

## 낙동강 유역에 대한 일별 유달부하량 산정모델개발 II. 모델식의 활용

윤 영 삼 · 유 재 정 · 김 문 수 · 이 혜 진 · 이 준 배 · 양 상 용  
국립환경과학원  
(2006년 10월 23일 접수; 2007년 2월 16일 채택)

### Development of the Estimation Model on Daily Pollutant Loads for the Nakdong River Basin II. Application of the Model

Young-Sam Yoon, Jae-Jeong Yu, Moon-Soo Kim, Hae-Jin Lee,  
Jun-Bae Lee and Sang-Yong Yang

National Institute of Environmental Research, Goryeong 717-873, Korea  
(Manuscript received 23 October, 2006; accepted 16 February, 2007)

As analyzed the estimated values of the daily delivery loads from thirteen major side streams such as Naesung-river, Keumho-river, Hwang-river, Nam-river during five years (from 1999 to 2003), the daily BOD inflow into the main stream of Nakdong river in 2003 shows the highest quantity as 31.1 ton and the daily BOD inflows in 1999, 2000, 2001, and 2002 are 26.7 ton, 22.5 ton, 21.0 ton, 25.8 ton, respectively. The daily TN inflow into the main stream of Nakdong river in 2003 shows also the highest quantity as 64.9 ton and the daily TN inflows in 1999, 2000, 2001, and 2002 are 55.19 ton, 46.27 ton, 39.5 ton, 53.38 ton, respectively. The daily TP inflow into the main stream of Nakdong river in 2003 shows the highest quantity as 2.70 ton likewise and the daily TP inflows in 1999, 2000, 2001, and 2002 are 2.17 ton, 1.87 ton, 1.60 ton, 2.10 ton, respectively. The rate of BOD loads from each side main stream into the main stream of Nakdong river shows that the BOD loads of Keumho-river are the highest as the values range from 32.8 % (2002) ~ 35.1 % (2003) and the BOD loads of Nam-river, Naesung-river, Hwang-river are high in the order named. The rate of TN loads to the main stream is also similar to the trend of BOD loads. The contribution of the TN loads of Geumho-river to the contamination of the main stream is also the highest having a range from 27.0 % (2002) to 28.8 % (1999) among the main side streams and the TN loads of Naesung-river, Nam-river, and Heachun-river are high in the order named. The rate of TP loads is quite different from the trend of BOD and TN loads. The TP rate of Keumho-river, however, is still the highest as ranging 58.6 % (2002) to 61.7 % (2003) and the river has the biggest portion (over 50%) of the entire pollution to the main stream of Nakdong river.

Key Words : Delivery inflow loads, BOD loads, Main stream, TMDL

#### 1. 서 론

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 여러 가지 요소가 복잡하게 작용하는 수역의 경우 단순한 현장조사나 실험을 통하여 규명하기는 대단히 어려운 문제이다. 따라서 하천의 정확한 오염상태

Corresponding Author : Young-Sam Yoon, National Institute of Environmental Research, Goryeong 717-873, Korea  
Phone : +82-54-950-9711  
E-mail: ysyoons3@me.go.kr

파악은 물론 하천으로 유입되는 오염원의 양을 정량적으로 정확하게 파악하여야만 이러한 복잡한 유역의 수질관리를 보다 효율적으로 할 수 있을 것이다.<sup>1,2)</sup>

본 연구에서는 낙동강 본류에 대한 낙동강 유역권 주요지천들의 유입부하량을 종합적으로 평가하기 위해 낙동강 유역 주요 지천들에 대한 수질과 유량을 조사함으로써 낙동강 본류에 대한 이들 하천의 오염 부하를 정밀하게 평가하였다. 또한 다년간의 유량자료가 없는 낙동강 주요지천들에 대한 오염부하량 산정에 필요한 일 유출량을 모의발생시키기 위하여 낙동강 유역 주요지천들에 대한 일 유출량을 산정 하였으며, 낙동강 유역 주요 지천들에 대한 일 유출량을 활용하여 도시와 비도시 지역이 혼재된 지역에 분포한 점 및 비점 오염원으로부터 강우 및 비 강우시에 배출되는 BOD, TN 및 TP 등 낙동강 본류에 대한 일별 유입부하량을 예측할 수 있는 단순화된 모델식을 개발하였다.<sup>3,4)</sup>

그리고 낙동강 유역 주요 지천들의 낙동강본류에 대한 오염부하도를 수질과 유량 동시 측정을 통한 실측자료와 모형 예측을 통해 산정된 일별 유달부하량 자료를 통해 정밀 분석하였으며, 이들 낙동강 본류 직 유입 하천들에 대한 일 유출량을 이용, 일별로 1999 ~ 2003년까지 5년간에 걸쳐 낙동강 본류에 대한 유입 부하량을 추정하였다.<sup>5,6)</sup>

## 2. 연구내용 및 방법

### 2.1. 예측 모델식 활용

앞선 연구를 통하여 낙동강 본류 직유입하천인 상류의 내성천, 중류의 금호강, 그리고 하류의 남강에 대한 예측수식을 보정하고 검증하였다.<sup>3,4)</sup> 본 연구에서는 기 검증된 수식을 통해 미계측 년인 1999년과 2000년에 대해 낙동강유역의 13개 하천유역별 유달부하량을 예측하는데 활용하였다. 또한 예측수식의 범용성 검증을 위하여, 일별 유달부하량 산정모델식에 대하여 2002년의 자료를 이용하여 보정하였으며 2001년과 2003년의 실측치를 사용하여 검증하였다. 이 과정을 통하여 모델식을 완성한 후 실측자료가 없는 1999년과 2000년에 대하여 일유출량을 모의발생시켜 모델식을 적용하였다.

낙동강본류 직유입하천인 13개 주요지천에 대해 일별 부하량 예측수식의 보정 및 검증된 수식을 통해 미계측 년인 1999년과 2000년에 대해 일별 오염부하량을 예측하였으며, 이를 통해 본 연구에서 개발된 수식의 범용성을 검증하였다.

Fig. 1과 2는 낙동강 주요 13개 지천 가운데 비교적 하류에 위치한 지천인 남강의 BOD 값에 대한 1999년과 2000년의 모델추정치를 보여주고 있다. Fig. 1~2에서 알 수 있는 바와 같이 강우량이 많은 7~9월의 유달부하량이 대단히 높게 나타났다. 이와 같이 본 연구에서 개발된 일별 유달부하량 산정 모델식은 수질, 유량자료가 없는 기간에 대해서도 대상 기간의 유출량 자료만을 독립변수로 하여 산정할 수 있다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 주요지천에 대한 유달부하량 평가

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

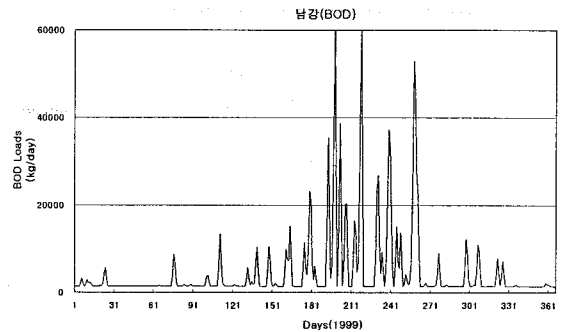


Fig. 1. Application of estimation model on BOD loads for Nam river (1999).

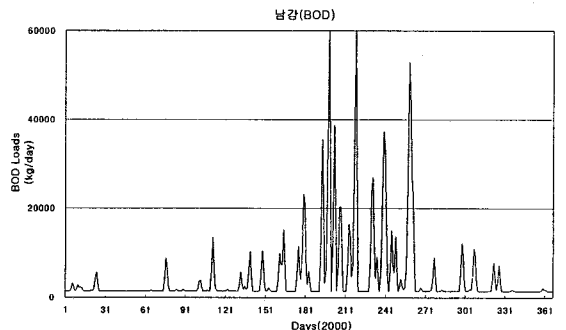


Fig. 2. Application of estimation model on BOD loads for Nam river (2000).

1) 주요지천의 BOD 유달부하량 평가  
 낙동강 유역 내성천, 영강, 금호강, 남강, 양산천  
 등 13개 주요지천에 대한 연도별(1999~2003년) 일

평균 유달부하량, 연간 총 유달부하량, 각 연도별  
 최대부하를 보였던 날짜, 각 연도의 월별 유달부하  
 량 중 최대 부하를 보였던 월을 조사하여 Table 1

Table 1. BOD loads on thirteen streams in Nakdong river basin

Sites	Years	BOD Delivery Loads(ton)					Sites	Years	BOD Delivery Loads(ton)				
		1999	2000	2001	2002	2003			1999	2000	2001	2002	2003
Nae Sung Chun	Daily Ave.	3.64	3.43	3.47	3.42	4.12	Hea Chun	Daily Ave.	0.80	0.66	0.57	0.73	0.97
	Yearly Total	1,327.31	1,250.1	902.9	1,248.41	1,503.3		Yearly Total	290.3	240.1	208.4	266.7	353.3
	Daily Max. (Date)	37.7 (9.24)	57.6 (7.24)	28.6 (7.17)	45.9 (8.8)	43.7 (8.20)		Daily Max. (Date)	9.13 (9.24)	8.13 (9.14)	6.79 (6.25)	9.66 (8.9)	10.1 (9.13)
	Monthly Max. (Month)	250.0 (9)	218.6 (10)	150.5 (7)	311.1 (10)	309.1 (7)		Monthly Max. (Month)	65.6 (9)	45.7 (9)	40.2 (6)	79.8 (8)	85.6 (7)
								Daily Ave.	1.44	1.40	1.20	1.59	1.79
Young Gang	Daily Ave.	0.97	0.78	0.66	0.92	1.11	Hwang Gang	Yearly Total	524.9	512.5	438.5	579.4	653.8
	Yearly Total	355.7	284.7	241.8	334.6	403.3		Daily Max. (Date)	11.822 (9.24)	18.506 (8.5)	16.373 (6.25)	31.909 (9.1)	22.651 (9.13)
	Daily Max. (Date)	8.86 (9.24)	10.2 (7.24)	5.97 (7.17)	11.2 (8.8)	10.8 (8.19)		Monthly Max. (Month)	90.9 (9)	112.3 (8)	81.4 (6)	146.6 (8)	157.7 (7)
	Monthly Max. (Month)	66.1 (9)	49.39 (7)	40.1 (7)	86.1 (8)	83.1 (7)		Daily Ave.	4.84	4.72	4.04	5.34	6.02
Byung Sung Chun	Daily Ave.	0.66	0.62	0.47	0.71	0.90	Nam Gang	Yearly Total	1,765.11	1,723.51	1,474.81	1,948.02	1,988.8
	Yearly Total	240.9	226.9	171.7	258.1	327.3		Daily Max. (Date)	39.8 (9.24)	62.2 (8.5)	55.1 (6.25)	107.3 (9.1)	76.2 (9.13)
	Daily Max. (Date)	6.38 (9.24)	7.14 (9.14)	4.46 (6.25)	7.34 (8.8)	8.15 (9.13)		Monthly Max. (Month)	940.9 (10)	377.8 (8)	273.7 (6)	493.1 (8)	530.2 (7)
	Monthly Max. (Month)	52.3 (9)	43.5 (9)	31.0 (6)	69.4 (8)	77.9 (7)		Daily Ave.	0.49	0.31	0.33	0.41	0.46
Wee Chun	Daily Ave.	0.63	0.58	0.42	0.75	0.88	Kwang Rya Chun	Yearly Total	179.2	11.1	120.0	150.5	168.2
	Yearly Total	230.1	212.9	151.5	273.9	321.7		Daily Max. (Date)	4.55 (9.20)	2.39 (8.25)	4.95 (6.24)	5.398 (8.9)	5.48 (9.12)
	Daily Max. (Date)	6.36 (9.24)	7.19 (8.27)	3.50 (6.19)	9.05 (8.8)	8.56 (9.13)		Monthly Max. (Month)	35.6 (9)	19.7 (7)	26.5 (6)	42.3 (8)	33.7 (7)
	Monthly Max. (Month)	44.3 (9)	37.9 (8)	24.8 (6)	69.8 (8)	74.5 (8)		Daily Ave.	0.52	0.32	0.33	0.43	0.46
Gam Chun	Daily Ave.	0.46	0.43	0.33	0.49	0.62	HwaPo Chun	Yearly Total	188.8	117.1	120.0	158.6	168.2
	Yearly Total	166.2	156.6	118.5	178.0	225.4		Daily Max. (Date)	4.80 (9.20)	2.51 (8.25)	4.95 (6.24)	5.68 (8.9)	5.48 (9.12)
	Daily Max. (Date)	5.27 (9.24)	5.01 (9.15)	3.29 (6.25)	6.09 (9.1)	7.12 (9.13)		Monthly Max. (Month)	37.5 (9)	20.7 (7)	26.5 (6)	44.5 (8)	33.7 (7)
	Monthly Max. (Month)	36.8 (9)	30.7 (9)	21.2 (6)	46.1 (8)	53.6 (7)		Daily Ave.	1.29	0.80	0.86	1.08	1.21
Keum Ho Gang	Daily Ave.	9.31	7.74	7.31	8.46	10.9	Meel Yang Gang	Yearly Total	470.4	291.9	31.5	395.1	441.5
	Yearly Total	3,397.02	2,824.52	2,669.33	3,088.43	3,986.2		Daily Max. (Date)	12.0 (9.20)	6.26 (8.25)	13.0 (6.24)	14.1 (8.9)	14.4 (9.12)
	Daily Max. (Date)	107.1 (9.25)	107.0 (9.14)	92.1 (6.25)	118.7 (8.9)	143.4 (9.13)		Monthly Max. (Month)	93.3 (9)	51.6 (7)	69.5 (6)	110.9 (8)	88.5 (7)
	Monthly Max. (Month)	848.0 (12)	547.7 (9)	518.7 (6)	906.7 (8)	959.3 (7)		Daily Ave.	1.65	1.02	0.97	1.47	1.65
Yang San Chun	Daily Ave.	1.65	1.02	0.97	1.47	1.65	Yang San Chun	Yearly Total	600.6	372.1	353.8	538.0	602.1
	Yearly Total	3,397.02	2,824.52	2,669.33	3,088.43	3,986.2		Daily Max. (Date)	21.0 (7.30)	13.2 (8.26)	12.0 (6.19)	16.7 (8.9)	14.2 (5.30)
	Daily Max. (Date)	107.1 (9.25)	107.0 (9.14)	92.1 (6.25)	118.7 (8.9)	143.4 (9.13)		Monthly Max. (Month)	112.3 (8)	71.8 (8)	60.8 (7)	124.2 (8)	139.7 (7)

에 수록하였다.

Table 1에 수록된 바와 같이 낙동강 유역 상류 지천인 내성천의 경우 일 평균 낙동강 본류에 유입되는 BOD 부하량은 1999 ~ 2003년 차례로 각각 3.64, 3.43, 3.47, 3.42, 4.12 ton/day로 1999년과 2003년의 일평균 낙동강에 대한 BOD 부하량이 높게 나타났다. 또한 일최대 값은 1999년의 경우 9월 27일 37.7 ton/day로 일평균 값의 약 10배 이상의 높은 부하량을 보였으며, 2000년의 경우 7월 24일 57.6 ton/day로 일평균 값의 약 16배로 대단히 높은 부하량을 보였다. 2001년, 2002년, 2003년역시 일평균에 비해 일최대값은 대단히 높은 비율을 보였으며, 2001년은 7월 17일 최대값을 보였으며, 일평균 값에 대한 비는 약 8배, 2002년의 경우는 13.4배(8월 8일), 2003년 10배(8월 20일)의 결과를 보였다. 내성천의 연도별 일최대값은 7, 8, 9월에 집중되어 여름철 강우 집중기에 대부분의 오염물이 하천으로 유입되는 것을 확인할 수 있었다. 낙동강 상류 내성천의 낙동강 본류에 대한 연간 총 BOD 오염부하량은 1999년 1,327.3 ton, 2000년 1,250.1 ton, 2001년 902.9 ton, 2002년 1,248.4 ton, 2003년 1,503.3 ton으로 2003년의 부하량이 가장 높게 조사되었다. 월별로 살펴보면 월간 총부하량의 경우 1999년 250.0 ton/month(9월), 2000년 218.6 ton/month(10월), 2001년 150.5 ton/month(7월), 2002년 311.1 ton/month(10월), 2003년 309.1 ton/month(7월)의 값으로 연간 총부하량은 2003년이 가장 많았으나, 월간 최대부하량은 2002년 10월로 일최대 부하량이나 년 총부하량과는 다른 경향을 보였다. 이는 우리나라 기후 특성상 여름철 강우 집중기가 매년 달라지기 때문에 나타나는 현상으로 판단할 수 있다.

낙동강 유역 지천들 중 오염도가 가장 심한 금호강의 낙동강 본류에 대한 영향을 상세히 살펴보면 Table 1에 수록된 바와 같이 일 평균 낙동강 본류에 유입되는 BOD 부하량은 1999 ~ 2003년 차례로 각각 9.31, 7.74, 7.31, 8.46, 10.9 ton/day의 값으로 1999년과 2003년의 일평균 낙동강에 대한 BOD 부하량이 특히 높게 나타났다. 또한 일최대 값은 1999년의 경우 9월 25일 107.1 ton/day의 값으로 일평균 값의 약 12배의 높은 부하량을 보였으며, 2000년의 경우 9월 14일 107.0 ton/day로 일평균 값의 약 14배의 대단히 높은 부하량을 보였다. 2001년, 2002년, 2003년 역시 일평균과 일최대값과의 비율은 대단히 높은 값을 보였으며, 2001년은 6월 25일에 92.1 ton/day로 최대값을 보였으며, 일평균 값에 대한 비는 약 13배, 2002년의 경우는 118.7 ton/day로 14 배(8월 9일), 2003년은 143.4 ton/day로 13배(9월 13일)의 결

과를 보였다. 금호강의 연도별 일최대값은 1999년, 2000년, 2003년 모두 9월에 집중되어 있었다.

낙동강 중류의 대구광역시권의 하천인 금호강의 낙동강 본류에 대한 연간 총 BOD 오염부하량은 1999년 3,397.0 ton, 2000년 2,824.5 ton, 2001년 2,669.3 ton, 2002년 3,088.4 ton, 2003년 3,986.2 ton으로 2003년의 부하량이 가장 높게 조사되었다. 월별로 살펴보면 월간 총부하량의 경우 1999년 785.1 ton/month(9월), 2000년 547.7 ton/month(9월), 2001년 518.7 ton/month(6월), 2002년 906.7 ton/month(8월), 2003년 959.3 ton/month(7월)의 값으로 연간 총부하량은 2003년이 가장 많았으며, 월간 최대부하량 역시 2003년 7월에서 최대값을 보였다.

위에서 언급한 내성천과 금호강 이외의 일별 유달부하량을 모의 발생한 영강, 남강, 양산천 등 11개 하천에 대한 상세한 내용은 Table 1에 상세히 수록하였다. 이들 하천 역시 내성천 및 금호강과 유사한 경향으로 여름철 집중 강우기에 하천으로 오염물은 집중 부하되었다.

## 2) 주요지천의 TN 유달부하량 평가

낙동강 유역 내성천, 영강, 금호강, 남강, 양산천 등 13개 주요지천에 대한 연도별(1999 ~ 2003년) 일평균 유달부하량, 연간 총 유달부하량, 각 연도별 최대부하를 보였던 날짜, 각 연도의 월별 유달부하량 중 최대 부하를 보였던 월을 조사하여 Table 1에 수록하였다.

Table 2에 수록된 바와 같이 낙동강 유역 상류 지천인 내성천의 경우 일 평균 낙동강 본류에 유입되는 TN 부하량은 1999~2003년 차례로 각각 8.48, 6.79, 5.77, 7.98, 9.61 ton/day로 1999년과 2003년의 일평균 낙동강에 대한 TN 부하량이 높게 나타났다.

또한 일 최대값은 1999년의 경우 9월 24일 87.9 ton/day로 일평균 값의 약 10배, 2000년의 경우 7월 24일 114.3 ton/day로 일평균 값의 약 17배로 대단히 높은 부하량을 보였다. 2001년, 2002년, 2003년역시 일평균에 비해 일 최대값은 대단히 높은 비율을 보였으며, 2001년은 7월 17일 최대값을 보였으며, 일평균 값에 대한 비는 약 12배, 2002년의 경우는 13 배(8월 8일), 2003년 11배(8월 20일)의 결과를 보였다. 내성천의 연도별 일최대값은 7, 8, 9월에 집중되어 여름철 강우 집중기에 대부분의 오염물이 하천으로 유입되는 것을 확인할 수 있었다. 낙동강 상류 내성천의 낙동강 본류에 대한 연간 총 TN 유입부하량은 1999년 3,096.6 ton, 2000년 2,478.6 ton, 2001년 2,106.5 ton, 2002년 2,912.7 ton, 2003년 3,507.1 ton으로 2003년, 1999년, 2002

Table 2. Daily average, yearly total, daily and monthly maximum for TN loads

Sites	Year	TN Delivery Loads(ton)					Sites	Year	TN Delivery Loads(ton)				
		1999	2000	2001	2002	2003			1999	2000	2001	2002	2003
Nae sung chun	Daily Ave.	8.48	6.79	5.77	7.98	9.61	Hea chun	Daily Ave.	4.43	3.66	3.18	4.07	5.39
	Yearly Total	3,096.6	2,478.6	2,106.5	2,912.7	3,507.1		Yearly Total	1,615.81	1,336.51	1,160.11	1,484.31	1,966.5
	Daily Max. (Date)	87.9 (9.24)	114.3 (7.24)	66.7 (7.17)	107.0 (8.8)	101.9 (8.20)		Daily Max. (Date)	50.8 (9.24)	45.2 (9.14)	37.8 (6.25)	53.6 (8.9)	56.2 (9.13)
	Monthly Max. (Month)	583.2 (9)	433.4 (9)	351.0 (7)	725.7 (8)	721.1 (7)		Monthly Max. (Month)	364.9 (9)	254.0 (9)	223.5 (6)	444.2 (8)	476.2 (7)
	Daily Ave.	3.12	2.50	2.12	2.94	3.54		Hwang gang	Daily Ave.	3.70	3.61	3.09	4.09
Yearly Total	1,139.2	91.9	774.9	1,071.4	1,290.2	Yearly Total	1,350.61		1,318.81	1,128.51	1,491.11	1,682.5	
Daily Max. (Date)	32.3 (9.24)	42.0 (7.24)	24.6 (7.17)	39.3 (8.8)	37.5 (8.20)	Daily Max. (Date)	30.4 (9.24)		47.6 (8.5)	42.1 (6.25)	82.1 (9.1)	58.3 (9.13)	
Monthly Max. (Month)	214.5 (9)	159.4 (9)	129.1 (7)	267.0 (8)	265.3 (7)	Monthly Max. (month)	233.8 (9)		289.1 (8)	177.6 (7)	377.3 (8)	405.7 (7)	
Daily Ave.	1.52	1.43	1.08	1.63	2.06	Nam gang	Daily Ave.		6.13	5.98	5.12	6.76	7.63
Yearly Total	553.8	521.5	394.6	59.3	752.4		Yearly Total	2,235.72	2,182.91	1,868.02	2,468.22	2,785.0	
Daily Max. (Date)	14.7 (9.24)	16.4 (9.14)	10.3 (6.25)	16.9 (8.8)	18.7 (9.13)		Daily Max. (Date)	50.4 (9.24)	78.8 (8.5)	69.7 (6.25)	135.9 (9.1)	96.5 (9.13)	
Monthly Max. (Month)	120.3 (9)	100.0 (9)	71.2 (6)	159.4 (8)	179.1 (7)		Monthly Max.	387.0 (9)	478.5 (8)	346.6 (6)	426.4 (9)	671.5 (7)	
Daily Ave.	1.64	1.51	1.08	1.95	2.29		Kwang ryu chun	Daily Ave.	0.47	0.29	0.31	0.39	0.44
Yearly Total	597.2	552.6	393.0	710.7	834.7	Yearly Total		170.6	105.9	114.3	143.3	160.2	
Daily Max. (Date)	16.5 (9.24)	18.7 (8.27)	9.09 (6.19)	23.5 (8.8)	22.2 (9.13)	Daily Max. (Date)		4.34 (9.20)	2.27 (8.25)	4.72 (6.24)	5.13 (8.9)	5.22 (9.12)	
Monthly Max. (Month)	115.1 (9)	98.5 (8)	64.3 (6)	98.2 (9)	103.1 (9)	Monthly Max.		33.9 (9)	18.7 (7)	25.2 (6)	40.2 (8)	32.1 (7)	
Daily Ave.	3.40	3.21	2.43	3.65	4.61	Hwa po chun		Daily Ave.	0.60	0.40	0.40	0.50	0.56
Yearly Total	1,241.8	1,170.3	885.8	1,330.5	1,684.1		Yearly Total	215.7	133.9	144.5	181.2	202.5	
Daily Max. (Date)	39.4 (9.24)	37.4 (9.15)	24.6 (6.25)	45.5 (9.1)	53.2 (9.13)		Daily Max. (Date)	5.48 (9.20)	2.87 (8.25)	5.96 (6.24)	6.49 (8.9)	6.60 (9.12)	
Monthly Max. (Month)	274.7 (9)	229.4 (9)	158.4 (6)	344.8 (8)	400.7 (7)		Monthly Max.	42.8 (9)	23.7 (7)	31.9 (6)	50.9 (8)	40.6 (7)	
Daily Ave.	15.9	13.3	11.2	14.4	18.6		Meel yang gang	Daily Ave.	3.41	2.12	2.29	2.87	3.20
Yearly Total	5,785.7	483.8	4,103.0	5,260.4	6,789.6	Yearly Total		1,245.0	772.5	833.9	1,045.81	1,168.7	
Daily Max. (Date)	182.4 (9.25)	183.7 (9.14)	140.5 (6.25)	202.1 (8.9)	244.2 (9.13)	Daily Max. (Date)		31.6 (9.20)	16.6 (8.25)	34.4 (6.24)	37.4 (8.9)	38.1 (9.12)	
Monthly Max. (Month)	849.7 (8)	939.7 (9)	809.4 (6)	643.2 (7)	923.3 (9)	Monthly Max.		247.1 (9)	136.7 (7)	184.0 (6)	293.6 (8)	234.3 (7)	
Daily Ave.	2.40	1.49	1.41	2.15	2.40	Yang san chun		Daily Ave.	2.40	1.49	1.41	2.15	2.40
Yearly Total	875.2	542.3	515.4	783.9	877.2		Yearly Total	875.2	542.3	515.4	783.9	877.2	
Daily Max. (Date)	30.6 (7.30)	19.2 (8.26)	17.4 (6.19)	24.4 (8.9)	20.7 (5.30)		Daily Max. (Date)	30.6 (7.30)	19.2 (8.26)	17.4 (6.19)	24.4 (8.9)	20.7 (5.30)	
Monthly Max.	163.6 (8)	104.6 (8)	88.6 (7)	181.0 (8)	203.5 (7)		Monthly Max.	163.6 (8)	104.6 (8)	88.6 (7)	181.0 (8)	203.5 (7)	

년, 2000년, 2001년 순으로 많은 부하량을 보였다. 월별로 살펴보면 월간 총부하량의 경우 1999년 583.2 ton/month(9월), 2000년 433.4 ton/month(9

월), 2001년 351.0 ton/month(7월), 2002년 725.7 ton/month(8월), 2003년 721.1 ton/month(7월)의 값으로 연간 총부하량은 2003년이 가장 많았으나, 월

간 최대 부하량은 2002년 8월로 일최대 부하량이나 년 총부하량과는 다른 경향을 보였다. 이는 우리나라 기후 특성상 여름철 강우 집중기가 매년 달라지기 때문에 나타나는 현상으로 판단할 수 있다. 이러한 현상은 BOD와 유사하게 TN에서도 나타났다. 이는 본 연구에서 개발된 모형의 기본은 오염물은 물과 같이 하천으로 유출된다고 가정하였기 때문에 오염물은 강우와 함께 하천으로 유입되어 발생하는 현상이다.

낙동강 중류 대구광역시권의 금호강의 경우 유역 지천들 중 가장 심하게 오염되어 있으며, 낙동강에 대한 오염부하 또한 대단히 높다. 이러한 금호강에 대한 일별 유달부하량 추정모형을 통해 산정된 TN 부하량을 면밀히 검토하여 그 결과를 Table 2에 수록하였다. Table 2에 수록된 바와 같이 일평균 낙동강 본류에 유입되는 금호강의 TN 부하량은 1999~2003년 차례로 각각 15.9, 13.3, 11.2, 14.4, 18.6 ton/day의 값으로 1999년과 2003년의 일평균 낙동강에 대한 TN 부하량이 특히 높게 나타났다. 또한 일최대 값은 1999년의 경우 9월 25일 182.4 ton/day의 값으로 일평균 값의 약 12배의 높은 부하량을 보였으며, 2000년의 경우 9월 14일 183.7 ton/day로 일평균 값의 약 14배의 대단히 높은 부하량을 보였다. 2001년, 2002년, 2003년 역시 일평균과 일최대값과의 비율은 대단히 높은 값을 보였으며, 2001년은 6월 25일에 140.5 ton/day로 최대값을 보였으며, 일평균 값에 대한 비는 약 13배, 2002년의 경우는 202.1 ton/day로 14 배(8월 9일), 2003년은 244.2 ton/day로 13 배(9월 13일)의 결과를 보였다. 금호강의 연도별 일최대값은 1999년, 2000년, 2003년 모두 9월에 집중되어 있었다.

낙동강 중류의 대구광역시권의 하천인 금호강의 낙동강 본류에 대한 연간 총 TN 오염부하량은 1999년 5,785.7 ton, 2000년 4,837.9 ton, 2001년 4,103.0 ton, 2002년 5,260.4 ton, 2003년 6,789.6 ton으로 2003년의 부하량이 가장 높게 조사되었다. 월별로 살펴보면 월간 총부하량의 경우 1999년 849.7 ton/month(8월), 2000년 939.7 ton/month(9월), 2001년 809.4 ton/month(6월), 2002년 643.2 ton/month(8월), 2003년 923.3 ton/month(9월)의 값으로 연간 총부하량은 2003년이 가장 많았으며, 월간 최대부하량 역시 2003년 9월에서 최대값을 보였다.

낙동강유역 서부권의 남강에 대한 일별 유달부하량 추정모형을 통해 산정된 TN 부하량을 면밀히 검토하여 그 결과를 Table 2에 수록하였다. Table 2에 수록된 바와 같이 일평균 낙동강 본류에 유입되는 남강의 TN 부하량은 1999~2003년 차례로 각각 6.13, 5.98, 5.12, 6.76, 7.63 ton/day의

값으로 낙동강 상·중류권의 하천들과는 다소 다른 결과를 보였다. 낙동강 상·중류권의 하천의 경우 1999년과 2003년의 일평균 낙동강에 대한 TN 부하량이 특히 높게 나타났으나 남강의 경우 2002년과 2003년의 일평균 TN 유달부하량이 기타연도에 비해 높게 나타났다. 또한 일최대 값은 1999년의 경우 9월 24일 50.4 ton/day의 값으로 일평균 값의 약 8배의 부하량을 보였으며, 2000년의 경우 8월 5일 78.8 ton/day로 일평균 값의 약 13배의 높은 부하량을 보였다. 2001년, 2002년, 2003년 역시 일평균과 일최대값과의 비율은 대단히 높은 값을 보였으며, 2001년은 6월 25일에 69.7 ton/day로 최대값을 보였으며, 일평균 값에 대한 비는 약 14배, 2002년의 경우는 135.9 ton/day로 20 배(9월 1일), 2003년은 96.5 ton/day로 13배(9월 13일)의 결과를 보였다. 위에서 언급한 바와 같이 남강의 경우 2002년 일평균 부하량과 일최대 부하량과의 비가 20배로 대단히 높은 부하량을 보였다. 남강의 연도별 일최대값은 1999년, 2000년, 2003년 모두 9월에 집중되어 있었다.

낙동강 하류권 남강의 낙동강 본류에 대한 연간 총 TN 오염부하량은 1999년 2,235.7 ton, 2000년 2,182.9 ton, 2001년 1,868.0 ton, 2002년 2,468.2 ton, 2003년 2,785.0 ton으로 2003년의 부하량이 가장 높았으며, 다음으로 2002년, 1999년, 2000년, 2001년 순으로 높은 값을 보였다. 월별로 살펴보면 월간 총부하량의 경우 1999년 387.0 ton/month(9월), 2000년 478.5 ton/month(8월), 2001년 346.6 ton/month(6월), 2002년 426.4 ton/month(9월), 2003년 671.5 ton/month(7월)의 값으로 연간 총부하량은 2003년이 가장 많았으며, 월간 최대부하량 역시 2003년 7월에서 최대값을 보였다.

위에서 언급한 내성천, 금호강 및 남강 이외의 일별로 유달부하량을 모의 발생한 영강, 남강, 양산천 등 11개 낙동강 유역 주요지천에 대한 상세한 내용은 Table 2에 상세히 수록하였다. 이들 하천 역시 위에서 언급한 내성천, 금호강 및 남강과 유사한 경향으로 여름철 집중 강우기에 하천으로 오염물은 집중 부하되었다.

### 3) 주요지천의 TP 유달부하량 평가

낙동강 유역 내성천, 영강, 금호강, 남강, 양산천 등 13개 주요지천에 대한 연도별(1999~2003년) 일평균 TP 유달부하량, 연간 총 TP 유달부하량, 각 연도별 최대부하를 보였던 날짜, 각 연도의 월별 유달부하량 중 최대 부하를 보였던 월을 조사하여 Table 3에 수록하였다.

낙동강 유역 상류 지천인 내성천의 경우 유역

Table 3. Daily average, yearly total, daily and monthly maximum for TP loads

Sites	Year	TP Loads					Sites	Year	TP Loads				
		1999	2000	2001	2002	2003			1999	2000	2001	2002	2003
Nae sung chun	Daily Ave.	0.15	0.12	0.10	0.14	0.17	Hea chun	Daily Ave.	0.03	0.03	0.02	0.03	0.04
	Yearly Total	54.5	43.6	37.1	51.3	61.7		Yearly Total	11.48	9.50	8.24	10.6	14.0
	Daily Max. (Date)	1.55 (9.24)	2.01 (7.24)	1.18 (7.17)	1.88 (8.8)	1.58 (8.20)		Daily Max. (Date)	0.36 (9.24)	0.32 (9.14)	0.27 (6.25)	0.38 (8.9)	0.40 (9.13)
	Monthly Max.	10.3 (9)	7.6 (9)	6.2 (7)	12.8 (8)	12.7 (7)		Monthly Max.	2.59 (9)	1.81 (9)	1.59 (6)	3.16 (8)	3.38 (7)
	Daily Ave.	0.04	0.03	0.03	0.04	0.05		Hwang gang	Daily Ave.	0.11	0.11	0.09	0.14
Yearly Total	14.4	11.6	9.82	13.6	16.3	Yearly Total	40.8		39.9	34.1	50.7	50.9	
Daily Max. (Date)	0.41 (9.24)	0.53 (7.24)	0.31 (7.17)	0.50 (8.8)	0.48 (8.20)	Daily Max. (Date)	0.92 (9.24)		1.44 (8.5)	1.27 (6.25)	2.79 (9.1)	1.76 (9.13)	
Monthly Max.	2.72 (9)	2.02 (9)	1.64 (7)	3.38 (8)	3.36 (7)	Monthly Max. (Month)	7.07 (9)		8.74 (8)	6.33 (6)	12.8 (8)	12.3 (7)	
Daily Ave.	0.05	0.05	0.04	0.05	0.07	Nam gang	Daily Ave.		0.22	0.21	0.18	0.24	0.27
Yearly Total	18.0	17.0	12.9	19.3	24.5		Yearly Total	79.7	77.8	66.6	88.0	99.3	
Daily Max. (Date)	0.48 (9.24)	0.53 (9.14)	0.33 (6.25)	0.55 (8.8)	0.61 (9.13)		Daily Max. (Date)	1.80 (9.24)	2.81 (8.5)	2.49 (6.25)	4.84 (9.1)	3.44 (9.13)	
Monthly Max.	3.92 (9)	3.26 (9)	2.32 (6)	5.19 (8)	5.83 (7)		Monthly Max. (Month)	13.8 (9)	17.1 (8)	12.4 (6)	22.3 (8)	23.9 (7)	
Daily Ave.	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03		Kwang ryu chun	Daily Ave.	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
Yearly Total	7.51	6.95	4.94	8.94	10.5	Yearly Total		5.59	2.85	3.08	3.86	4.31	
Daily Max. (Date)	0.21 (9.24)	0.24 (8.27)	0.11 (6.19)	0.30 (8.8)	0.28 (9.13)	Daily Max. (Date)		0.14 (9.20)	0.61 (8.25)	0.13 (6.24)	0.14 (8.9)	0.14 (9.12)	
Monthly Max.	1.45 (9)	1.24 (8)	0.81 (6)	2.28 (8)	2.24 (7)	Monthly Max. (Month)		1.11 (9)	0.51 (7)	0.68 (6)	1.08 (8)	0.87 (7)	
Daily Ave.	0.09	0.08	0.06	0.09	0.12	Hwa po chun		Daily Ave.	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02
Yearly Total	31.9	30.1	22.8	34.2	43.3		Yearly Total	8.37	5.19	5.60	7.03	7.85	
Daily Max. (Date)	1.01 (9.24)	0.96 (9.15)	0.63 (6.25)	1.17 (9.1)	1.37 (9.13)		Daily Max. (Date)	0.21 (9.20)	0.11 (8.25)	0.23 (6.24)	0.25 (8.9)	0.26 (9.12)	
Monthly Max.	7.07 (9)	5.90 (9)	4.07 (6)	8.87 (8)	10.3 (7)		Monthly Max. (Month)	1.66 (9)	0.92 (7)	1.24 (6)	1.97 (8)	1.57 (7)	
Daily Ave.	1.35	1.13	0.96	1.23	1.64		Meel yang gang	Daily Ave.	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04
Yearly Total	493.1	413.3	350.8	449.7	599.9	Yearly Total		15.6	9.69	10.5	13.1	14.7	
Daily Max. (Date)	15.5 (9.25)	15.7 (9.14)	12.0 (6.25)	17.3 (8.9)	21.8 (9.13)	Daily Max. (Date)		0.40 (9.20)	0.21 (8.25)	0.43 (6.24)	0.47 (8.9)	0.48 (9.12)	
Monthly Max.	113.9 (9)	80.3 (9)	67.9 (6)	132.0 (8)	81.9 (9)	Monthly Max. (Month)		3.10 (9)	1.7 (7)	2.31 (6)	3.68 (8)	2.94 (7)	
Daily Ave.	0.06	0.04	0.03	0.05	0.06	Yang san chun		Daily Ave.	0.06	0.04	0.03	0.05	0.06
Yearly Total	20.7	12.8	12.2	18.5	20.7		Yearly Total	20.7	12.8	12.2	18.5	20.7	
Daily Max. (Date)	0.72 (7.30)	0.45 (8.26)	0.41 (6.19)	0.58 (8.9)	0.49 (5.30)		Daily Max. (Date)	0.72 (7.30)	0.45 (8.26)	0.41 (6.19)	0.58 (8.9)	0.49 (5.30)	
Monthly Max.	3.86 (8)	2.47 (8)	2.09 (7)	4.28 (8)	4.81 (7)		Monthly Max. (Month)	3.86 (8)	2.47 (8)	2.09 (7)	4.28 (8)	4.81 (7)	

면적이 낙동강 유역 지천들 중에서는 남강, 금호강 다음으로 넓은 유역으로 주로 생활과 축산에 의한 오염부하가 많은 유역이다. 이러한 특징을 가진 내

성천의 TP 유달부하량을 1999 ~ 2003년의 5년간의 기간에 대한 일별 유달부하량 추정 수식을 통해 일별로 산출하여 이들 결과를 종합하여 Table 3에

수록하였다. Table 3에서 알수 있는 바와 같이 내성천에서 일 평균 낙동강 본류에 유입되는 TP 부하량은 1999-2003년 차례로 각각 0.15, 0.12, 0.10, 0.14, 0.17 ton/day로 1999년과 2003년의 일평균 낙동강에 대한 TP 부하량이 기타 연도에 비해 높게 나타났다.

또한 일최대 값은 1999년의 경우 9월 24일 1.55 ton/day로 일평균 값의 약 10배, 2000년의 경우 7월 24일 2.01 ton/day로 일평균 값의 약 17배로 대단히 높은 부하량을 보였다.

2001년, 2002년, 2003년 역시 일평균에 비해 일최대값은 대단히 높은 비율을 보였으며, 2001년은 7월 17일 최대값을 보였으며, 일평균 값에 대한 비는 약 12배, 2002년의 경우는 14 배(8월 8일), 2003년 11배(8월 20일)의 결과를 보였다. 내성천의 연도별 일최대값은 7, 8월에 집중되어 여름철 강우 집중기에 대부분의 오염물이 하천으로 유입되는 것을 확인할 수 있었다. 낙동강 상류 내성천의 낙동강 본류에 대한 연간 총 TP 유입부하량은 1999년 54.5 ton, 2000년 43.6 ton, 2001년 37.1 ton, 2002년 51.3 ton, 2003년 61.8 ton으로 2003년, 1999년, 2002년, 2000년, 2001년 순으로 많은 부하량을 보였다.

월별로 살펴보면 월간 총부하량의 경우 1999년 10.3 ton/month(9월), 2000년 7.6 ton/month(9월), 2001년 6.2 ton/month(7월), 2002년 12.8 ton/month(8월), 2003년 12.7 ton/month(7월)의 값으로 연간 총부하량은 2003년이 가장 많았으나, 월간 최대부하량은 2002년 8월로 일최대 부하량이나 년 총부하량과는 다른 경향을 보였다. 이는 우리나라 기후 특성상 여름철 강우 집중기가 매년 달라지기 때문에 나타나는 현상으로 판단할 수 있다. 이러한 현상은 BOD와 TN 역시 TP와 유사한 경향을 보였다. 이는 본 연구에서 개발된 모형의 기본 개념이 오염물은 물과 같이 하천으로 유출된다고 가정하였기 유도된 결과이므로 따라서 본 모형에서는 오염물이 강우와 함께 하천으로 유입되게 된다.

낙동강 중류 대구광역시권의 금호강의 경우 남강 다음으로 넓은 유역면적을 가진 대단히 중요한 국가하천이며, 주 오염원은 생활계에 의한 오염부하가 유역권내에 대도시를 포함하고 있기 때문에 가장 높으며, 다음으로 산업계와 축산계 순으로 높은 부하량을 가진 유역이다. 또한 낙동강 유역권내의 지천들중 오염도가 가장 높은 하천이며, 낙동강 본류에 대한 오염부하 또한 대단히 높은 하천이다. 이러한 금호강에 대한 일별 유달부하량 추정모형을 통해 산정된 TP 부하량을 면밀히 검토하여 그

결과를 Table 3에 수록하였다. Table 3에 수록된 바와 같이 일평균 낙동강 본류에 유입되는 금호강의 TP 부하량은 1999~2003년 차례로 각각 1.35, 1.13, 0.96, 1.23, 1.64 ton/day의 값으로 1999년과 2003년의 일평균 낙동강에 대한 TP 부하량이 특히 높게 나타났다. 또한 일최대 값은 1999년의 경우 9월 25일 15.5 ton/day의 값으로 일평균 값의 약 12배의 높은 부하량을 보였으며, 2000년의 경우 9월 14일 15.7 ton/day로 일평균 값의 약 14배의 대단히 높은 부하량을 보였다. 2001년, 2002년, 2003년 역시 일평균과 일최대값과의 비율은 대단히 높은 값을 보였으며, 2001년은 6월 25일에 12.0 ton/day로 최대값을 보였으며, 일평균 값에 대한 비는 약 13배, 2002년의 경우는 17.3 ton/day로 14 배(8월 9일), 2003년은 21.8 ton/day로 13배(9월 13일)의 결과를 보였다. 금호강의 연도별 일최대값은 1999년, 2000년, 2003년 모두 BOD와 TN 항목과 유사하게 9월에 집중되어 있었다.

낙동강 중류의 대구광역시권의 하천인 금호강의 낙동강 본류에 대한 연간 총 TP 오염부하량은 1999년 493.1 ton, 2000년 413.3 ton, 2001년 350.8 ton, 2002년 449.8 ton, 2003년 599.9 ton으로 2003년의 부하량이 가장 높게 조사되었다. 월별로 살펴보면 월간 총부하량의 경우 1999년 113.9 ton/month(9월), 2000년 80.3 ton/month(9월), 2001년 67.9 ton/month(6월), 2002년 132.0 ton/month(8월), 2003년 81.9 ton/month(9월)의 값으로 연간 총부하량은 2003년이 가장 많았으나, 월간 최대부하량은 1999년 9월에서 최대값을 보였다.

낙동강유역 최대 유역면적을 가진 지천인 서부권의 남강의 경우 주요오염원은 축산계, 생활계, 농업계 순으로 이러한 오염물질의 하천으로의 유입 부하량을 일별로 모의 발생하여 그 결과를 종합하여 Table 3에 수록하였다. Table 3에 수록된 바와 같이 일평균 낙동강 본류에 유입되는 남강의 TP 부하량은 1999~2003년 차례로 각각 0.22, 0.21, 0.18, 0.24, 0.27 ton/day의 값으로 낙동강 상·중류권의 하천들과는 다르게 2003, 2002, 1999, 2000, 2001년 순으로 높은 값을 보였다. 낙동강 상·중류권의 하천의 경우 1999년과 2003년의 일평균 낙동강에 대한 TP 부하량이 특히 높게 나타났으나 남강의 경우 2002년과 2003년의 일평균 TP 유달부하량이 기타 연도에 비해 높게 나타났다. 또한 일최대 값은 1999년의 경우 9월 24일 1.80 ton/day의 값으로 일평균 값의 약 8배의 부하량을 보였으며, 2000년의 경우 8월 5일 2.81 ton/day로 일평균 값의 약 13배의 높은 부하량을 보였으며, 2001년,



2002년, 2003년 역시 일평균과 일최대값과의 비율은 대단히 높은 값을 보였으며, 2001년은 6월 25일에 2.49 ton/day로 최대값을 보였으며, 일평균 값에 대한 비는 약 14배, 2002년의 경우는 4.84 ton/day로 20 배(9월 1일), 2003년은 3.44 ton/day로 13배(9월 13일)의 결과를 보였다. 남강의 연도별 일최대값은 1999년, 2000년, 2003년 모두 9월에 최대값을 보였다.

낙동강 하류권 남강의 낙동강 본류에 대한 연간 총 TP 오염부하량은 1999년 79.7 ton, 2000년 77.8 ton, 2001년 66.6 ton, 2002년 88.0 ton, 2003년 99.3 ton으로 2003년의 부하량이 가장 높았으며, 다음으로 2002년, 1999년, 2000년, 2001년 순으로 높은 값을 보였다. 월별로 살펴보면 월간 총부하량의 경우 1999년 13.8 ton/month(9월), 2000년 17.1 ton/month(8월), 2001년 12.4 ton/month(6월), 2002년 22.3 ton/month(9월), 2003년 23.9 ton/month(7월)의 값으로 연간 총부하량은 2003년이 가장 많았으며, 월간 최대부하량 역시 2003년 7월에서 최대값을 보였다.

위에서 언급한 내성천, 금호강 및 남강 이외의 일별로 TP 유달부하량을 모의 발생한 영강, 위천, 밀양강, 양산천 등 10개 낙동강 유역 주요지천에 대한 상세한 내용은 Table 3에 상세히 수록하였다. 이들 하천 역시 위에서 언급한 내성천, 금호강 및 남강과 유사한 경향으로 여름철 집중 강우기에 하천으로 오염물은 집중 부하되어 우리나라 하천의 전형적인 특징인 높은 하상계수를 본 연구를 통해서도 확인할 수 있었다.

4) 주요지천의 본류에 대한 오염부하평가

Table 4에 낙동강 유역 내성천, 금호강, 황강, 남강 등 주요 13개 지천의 일별 유달부하량 추정 모형에 의해 모의 발생된 1999~2003년(5년간) 일별 유달부하량을 평균하여 지천별, 항목별, 연도별로 수록하였으며, 또한 이들 하천의 낙동강 본류에 대한 오염부하비율을 동시에 수록하였다.

먼저 BOD 부하량에 대해 살펴보면 Table 4에 수록된 바와 같이 1999년의 일평균 낙동강 본류에 유입되는 BOD 부하량은 금호강, 남강, 내성천, 양산천 순으로 높은 값을 가졌으며, 이들 값은 금호강 9.31 kg/day, 남강 4.84 ton/day, 내성천 3.64 ton/day, 양산천 1.65 ton/day이었다. 낙동강 본류에 대한 오염부하비율로는 금호강이 34.9%로 가장 높았으며, 다음은 남강 18.1%, 내성천 13.6%, 양산천 6.18%순으로 높은 비율을 보였다. 반면 광려천 1.84%, 화포천 1.95%, 감천 1.72%등이 낙동강 본류에 대해 대단히 낮은 부하비율을 보였다. 1999년 낙동강 유역 주요지천에서 낙동강 본류에 유입되는 하루 평균 BOD 부하량은 26.7 ton이었다.

2000년의 경우 1999년과는 조금 다른 양상으로 금호강 7.74 ton/day, 남강 4.72 ton/day, 내성천 3.43 ton/day, 황강 1.04 ton/day 순으로 높은 값을 보였다. 부하비율로는 금호강, 남강, 내성천, 황강 순으로 각각 34.5%, 21.0%, 15.3%, 4.63%를 차지하였다. 2000년 낙동강 유역 주요지천에서 낙동강 본류에 유입되는 하루 평균 BOD 부하량은 22.5 ton으로 1999년에 비해서는 다소 감소하였다.

2001년은 2000년과 유사한 경향을 보였으며, 낙동강 본류에 유입되는 지천별 일평균 BOD 부하량

Table 4. BOD loads on thirteen streams in Nakdong river basin(D.A.:Daily Ave.)

Sites	BOD Delivery Loads(kg/day, %)									
	1999		2000		2001		2002		2003	
	D.A.	Load(%)	D.A.	Load(%)	D.A.	Load(%)	D.A.	Load(%)	D.A.	Load(%)
Naesung chun	3.64	13.6	3.43	15.3	3.47	16.6	3.42	13.3	4.12	13.3
Young gang	0.97	3.63	0.78	3.47	0.66	3.15	0.92	3.57	1.11	3.57
Byung sungchun	0.66	2.47	0.62	2.76	0.47	2.24	0.71	2.75	0.90	2.89
Wee chun	0.63	2.36	0.58	2.58	0.42	2.00	0.75	2.91	0.88	2.83
Gam chun	0.46	1.72	0.43	1.92	0.33	1.57	0.49	1.90	0.62	1.99
Keumho gang	9.31	34.9	7.74	34.5	7.31	34.9	8.46	32.8	10.9	35.1
Hea chun	0.80	3.00	0.66	2.94	0.57	2.72	0.73	2.83	0.97	3.12
Hwang gang	1.44	5.39	1.04	4.63	1.20	5.73	1.59	6.16	1.79	5.76
Nam gang	4.84	18.1	4.72	21.0	4.04	19.3	5.34	20.7	6.02	19.4
Kwang Ryuchun	0.49	1.84	0.31	1.38	0.33	1.57	0.41	1.59	0.46	1.48
Hwapo chun	0.52	1.95	0.32	1.43	0.33	1.57	0.43	1.67	0.46	1.48
Meelyang gang	1.29	4.83	0.80	3.56	0.86	4.10	1.08	4.19	1.21	3.89
Yangsang chun	1.65	6.18	1.02	4.54	0.97	4.63	1.47	5.70	1.65	5.31
Total	26.7	100.0	22.5	100.0	21.0	100.0	25.8	100.0	31.1	100.0

은 금호강 7.31 ton, 남강 4.04 ton, 내성천 3.47 ton, 황강 1.20 ton 순으로 높은 값을 보였다.

부하비율 역시 금호강이 가장 높은 34.9%를 차지하여 1999년, 2000년과 유사한 값을 보였으며, 다음으로는 남강 19.3%, 내성천 16.6%, 황강 5.73%순이었으며, 밀양강과 양산천이 각각 4.10, 4.62%로 유사한 부하율을 보였다.

2002년과 2003년 역시 2001년과 동일한 순서로 낙동강 본류에 대한 오염부하율이 높았으며, 오염부하비율은 연도별로 다소 차이를 보였다. 2002년의 부하율을 금호강이 32.8%로 가장 높았으며 다음으로 남강 20.7%, 내성천 13.3%, 황강 6.16%순이었다. 2003년 역시 금호강이 35.1%로 낙동강 본류에 대해 가장 높은 부하율을 보였으며, 남강 19.4%, 내성천 13.3%, 황강 5.76%, 양산천 5.31% 순으로 낙동강 본류에 대해 높은 부하율을 보였다.

다음으로 TN 부하량에 대해 살펴보면 Table 5에 수록된 바와 같이 Table 4의 BOD 부하량과는 다소 차이를 보였다. Table 5의 낙동강 본류에 대한 TN 부하량을 연도별로 살펴보면 1999년의 일평균 낙동강 본류에 유입되는 TN 부하량은 금호강, 내성천, 남강, 회천, 황강 순으로 높은 값을 가졌으며, 이들 값은 금호강 15.9 ton/day, 내성천 8.48 ton/day, 남강 6.13 ton/day, 회천 4.43 ton/day, 황강 3.70 ton/day이었다.

낙동강 본류에 대한 오염부하비율로는 금호강이 28.8%로 가장 높았으며, 다음은 내성천 15.4%, 남강 11.1%, 회천 8.03%, 황강 6.70%순으로 높은 비율을 보였다. 반면 광려천 0.47%, 화포천 0.59%, 병

성천 1.52%등이 낙동강 본류에 대해 대단히 낮은 부하비율을 보였다. 1999년 낙동강 유역 주요지천에서 낙동강 본류에 유입되는 하루 평균 TN 부하량은 55.19 ton이었다.

2000년의 경우 1999년 유사한 경향으로 금호강 13.3 ton/day, 내성천 6.79 ton/day, 남강 5.99 ton/day, 회천 3.66 ton/day 순으로 높은 값을 보였다. 부하비율로는 금호강, 내성천, 남강, 회천, 황강 순으로 각각 28.7%, 14.7%, 13.0%, 7.91%, 7.80%를 차지하였다. 2000년 낙동강 유역 주요지천에서 낙동강 본류에 유입되는 하루 평균 TN 부하량은 46.27 ton으로 1999년에 비해서는 다소 감소하였다. 1999년에 비해 2000년의 낙동강 유역 주요지천의 일평균 부하량은 조사대상 모든 지천에서 감소하였지만 각 지천이 낙동강 본류에 부하되는 TN의 부하율은 병성천, 위천, 감천, 황강, 남강에 있어서 1999년에 비해 2000년이 다소 증가되었다.

2001년은 2000년과 유사한 경향을 보였으며, 낙동강 본류에 유입되는 지천별 2001년 일평균 TN 부하량은 금호강 11.2 ton, 내성천 5.77 ton, 남강 5.12 ton, 회천 3.18 ton 순으로 높은 값을 보였다. 부하비율 역시 금호강이 가장 높은 28.4%를 차지하여 1999년, 2000년과 유사한 값을 보였으며, 다음으로는 내성천 14.6%, 남강 13.0%, 회천 8.05%, 황강 7.83% 순이었다.

낙동강 유역 주요지천에서 일별로 낙동강 본류에 유입되는 2001년 TN 유입부하량은 39.5 ton으로 1999년에 비해서는 15.7 ton감소하였으며, 2000년에 비해서는 6.77 ton이 감소하였다. 2002년과 2003

Table 5. TN loads on thirteen streams in Nakdong river basin(D.A.:Daily Ave.)

Sites	TN Delivery Loads(kg/day, %)									
	1999		2000		2001		2002		2003	
	D.A.	Load(%)	D.A.	Load(%)	D.A.	Load(%)	D.A.	Load(%)	D.A.	Load(%)
Naesung chun	8.48	15.4	6.79	14.7	5.77	14.6	7.98	14.9	9.61	14.8
Young gang	3.12	5.65	2.50	5.40	2.12	5.37	2.94	5.51	3.54	5.45
Byungsung chun	1.52	2.75	1.43	3.09	1.08	2.74	1.63	3.05	2.06	3.17
Wee chun	1.64	2.97	1.51	3.26	1.08	2.74	1.95	3.65	2.29	3.53
Gam chun	3.40	6.16	3.21	6.94	2.43	6.16	3.65	6.84	4.61	7.10
Keumho gang	15.9	28.8	13.3	28.7	11.2	28.4	14.4	27.0	18.6	28.6
Heachun	4.43	8.03	3.66	7.91	3.18	8.05	4.07	7.62	5.39	8.30
Hwang gang	3.70	6.70	3.61	7.80	3.09	7.83	4.09	7.66	4.61	7.10
Namgang	6.13	11.1	5.99	13.0	5.12	13.0	6.76	12.7	7.63	11.7
KwangRyu chun	0.47	0.85	0.29	0.63	0.31	0.79	0.39	0.73	0.44	0.68
Hwapo chun	0.59	1.07	0.37	0.80	0.40	1.01	0.50	0.94	0.56	0.86
Meelyang gang	3.41	6.18	2.12	4.58	2.29	5.80	2.87	5.38	3.20	4.93
Yangsang chun	2.4	4.35	1.49	3.22	1.41	3.57	2.15	4.03	2.40	3.70
Total	55.2	100.0	46.3	100.0	39.5	100.0	53.4	100.0	64.9	100.0

년 역시 1999~2001년과 유사한 경향을 보였지만 2002년의 경우 1999~2001년과는 다소 다른 경향으로 회천과 황강의 낙동강 본류에 대한 부하율이 1999~2001년과는 반대의 경향으로 황강의 부하율이 회천에 비해 높게 나타났다.

2002년의 낙동강 본류에 대한 유입부하량을 하천별로 살펴보면 금호강이 14.4 ton으로 가장 많았으며, 다음으로 내성천 7.98 ton, 남강 6.76 ton, 황강 4.09 ton, 회천 4.07 ton 순이었다. 2002년의 결과를 부하비율로 살펴보면 부하비율 역시 금호강이 27.0%로 낙동강 본류에 대해 가장 높은 부하율을 보였으며, 다음으로 내성천 14.9%, 남강 12.7%, 황강 7.66%, 회천 7.62% 순으로 낙동강 본류에 대해 높은 부하율을 보였다.

2002년 낙동강 유역 주요지천에서 낙동강본류에 유입되는 일평균 TP 유입부하량은 53.4 ton으로 2001년에 비해 증가된 강우에 기인 13.9 ton이 증가하였다.

2003년 낙동강 유역 주요 지천의 낙동강 본류에 대한 유입부하량은 금호강이 18.6 ton으로 가장 많았으며, 다음으로 내성천 9.61 ton, 남강 7.63 ton, 회천 5.39 ton, 감천과 황강이 4.61 ton 순으로 많았다. 부하율에 있어서는 금호강이 28.6%로 가장 높았으며, 다음으로 내성천 14.8%, 남강 11.7%, 회천 8.30%순이 었으며, 황강과 감천이 7.10% 동일한 부하율을 보였다. 2003년 낙동강 유역 13개 주요지천에서 낙동강 본류에 유입된 일평균 TN 부하량은 64.9 ton으로 조사대상 1999~2003년 중 가장 높은 값을 보였다.

1999~2003년(5년)에 대한 낙동강 유역 금호강, 남강, 황강 등 13개 주요 지천의 낙동강 본류에 대한 일별 TP 유입부하량을 TP 유입부하량 추정 모델을 통해 모의 산정한 결과를 일평균 부하량 및 부하비율로 전환하여 Table 6에 수록하였다.

Table 6에 수록된 바와 같이 각 지천별 TP 유입부하량의 경우 BOD 및 TN 유입부하량과는 큰 차이를 보였다. Table 6의 낙동강 본류에 대한 TP 부하량을 연도별로 살펴보면 1999년의 일평균 낙동강 본류에 유입되는 TP 부하량은 금호강, 남강, 내성천, 황강, 감천 순으로 높은 값을 가졌으며, 이들 값은 금호강 1.32 ton/day, 남강 0.22 ton/day, 내성천 0.15 ton/day, 황강 0.11 ton/day, 감천 0.09 ton/day로 조사되었다.

낙동강 본류에 대한 오염부하비율로는 금호강이 60.8%의 대단히 높은 값을 보였으며, 다음은 남강 10.1%, 내성천 6.91%, 황강 5.07%, 감천 4.15%순으로 높은 비율을 보였다. 위에서 언급한 바와 같이 BOD 및 TN 부하량의 경우 금호강이 차지하는 낙동강 본류에 대한 오염부하 비율은 30% 내외의 값을 가진 반면 TP의 경우 BOD 및 TN 부하율의 두배에 해당하는 60%이상의 높은 부하비율을 보였다. 1999년 낙동강 유역 13개 주요지천에서 낙동강 본류에 유입된 일평균 TP 유입부하량은 2.17 ton/day로 조사되었다. 또한 위천, 광려천, 화포천 등의 경우 낙동강 본류에 대한 부하 비율이 모두 동일한 0.92%로 대단히 낮은 부하율을 보였다.

2000년의 경우 1999과 유사한 경향으로 금호강 1.13 ton/day, 남강 0.21 ton/day, 내성천 0.12 ton/

Table 6. TP loads on thirteen streams in Nakdong river basin(D.A.:Daily Ave.)

Sites	TN Delivery Loads(kg/day, %)									
	1999		2000		2001		2002		2003	
	D.A.	Load(%)	D.A.	Load(%)	D.A.	Load(%)	D.A.	Load(%)	D.A.	Load(%)
Naesung chun	0.15	6.91	0.12	6.42	0.10	6.30	0.14	6.70	0.17	6.4
Young gang	0.04	1.84	0.03	1.60	0.03	1.90	0.04	1.90	0.05	1.88
Byungsung chun	0.05	2.30	0.05	2.67	0.04	2.53	0.05	2.38	0.07	2.63
Wee chun	0.02	0.92	0.02	1.07	0.01	0.63	0.02	0.95	0.03	1.13
Gam chun	0.09	4.15	0.08	4.28	0.06	3.80	0.09	4.29	0.12	4.51
Keumho gang	1.32	60.8	1.13	60.4	0.96	60.8	1.23	58.6	1.64	61.7
Hea chun	0.03	1.38	0.03	1.60	0.02	1.27	0.03	1.43	0.04	1.50
Hwang gang	0.11	5.07	0.11	5.88	0.09	5.70	0.14	6.67	0.14	5.26
Nam gang	0.22	10.1	0.21	11.2	0.18	11.4	0.24	11.4	0.27	10.2
KwangRyu chun	0.02	0.92	0.01	0.53	0.01	0.63	0.01	0.48	0.01	0.38
Hwapo chun	0.02	0.92	0.01	0.53	0.02	1.27	0.02	0.95	0.02	0.75
Meelyang gang	0.04	1.84	0.03	1.60	0.03	1.90	0.04	1.90	0.04	1.50
Yangsang chun	0.06	2.76	0.04	2.14	0.03	1.90	0.05	2.38	0.06	2.26
Total	2.17	100.0	1.87	100.0	1.60	100.0	2.10	100.0	2.70	100.0

day, 황강 0.11 ton/day, 감천 0.08 ton/day 순으로 높은 값을 보였다. 부하비율로는 금호강, 남강, 내성천, 황강, 감천 순으로 각각 60.4%, 11.2%, 6.42%, 5.88%, 4.28%를 차지하였다. 2000년 낙동강 유역 주요지천에서 낙동강 본류에 유입되는 하루 평균 TP 유입부하량은 1.87 ton으로 1999년에 비해서는 다소 감소하였다.

2001년역시 1999년 및 2000년과 유사한 경향을 보였으며, 낙동강 본류에 유입되는 지천별 2001년 일평균 TP 부하량은 금호강 0.96 ton, 남강 0.18 ton, 내성천 0.10 ton, 황강 0.09 ton 순으로 높은 값을 보였다. 부하비율 역시 금호강이 가장 높은 60.8%로 대단히 높은 값을 보였으며, 다음으로는 남강 11.4%, 내성천 6.30%, 황강 5.70%, 감천 3.80% 순이었다.

낙동강 유역 주요지천에서 일별로 낙동강 본류에 유입되는 2001년 TP 유입부하량은 1.60 ton으로 1999년에 비해서는 0.57 ton감소하였으며, 2000년에 비해서는 0.27 ton이 감소하였다.

2002년과 2003년 역시 1999~2001년과 유사한 경향을 보였다. 2002년의 낙동강 본류에 대한 유입부하량을 하천별로 살펴보면 금호강이 1.23 ton으로 가장 많았으며, 다음으로 남강 0.24 ton, 내성천과 황강이 동일한 0.14 ton, 감천 0.09 ton 순이었다. 2002년의 결과를 부하비율로 살펴보면 부하비율 역시 금호강이 58.6%로 낙동강 본류에 대해 가장 높은 부하율을 보였으며, 다음으로 남강 11.4%, 내성천 6.70%, 황강 6.67%, 감천 4.29% 순으로 낙동강 본류에 대해 높은 부하율을 보였다.

2002년 낙동강 유역 주요지천에서 낙동강본류에 유입되는 일평균 TP 유입부하량은 2.10 ton으로 2001년에 비해 증가된 경우에 기인 0.5 ton이 증가하였다.

2003년 낙동강 유역 주요 지천의 낙동강 본류에 대한 유입부하량은 금호강이 1.64 ton으로 가장 많았으며, 다음으로 남강 0.27 ton, 내성천 0.17 ton, 황강 0.14 ton, 감천 0.12 ton 순으로 많았다. 부하율에 있어서는 금호강이 61.7%로 가장 높았으며, 다음으로 남강이 10.2%, 내성천 6.40%, 황강 5.26%, 감천 4.51 ton순이었다. 반면 광려천이 0.38%로 낙동강 본류에 대한 부하비율이 가장 낮게 조사되었다.

2003년 낙동강 유역 13개 주요지천에서 낙동강 본류에 유입된 일평균 TP 부하량은 2.70 ton으로 조사대상 1999~2003 중 가장 높은 값을 보였다.

#### 4. 결 론

낙동강 유역 내성천, 금호강, 황강, 남강 등 주요 13개 지천의 일별 유달부하량 추정 모형에 의해 모

의 발생된 1999 ~ 2003년(5년간) 일별 유달부하량 값을 분석한 결과 낙동강 유역 주요 지천에서 낙동강 본류에 유입되는 일평균 BOD 유입부하량은 1999년 26.7 ton, 2000년 22.5 ton, 2001년 21.0 ton, 2002년 25.8 ton, 2003년 31.1 ton으로 2003년 가장 많은 양을 보였다.

또한 낙동강 유역 주요 지천에서 본류에 유입되는 하루 평균 총 TN 유입부하량은 1999년 55.19 ton, 2000년 46.27 ton, 2001년 39.5 ton, 2002년 53.38 ton, 2003년 64.9 ton으로 BOD와 유사하게 2003년 가장 많은 양을 보였으며, TP 유입부하량의 경우 1999년 2.17 ton, 2000년 1.87 ton, 2001년 1.60 ton, 2002년 2.10 ton, 2003년 2.70 ton으로 BOD 및 TN과 유사하게 2003년 가장 많은 양을 보였다.

낙동강 유역 주요지천별 본류에 대한 BOD 유입비율은 금호강이 32.8(2002년)~35.1%(2003년)의 범위로 조사대상 지천들 중 가장 높은 본류에 대한 부하비율을 보였으며, 다음으로 남강, 내성천, 황강 순으로 높은 부하율을 보였으며, TN 유입비율 역시 BOD 와 유사한 경향으로 금호강이 27.0(2002년)~28.8%(1999년)의 범위로 조사대상 지천들 가장 높은 본류에 대한 부하비율을 보였으며, 다음으로 내성천, 남강, 회천 순으로 높은 부하율을 보였다. 반면 TP 유입비율은 BOD 및 TN과는 상당히 다른 경향을 보였지만 본류에 대한 최대 부하비율은 금호강으로 BOD, TN과 동일하였지만 부하비율은 BOD, TN에비해 대단히 높은 값으로 58.6(2002년)~61.7%(2003년)의 범위로 금호강 단일 하천에서 낙동강 본류에 유입되는 TP 부하율이 50% 이상을 차지함으로 본류에 대한 오염부하율이 금호강이 대단히 높았다.

#### 참 고 문 헌

- 1) Beasley, D. B., Huggins L. F., Monke E. J., 1980, ANSWERS: A Model for watershed planning, Transaction of the ASAE, 23(4), 938-944.
- 2) Jain, C. K., Bhatia K. K. S., Seth S. M., 1998, Assessment of point and non-point sources of pollution using a chemical mass balance approach, Hydrological Sciences, 43(3), 379-390.
- 3) 윤영삼, 유재정, 김문수, 이해진, 신주남, 양상용, 2003, 낙동강 유역 소수계별 유달부하량 산정 및 평가모델 개발, 낙동강물환경연구소 연구보고서.
- 4) Yoon Y. S., Kim M. S., YuJ. J., Lee H. J., Lee J. B., Yang S. Y., 2007, Development of

- the estimation model on daily pollutant loads for the watersheds in the nakdong river basin, I. correction and verification for the model, J. Enviro. Sci., 16(2), 203-210.
- 5) 조태웅, 황동진, 윤영삼, 유재정, 오수태, 정제호, 임태효, 박정민, 서정관, 이재정, 이수형, 김문주, 최병근, 양진영, 이진애, 2001, 낙동강 수계별 오염부하량 조사연구(I), 낙동강물환경연구소 연구보고서, NIER No. 2001-35-627.
- 6) 양상용, 윤영삼, 황동진, 유재정, 오수태, 정제호, 서정관, 박정민, 이재정, 김문수, 이혜진, 임태효, 양진영, 권영호, 조태웅, 2002, 낙동강 수계별 오염부하량 조사연구(II), 낙동강물환경연구소 연구보고서, NIER No. 2002-31-670.