천, 영강 등을 제외하고는 '01년의 COD 값보다 낮게 조사되었으며, 특히 적포, 남지, 수산교 지점이 조사 시기에 따라 금호강에 비해서도 더 높은 COD 농도를 보였다. 지천의 경우 공단천을 제외하고는 '01년과 마찬가지로 금호강에서 가장 높은 농도를 보였으며, 광려천 역시 다른 지천에 비해 높은 값을 보였다. '02년 월 평균 COD 값은 본류의 경우 '01년과 다르게 울지교와 수산교 지점에서 6.1 mg/L로 가장 높은 농도를 보였으며, 지천의 경우 월 평균 값은 공단천을 제외하고는 금호강, 화포천, 광려천 순으로 각각 8.6, 7.4, 6.3 mg/L로 높은 값을 보였다. '02년 구미공단, 달성공단, 성서공단천의 월 평균 COD 값은 각각 11.1, 12.3, 15.8 mg/L의 값으로 '01년과 유사한 경향으로 대단히 높은 농도를 보였다.

조사 대상 지점의 월 평균 TN 농도는 '01년 2.069~12.185 mg/L 범위, '02년 1.976~14.728 mg/L의 값으로 큰 변동폭을 보였으며, '01년과 '02년 모두 성서공단천, 구미공단, 금호강 순으로 높은 값을 보였으며, TN 값은 '01년

각각 12.185, 11.092, 9.631, '02년 14.728, 14.369, 8.881 mg/L이었다. 특히 '01년의 경우 본류 고령교 지점이 금호강의 영향을 직접적으로 받아 달성공단의 월 평균 TN 값보다 높은 농도를 보였다. '02년 역시 본류 고령교 지점이 달성공단에 비해서는 조금 낮았지만 '01년과 마찬가지로 5.806 mg/L 값으로 대단히 높은 TN 값을 보였다. TN값 역시 BOD, COD 값과 같이 상류유역에서 비교적 낮은 농도를 보이다가 공단천이 유입되면서 본류의 TN 값이 급격히 상승하는 경향을 보였다. 지천의 월 평균 TN 값의 경우 공단폐수와 금호강을 제외하고는 '01년 2.069~4.215 mg/L, '02년 1.967~5.371 mg/L의 값을 보였다.

시기별 TN 값을 살펴보면 특별한 계절적인 특징을 보이지는 않았지만 대체로 유량이 적었던 갈수기에 높고 유량이 풍부한 풍수기에 다소 낮아지는 경향을 보였다.

낙동강 본류 및 지천들에 대한 월별 및 월 평균 TP 농도 조사결과 '01년, '02년 모두 낙동강 상류의 안동교, 풍지교, 상풍교, 일선교에서 각각 '01년 0.027, 0.048, 0.050, 0.044 mg/L, '02년 0.046, 0.058, 0.073, 0.063 mg/L로 상대적으로 낮은 농도를 보이다가 구미공단의 공장폐수 및 생활하수의 직접적인 영향을 받는 왜관 지점에서 '01년 0.110 mg/L, '02년 0.097 mg/L로 상류의 안동, 풍지교 등에 비해 약 2~3배 이상 증가하였다.

또한 대구광역시와 성서공단 및 금호강의 영향을 받는 고령지점에서 '01년 월 평균 TP 농도 0.314 mg/L로 본류 지점들 중 최대값을 보이다가 적포, 남지, 수산교 등의 하류로 진행됨에 따라 비교적 수질이 양호한 회천, 황강 등의 유입에 의해 다소 낮아졌지만, 적포, 남지, 수산, 물금, 하구연 역시 월 평균 TP 값은 각각 0.177, 0.152, 0.137, 0.137, 0.176 mg/L로 대단히 높은 TP 값을 보였다. 반면 '02년의 경우 '01년과 다르게 본류 울지교 지점이 고령교 지점보다 높은 0.202 mg/L로 본류 지점들 중 최대값을 보였다. 또한 본류의 경우 최대값을 보인 울지교 지점뿐만 아니라 성주, 고령, 적포, 남지 등 중·하류 지점 모두 0.112 mg/L이상의 대단히 높은 TP 값을 보였다.

지천의 월 평균 TP 값의 경우 '01년의 경우 상류에 위치한 영강, 내성천, 중류의 회천, 황강, 하류의 밀양강 등을 제외하고는 0.1 mg/L 이상의 높은 농도를 보였으며, '02년 역시 '01년과 유사한 경향으로 내성, 영강, 위천, 황강, 회천, 밀양강 등을 제외하고는 0.1 mg/L이상의 높은 TP 농도를 보였다. 공단천의 '01년과 '02년 TP 농도는 구미공단, 성서공단, 달성공단이 각각 '01년 0.688, 1.043, 0.409 mg/L, '02년이 각각 0.574, 0.938, 0.344 mg/L의 값으로 본류 및 모든 지천들에 비해 높은 값을 보였다.

또한 시기별 특징을 살펴보면, TN의 시기별 변동 특성과 마찬가지로 뚜렷한 계절적인 변동양상을 보이지는 않았다.

3.1.2. 낙동강 본류 및 주요지천의 유량특성

본류 및 지천에 대한 월별 유량조사 결과를 살펴보면 '01년과 '02년 모두 강우가 많았던 7~10월이 비교적 유량이 풍부하였으며, 우리나라 하천의 전형적인 특징인 갈수기

와 풍수가 유량의 심한 불균형 현상인 높은 하상계수가 본 조사에서도 나타났다. '01년과 '02년 모두 지천의 경우 남강에서 유량이 가장 많았으며, 다음으로 황강, 밀양강, 금호강, 내성천 등에서 유량이 비교적 풍부하였다. 또한 본류의 유량은 하류로 진행됨에 따라 지천에서 유입되는 유량에 의해 증가하였다.

지점별 월 평균 유량을 살펴보면 Fig. 2에서와 같이 '01년의 경우 낙동강 상류 풍지교 지점에서 34.4 CMS로 적은 유량을 보인 본류 지점이 하류로 진행됨에 따라 내성천, 금호강, 회천, 황강, 남강 등에서 월 평균 6.2, 19.6, 15.8, 32.2, 39.3 CMS의 유입으로 인해 낙동강 하류인 수산교 지점에서 212.1 CMS로 증가하였다. 반면 '02년의 경우 월 평균 풍지교의 유량이 78.2 CMS로 '01년 평균 유량에 비해 약 2배값을 보였다. 풍지교 이외의 본류 지점인 왜관, 고령, 적포, 수산교 지점 등도 '02년이 '01년에 비해 비교적 많은 유량을 보였다.

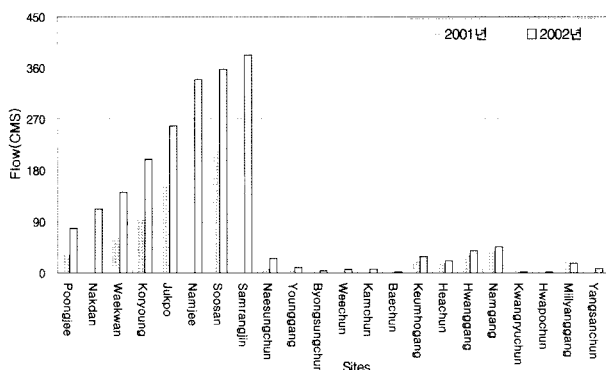


Fig. 2. Average flow for main and branch streams in Nakdong river.

3.2. 낙동강 본류 및 지천 유달부하량 특성

하천의 수질관리를 위해서는 유역에서 발생된 오염원의 종류 및 양을 정확히 파악하고 발생된 오염원이 실제 유역으로 배출되는 양을 배출 원 단위 등을 이용 면밀하게 조사하여야 한다. 또한 배출된 오염물질이 하천을 유하하는 동안 물리, 화학, 생물학적 작용과 하천의 수량변화의 관계를 규명함으로써 입체적인 수질관리가 가능하게 된다.

그러나 이러한 상호작용은 대상하천의 유역 규모가 크고 여러가지 요소가 복잡하게 작용하는 수역의 경우 단순한 현장조사나 실험을 통하여 규명하기는 대단히 어려운 문제이다. 따라서 하천의 정확한 오염상태 파악은 물론 하천으로 유입되는 오염원의 양을 정량적으로 정확하게 파악하여야만 이러한 복잡한 유역의 수질관리를 보다 효율적으로 할 수 있을 것이다.

3.2.1. 낙동강 본류 및 지천의 유달부하량 조사

낙동강 본류 및 지천들에 대한 월별 BOD, COD, TN, TP의 유달부하량은 조사대상 전 지점에 대한 항목별 유달부하량을 월 평균하여 Table 2~3에 종합하였다.

Table 2~3을 살펴보면 본류 조사대상 최하류점인 수산

Table 2. Monthly Average BOD, COD, TN and TP delivery loads (2001)

Sites	Items	BOD	COD	TN	TP
		ton · year ⁻¹			
Main streams	Poongjee	1,100	3,971	2,986	47
	Waekwan	4,368	8,758	61,473	225
	Koryoung	10,811	22,120	13,033	887
	Jukpo	11,799	28,999	19,789	878
	Soosan	22,152	45,467	22,062	926
Branch streams	Naesungchun	167	429	535	12
	Younggang	130	262	231	5
	Byongsungchun	70	158	162	11
	Weechun	93	216	129	2
	Gamchun	125	249	415	14
	Kumi	531	1,167	1,101	70
	Baekchun	57	115	88	3
	Keumhogang	3,035	6,451	4,868	415
	Sungseo	2,440	3,679	2,844	266
	Dalsung	42	92	28	2
	Heachun	743	2,728	1,342	65
	Hwanggang	1,566	4,350	2,580	86
	Topyungchun	70	245	82	6
	Namgang	2,974	7,436	3,309	191
	Kwangryuchun	191	400	237	9
	Chungdochun	151	436	324	12
	Hwapochun	84	267	167	6
	Meelyanggang	890	3,569	2,419	61
	Branch Total	13,357	32,249	20,970	1,236
	Total	35,508	77,715	43,033	2,161

Table 3. Monthly Average BOD, COD, TN and TP delivery loads (2002)

Sites	Items	BOD	COD	TN	TP
		ton · year ⁻¹			
Main streams	Poongjee	2,615	14,004	6,803	237
	Nakdan	3,301	14,945	11,917	277
	Waekwan	5,168	21,187	16,365	466
	Koryoung	11,116	32,963	25,585	857
	Jukpo	14,043	46,450	34,447	1,157
	Namjee	20,634	55,916	38,584	1,302
	Soosan	22,973	62,081	39,010	1,493
	Samrangjin	25,876	64,200	41,101	1,362
	Naesungchun	970	2,842	2,689	39
	Younggang	260	872	834	11
Branch streams	Byongsungchun	252	526	578	19
	Weechun	331	963	864	11
	Gamchun	153	768	1,144	29
	Kumi	610	1,180	1,751	61
	Baekchun	145	317	250	8.4
	Keumhogang	3,324	7,714	8,398	379
	Sungseo	1,321	2,451	2,942	187
	Dalsung	50	100	48	2.2
	Heachun	596	2,138	1,452	43
	Hwanggang	866	4,068	2,225	76
	Namgang	2,894	6,495	3,684	131
	Kwangryuchun	184	335	174	4.7
Hwapochun	193	378	219	8.8	
Meelyanggang	477	1,329	1,689	16	
Yangsanchun	656	1,266	955	22	
Branch Total	14,267	33,740	29,665	1,050	
Total	40,144	97,940	70,766	2,411	

교 지점의 '01년 월 평균 BOD, COD, TN, TP 유달부하량은 각각 60,689, 124,567, 60,444, 2,535.7 kg/day로 조사되었으며, 지천의 BOD 월 평균 유달부하량의 경우 금호강, 남강, 성서공단, 황강 순으로 많았으며, 이들 값은 각각 8,314, 8,149, 6,686, 4,290 kg/day으로 조사되었다. 또한 조사대상 지천의 총 BOD 유달부하량은 36,594 kg/day이었다. '02년의 경우 본류 수산교 지점의 월 평균 BOD, COD, TN, TP 유달부하량은 각각 70,894, 175,889, 112,606, 3,730 kg/day로 조사되어 '01년에 비해 '02년의 월 평균 유달부하량이 모든 항목에 있어서 높게 조사되었다.

'02년 지천의 BOD 유달부하량은 금호강, 남강, 내성천, 황강 순으로 높았다. '01년 COD 유달부하량의 경우 BOD와는 다른 경향으로 남강에서 특히 많았으며, 금호강, 황강, 성서공단, 밀양강 순이었으며, 월 평균 유달부하량은 각각 20,373, 17,675, 11,919, 10,079, 9,778 kg/day이었으며, 지천의 총 COD 유달부하량은 88,352 kg/day이었다. '02년의 COD 유달부하량은 BOD와는 다른 경향으로 금호강, 남강, 황강 순이었으며, 월평균 유달부하량은 각각 21,133, 17,794, 11,144 kg/day이었으며, 지천의 총 COD 유달부하량은 92,439 kg/day로 '01년에 비해 높게 조사되었다.

'01년 TN의 월 평균 유달부하량의 경우 BOD와 유사한 경향으로 금호강, 남강, 성서공단, 황강 순으로 많았으며, 이들 값은 각각 13,338, 9,065, 7,793, 7,068 kg/day이었으며 조사대상 지천의 하루 평균 총 TN 유달부하량은 57,453 kg이었다. 그러나 '02년 TN 유달부하량의 경우 BOD, COD 항목과 유사하게 '01년과는 다른 경향을 보였다. '02년 TN 유달부하량은 금호강, 남강, 성서공단, 내성천 순으로 '01년과는 달리 내성천에서 많은 유달부하량을 보였다.

'01년 TP 유달부하량의 경우 금호강, 성서공단, 남강, 황강 순으로 TP 유달부하량이 많았으며, 이들 값은 각각 1,137.9, 729.5, 522.4, 236.6 kg/day로 지천들의 총 TP 유달부하량은 3,385.3 kg/day 이었다. '02년 역시 '01년과 유사한 경향으로 금호강, 성서공단, 남강, 황강 순으로 TP 유달부하량이 많았으며, 이들 값은 각각 1,039, 512, 360, 209 kg/day로 지천들의 총 TP 유달부하량은 2,876 kg/day으로 '01년에 비해 다소 감소하였다.

3.2.2. 지천의 낙동강 본류에 대한 오염부하량 평가

낙동강 수계 지천들의 본류에 대한 오염부하량을 평가하기 위하여 '01년의 경우 본류 수산교 지점에 대한 오염원별 유달부하량을 기준으로 수산교 지점 상류의 낙동강 본류 직입 지천들의 BOD, COD, TN, TP 유달부하량을 월별로 조사하여 지천들의 월별 총 유달부하량을 구하여 이들 값과 본류 수산교 지점의 월별 항목별 유달부하량 값을 비교 함으로서 지천의 본류에 대한 오염부하 정도를 평가하였다. '02년의 경우는 본류의 수질, 유량 동시조사 지점의 최 말단인 삼랑진 지점을 기준으로 지천의 본류에 대한 오염부하 정도를 평가하였다.

낙동강 수계 지천의 본류에 대한 BOD 부하율은 '01년의

월별 부하율 변동폭이 '02년에 비해 크게 나타났다. '01년 지천의 월 최대부하량과 월 최소부하량과의 비는 786.3%였고, '02년은 357.8%이었다. 지천의 평균 본류에 대한 총 부하량은 '01년 36,594 kg/day로 60.3%를 보였으며, '02년은 39,088 kg/day로 55.1%의 부하율을 나타내었다.

'01년 6~8월의 경우 지천 총 BOD 유달부하량과 본류 수산교 지점의 유달부하량 비가 100% 이상의 값을 가졌다. 이는 상류에 위치한 지천에서 유입된 오염물질이 본류를 따라 하류로 유하 하면서 하천의 자정작용 등에 기인하여 그 양이 감소하는 것으로 생각할 수 있다.

지천의 본류에 대한 COD 부하량의 경우 '01년의 경우 3, 7월을 제외하고는 본류 수산교 지점의 유달부하량이 지천의 총 유달부하량에 비해 많았다. '02년의 경우 1, 4월을 제외하고는 본류 삼랑진 지점의 유달부하량이 지천 총합보다 많았다. '01년의 경우 유량이 풍부하였던 7, 8월 지천의 본류에 대한 오염기여도가 높았으며, 지천의 총 본류에 대한 COD 평균 부하량은 88,352 kg/day로 조사되었고, 본류의 COD 유달부하량은 평균 124,567 kg/day로 이들의 비인 평균 지천의 본류에 대한 COD 오염부하율은 70.9%로 조사되었다. 그러나 '02년 경우는 '01년과는 다른 경향으로 유량이 풍부하였던 7, 8, 9월이 지천의 본류에 대한 부하율이 작았다. '02년 지천의 본류에 대한 평균 COD 부하량은 92,434 kg/day로 조사되었고, 본류 삼랑진 지점의 평균 부하량이 175,889 kg/day로 이들의 비인 지천의 본류에 대한 부하율은 52.6%를 보였다.

지천의 본류에 대한 TN 부하량은 BOD, COD와는 다른 경향을 보였으며, '01년의 경우 지천 총 부하량에 대한 본류 수산교 지점의 부하량 비는 1월 147.4%, 6월 182.1%, 7월 110.3%, 8월 120.3%를 각각 차지하여 지천의 부하량이 대단히 높은 비율을 보였다. 또한 지천의 월 평균 총 유달부하량은 57,453 kg/day이었으며, 본류 수산교 지점의 경우 월 평균 TN 유달부하량이 60,444 kg/day로 이들 값의 비율은 95.1%로 조사되었다. 월별 지천의 총 TN 유달부하량은 7월과 8월이 대단히 높게 나타났으며, 본류 역시 7, 8월과 10월이 높은 유달부하량을 보였다. 반면 '02년의 경우 지천 총 부하량에 대한 본류 삼랑진 지점의 부하량 비는 1, 2, 3, 4, 5, 11월에서 100% 이상의 대단히 높은 부하율을 보였다.

또한 지천의 평균 총 부하량은 81,275 kg/day, 본류 삼랑진 지점 112,606 kg/day로 이들 값의 비율인 본류에 대한 지천의 부하율은 72.2%를 나타내었다.

'01년 본류에 대한 지천의 TP 오염부하량은 BOD, COD 및 TN과는 전혀 다른 경향을 보였다. 지천의 본류에 대한 TP 오염부하율은 9월과 10월을 제외하고는 100% 이상이었다.

이는 TP의 경우 지천에서 본류로 유입된 부하량은 많지만 부하된 영양물질이 자정작용은 물론 조류 등의 영양물질로 작용하여 TP를 대량 소비시키기 때문으로 생각할 수 있다.

지천의 월 평균 총 TP 유달부하량은 3,385.3 kg/day, 본

류 수산교 지점의 월 평균 TP 유달부하량은 2,535.7 kg/day로 이들 값의 비인 지천의 본류에 대한 TP 월 평균 기여율은 133.5%로 대단히 높은 값을 보였다. 또한 지천과 본류의 월 최대 유달부하량과 최소 유달부하량의 비는 각각 703.7, 896.4%로 월 별로 큰 편차를 보였다. '02년 TP의 경우 '01년 TN과 유사한 경향으로 1~6월과 11월에서 지천의 본류에 대한 부하율이 100%이상을 보였으며, 평균 지천의 총 부하량은 2,876 kg/day, 본류 삼랑진 지점의 평균 부하량은 3,730 kg/day로 이들 비는 77.1%의 값을 보였다.

3.2.3. 낙동강 유역 소수계별 비유달부하량평가

조사대상 전 유역의 소수계별 유달부하량을 해당 유역의 면적으로 나눈 단위면적 당의 유달부하량인 비유달부하량(유달부하량/유역면적)을 조사한 결과 '01년 BOD의 비유달부하량의 경우 금호강, 황강, 광려천, 수산교 순으로 이들 값은 각각 4.12, 3.56, 3.24, 3.09 kg/day · km²로 높은 값을 보였다. 이는 앞에서 언급하였던 소수계별 유달부하량 평가 결과와는 다른 경향으로 토평, 화포, 광려천의 경우 유달부하량은 낮게 조사되었지만 비유달부하량은 비교적 높게 조사되었다.

또한 낙동강 상류에 위치하여 비교적 유역 내 오염원이 적은 본류 풍지교, 감천, 영강, 병성천, 백천 등이 낮은 BOD 비유달부하량 값을 보였다. '02년의 경우 '02년에 추가된 지천인 양산천이 7.26 kg/day · km²로 조사대상 지점들 중 최대값을 보였으며, 다음으로 금호강, 화포천, 삼랑진, 광려천 순으로 높은 값을 보였다. 평균 BOD 비유달부하량은 '01년, '02년 각각 1.74, 2.23 kg/day · km²로 '02년이 높은 값을 보였다.

'01년 COD 비유달부하량은 회천, 밀양강, 황강, 금호강 순으로 높은 값을 보였으며, 이들 값은 각각 10.38, 9.95, 9.83, 8.49 kg/day · km²로 COD 비유달부하량이 가장 적은 위천의 0.4 kg/day · km²에 비해 단위면적당 유달부하량이 20배 이상 높은 값을 보였다. BOD 비유달부하량과 마찬가지로 유역면적이 적은 토평, 화포, 광려천 등도 대단히 높은 COD 비유달부하량 값을 보인 반면, 위천, 내성천, 감천, 영강 등이 낮은 COD 비유달부하량을 보였다.

이는 유역면적이 적은 토평, 화포, 광려천 등은 이들 유역에서 발생하는 각종 오염원의 영향뿐 아니라 좁은 유역면적으로 인해 유역내에서 발생된 오염물질이 토양흡수, 대기증발, 자정작용 등의 자연적인 감소작용을 일으키는데 충분한 시간적인 여유를 갖지 못하여 발생하는 현상으로 생각할 수 있다.

'02년의 경우 '01년과는 다른 경향으로 '02년 BOD와 마찬가지로 양산천에서 14.01 kg/day · km²로 가장 높은 값을 보였으며, 금호강, 황강, 풍지교, 남지 지점 순으로 높은 값을 보였다. '02년 최소 비유달부하량을 보인 감천에 비해 최고를 보인 양산천이 약 7배의 값을 가지므로 유달부하량의 절대량뿐만 아니라 각 유역별 유달부하량의 강도에 대한 정밀한 연구가 정립되어야 할 것으로 생각된다. 조사대

상 지점 평균 COD 비유달부하량의 경우 '01년 4.63 kg/day · km², '02년 6.07 kg/day · km²로 BOD와 마찬가지로 '02년이 높게 조사되었다.

'01년 TN 비유달부하량은 금호강이 6.59 kg/day · km²로 가장 높았으며, 위천이 0.41 kg/day · km²로 가장 낮았다. '02년은 '01년과 유사하게 금호강 10.71 kg/day · km²로 가장 높았으며, 위천이 1.61 kg/day · km²로 가장 낮았다. 따라서 비유달부하량은 단위면적당의 유달부하량을 나타내기 때문에 유역별 오염강도를 간접적으로 평가할 수 있다. 이들 토대로 조사대상 하천들의 오염강도를 살펴보면 금호강, 밀양강, 황강, 회천 유역 등이 대단히 높은 오염강도를 보임을 확인할 수 있었다.

TP 비유달부하량 역시 '02년의 경우 금호강이 0.484 kg/day · km²로 가장 높았으며, 양산천, 적포, 남지, 수산 순으로 높은 값을 보였다. '02년의 경우 증가된 강우에 기인 특히 본류 지점의 TP 비유달부하량 값이 높게 나타났다. '01년의 경우 '02년과 유사하게 금호강이 0.541 kg/day · km²로 가장 높았으며, 회천, 황강, 본류 고령교, 밀양강이 각각 0.248, 0.196, 0.186, 0.170 kg/day · km²로 높은 값을 보였다. 반면 BOD, COD, TN 등과 마찬가지로 위천이 0.003 kg/day · km²로 가장 낮은 TP 비유달부하량을 보였으며, 영강, 내성천, 백천, 본류 풍지교 등이 각각 0.015, 0.018, 0.026, 0.030 kg/day · km²로 낮은 값을 가졌다. TP 비유달부하량 역시 최대값인 금호강의 0.541 kg/day · km²과 최소값인 위천의 0.003 kg/day · km²과의 비는 약 180배의 차이를 보였다. 그러나 이들의 유역면적 비는 금호강 2,147.9 km², 위천 1467.9 km²로 이들 비는 단지 1.5배의 차이만을 보였다. 이는 위천의 경우 유역면적이 상대적으로 넓고 위천이 위치해 있는 군위와 의성지역이 주로 산림과 농경지로 구성되어 있고 공장 등 오염발생 시설이 상대적으로 적은데 기인 비교적 수질이 양호한 것으로 판단된다. 이와 같이 하천에 대한 비유달부하량 조사는 유역 특성이 전혀 고려되지 않는 유달부하량과는 다르게 유역의 단위면적 당의 오염부하 정도를 확인할 수 있으므로 우선 관리하여야 할 유역의 선정에 대단히 유용한 자료로 활용 가능할 것으로 기대된다.

3.2.4. 유역면적과 유달율과의 관계

본류 및 지천 등 소유역에 대한 유달율(유달부하량/배출부하량)과 유역면적과의 관계를 월 평균하여 BOD, TN, TP 항목에 대하여 조사한 결과 Fig. 3과 같이 유달율은 유역면적이 넓을수록 유역에서 발생된 오염물질이 하천으로 이동하는데 있어 토양침투, 자정작용 등의 자연적인 요인에 의해 감소될 시간적인 여유를 갖게 되어 유달율이 낮을 것으로 예상하였으나, 유달율은 특별히 유역면적과는 상관관계를 갖지 않는 것으로 나타났다.

'01년의 경우 BOD 유달율과 유역면적과의 관계는 조사대상 유역들 중 유역면적이 중간정도인 황강(1,317.7 km²)이 30.3%로 가장 높았으며, 다음은 회천(785.7 km²), 본류 수산교(20,702.4 km²), 밀양강(1,077.5 km²) 순으로 유달율

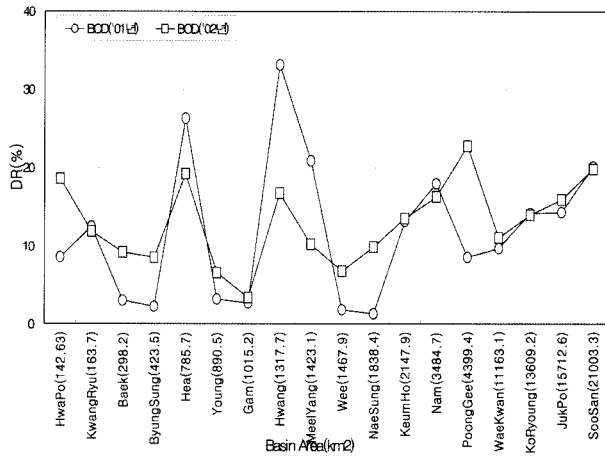


Fig. 3. The Relation of delivery ratio and basin area.

은 각각 24.0, 19.1, 19.1%를 보였으며, 비교적 유역면적이 넓고 유역내 오염원이 적은 내성천(1,838.4 km²), 위천(1467.9 km²), 병성천(423.5 km²), 감천(1,015.2 km²) 등이 각각 1.7, 1.9, 2.4, 2.8%로 낮았다. 또한 조사대상 유역별 BOD의 유달율은 TN과 TP의 유달율에 비해 낮은 값을 보였다.

'02년 유달율의 경우 양산천(247.4 km²)에서 26.82%로 가장 높았으며, 본류 남지(20,150.1 km²) 21.31%, 삼랑진(22,671.9 km²) 21.21%, 화포천(142.6 km²) 18.59%순으로 높은 값을 보였다. 평균 유달율의 경우 '02년이 13.59%로 '01년의 10.97%에 비해 다소 높았다.

'01년 TN의 유달율과 유역면적 관계는 BOD와는 다소 다른 경향으로 밀양강(1,077.5 km²)에서 248.8%로 가장 높았으며, 황강(1,317.7 km²), 회천(785.7 km²), 본류 풍지교(4,399.4 km²) 등이 각각 198.9, 141.4, 108.9%로 대단히 높은 TN 유달율을 보였다. 반면 위천(1,467.9 km²), 백천(298.2 km²), 내성천(1,838.4 km²) 등이 각각 17.5, 20.1, 26.3%로 낮은 유달율을 보였다.

'02년의 TN 유달율과 유역면적과의 관계는 조사대상 대부분의 지점에서 100% 이상을 보였으며, 유역면적과 유달율은 큰 상관성을 보이지 않았다.

'01년 TP의 경우 BOD와 유사한 경향으로 황강(1,317.7 km²)이 49.8%로 가장 높은 유달율을 보였으며, 다음으로 회천(785.7 km²), 밀양강(1,077.5 km²), 금호강(2,147.9 km²) 순으로 높은 값을 보였다. 또한 위천이 유달율 0.9%로 대단히 낮았으며, 내성천(1,838.4 km²), 영강(890.5 km²), 백천(298.2 km²) 등이 각각 4.4, 4.5, 5.1%로 낮은 TP 유달율을 보였다. '02년 역시 '01년과 유사한 경향으로 황강(1,317.7 km²)에서 43.96%로 최대값을 보였으며, 유역면적과 유달율은 별다른 상관성을 보이지 않았다.

3.2.5. 유역면적과 유달부하량과의 관계

유달부하량과 유역면적과의 관계는 Fig. 4와 같이 전체적인 경향은 유역면적이 증가함에 따라 항목별 유달부하량이 증가하였지만 유역내 오염원이 풍부하여 하천으로 오염원의 유입이 많은 회천, 밀양, 황강, 금호강, 남강 등은 유역

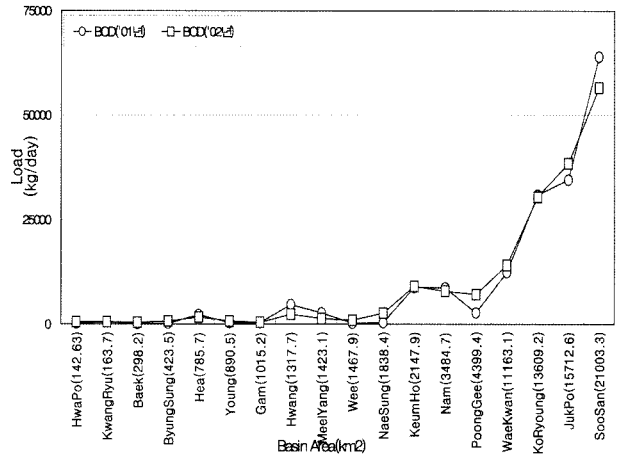


Fig. 4. The Relation of delivery loads and basin area.

면적에 비해 유달부하량이 높게 조사되었다. '01년과 '02년의 유역면적-유달부하량 관계는 항목별로 유사한 경향을 보였다.

3.2.6. 유량과 유달율과의 관계

유달율과 유량과의 상관관계를 BOD, TN, TP 항목에 대해 '01년과 '02년 조사대상 모든 지점에 대한 결과를 종합한 결과 Fig. 5에서와 같이 BOD, TN 및 TP 항목 모두 유달율-유량관계의 상관계수 R 값은 각각 BOD 0.64, TN 0.72, TP 0.71로 유량이 증가하면 유달율이 증가하는 것을 알 수 있었다. 이는 유량 증가는 유역에 내린 강우량 증가와 직접적으로 연관되므로 강우량이 증가함에 따라 유역내에 산재해 있는 각종 오염물의 하천유입이 증가되어 유량이 증가함에 따라 유달율이 증가하는 경향을 보였다.

3.2.7. 유량과 유달부하량과의 관계

조사대상 모든 지점에 대한 유량-유달부하량 관계를 BOD, COD, TN 및 TP 항목에 대해 '01년 조사 자료만을 토대로 산정한 결과 상관계수 R 값은 BOD 0.95, COD 0.98, TN 0.97, TP 0.95로 대단히 높은 상관관계를 보였다. 또한 '02년의 경우 BOD 0.91, COD 0.97, TN 0.96, TP 0.89로 '01년의 상관도에 비해서는 다소 낮게 나타났다. 이와 같이 '01년과 '02년의 자료를 종합한 결과 Fig. 6과 같이 유량-유달부하량의 상관계수인 R 값은 BOD 0.92, COD 0.97, TN 0.96, TP 0.91의 값으로 유량과 유달부하량은 직접적인 상관관계를 보였다.

본류의 유량-유달부하량 관계는 유량이 증가함에 따라 본류의 조사대상 모든 지점에서 BOD, COD, TN, TP의 유달부하량은 증가하였으며, 상류의 풍지교 지점은 유량에 비해 항목별 유달부하량이 비교적 적었다. 그러나 고령교 지점의 경우 유량에 비해 조사대상 BOD 등 모든 항목에서 높은 유달부하량을 보였다. 적포교 또한 유량-TP 유달부하량 관계에서 유량에 비해 상대적으로 높은 유달부하량을 보였다.

지천에 대한 유량-유달부하량 관계는 낙동강 상류에 위치한 지천의 경우 유량에 비해 항목별 유달부하량이 낮았지

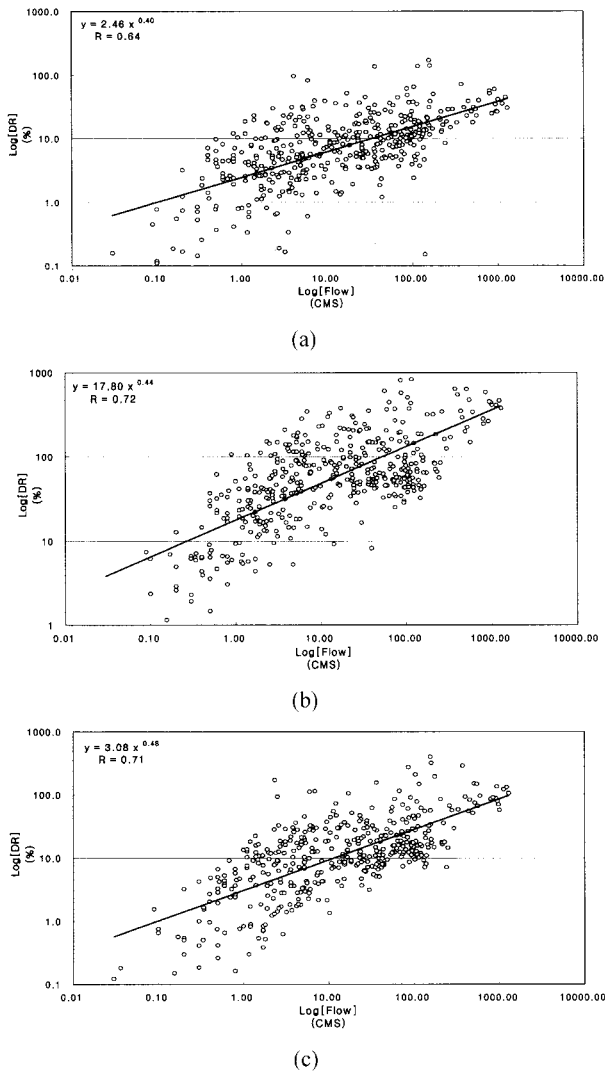


Fig. 5. The Relation of delivery ratio and flow.
((a) : BOD, (b) : TN, (c) : TP).

만 하류로 진행됨에 따라 유량에 대한 유달부하량비가 증가하였다. 특히 금호강, 성서공단천, 토평천, 화포천 등이 유량에 비해 BOD 등 조사대상 항목의 유달부하량이 높게 나타난 반면 낙동강 상류에 위치한 내성천, 영강 등이 유량에 비해 유달부하량이 적었으며, 낙동강 중·하류에 위치한 지천의 경우 회천, 황강, 남강 등이 유량에 비해 낮은 유달부하량을 보였다.

3.2.8. 유량과 수질과의 관계

유량이 증가함에 따라 수질이 개선될 것으로 기대하였으나 Fig. 9와 같이 유량 증가에 따라 수질은 특별한 상관관계를 보이지 않았다.

그러나 BOD와 COD의 경우 음의 상관관계를 보임으로써 유량이 증가함에 따라 수질은 다소 양호해지는 것으로 판단할 수 있다. 반면 TN과 TP의 경우 기울기가 거의 “0”에 가까워 유량과 TN 및 TP 수질과는 상관성이 없는 것으로 조사되었다. 항목별 상관계수 R 값을 살펴보면 BOD, COD, TN, TP가 각각 0.13, 0.09, 0.07, 0.05로 조사대상 모든 항목이 거의 상관관계를 보이지 않았다.

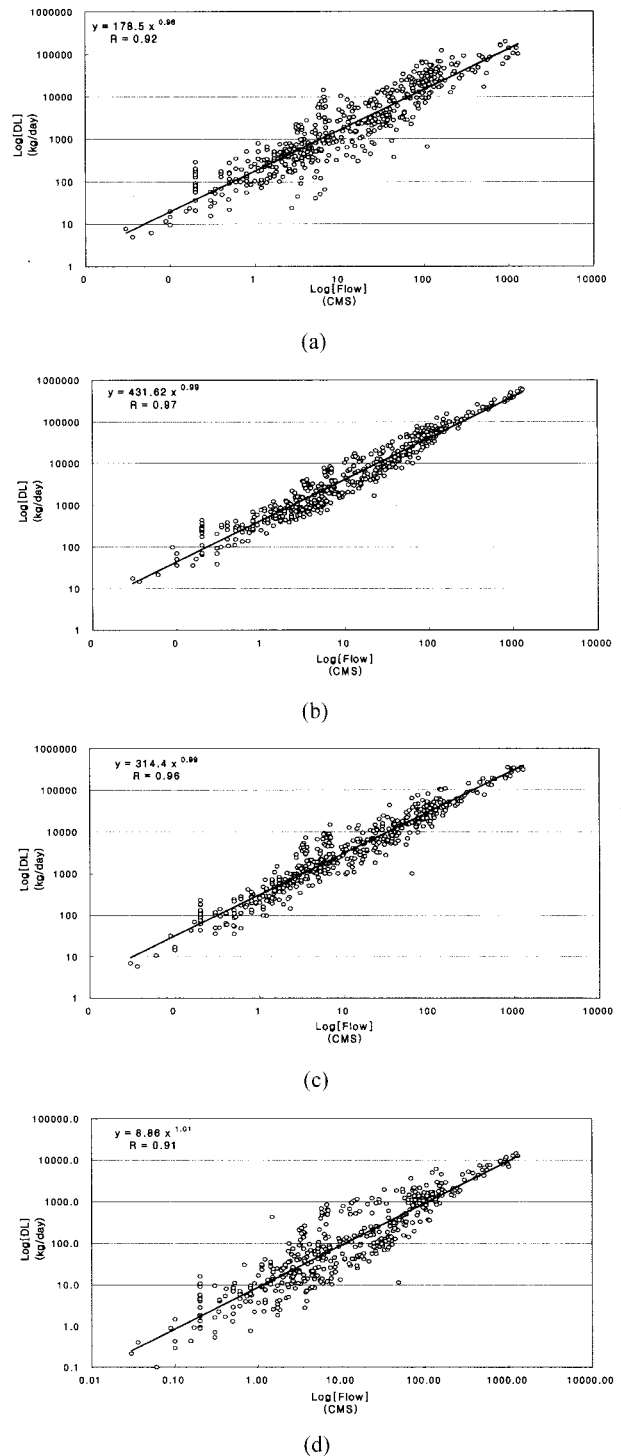


Fig. 6. The Relation of delivery loads and flow.
((a) : BOD, (b) : COD, (c) : TN, (d) : TP)

이러한 조사 결과는 유역에 대한 유량조사만으로는 하천 수질의 변화양상을 판단할 수 없음을 의미하는 것이다.

3.2.9. 유달부하량과 수질과의 관계

유달부하량과 수질관계는 '01년과 '02년 조사대상 전 지점 및 전 조사기간을 종합하여 대하여 BOD, COD, TN, TP 항목에 대해 조사한결과 각 항목별 상관계수 R 값은 BOD, COD, TN, TP가 각각 0.30, 0.21, 0.28, 0.43으로 낮

은 상관관계를 나타내었다. 이는 유달부하량의 경우 유량과 수질의 곱으로 나타나지만, 유달부하량의 증가는 직접적으로 수질의 악화를 의미하지는 않는다는 것을 나타낸다. 따라서 단순히 유달부하량에 따라 하천의 수질을 판단하기 보다는 하천의 유량과 수질과의 관계를 좀더 심도 있게 연구하여야 할 것으로 생각된다.

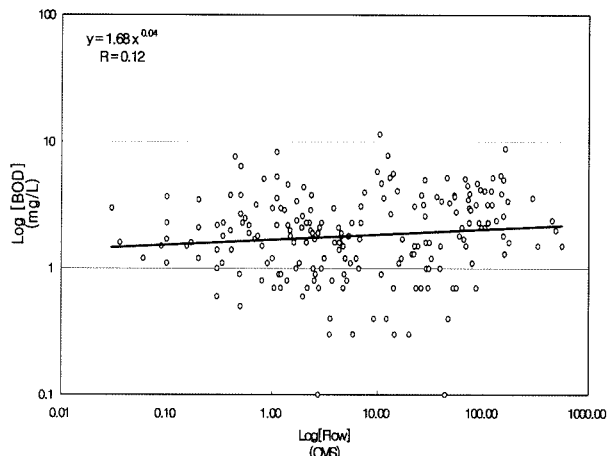


Fig. 7. The Relation of water quality and flow.

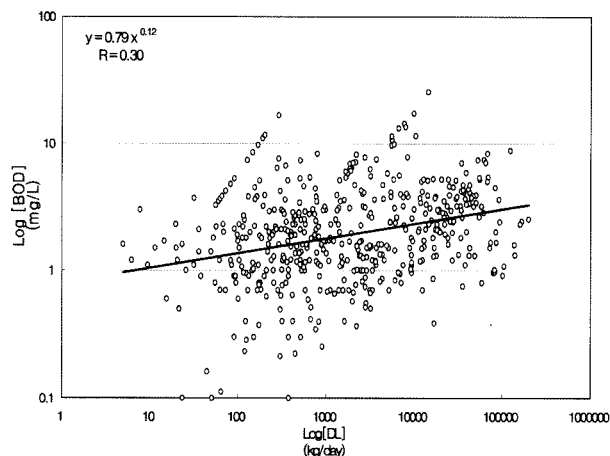


Fig. 8. The Relation of water quality and delivery load.

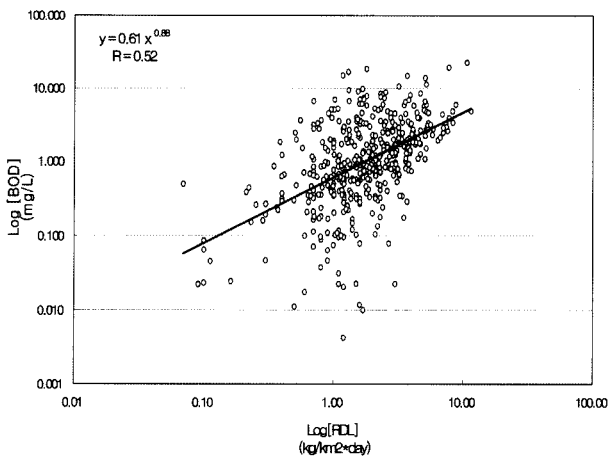


Fig. 9. The Relation of water quality and relative delivery load.

3.2.10. 비 유달부하량과 수질과의 관계

비유달부하량은 유역면적의 크기가 달라서 생기는 오염물질 유달부하량의 차이를 보정하기 위해 단위면적당의 유달부하량을 나타내는 것으로 하천의 유달부하 잠재력을 나타내며 단위면적당 유달부하량이 커지면 수질오염 농도 또한 증가한다고 보고된 바 있다.

이러한 BOD, COD, TN, TP의 비유달부하량과 수질사이의 관계를 분류 및 지천 등 조사대상 모든 소유역에 대하여 조사한 결과 BOD, COD, TN, TP의 수질-비유달부하량 관계는 각각 상관계수 R 값이 0.52, 0.44, 0.44, 0.66으로 유량-수질, 유달부하량-수질 관계에 비해서 높은 상관계수를 보였다.

특히 TP의 경우 R 값이 0.66으로 높은 상관계수를 보임으로서 유역에 대한 비유달부하량 평가를 통해 하천의 수질을 평가할 수 있는 가능성을 확인하였다.

4. 결론

낙동강 권역에 대한 오염부하량 삭감계획과 차기에 시행될 오염물질총량규제 등에 반드시 필요한 낙동강 분류 및 적유입 지천들에 대한 수질오염도·유량 동시조사, 소유역별 발생, 배출 및 유달부하량 등에 대한 종합적인 오염부하량을 평가, 낙동강 분류의 상·중·하류 및 낙동강 수계 지천들 중 오염심화 하천인 금호강에 대한 자정기능 및 낙동강 분류의 내부 오염부하율을 평가하기 위하여 조류에 의한 수중생태계 기초생산력 등을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 낙동강유역 오염원의 발생부하량은 BOD 101만5천 kg/day, TN 12만1천 kg/day, TP 2만1천 kg/day로 조사되었으며, 이들 전체 부하량 중 인구에 의한 발생부하량이 가장 많았으며, 인구에 의한 발생부하율은 BOD 41.6%, TN 44.0%, TP 53.4%이었다.
- 2) 낙동강유역 오염원의 배출부하량은 BOD 37만4천 kg/day, TN 9만1천 kg/day, TP 1만4천 kg/day로 조사되었으며, 발생부하량과 마찬가지로 배출부하량 역시 인구에 의한 배출부하량이 가장 큰 것으로 조사되었는데, 인구에 의한 배출부하율은 BOD 45.3%, TN 36.3%, TP 46.7%이었다.
- 3) 낙동강수계 하천들의 수질조사 결과 BOD, COD, TOC 및 SS의 경우 공단 방류수인 구미, 성서, 달성과 대구지방의 각종 생활 하수 및 공단폐수가 집중적으로 유입되는 금호강에서 높은 값을 보였다. 낙동강 분류의 경우 금호강과 성서공단의 영향을 직접적으로 받는 고령 지점에서의 BOD, COD, TOC 등의 값이 높게 나타났다.
- 4) 질소산화물과 총질소 역시 BOD, COD, TOC와 유사한 경향을 보였으며, 특히 질산성 질소가 조사대상 모든 지점에서 비교적 높은 농도를 보였다. 그러나 Chl-a의 경우 COD, BOD, TN 등의 수질항목과는 다른 경향으로 낙동강 분류의 중·하류 지점인 고령, 남지, 수산, 물금, 하구연 등에서 느린 유속과 상류와 각 지천들로부터 유

- 입된 풍부한 영양염류에 의해 대단히 높은 값을 보였다.
- 5) 낙동강수계 유량조사결과 낙동강 본류 지점들을 제외하고는 지천 중 남강에서 가장 많았으며, 다음으로 황강, 밀양강, 금호강에서의 유량이 비교적 풍부하였다. 또한 본류의 유량은 하류로 진행됨에 따라 지천에서 유입되는 유량에 의해 증가하였다. 또한 본류 왜관과 고령에 대한 유황을 분석한 결과 7~8월의 평수량을 제외하고는 극심한 가뭄에 의해 저수량 및 갈수량을 보였다.
 - 6) 본류에 대한 지천의 오염부하율을 평가하기 위하여 BOD, COD, TN, TP 에 대해 월별 및 월 평균 오염 기여도를 평가한 결과 본류의 경우 상류에서 하류로 진행됨에 따라 유달부하량이 증가하였으며, 본 연구의 조사대상 지점 중 본류의 최 말단 지점인 수산교 지점의 유달부하량은 BOD 60,689 kg/day, COD 124,567 kg/day, TN 60,444 kg/day, TP 2,535.7 kg/day로 조사되었다.
 - 7) 지천의 총 일평균 본류 유입부하량은 BOD, COD, TN, TP가 각각 36,594 kg/day, 88,352 kg/day, 57,453 kg/day, 3,385.3 kg/day의 유입부하량을 보였다.
 - 8) 지천의 낙동강 본류에 대한 오염부하율은 BOD, COD, TN, TP가 각각 60.3, 70.9, 95.1, 133.5%의 부하율을 보였다. 특히 TP의 부하율이 본류 수산교 지점의 유달부하량에 비해서도 높게 나타났는데 이는 유입된 영양염이 본류의 조류 성장 등에 이용되어 본류의 TP 유달부하량이 지천의 TP 유입부하량보다 낮게 조사되었다.
 - 9) 조사대상 모든 소유역의 평균 BOD, TN, TP 유달율은 각각 11.0, 77.0, 21.3%였으며, 유달율과 유역면적 사이에는 특별한 상관관계가 없었다. 그리고 조사대상 모든 소유역에 대한 유달율-유량관계는 R 값 0.7 이상으로 비교적 높은 상관성을 보였으며, 유달부하량-유량관계는 R 값 0.95 이상으로 대단히 높은 상관성을 가졌다. 그러나 유량-수질은 R 값 0.3 이하로 특별한 상관성을 보

이지 않았다.

- 10) 조사대상 모든 소유역에 대한 유달부하량과 수질의 상관성은 R 값 0.5 이하로 높은 상관성은 보이지 않았으나, 비유달부하량과 수질은 R 값 0.5 이상으로 비유달부하량이 증가함에 따라 수질은 악화되는 것으로 조사되었다.

참고문헌

과학기술처, 수질향상을 위한 수자원 종합 관리 운영 시스템개발, p. 182 (1992).

김승우, 박석순, 김희성, 특정수계 권역의 수질총량규제 방안연구, 한국환경정책평가 연구원, p. 2 (1997).

김태운, 낙동강의 부영양화 제어를 위한 수질관리 모델링, 부경대학교 박사학위 논문, p. 3 (1999).

낙동강물이용조사단, 낙동강물이용조사단보고서, 환경부, p. 529 (2001).

양상용 등, 낙동강 수계별 오염부하량 조사연구(II), 국립환경연구원, p. 67 (2002).

정부합동, 낙동강수계 불관리종합대책, p. 115 (1999).

정성용 등, 환경정보 시스템과 연계한 금강수계 수질관리기법 개발, 금강수질검사소, p. 7 (2000).

조태용 등, 낙동강 수계별 오염부하량 조사연구(I), 국립환경연구원, p. 49 (2001).

포항산업과학연구원, 낙동강 오염실태 조사 및 장단기개발계획 수립, p. 7 (1999).

한국환경정책평가원, 낙동강 수계에서의 총량 규제 방안에 관한연구, p. 15 (1994).

환경부, 사유두수별 가축별 배출 원단위, 환경부고시 제91-49호 (1991).

환경부, 수환경정책자료집 (1994).

환경부, 낙동강수계 대권역 수질보전계획 (1992~1996).