

유량변동에 따른 소양강유역 수질의 통계학적 해석

A Stochastic Analysis of the Water Quality on the Basin of Soyang River with Discharge Variation

최한규* 백경원** 최용묵*** 최진우****
Choi, Han-Kyu Baek, Kyung-Won Choi, Yong-Mook Choi, Jin-Woo

Abstract

This research was conducted with the aim of efficiently managing large scale of rivers such like Songyang-river through predicting water quality change with analyzing the characteristics of the flowing in nutrients and pollutants. The main result will be used as basic data for effectively operating reservoirs through controlling water quality and quantity. The relationship between quantity of flow and water quality was analyzed and pollution loading into the basin was estimated. Three areas of Soyang-river upstream and one area of Suip-cheon in Yanggu-gun were selected as research sites. Flow and water quality were measured simultaneously. The relation between quantity of discharge and pollution concentration and between quantity of discharge and pollution loading were analyzed by statistical method, respectively. We provided a rating curve through measuring quantity of discharge(collecting quantity of discharge) and pollutograph and pollution loading curve through water quality data. Also, we analyzed the correlation between quantity of discharge per unit area and pollution loading per unit area in each basin.

As result of this research, Buk-cheon spot revealed an excellent first grade water quality for the items including BOD₅, DO, and SS. The correlation coefficient between Buk-cheon spot's quantity of discharge and pollution loading was 0.896~0.996, showing the validity of analysis applying correlation curve formula of quantity of discharge and pollution loading in the same spot. Also, pollution loading per unit area of the items including BOD₅, COD, DO, SS, T-N, T-P increased as the area of basins get increased following the sequence of Buk-cheon, Suip-cheon, Naelin-cheon spots.

키워드 : 유출량, 오염부하량, 수질관리, 소양강유역

Keywords : Discharge, Pollution Loading, Water Quality Control, Soyang River basin

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

소양강댐은 춘천에 위치한 다목적 댐으로 생활용수를 비롯한 농업용수, 발전등의 중요한 수자원으로 다양하게 이용되고 있다. 지금까지 소양강댐의 수질은 상수원수 1,2급 이내의 비교적 양호한

수질을 유지해 왔다. 그러나 생활수준의 향상과 인구 증가로 인한 생활하수, 축산폐수 등의 유입으로 수질오염 문제가 우려되고 있다. 따라서 소양강 상류지역의 수질을 조사하고, 이를 통해 수질오염을 절감할 수 있는 현실적인 수질관리 대책을 제시할 필요성이 커지고 있다. 하천유역을 오염시키는 발생원으로는 생활하수, 오수와 같은 점오염원(point source)이 가장 큰 부분을 차지하고 있지만, 산림, 농경지, 도로의 침식, 가축분뇨 등과 같은 비점오염원(nonpoint source)도 상당부분을 차지하고 있다. 비점오염원에서의 유출수는 많은 양의 부유물질, 유기물질 등을 함유하고 있으며 강우시 하천으로 유입되어 수질에 영향을 미친다. 따라서 수질오

* 강원대학교 토목공학과 교수
** 한림정보산업대학교 토목과 교수
*** 강원대학교 토목공학과 박사과정
**** 강원대학교 토목공학과 석사과정

염분제를 보다 근본적으로 해결하고 하천의 종합적인 수질관리를 위해서는 점오염원뿐만 아니라 비점오염원에 대한 합리적인 관리 방안이 필요하다. 이를 위해서 오염물질의 발생원을 파악하고, 하천으로 유입되는 오염물질의 유기 및 무기성분 농도와 그 부하량 등에 대한 기초조사 및 유출해석을 하여야 한다.

본 연구는 소양강 유역 3개 지점과, 양구 수입천 유역을 대상으로 각 측정 지점에서 유량의 측정과 더불어 수질을 동시에 측정하여 분석함으로써 유량변화에 따른 오염물질농도 및 오염부하량의 변화와 이들간의 상관 관계를 검토하였다. 이를 위해 4개지점 유량측정시 수질분석용 시료를 채취하여 BOD₅, COD, DO, SS, T-N, NH₃-N, NO₃-N, T-P 등 총 8개 항목의 수질을 기관에 의뢰하여 검사하였다. 유량을 측정하고 측정성과의 신뢰도를 분석하여 수위-유량관계곡선(Rating-Curve)을 개발하고, 수질조사를 통해 농도변화곡선 및 오염부하량의 상관식을 제시하고, 최종적으로 소양강댐 유역의 저수지 수질관리 및 환경 기초시설의 설계에 활용되도록 유역면적 대비 부하량을 산출하고자 하였다.

1.2 연구동향

수환경의 오염 현상은 인간활동과 더불어 필연적으로 수반되는 불가피한 현상이지만 최근의 급격한 인구의 증가와 산업화 및 도시화 등으로 인해 야기되는 오염의 광범위성 및 그 정도의 심각성은 인류의 장래를 걱정스럽게 할 만큼 우려의 대상이 되고 있다. 적절한 수환경 보전 및 관리 대책의 수립과 시행의 중요성은 실로 지대하다고 할 수 있다.

본 연구는 하천의 물리적, 생화학적 주요 수질 항목을 중심으로 이들간의 상관성 분석을 통해 하천수질관리 대책을 위한 기초자료를 제공함과 더불어 효율적인 유역관리를 위해 필요한 기초조사 및 해석을 수행하였다.

강우시 유출되는 오염물질의 특성 및 해석에 관한 연구는 많은 연구자들에 의해 수행되었으며, 국내에서 이관영(1995)은 강우강도, 유출량, 부하량과 농도와의 4가지 함수를 이용하여 구성된 여러 모델을 실측값과 비교한 결과, 유출량과 오염부하량의 지수함수로 구성된 모델이 실측농도에 가장 잘 일치된다는 연구 결과를 발표하였고, 백경원(1996) 등은 BOD₅, DO, SS 등 제한된 수질 변수에 대해 월별 또는 년별 수질자료의 통계적 분석과 단순선형회귀식을 제안하였고, 수온에 밀접한 영향을 받는 DO 항목 외에도 BOD₅, COD 항목은 유량이 적은 갈수기때는 유량에 민감하고 계절적인 주기성을 갖는다고 보고하였다. 이준호(1996) 등은 강

우지속시간에 따른 오염물질 농도변화를 예측하는 모델식을 제안하고 실측자료와 비교한 결과, BOD₅, DO, SS 성분과 모델의 예측값이 잘 일치하는 경향을 보였고, T-N, T-P 는 예측력이 다소 부족한 결과를 얻었다. 방기웅(1997)은 도시지역에서 강우시 발생하는 합류식 하수관의 월류수에 대한 유출특성을 파악하고 오염물질의 농도를 예측할 수 있는 모델을 개발, 적용하여 모델적용성에 대해 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. 정상만(2000) 등은 금강지류인 미호천유역에서 유출량과 오염부하량의 상관관계를 분석하여 단위면적당 유출량 변화에 따른 단위면적당 오염부하량과의 상관관계 분석을 통해 유역별 상관식을 도출한 바 있다.

외국에서의 비점오염에 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(1974) 등은 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 유출량 및 수질을 회귀분석하여 수질농도 C를 예측하는 함수로 유출량 Q, 강우지속시간 T, 그리고 회귀계수 a, b, c를 이용하여 $C = a \cdot Q^b \cdot T^c$ 라는 상관관계식을 제안하였다. Klemetson(1985)은 SS에 대해 Colston이 제시한 유출량과 강우지속시간과의 함수식을 적용한 결과, 강우강도, 강우지속시간과 밀접한 관계가 있음을 밝혔다. 미국 EPA(1978)는 농업지역, 교외지역, 도시지역을 대상으로 수질항목간 상관분석을 실시하였다.

和田(1990)은 강우시 합류식하수관 월류수의 수질 변동을 조사한 결과 건기시 농도변화보다 2~3배의 범위이고, 유역에 따라서 최대농도는 평균농도의 10배를 초과한다고 하였다. 또한 단위면적당, 단위강우량당 강우시 유출되는 오염부하량중 SS의 경우 건기시와 비교하여 강우시에 3배 이상의 부하량을 나타낸다는 연구를 수행하였다.

2. 유량 및 수질측정 지점선정과 측정방법

본 연구의 대상유역은 소양강 상류유역과 양구 수입천 유역이며, 유출량과 수질분석은 강우시 접근이 용이하고 텔레메타 수위관측소 지점이 있으며, 유량측정과 수질측정이 동시에 이루어질 수 있는 곳으로 선정을 하였다. 조사지점은 인북천의 도리촌교(578km), 북천의 어두원교(301km), 내린천의 원대교(1,075km), 수입천의 각시교(334km) 등이 선정되었으며 유량측정 지점과 수질조사 지점은 그림 1에서 보인 바와 같다



그림 1.1 유량측정 및 수질조사지점

소양강 상류유역의 유량측정은 1997년 5월~2000년 11월까지 실시하였다. 이를 위해 현장당사와 함께 수위관측소 관리점검 및 하천의 횡단면 측량을 실시하였고 그 지점의 수위를 읽어 하천의 통수 단면적을 구하고, 유속계를 이용하여 홍수시 실제유속을 측정 한 후 통과유량을 구하고 그림 2와 같은 수위-유량관계곡선(Rating-Curve)을 개발하였다. 수질자료는 2000년 1년간 측정을 실시하였다. 갈수기의 수질측정자료는 월 2회 정기적으로 실시하여 총18회 측정을 수행하였으며, 홍수기에는 완전한 하나의 호우사상이 발생할 때마다 실시하여 총 38회의 측정자료를 얻었다. 유량측정은 4년간 실측한 자료로서 갈수기에는 총 72회 실시하였고, 홍수기에는 총 218회의 측정자료를 얻을 수 있었다.

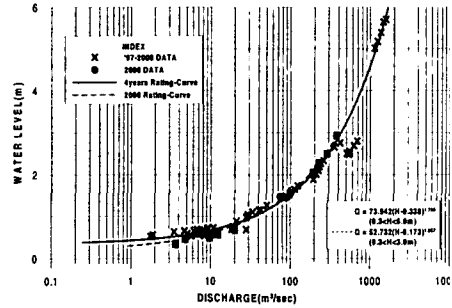


그림 2.1 인북천지점 수위유량 곡선

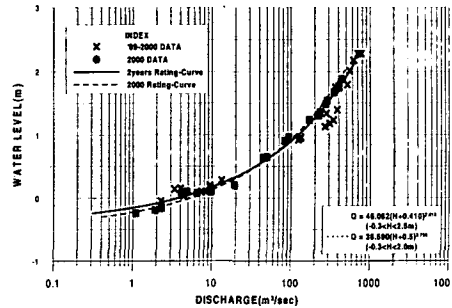


그림 2.2 북천지점 수위유량 곡선

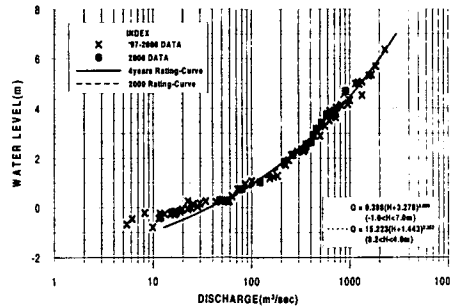


그림 2.3 내린천지점 수위-유량 곡선

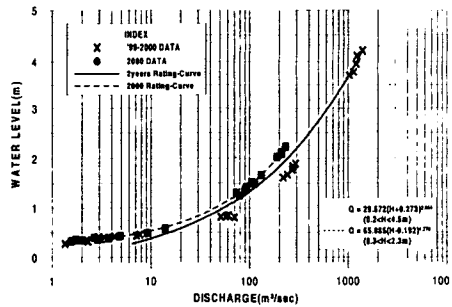


그림 2.4 수입천지점 수위-유량 곡선

표 2.1 지점별 수위-유량관계곡선식

지점명	년도	수위-유량 곡선식(m ³ /sec)
인북천 지점	2000	$Q = 52.732(H - 0.173)^{1.957}$
	97-2000	$Q = 73.942(H - 0.338)^{1.798}$
북천 지점	2000	$Q = 36.590(H + 0.5)^{2.790}$
	97-2000	$Q = 46.062(H + 0.410)^{2.818}$
내린천 지점	2000	$Q = 15.223(H + 1.443)^{2.252}$
	97-2000	$Q = 0.398(H + 3.278)^{3.829}$
수입천 지점	2000	$Q = 65.985(H - 0.192)^{1.770}$
	97-2000	$Q = 29.572(H + 0.273)^{2.564}$

유속의 측정을 위해 평·갈수기에는 일본 MT Precision사의 MCM-2 회전식유속계를 사용하였고 홍수기에는 전자파의 도플러효과를 이용하여 물에 접하지 않고 하천의 유속을 측정할 수 있도록 수자원공사에서 고안된 전자파 표면유속계를 이용하였다. 수질분석 방법은 수질오염 공정시험법에 의거하여 실시하였으며 소양강 상류의 3개 지점과 양구 수입천의 1개 지점에서 유량측정과 동시에 시료를 채취하였고 조사항목은 BOD₅, COD, DO, SS, T-N, T-P, NH₃-N, NO₃-N 등을 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 유출량과 오염농도 분석

동일한 시간에 측정된 유량 및 수질 측정자료를 이용하여 유출량, 오염농도의 변화, 통계학적 특성치를 표 3.1~3.4와 같이 나타내었다

표 3.1 인북천지점 유출량과 오염농도의 통계학적 특성치

Constituent	Range	Average	Standard deviation	skewness
Flow(cms)	3.3~375.2	114.14	142.308	0.872
BOD ₅ (mg/l)	0.400~1.00	0.717	0.279	0.493
COD(mg/l)	1.300~2.80	2.133	0.524	-0.508
SS(mg/l)	1.300~6.70	3.967	2.118	-0.040
T-N(mg/l)	0.592~1.21	0.897	0.210	0.152
T-P(mg/l)	0.008~0.03	0.020	0.014	0.742

표 3.2 북천지점 유출량과 오염농도의 통계학적 특성치

Constituent	Range	Average	Standard deviation	skewness
Flow(cms)	1.1~404.1	87.426	130.874	1.491
BOD ₅ (mg/l)	0.4~0.9	0.593	0.144	0.686
COD(mg/l)	0.7~5.0	2.170	1.325	0.929
SS(mg/l)	0.8~31.0	6.193	9.094	2.134
T-N(mg/l)	0.913~1.678	1.196	0.248	0.815
T-P(mg/l)	0.005~0.061	0.018	0.015	1.909

표 3.3 내린천지점 유출량과 오염농도의 통계학적 특성치

Constituent	Range	Average	Standard deviation	skewness
Flow(cms)	358.4~903.390	550.613	171.733	1.069
BOD ₅ (mg/l)	0.6~1.5	0.867	0.324	1.121
COD(mg/l)	3.90~21.9	8.433	6.126	1.583
SS(mg/l)	20.00~110.0	45.822	30.447	1.279
T-N(mg/l)	1.464~2.654	1.934	0.454	0.702
T-P(mg/l)	0.035~0.207	0.086	0.059	1.232

표 3.4 수입천지점 유출량과 오염농도 및 통계학적 특성치

Constituent	Range	Average	Standard deviation	skewness
Flow(cms)	1.6~231.940	75.552	79.921	0.811
BOD ₅ (mg/l)	0.4~1.7	0.800	0.320	1.194
COD(mg/l)	0.9~18.10	4.570	4.357	1.917
SS(mg/l)	0.3~414.0	78.070	115.126	1.905
T-N(mg/l)	0.591~3.687	1.366	0.962	1.570
T-P(mg/l)	0.006~0.439	0.089	0.118	1.970

BOD₅는 인북천과 북천지점의 경우 0.4~1.0mg/L의 범위를 나타냄으로써 1등급 수질에 해당하는 수질을 나타냈으며, 내린천과 수입천의 경우는 0.4~1.7mg/L이며 평균은 각각 0.867mg/L과 0.800mg/L으로 1등급 수질의 매우 양호한 수질을 나타내고 있다. COD를 분석해보면 인북천과 북천의 경우 각각 1.3~2.8mg/L (1~2등급), 0.7~5.0mg/L로 1~3등급의 대체로 양호한 수질을 나타낸 반면, 내린천과 수입천은 비교적 큰폭의 변화를 보여 오염의 정도가 큰 것으로 나타났다.

SS는 인북천과 북천지점에서는 비교적 양호한 수질을 나타내고 있으며 내린천 및 수입천 지점에

서는 홍수기에 큰 폭의 변화를 나타내면서 COD와 비슷한 변화 추세를 보이고 있다. DO의 값은 4개 지점에서 5.3~11.8mg/L의 범위로 모두 양호한 수치를 나타내고 있으며 특히, 인북천과 내린천 지점의 DO수치는 1등급 수질을 나타내고 있다. T-N의 경우는 북천지점에서 평균 1.196mg/L로서 4등급의 수질을 보이고 있으며 내린천과 각시교 지점의 T-N 평균은 각각 2.079mg/L와 1.624mg/L로서 수질기준을 벗어나는 등 비교적 오염의 농도가 높게 나타났다. T-P의 경우는 인북천과 북천지점 각각의 평균이 0.020mg/L, 0.018mg/L로써 2등급수의 양호한 수질로 나타났다. NH₃-N은 4개지역 모두 불검출이 대부분이었으며 범위는 0.008~0.061mg/L이고, NO₃-N은 0.553~1.642mg/L로서 NH₃-N 및 NO₃-N의 수질항목은 각각 원수의 수질기준 0.5mg/L이하, 10mg/L이하의 조건으로 볼 때 매우 양호한 수질상태로 볼 수 있다.

4개 지점의 수질분석 결과 홍수기를 제외한 평·갈수기의 수질은 매우 양호한 상태이며, 전체적으로 홍수기에 유량이 급격히 증가하면서 일시적으로 높은 오염농도를 나타내는 경향을 보이고 있다. 또한, 홍수기를 포함하여도 대체적으로 1~2등급수 정도의 양호한 것으로 보이며, 유기물에 의한 하천수 오염우려는 크게 없는 것으로 보인다.

3.2 유출량과 농도변화의 상관관계

회귀분석을 통하여 측정된 자료들의 상관관계를 분석한 결과는 표 3.5에 나타내었고, 측정된 자료들을 이용하여 유량과 농도간의 관계곡선식을 제시하였다.

표 3.5 수입천지점 유량과 오염농도에 대한 관계식

항목	관계식	결정계수	상관계수
BOD ₅	$L = 0.3258 \times 10^{(0.0029 \times Q)}$	0.4414	0.6644
COD	$L = 2.5807 \times 10^{(0.0098 \times Q)}$	0.7905	0.8891
SS	$L = 7.1963 \times 10^{(0.0252 \times Q)}$	0.8156	0.9031
T-N	$L = 0.00004 \times 10^{(0.0156 \times Q)}$	0.7837	0.8853
T-P	$L = 0.463 \times 10^{(0.0062 \times Q)}$	0.7208	0.8490

오염농도 항목 중에서 유역에 따라 약간의 차이가 있지만 SS가 대체적으로 가장 좋은 상관계수 값이 나왔다. BOD₅는 수입천과 내린천 유역에서 0.6644~0.6673으로 다른 항목에 비해 낮은 값을 보이고 있으나 분석한 전체 수질항목이 0.7055 이상의 좋은 상관성을 보이므로 유도된 관계곡선식은 타당한 것으로 보인다.

3.3 유출량과 오염부하량의 상관관계

소양강 상류 지역에는 주로 산림과 농경지, 군부대가 산재하고 있어 강우시에 이 지역으로부터 토사를 비롯하여 비료, 농약 등의 오염물질들이 유출된다. 강우시 유역에서 유출되는 오염물질들은 그 지역의 유역특성을 잘 반영한다. 오염부하량에 영향을 주는 인자들은 여러 가지지만 주로 강우량, 강우지속시간, 선행건기일수 등에 영향을 많이 받는다. 강우지속시간에 따른 오염부하량 변화를 그래프로 나타낸 것을 Loadgraph, 농도변화를 나타낸 것을 Pollutograph라 한다. 일반적으로 강우에 의한 침투 유출량과 오염부하량의 침투값은 일치하지 않는데, 이는 초기 세척효과 때문으로 강우초기에 대부분의 오염물질이 유출되기 때문이다. 강우시 오염부하량은 기저유출 성분인 자연부하와 가정 및 상공업지역에서 배출되는 오수, 지표면 세척에 의한 오염부하량의 총합이라 할 수 있다. 강우시간이 지속됨에 따라 오염물질의 농도는 감소하나 유출량 증가로 오염부하량은 증가한다(Wanielista, 1978). 유출량과 오염부하량의 관계식은 다음과 같이 도출하였다. 오염부하량(L)에 log를 취하여 y축에 배치하고, 유출량(Q)에 log를 취하여 x축에 배치하여 아래 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\log L = a \cdot \log Q + b$$

$$L = 10^b \cdot Q^a \quad (1)$$

여기서, L = 오염부하량(kg/day), Q = 유출량(m³/day), a, b = 회귀계수이다.

위식은 Huber(1988)가 제안한 오염부하량과 유출량과의 관계를 표현한 식 (2)와 같은 형태이다.

$$L = a Q^b \quad (2)$$

여기서, L = 오염부하량(kg/day), Q = 유출량(m³/day), a, b = 회귀계수이다. 또한, 주요지점의 유역면적(A)를 고려하여 식(1)을 일반화시킨 오염부하량은 아래 식 (3)과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{L}{A} = 10^b \left(\frac{Q}{A} \right)^a \quad (3)$$

여기서, L/A = 단위면적당 오염부하량(kg/km²/day), Q/A = 단위면적당 유출량(m³/km²/day)이다.

본 연구에서는 위 관계식을 사용하여 BOD, COD, SS, T-N, T-P 등의 항목들에 대하여 유출량과 오염부하량과의 관계를 그림 3.1~3.5에 나타내었다.

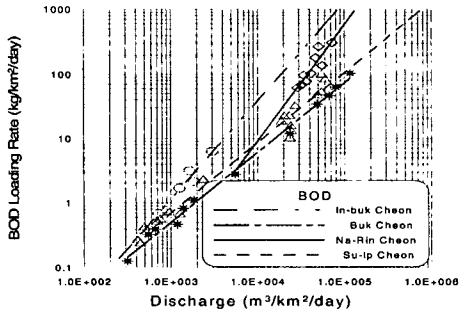


그림3.1 면적대비 유량과 면적대비 BOD 관계곡선

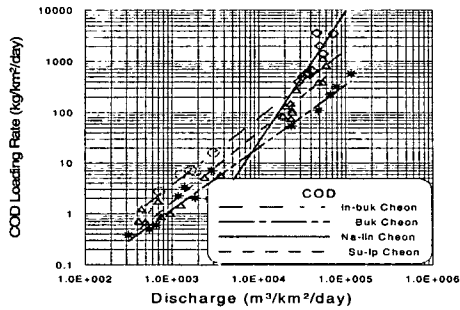


그림3.2 면적대비 유량과 면적대비 COD 관계곡선

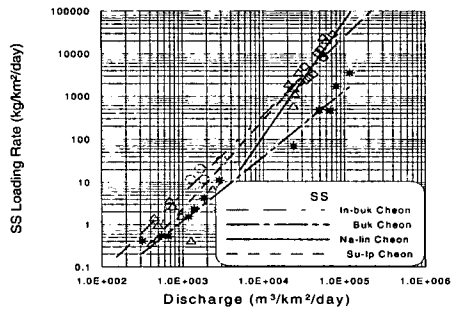


그림3.3 면적대비 유량과 면적대비 SS 관계곡선

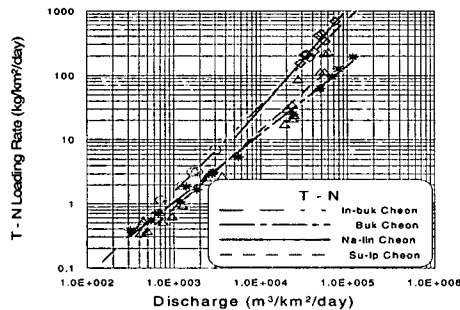


그림3.4 면적대비 유량과 면적대비 T-N 관계곡선

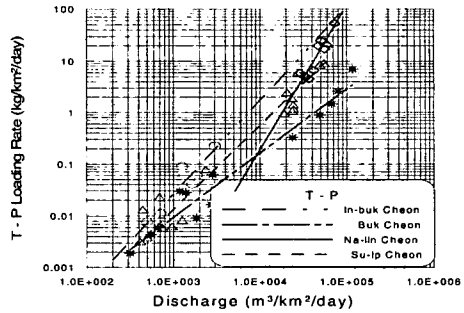


그림3.5 면적대비 유량과 면적대비 T-P 관계곡선

식 (1)의 a값은 회귀식의 기울기를 의미하며 a 값이 1보다 크면 유출량증가에 대해 오염부하량이 급격히 증가하는 특성을 나타내는데 본 연구의 4개 조사지점에서 대부분의 수질항목이 1보다 큰 값을 나타내었다.

BOD₅, T-N, T-P 항목의 경우 유역면적이 클수록 a 값이 크게 나타나므로 단위면적당 유출량의 변화에 민감하게 반응하고 있음을 알 수 있다. COD와 SS는 유역면적이 가장 큰 내린천에서 a값이 크게 나오고, 유역면적이 가장 작은 북천에서 가장 작은 a값을 보여 다른 항목들과 비슷한 경향을 보이지만, 인북천에 비해 유역면적이 작은 수입천에서 a 값이 더 크게 나와 이 두 항목에 대해서는 유역면적과 a 값의 관계를 거론하기 어렵다. SS의 경우 다른 수질항목들 보다 a값이 크므로 유량에 더 민감하게 반응 한다는 것을 알 수 있다.

회귀분석결과 유량과 오염부하량간의 상관관계를 분석하고 상관관계식을 결정하여 표. 3.6~표 3.9에 나타내었다.

4개 지점의 상관계수는 전체적으로 높은 값을 보이므로 단위면적당 유출량과 단위면적당 오염부하량의 관계곡선을 적용한 해석이 타당성을 가진다고 볼 수 있다.

표 3.6 인북천지점의 유출량과 오염부하량 관계식

항목	관계식	결정 계수	상관 계수
BOD ₅	$L = (3.874E-11) \times Q^{1.5264}$	0.9675	0.9836
COD	$L = (1.352E-08) \times Q^{1.3281}$	0.9674	0.9836
SS	$L = (1.113E-11) \times Q^{1.8297}$	0.9291	0.9639
T-P	$L = (6.174E-17) \times Q^{1.8194}$	0.8736	0.9347
T-N	$L = (1.577E-09) \times Q^{1.3381}$	0.9886	0.9943

표 3.7 북천지점의 유출량과 오염부하량 관계식

항목	관계식	결정 계수	상관 계수
BOD ₅	$L = (6.831E-09) \times Q^{1.0828}$	0.9942	0.9971
COD	$L = (4.643E-09) \times Q^{1.2320}$	0.9709	0.9853
SS	$L = (5.118E-11) \times Q^{1.5179}$	0.9627	0.9812
T-P	$L = (5.462E-14) \times Q^{1.2438}$	0.9528	0.9761
T-N	$L = (4.876E-08) \times Q^{1.0660}$	0.9955	0.9977

표 3.8 내린천지점의 유출량과 오염부하량 관계식

항목	관계식	결정 계수	상관 계수
BOD ₅	$L = (3.779E-15) \times Q^{1.8059}$	0.8223	0.9068
COD	$L = (5.257E-21) \times Q^{2.5562}$	0.7619	0.8729
SS	$L = (1.081E-20) \times Q^{2.6868}$	0.8148	0.9027
T-P	$L = (4.008E-28) \times Q^{2.7946}$	0.8493	0.9216
T-N	$L = (1.477E-11) \times Q^{1.5472}$	0.8927	0.9448

표 3.9 수입천지점의 유출량과 오염부하량 관계식

항목	관계식	결정 계수	상관 계수
BOD ₅	$L = (1.271E-08) \times Q^{1.0911}$	0.9736	0.9867
COD	$L = (7.332E-10) \times Q^{1.3970}$	0.9714	0.9856
SS	$L = (3.193E-14) \times Q^{2.0785}$	0.9498	0.9746
T-P	$L = (2.419E-16) \times Q^{1.6338}$	0.9460	0.9726
T-N	$L = (2.815E-09) \times Q^{1.2141}$	0.9687	0.9842

4. 결론

1) 유출량과 농도와의 상관관계에 있어서는 내린천과 수입천지점에서 BOD₅의 항목의 상관계수가 각각 0.66과 0.67로 다른 유역의 모든 분석항목과 비교해 전반적으로 작은 값을 보이지만, 내린천과 수입천의 BOD₅를 제외한 내린천, 수입천의 다른 분석 항목들과 인북천과 북천의 분석 항목에서는 0.71의 높은 값을 보이므로 본 연구에서 제시한 상관식이 타당성을 가진다고 볼 수 있다.

2) 수질의 각 분석 항목별로 유출량에 대한 오염부하량의 상관관계는 4개 대상유역의 상관계수가 0.8729 이상의 높은 상관성을 갖고 있었다. 따라서 유출량과 오염부하량의 관계곡선을 적용한

해석은 매우 타당성이 있다고 볼 수 있으며, 본 연구에서 제시한 상관관계식들은 이 지역에서의 수질관리 및 환경기초시설의 설계에 활용될 수 있을 것이다.

3) 단위면적당 유출량에 대한 단위면적당 오염부하량의 관계에서 동일 유역내에서 분석항목 별로 기울기 a 값을 비교하여보면, 모든 유역의 SS 항목에서 회귀식의 기울기 a의 값이 북천이 1.5179, 수입천이 2.0795, 인북천이 1.8297, 내린천이 2.6868로 다른 항목들과 비교하여 크게 나타났다. 예외로 내린천의 T-N값이 내린천의 SS값 보다 큰 값을 보이지만 전체적으로 보면 SS가 유출량의 변화에 가장 민감하게 반응한다는 것을 알 수 있으며, 나머지 항목들은 T-N, COD, BOD₅, T-P의 크기 순으로 나타났다.

4) 각 지점별 유역면적의 크기에 대한 기울기 a의 변화는 BOD₅, T-N, T-P 항목에서 북천, 수입천, 인북천, 내린천 순으로써 유역면적이 커짐에 따라 기울기 a의 값도 커짐을 알 수 있었다. COD와 SS 항목에서도 대상 4개 유역 중 유역면적이 가장 큰 내린천에서 a값이 가장 큰 값을, 유역면적이 가장 작은 북천지점에서 a값이 제일 작은 값을 보이는 경향을 보이나, 인북천보다 유역면적이 작은 수입천에서 a값이 더 크게 나오므로 COD와 SS를 제외한 나머지 BOD₅, T-N, T-P 항목에 대해서는 유역면적이 큰 지점일수록 유출량 변화에 민감하다고 할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 한국수자원공사, 소양강댐관리단(1997~2000). 소양강댐 유량측정 등 수문기초조사.
- [2] 백경원, 정용태, 한건연, 송재우(1996). 한강하류부 수질의 통계학적 해석. 한국수자원학회지, 제29권, 제2호, pp. 179~190.
- [3] 이용환, 백경원, 한건연, 송재우(1998). 인자분석법에 의한 강우와 하천수질변동 특성에 관한연구. 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제18권, 제II-3호, pp.263~276.
- [4] 정상만, 임경호, 최정현(2000). 금강지류 유역에서의 유출량과 오염부하량의 상관관계 분석. 한국수자원학회논문집, 제33권, 제5호, pp.527~536.
- [5] 왕창근 외 5인 共譯, (2000), 수질데이터의 통계적 해석, 東和技術
- [6] Colston, N. V. (1974). "Characterization and treatment of urban land runoff." U.S. EPA-670/2-74-096.
- [7] Huber W. C. and Barnwell T. O. (1988).

- "Stormwater management model, Version 4 : user's manual, U.S. EPA, Athens, Georgia, pp.59~282.
- [8] Wanielista, M. P. (1978). "Stormwater management quantity and quality." Ann Arbor Science, Mich, pp.187~220.
- [9] Custer, S.W. and Krutchkoff, R.G. (1969). "Stochastic model for BOD and DO in estuaries", Proc. ASCE, No. SA5.
- [10] Thomann, R.T. (1972). " Systems Analysis and Water Quality Management", McFraw-Hill
- [11] Koivo, A.J. and Phillips, G. (1976), "Optimal estimation of DO, BOD and stream parameters using a dynamic discrete time model", Water Resources Res., Vol. 12, No. 4.
- [12] Himmelblau, D. M. (1970), Process analysis by statistical methods, John Wiley & Sons.