

## 금강지류 유역에서의 유출량과 오염부하량의 상관관계 분석 An Analysis on the Relationship between Discharge and Pollution Load on the Tributary Basin of Kum River

정 상 만\* / 임 경 호\*\* / 최 정 현\*\*\*

Jeong, Sang Man / Lim, Kyeong Ho / Choi, Jeong Hyun

### Abstract

This study estimates the pollution load in a basin by regional groups analyzing the relationship between the discharge and pollution load. The study area is placed in the Miho stream basin known as the main tributary of the Kum river. Four major Telemetry streamflow stations are chosen. In this research, discharge and water quality in a dry season and a flood season from the observed discharge in the stream are analyzed. The Rating-Curve and the Pollutograph are drawn analyzing discharge and water quality at the major stations. The characteristics of runoff for each stream are analyzed and the change of water quality are analyzed for rainfall period. The relationship between discharge and water quality has been investigated. The relationship between the discharge and pollution load is analyzed and a representative equation is derived. These relationships permit an estimates of the pollution load at the Miho stream basin.

*keywords* : Miho stream basin, diffuse sources of pollution, discharge and pollution load, discharge and water quality

### 요 지

본 연구는 금강의 주요지류인 미호천 유역에 소재하고 있고 주요 텔레미터 수위표가 위치한 4개의 지점을 선정하여 유출량과 오염부하량의 상관성 분석을 통해 각 소유역의 전체 오염부하량을 추정하였다. 본 연구에서는 대상유역의 유출측정 지점을 중심으로 평·갈수시 및 홍수시의 유출량 및 수질을 분석하였다. 분석된 유출량 및 수질자료를 통해 유역의 수위-유량관계곡선과 농도변화곡선을 작성하였다. 유역별로 유출특성을 분석하였고, 강우시의 수질농도 변화를 분석하였다. 그리고, 유출량과 수질항목간의 상관관계를 분석하였고, 단위면적당 유출량 변화에 따른 단위면적당 오염부하량과의 상관관계 분석을 통해 유역별 상관식을 도출하였다. 이 관계식은 미호천 유역에서의 유출량 변화에 따른 오염부하량의 산정에 이용될 수 있을 것이다.

**핵심용어** : 미호천 유역, 비점오염원, 유출량과 오염부하량, 유출량과 수질

\* 공주대학교 토목환경공학과 부교수

Associate Professor, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Kongju National University, Kongju, Chungnam, 314-701, Korea (E mail : smjeong@kongju.ac.kr)

\*\* 공주대학교 토목환경공학과 조교수

Assistant Professor, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Kongju National University, Kongju, Chungnam, 314-701, Korea

\*\*\* 공주대학교 대학원 토목공학과 석사과정

Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Kongju National University, Kongju, Chungnam, 314-701, Korea

## 1. 서 론

우리나라는 토지이용이 고밀도로 이루어지고 있기 때문에 유역에서 발생하는 오염물질 중 비점오염원의 비율이 매우 높고 발생량의 대부분이 하천으로 유입되고 있다. 4대강의 하나인 금강도 우리나라의 다른 주요하천과 마찬가지로 하류쪽으로 갈수록 점점 물오염이 심각해지고 있다. 이에 따라 평·갈수시 및 홍수시의 물오염원과 물오염현황을 파악하여 대상유역으로 흘러 들어오는 유출량과 오염부하량을 동시에 조사하고 이를 통해 현실적인 수질관리 대책을 제시할 필요가 커지고 있다. 따라서 하천에 대한 현실적인 수질관리를 위해 유역별 전체 오염부하량 파악이 필요하다.

본 연구는 하천의 물리적, 생화학적 주요 수질항목을 중심으로 이들간의 상관성 분석을 통해 하천수질관리 대책을 위한 기초자료를 제공함과 더불어 효율적인 유역관리를 위해 필요한 기초조사 및 해석을 수행하는데 그 목적이 있다.

이를 위해 금강수계의 지류인 미호천유역을 대상으로 평·갈수시 및 홍수시에 발생하는 유량 및 수질을 분석하고, 유량조사와 수질조사를 통해 대상유역의 수위-유량곡선(Rating-Curve)과 농도변화곡선(Pollutograph)을 작성하였고, 유량변화곡선과 유출특성치를 통해 유역의 유출특성을 살펴보았다. 또한 오염원이 집중되는 대표지점을 선정하여 홍수기와 비홍수기의 유출수질농도의 변화특성을 분석하였고, 통계학적 기법을 도입하여 유출량과 수질항목간의 상관관계를 분석하였으며 이를 바탕으로 대상지점별 단위면적당 유출량 변화에 따른 단위면적당 오염부하량과의 상관관계를 도출하고자 하였다.

강우시 소유역에서 유출되는 오염물질의 특성 및 해석에 관한 연구는 많은 연구자들에 의해 수행되었는데, 국내에서 이관영(1995)은 강우강도, 유출량, 부하량과 농도와의 4가지 함수를 이용하여 구성한 여러 모델을 실측값과 비교한 결과, 유출량과 오염부하량의 지수함수로 구성된 모델이 실측농도에 가장 잘 일치된다고 보고하였다. 이준호 등(1996)은 강우지속시간에 따른 오염물질 농도변화를 예측하는 모델식을 제안하고 실측자료와 비교한 결과, BOD<sub>5</sub>, COD, SS성분과는 모델의 예측값이 잘 일치하는 경향을 보였고, T-N, T-P는 예측력이 다소 부족한 결과를 얻었다. 방기웅 등(1997)은 도시지역에서 강우시 발생하는 합류식하수관의 월류수에 대한 유출특성을 파악하고, 오염물질의

농도를 예측할 수 있는 모델을 개발, 적용하여 모델 적용성에 대하여 평가하였다. 권순국(1998)은 우리나라 비점원 수질오염 관리의 문제점과 개선방안 연구를 통해 우리나라에서 관심을 보이지 않고 있지만 가까운 미래에 중요성이 부각될 잠재적 오염원인 비점오염원에 대하여 우리나라에서의 실태와 문제점을 살펴보고 개선방안을 제시하였다.

외국에서의 비점오염원에 대한 연구는 1920년대 초기에 주로 농촌지역에 대한 강우시 토양유실을 중심으로 연구가 이루어졌으며, 1960년대 후반부터 중요성이 인식되어 1970년대 초반에서 1980년대 초까지 매우 활발한 연구가 진행되었으며, 현재에도 비점오염원에 관련된 연구는 지속적으로 이루어지고 있다.

Sartor 등(1974)은 인공적으로 거리에 살수를 하여 노면의 상태, 토지이용별 오염물질의 유출특성에 대해 연구하였는데, 오염물질의 유출량은 강우강도에 비례하며, 노면에 축적된 오염부하량에 비례한다는 관계를 제시하였다. 현재까지 개발된 많은 유출모델들이 Sartor 등의 연구를 기초로 하여 제시되었다.

Colston(1974)은 도시지역의 여러 토지이용별 소유역에 대해 2년간 강우시 유출수질 및 유출량을 분석하여 수질농도 C를 예측하는 함수로 유출량 Q, 강우지속시간 T, 그리고 회귀계수 a, b, c를 이용하여  $C = a \cdot Q^b \cdot T^c$  란 관계식을 제안하였다. Loehr(1974)는 도시지역과 비도시지역, 산림지역 등 토지이용에 따라 강우시 단위면적당 연간 오염물질 발생부하량을 제시하였고, 발생원단위를 수질성분별, 계절별로 제시하였다. Klemetson(1985)은 SS에 대해 Colston이 제시한 유출량과 강우지속시간과의 함수식을 적용한 결과, 강우강도, 강우지속시간과 밀접한 관계가 있음을 밝혔다.

和田(1990)은 강우시 합류식하수관 월류수의 수질변동을 조사한 결과 건기시 농도변화보다 2~3배의 범위이고, 유역에 따라서 최대농도는 평균농도의 10배를 초과한다고 하였다. 또한 단위면적당, 단위강우량당 강우시 유출되는 오염부하량은 BOD<sub>5</sub>, COD, SS에 대해 각각 0.898 kg/ha/mm, 0.553 kg/ha/mm, 1.897 kg/ha/mm를 제시하였는데, SS의 경우 건기시와 비교하여 강우시에 3배 이상의 부하량을 나타내는 것으로 밝히고 있다.

## 2. 대상유역의 선정 및 분석항목

### 2.1 대상유역의 선정

본 연구의 대상유역인 미호천 유역은 금강분류의 물 오염에 중요한 영향을 미치는 지점으로 충남 북부지역의 강우유출수가 집중되고, 유출량과 수질의 동시측정이 용이한 지점이다. 유출량 산정을 위한 유량측정은 접근이 용이한 석화(1,589.6km), 북일(896.3km), 옥산(339.4km), 청주(158.8km) T/M 수위관측소 지점을 선정하였고, 오염부하량 산정을 위한 수질조사지점은 유량측정지점과 가장 근접해 있는 미호천(미호천교), 미호천(신팔교), 병천천(쌍신교), 무심천(문암동 철교)을 각각 선정하였다. 선정된 미호천 유역의 주요 유량측정지점과 수질조사지점을 나타내면 그림 1과 같다.

### 2.2 유량과 수질 분석

미호천 유역에 대한 유량과 수질을 조사하기 위해 1998년 3월~1999년 9월까지의 기간동안 현장답사 및 단면측량을 통해 월2회 정기적으로 유량측정, 수질조사를 실시하였다. 월평균유출량 산정을 위해 조사기간동안의 유량측정 결과와 기존의 성과(건설교통부, 1995~1998)를 이용하여 그림 2와 같이 주요지점의 수위-유량곡선을 개발하였다. 수질분석방법은 표준분석방법(Standard Method)에 준하여 실시하였으며, 수질조사결과 분석된 주요지점별 DO, BOD<sub>5</sub>, COD, SS, T-N, T-P 등의 농도변화곡선은 그림 3과 같다.

DO는 계절에 따라 6~15 mg/L의 범위를 나타내었으나 오염원이 집중되는 하류지역인 석화에서 비교적 낮게 나타났다.

BOD<sub>5</sub>의 분석결과 옥산과 청주에서는 대부분의 기

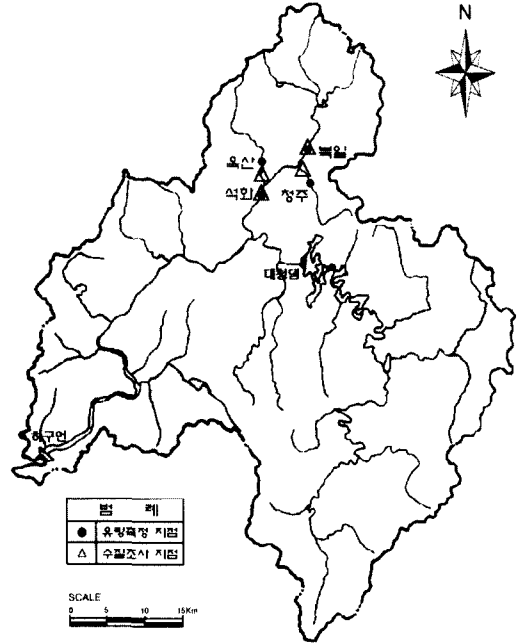
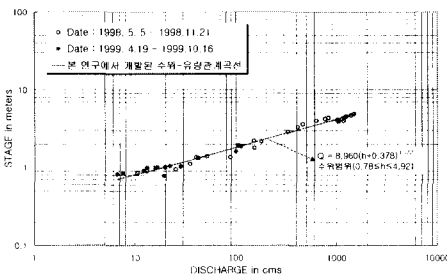


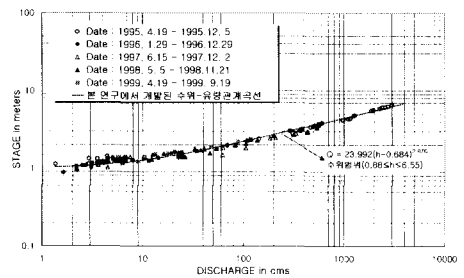
그림 1. 유량측정 및 수질조사지점 위치도

간동안 2등급의 수질(1~3 mg/L)을 나타내는 반면, 하류지역인 석화와 북일에서는 비교적 큰 폭의 변화를 보이면서 오염강도가 큰 것으로 나타났으며, COD와 SS는 BOD<sub>5</sub>와 비슷한 변화추세를 보이고 있다.

한편, 영양염류의 경우도 양호한 수질을 보이는 옥산과 청주의 경우 2.0~4.0 mgT-N/L 과 10~200 µg T-P/L 을 보이고 있는 반면 석화와 북일에서는 2.0~9.5 mgT-N/L 및 100~400 µgT-P/L 로 큰 폭의 변화를 보이고 있다.

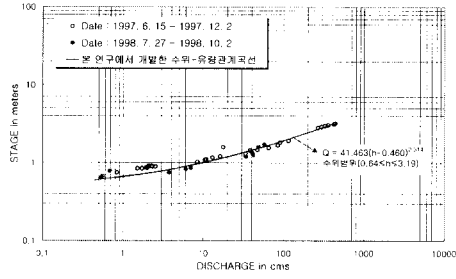


(a) 석화지점

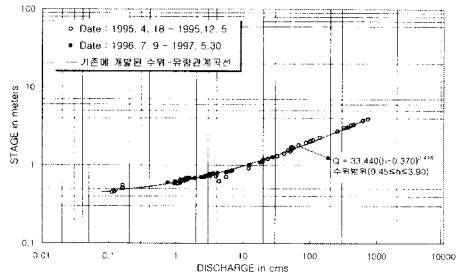


(b) 북일지점

그림 2. 주요지점의 수위-유량관계곡선(계속)

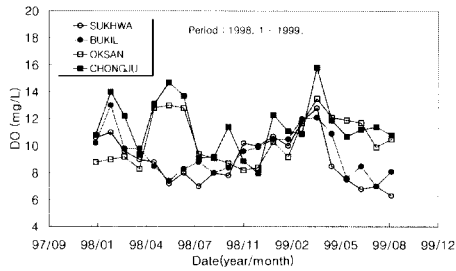


(c) 옥산지점

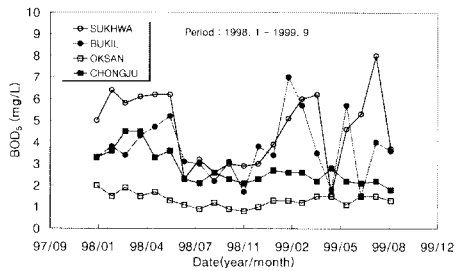


(d) 청주지점

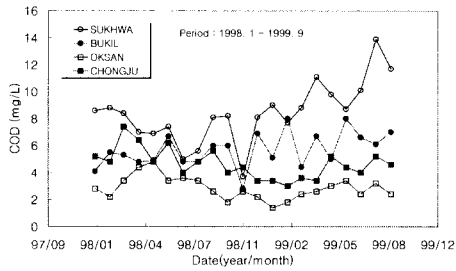
그림 2. 주요지점의 수위-유량관계곡선



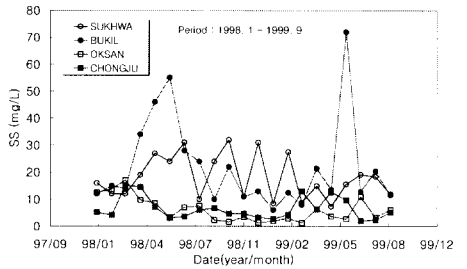
(a) DO의 변화



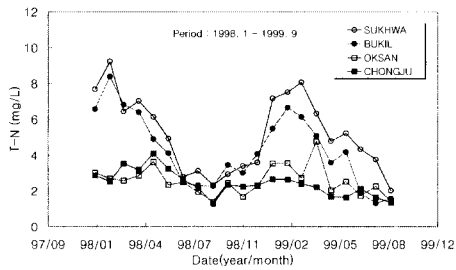
(b) BOD<sub>5</sub>의 변화



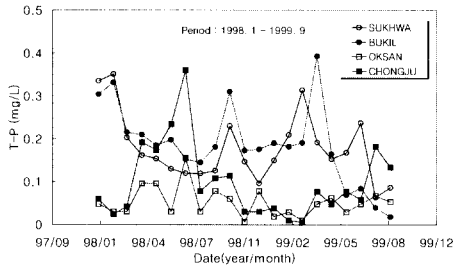
(c) COD의 변화



(d) SS의 변화



(e) T-N의 변화



(f) T-P의 변화

그림 3. 주요지점별 수질농도의 변화

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 미호천 유역의 유출특성 및 오염물질 이동 특성

본 연구에서는 미호천 유역의 유출특성을 파악하기 위하여 '99년 7월 27일 ~ '99년 8월 5일의 호우사상을 선정하여 시간별 수위를 수위-유량관계곡선에 적용하여 유량으로 환산한 뒤 유량수문곡선을 작성하고 표 1과 같이 주요 지점에서 측정된 유출량 및 수질에 대한 통계특성치(왜곡도계수, 첨도계수)를 살펴본 결과, 불투수층 면적비율이 크고 유역면적이 작은 옥산과 청주는 강우초기에 유출량의 증가와 함께 급격한 농도증가현상으로 정규분포형태보다 분포중심이 좌측으로 치우치는 경향을 가지며, 예리한 첨두값을 가지는 것으로 나타났다. 또한 대체로 유역면적이 크고, 투수층 면적비율이 큰 석화, 복일의 경우는 유출량의 증가에 따라 수질농도도 증가하지만 같은 유량증가에서의 농도변화

폭은 옥산, 청주보다 작은 특성을 나타내었다.

미호천 유역의 오염물질 이동특성을 살펴보기 위하여 '98년 ~ '99년에 걸쳐 조사된 수질농도의 변화양상을 정리하였는데, 유역경사가 완만한 석화, 복일, 옥산, 청주 순으로 홍수기와 비홍수기로 나누어 수질농도의 변화특성을 표 2 ~ 표 5에 나타내었다.

전반적으로 비홍수기보다 홍수기에 유출량과 수질농도변화가 크게 나타났으며 강우강도와 유역경사, 유역면적을 고려하여 수질농도변화를 살펴본 결과 유역경사가 작고 유역면적이 큰 하류지점일수록 수질농도의 변화는 작게 나타났다. 결국 홍수기와 비홍수기의 유출수질농도의 변화는 강우강도와 유역경사, 유역면적 등에 따라 변화폭이 다른 양상을 보임을 알 수 있었다.

#### 3.2 유출량과 오염부하량의 상관관계 분석

##### 3.2.1 유출량과 수질농도간의 상관관계 분석

주요지점에서 조사한 유출량과 수질농도간의 상관관

표 1. 유출량 및 수질에 대한 통계특성치

Constituent	석 화		복 일		옥 산		청 주	
	왜곡도계수	첨도계수	왜곡도계수	첨도계수	왜곡도계수	첨도계수	왜곡도계수	첨도계수
Flow	5.585	31.427	5.550	31.150	2.165	5.451	3.106	11.251
DO	0.487	0.007	0.392	0.370	0.400	-1.403	0.389	-0.150
BOD <sub>5</sub>	0.175	-1.137	0.505	0.098	0.306	-0.129	1.187	0.633
COD	1.823	4.416	1.684	3.800	0.575	0.356	0.734	0.415
SS	5.502	30.783	1.557	1.713	0.965	0.059	1.100	-0.011
T-N	1.348	2.228	1.279	2.392	0.913	1.324	0.460	0.229
T-P	2.646	6.241	1.903	3.259	1.323	2.534	1.525	2.551

표 2. 석화지점 수질농도의 변화특성

Constituent	홍수기 (Wet Periods)				비홍수기 (Dry Periods)			
	'98/6 ~ '98/9		'99/6 ~ '99/9		'98/3 ~ '98/5		'99/3 ~ '99/5	
	Range	Average	Range	Average	Range	Average	Range	Average
Flow(cms)	14.4~703.2	115.5	13.3~2188.4	77.9	14.8~151.0	27.3	11.3~131.6	25.6
DO(mg/L)	7.0~8.0	7.6	4.1~7.7	6.6	8.8~9.6	9.1	6.9~11.8	9.5
BOD <sub>5</sub> (mg/L)	2.3~6.2	3.6	0.9~8.0	4.0	5.8~6.2	6.0	1.6~8.3	5.9
COD(mg/L)	5.0~8.1	6.5	5.3~20.0	10.7	6.9~8.4	7.4	7.4~11.1	9.3
SS(mg/L)	10.0~31.0	22.3	3.5~425.0	50.8	12.0~27.0	19.3	7.4~41.0	18.9
T-N(mg/L)	2.3~4.9	3.3	3.8~14.7	7.2	6.1~7.0	6.5	4.8~16.7	10.1
T-P(mg/L)	0.11~0.13	0.12	0.06~0.2	0.1	0.1~0.2	0.2	0.1~0.3	0.2

표 3. 북일지점 수질농도의 변화특성

Constituent	홍수기 (Wet Periods)				비홍수기 (Dry Periods)			
	'98/6 ~ '98/9		'99/6 ~ '99/9		'98/3 ~ '98/5		'99/3 ~ '99/5	
	Range	Average	Range	Average	Range	Average	Range	Average
Flow(cms)	4.2~490.7	53.4	2.7~974.9	38.8	0.06~109.6	12.1	0.3~105.9	13.6
DO(mg/L)	7.4~8.8	8.1	4.4~8.5	7.2	8.5~9.8	9.4	7.5~12.1	10.1
BOD <sub>5</sub> (mg/L)	2.2~5.2	3.4	1.0~5.7	2.9	3.4~4.7	4.1	1.8~5.7	3.8
COD(mg/L)	4.8~6.7	5.6	5.9~13.0	7.8	4.8~5.3	5.0	4.4~7.4	5.9
SS(mg/L)	10.0~55.0	29.3	2.0~72.0	22.1	14.0~46.0	31.3	8.0~53.5	26.1
T-N(mg/L)	2.3~4.1	2.8	1.3~11.9	6.4	4.9~6.8	6.0	3.6~16.7	9.0
T-P(mg/L)	0.1~0.2	0.2	0.04~0.2	0.1	0.1~0.2	0.2	0.1~0.4	0.2

표 4. 옥산지점 수질농도의 변화특성

Constituent	홍수기 (Wet Periods)				비홍수기 (Dry Periods)			
	'98/6 ~ '98/9		'99/6 ~ '99/9		'98/3 ~ '98/5		'99/3 ~ '99/5	
	Range	Average	Range	Average	Range	Average	Range	Average
Flow(cms)	0.9~117.8	24.6	0.01~220.8	13.0	2.0~28.5	8.9	0.01~14.8	2.2
DO(mg/L)	8.2~10.3	8.9	8.3~9.2	8.8	9.1~12.8	10.4	9.9~11.7	10.7
BOD <sub>5</sub> (mg/L)	0.9~1.3	1.1	1.1~1.5	1.4	1.5~1.9	1.7	1.2~1.5	1.4
COD(mg/L)	2.6~3.6	3.3	2.4~3.4	2.9	3.4~4.8	4.2	2.4~3.0	2.7
SS(mg/L)	2.3~7.6	5.0	2.7~11.0	5.8	8.6~17.0	11.8	1.3~6.4	3.8
T-N(mg/L)	1.4~2.5	2.0	1.4~2.5	2.0	2.6~3.6	3.0	2.0~4.8	3.2
T-P(mg/L)	0.03~0.16	0.07	0.03~0.07	0.05	0.03~0.1	0.07	0.01~0.06	0.04

표 5. 청주지점 수질농도의 변화특성

Constituent	홍수기 (Wet Periods)				비홍수기 (Dry Periods)			
	'98/6 ~ '98/9		'99/6 ~ '99/9		'98/3 ~ '98/5		'99/3 ~ '99/5	
	Range	Average	Range	Average	Range	Average	Range	Average
Flow(cms)	0.5~163.7	10.3	0.2~32.6	3.1	0.002~11.4	1.6	0.02~6.0	0.8
DO(mg/L)	8.1~12.3	10.2	9.4~14.0	11.6	9.1~13.7	10.7	10.8~11.4	11.1
BOD <sub>5</sub> (mg/L)	2.1~3.6	2.7	1.8~2.2	2.1	3.3~4.5	4.1	2.2~2.8	2.5
COD(mg/L)	4.0~6.2	5.2	4.0~5.2	4.6	4.8~7.4	6.2	3.4~5.2	4.1
SS(mg/L)	3.0~6.7	4.9	2.0~9.8	4.8	7.2~15.2	12.3	6.2~13.0	10.6
T-N(mg/L)	1.3~3.2	2.3	1.3~2.1	1.7	3.2~4.1	3.6	1.7~2.4	2.1
T-P(mg/L)	0.1~0.4	0.2	0.06~0.2	0.1	0.04~0.2	0.1	0.005~0.08	0.04

계를 분석한 결과 수질항목별로 0.051~0.673으로 낮은 상관계수값을 보였지만 유출량과 가장 유의한 상관성이 있는 항목으로는 DO, SS로 나타났다. 주요지점

의 토지이용상태가 청주 이외에는 주로 농업지역이므로 SS에 흡착되어 거동을 같이한다고 볼 수 있는 T-P도 강우시 함께 유출되어 비교적 상관성이 큰 것

으로 나타났다. 이 결과는 선행연구 결과와 같은 것으로 나타났다(日本下水道協會, 1982).

### 3.2.2 유출량과 오염부하량의 상관관계 분석

강우시의 오염부하량은 기저유출성분인 자연부하와 가정 및 상공업지역에서 배출되는 오수, 그리고 지표면 세척에 의한 오염부하량의 합이다. 강우시 오염부하량은 강우지속시간에 따라 오염물질의 농도는 감소하여도 유출량 증가로 인하여 오염부하량은 증가하므로 비점오염원 해석에 있어서 중요한 인자이다(Wanielista, 1978).

오염부하량과 유출량과의 관계는 식 (1)과 같이 지수함수로 표현할 수 있다(Huber, 1988).

$$L = a Q^b \quad (1)$$

여기서,  $L$  = 오염부하량(kg/day),  $Q$  = 유출량( $m^3/day$ ) 그리고  $a, b$  = 회귀계수이다.

본 연구에서는 주요지점의 유역면적  $A$ 를 고려하여 식 (1)을 일반화시켜 다음 식 (2)와 같이 나타내었다.

$$\frac{L}{A} = a \left( \frac{Q}{A} \right)^b \quad (2)$$

여기서,  $\frac{L}{A}$  = 단위면적당 오염부하량(kg/km<sup>2</sup>/day)

$\frac{Q}{A}$  = 단위면적당 유출량( $m^3/km^2/day$ )이다.

식 (2)의 양변에 로그를 취하고 그래프에 도시하면 직선의 기울기와 절편을 통해 회귀계수  $a, b$ 를 구할

수 있다. 이때  $a$ 값은 기저유출 부하량과 관련이 있는 계수이다.  $b$ 값은 회귀식의 기울기를 의미하므로  $b$ 값이 1보다 크면 유출량 증가에 대해 오염부하량이 급격히 증가하는 특성을 나타내는데 일반적으로 SS와 같은 입자성 물질은  $b$ 값이 큰 경향을 나타내는 반면, 용존성 물질은  $b$ 값이 1 근처이거나 그보다 작아 유출량 변화에 비해 수질농도변화가 적은 경우도 있다.

식 (2)를 적용하여 주요지점의 수질항목별 단위면적당 유출량에 대한 오염부하량과의 관계를 오염원이 집중되는 석화지점을 선정하여 그림 4에 제시하였다.

단위면적당 유출량과 오염부하량의 관계에서 분석된 회귀계수 및 상관계수를 표 6에 제시하였고, 유출량과 오염부하량의 상관계수 분석결과를 정리하여 표 7에 나타내었다. 표 6에서 석화지점의 경우 단위면적당 유출량과 오염부하량과의 상관계수가 0.762~0.976으로 나타났고, 북일지점은 0.969~0.997로 높게 나타났고, 그리고 옥산지점의 경우도 상관계수값이 0.935~0.994로 높게 나타났으며, 청주지점도 0.967~0.998로 매우 높게 나타나 식 (2)에 의한 단위면적당 유출량과 단위면적당 오염부하량의 관계를 이용한 해석이 매우 타당 하리라 판단된다.

또한, 항목별 계수값의 크기를 비교하면 BOD<sub>5</sub>의 경우  $b$ 값이 0.824~1.024의 범위를 보이는데, 비교적 유역면적이 작은 지점으로 갈수록  $b$ 값이 크게 나타나 옥산지점의 경우는 유출량 증가에 비해 BOD부하량이 급격히 증가하는 것으로 나타났다. COD는 BOD<sub>5</sub>에 비해  $b$ 값이 크게 나타나 단위면적당 유출량 변화에 보다 민감하며, 그 범위는 0.919~1.019로 나타났다.

단위면적당 유출량에 가장 민감하게 반응하는 SS의

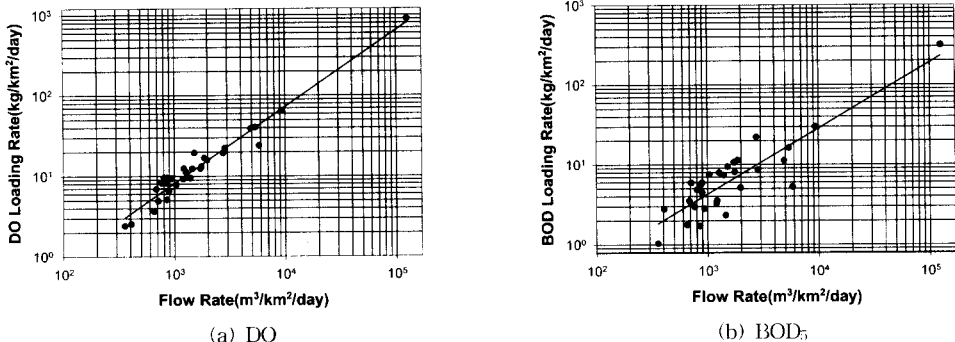
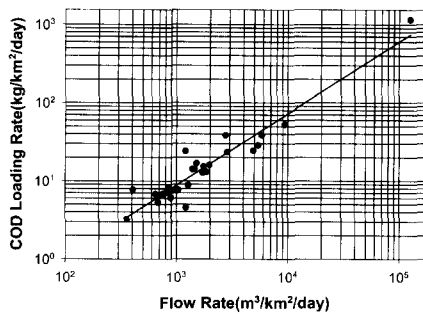
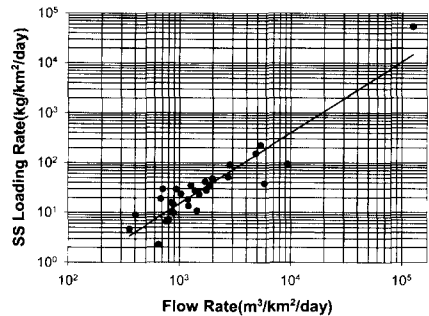


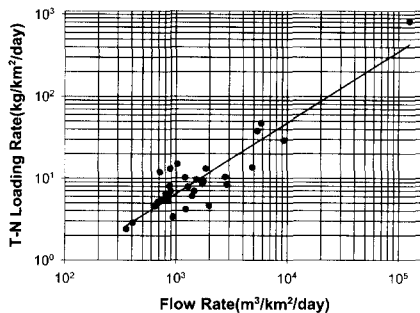
그림 4. 석화지점의 유출량과 오염부하량의 상관관계(계속)



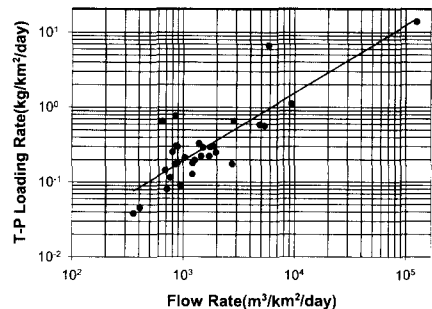
(c) COD



(b) SS



(e) T-N



(f) T-P

그림 4. 석화지점의 유출량과 오염부하량의 상관관계

경우는 1.014~1.426으로 모든 수질성분 중에 가장 큰 값을 나타내었다. T-N과 T-P의  $b$ 값의 범위는 각각 0.869~0.971 및 0.902~1.315로 나타났고, 그 크기는 석화지점이 가장 작고 북일, 옥산, 청주의 순으로 점점 크게 나타나 유역면적이 작은 지점일수록 유출량 변화에 민감한 반응을 보였다.

표 7에서 보는 바와 같이 오염물질별 유출특성에 대해 상관계수를 기준으로 분석하면, BOD5와 T-N의 상관계수 평균값이 0.962를 보임으로써 이들 물질들의 유출특성에 대한 유사성이 매우 큰 것으로 추정된다. T-P의 경우 북일, 옥산, 청주의 경우 유출량에 대한 상관계수값이 각각 0.969, 0.935, 0.967로 높은 상관성을 보였지만, 석화지점은 상관계수값이 0.830으로 다소 낮게 나타났다. 그러나  $b$ 값의 범위가 0.902~1.315로 매우 높게 나타났는데, 석화지점 SS의 상관계수가 0.762인 점과 지점별로  $b$ 값의 크기도 1보다 큰 것으로

볼 때, T-P는 SS의 유출경로와 유사한 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

유출량과 오염부하량의 상관관계를 분석하기 위하여 급강분류의 물오염에 중요한 영향을 미치는 미호천 유역의 주요 텔레미터 수위표인 석화, 북일, 옥산, 청주 지점을 선정하였고, '98년 1월부터 '99년 9월까지 평·갈수기 및 홍수기 유출량과 수질을 분석하였다.

조사결과를 기초로 하여 주요지점의 단위면적당 유출량과 단위면적당 수질항목별 오염부하량의 상관관계 분석을 통해 지점별로 유출량과 오염부하량의 상관관계식을 유도하여 수질항목별 상관성을 분석하였다. 여기에서 얻은 주요한 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 주요지점의 수위-유량관계곡선식은 비교적 양호한 수위범위를 포함하고 있었으며 유출량과 함께 분석



표 6. 유출량과 오염부하량사이의 회귀계수 및 상관계수

Site	Coefficient	Constituents					
		DO	BOD <sub>5</sub>	COD	SS	T-N	T-P
석화	a	$1.16 \times 10^{-2}$	$1.46 \times 10^{-2}$	$1.53 \times 10^{-2}$	$7.85 \times 10^{-4}$	$1.60 \times 10^{-2}$	$3.83 \times 10^{-4}$
	b	0.950	0.824	0.919	1.426	0.869	0.902
	r	0.976	0.881	0.953	0.762	0.905	0.830
북일	a	$1.15 \times 10^{-2}$	$4.58 \times 10^{-3}$	$5.87 \times 10^{-3}$	$8.39 \times 10^{-4}$	$6.31 \times 10^{-3}$	$2.28 \times 10^{-3}$
	b	0.952	0.941	1.006	1.106	0.971	0.965
	r	0.997	0.985	0.993	0.996	0.975	0.969
옥산	a	$1.58 \times 10^{-2}$	$1.10 \times 10^{-3}$	$1.29 \times 10^{-3}$	$6.85 \times 10^{-4}$	$3.73 \times 10^{-3}$	$7.64 \times 10^{-4}$
	b	0.937	1.024	1.109	1.278	0.938	1.248
	r	0.994	0.987	0.987	0.935	0.976	0.935
청주	a	$1.47 \times 10^{-2}$	$3.40 \times 10^{-3}$	$4.15 \times 10^{-3}$	$5.05 \times 10^{-3}$	$2.87 \times 10^{-3}$	$1.11 \times 10^{-3}$
	b	0.953	0.956	1.016	1.014	0.961	1.315
	r	0.998	0.994	0.995	0.967	0.991	0.967

표 7. 유출량과 오염부하량의 상관계수 분석결과

구분	DO	BOD <sub>5</sub>	COD	SS	T-N	T-P
석화	0.976	0.881	0.953	0.762	0.905	0.830
북일	0.997	0.985	0.993	0.996	0.975	0.969
옥산	0.994	0.987	0.987	0.935	0.976	0.935
청주	0.998	0.994	0.995	0.967	0.991	0.967
평균값	0.991	0.962	0.982	0.915	0.962	0.925
최소값	0.976	0.881	0.953	0.762	0.905	0.830
최대값	0.998	0.994	0.995	0.996	0.991	0.969

된 수질농도 변화에서 DO는 계절에 따라 6~15 mg/L의 범위를 나타내었고, BOD<sub>5</sub>, COD, SS는 하류지역인 석화와 북일에서 비교적 큰 폭의 변화를 보였다. 한편 영양염류의 경우도 옥산과 청주에서는 2~4 mgT-N/L와 10~200 µgT-P/L의 양호한 수질을 보인 반면, 석화와 북일에서는 2~9.5 mgT-N/L 및 100~400 µgT-P/L로 큰 변화폭을 보였다.

(2) 유출량과 수질항목별 통계특성치에서 불투수층 면적비율이 크고 유역면적이 작은 옥산과 청주는 강우 초기에 유출량의 증가와 함께 급격한 농도증가현상으로 정규분포형태보다 분포중심이 좌측으로 치우치는 경향을 가지며, 예리한 첨두값을 가지는 것으로 나타났

고, 유역면적이 크고, 투수층 면적비율이 큰 석화, 북일의 경우는 유출량의 증가에 따라 수질농도도 증가하지만 같은 유량증가에서의 농도변화폭은 작은 특성을 나타내었다.

(3) 주요지점 수질농도의 변화특성은 전반적으로 비홍수기보다 홍수기에 유출량과 수질농도변화가 크게 나타났으며 또한, 유역경사가 작고 유역면적이 큰 하류 지점일수록 수질농도의 변화는 작게 나타남으로써 홍수기와 비홍수기의 유출수질농도의 변화는 강우강도와 유역경사, 유역면적 등에 따라 변화폭이 다른 양상을 보임을 알 수 있었다.

(4) 수질항목별 단위면적당 유출량에 대한 단위면적

당 오염부하량의 상관관계 분석 결과, pH, DO, BOD<sub>5</sub>, COD, SS, T-N, T-P의 상관계수의 범위는 0.762~0.998로 비교적 높은 값을 얻음으로써 단위면적당 유출량과 단위면적당 오염부하량의 상관관계를 이용한 해석이 매우 타당하리라 판단된다.

(5) 수질항목별 단위면적당 유출량에 대한 오염부하량과의 관계에서 수질항목별 회귀식의 기울기를 나타내는 *b*값은 SS가 1.014~1.426으로 모든 수질성분 중에 가장 큰 값을 나타내었고, 수질항목별로 그 크기는 석화가 가장 작고 복일, 옥산, 청주의 순으로 점점 크게 나타나 유역면적이 작은 지점일수록 유출량 변화에 민감한 반응을 보였다.

(6) 오염물질별 유출특성을 상관계수를 기준으로 분석한 결과, BOD<sub>5</sub>와 T-N의 상관계수의 평균값이 0.962로 유사한 값을 보였고, T-P의 경우 SS와 유사하게 석화지점의 상관계수가 유난히 타 지점보다 낮고 유역별로 *b*값의 크기순서도 유사한 것으로 볼 때, T-P는 SS의 유출경로와 유사한 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

- 건설교통부, 금강홍수통제소 (1995~1998). 금강수계 주요지점 유량측정조사.
- 권순국 (1998). “우리나라 비점원 수질오염 관리의 문제점과 개선방안”, 대한환경공학회지, 대한환경공학회, 제20권, 제11호, pp. 1497~1510.
- 방기웅, 이준호, 유명진 (1997). “도시소유역에서의 비점오염원 유출특성에 관한 연구”, 한국수질보전학회지, 한국수질보전학회, 제13권, 제1호, pp. 79~99.
- 이관영 (1995). “소도시 배수구의 오탁부하량 추정에 관한 연구”, 대한상하수도학회지, 대한상하수도학회, 제1권, pp. 89~95.
- 이준호, 방기웅 (1996). “강우시 합류식하수관 월류수의 수질예측”, 1996년 대한환경공학회 춘계학술연구발표회, 대한환경공학회, pp. 179~183.
- Charles T. Hann (1977). *Statistical methods in Hydrology*, The Iowa State University Press/Ames, pp. 44~67.
- Colston N. V. (1974). *Characterization and treatment of urban land runoff*, U.S. EPA-670/2-74-096.
- Huber W. C. and Barnwell T. O. (1988). *Stormwater management model*, Version 4 : user's manual, US. EPA, Athens, Georgia, pp. 59~282.
- Klemetson S. L. (1985). “Factors affecting stream transport of combined sewer overflow sediments”, *Journal of Water Poll. Control Fed.*, 57(5), pp. 390~397.
- Loehr R. C. (1974). “Characteristics and comparative magnitude of non-point sources”, *Journal of Water Poll. Control Fed.*, 46(5), pp. 873~885.
- Sartor J. D., Boyd G. B. and Agardy F. J. (1974). “Water pollution aspects of street surface contaminants”, *Journal of Water Poll. Control Fed.*, 46(3), pp. 458~467.
- Wanielista M. P. (1978). *Stormwater management quantity and quality*, Ann Arbor Science, Mich, pp. 187~220.
- 日本下水道協会 (1982). 合流式下水管越流水対策と暫定指針, pp. 1~95.
- 和田安彦 (1990). *ノンポイント汚染源のモデル解析*, 枝報堂出版, pp. 11~73.

(논문번호:00-028/접수:2000.05.03/심사완료:2000.07.31)