

漢江 下流部에서의 總窒素와 總磷에 대한 水質模擬 T-N and T-P Simulations in the Downstream of the Han River

한 건 연* · 송 재 우** · 김 상 호*** · 백 경 원****
Han, Kun Yeun · Song, Jai Woo · Kim, Sang Ho · Baek, Kyung Won

Abstract

QUAL2E model is applied to predict T-N and T-P concentrations in the downstream of the Han River. Sensitivity analysis shows that the pertinent parameters for T-N and T-P have small effects on the computed concentrations. The computed concentration profiles of T-N and T-P show good agreements with recently measured data. The future tributary loads of T-N and T-P have been estimated to simulate concentrations. The modeling result has been presented under the mean and low flow condition after wastewater treatment in the future.

요 지

한강하류부(팔당댐~한강대교 구간)에서의 총질소와 총인의 농도예측을 위해서 QUAL2E 모형을 적용하였다. 민감도 분석을 실시한 결과 관련 매개변수들에 대한 총질소와 총인의 민감도는 작게 나타났다. 산정된 총질소와 총인 농도의 종방향 분포는 1994년도의 수질실측 결과와 잘 일치하였다. 이 구간의 주요 지천인 왕숙천, 탄천, 중랑천등의 장래오염 부하량을 산정하여 한강하류부에서의 수질모의를 실시하였다. 장래 한강 하류부에서의 갈수량과 평수량시에 대하여 처리시설의 증설시의 경우를 고려하여 총질소와 총인의 농도를 제시하였다.

1. 서 론

최근에 들어 전 세계적으로는 엘리뇨 현상과 지

구 온난화 현상은 국지적으로 호우와 한발을 일으켜 수자원의 수질 관리면에서 큰 문제를 야기하고 있다. 최근에 국내에서 겪고있는 한발현상은 수자원 관리면에서 저수지 및 하천수량의 절대적인 부

* 경북대학교 공과대학 토목공학과 부교수
** 홍익대학교 공과대학 토목공학과 교수
*** 경북대학교 대학원 토목공학과 석사과정
**** 홍익대학교 대학원 토목공학과 박사과정

족과 수질악화를 일으키고 있어 생활오수 및 공업용수 공급에 큰 차질이 빚어지고 있다.

하천으로 유입되는 오염부하는 탄소성 유기물질인 BOD 성분뿐만 아니라 질소와 인등의 영양물질이 포함되어 있는데 이들은 지체시간이 긴 저수지로 하천이 유입될 경우에 저수지의 부영양화를 일으키는 주요원인이 될 수도 있다. 특히 질소는 수생생물에 대한 암모니아성 질소의 독성뿐만 아니라 많은 산소소모를 가져줄 수 있고 어패류 패사의 원인이 되기도 한다. 현재의 수질오염 대상인자가 단순한 유기물에 의한 생화학적 산소요구량, 수온과의 상관관계로 규명되는 용존산소뿐만 아니라 조류에 의한 산소의 변화량, 수중생물의 생산성, 부영양화와 관련하여 질소와 인의 변화, 위생학적 측면의 대장균군의 농도변화등 다양하며 그와 관련된 생물, 화학적 반응구조 및 반응상수등의 지식이 필요로 하여 하천의 수질시스템은 매우 복잡하다. 이러한 복잡한 수질관리의 기법은 다양한 인자를 동시에 다룰 수 있는 수치모형에 의존하여야만 한다.

한강하류부에서의 총질소와 총인의 오염도 해석을 위하여 선정된 모형은 그 적용성이 널리 인정된 미국 EPA의 QUAL2E(Brown과 Barnwell, 1987)로 하였다. QUAL2E 모형의 실제 유역에 대한 적용 및 검정은 미국내에서도 활발히 진행된 바 있다(Willis 등, 1976; Barnwell, 1978; McCutcheon, 1982; Koenig, 1986). 한강 유역에 대한 QUAL2E 모형의 적용에 대한 연구로는 안태홍(1988), 전경수와 이길성(1993) 및 백경원 등(1995)이 있다. 한편 조석의 영향을 고려한 한강 하류부에 대한 오염물의 운송특성의 해석은 Lagrangian 기법에 의해 연구되어진 바 있다(한건연 등, 1994).

본 연구에서는 수질오염에 관련된 매개변수들에 대한 QUAL2E 모형의 민감도 분석을 실시하였으며 1994년도 실측자료와 계산치를 비교 검토하였고, 장래 1996년과 2001년도의 갈수량 및 평수량 조건하에서 하수처리장의 처리도를 고려하여 총질소와 총인의 농도를 모의하였다.

2. QUAL2E 모형

본 연구에 사용한 QUAL2E는 하천에서의 1차원 수질해석을 위한 수치모형으로서 13개 수질오염인자의 시뮬레이션이 가능하고 점오염원 및 비점원 오염원, 하천의 지류 및 용수취수등을 다양하게 정상상태 또는 藻類의 類似 動的狀態로서 모델링할 수 있다. 하천에서의 물질전달 거동은 1차원적 해석을 위한 식 (1)에 의하여 표현된다.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (D \frac{\partial C}{\partial x}) - \frac{\partial (UC)}{\partial x} + Z \quad (1)$$

여기서, C는 단면평균의 오염물 농도, D는 종확산계수이며, U는 단면평균유속이다.

식 (1)에서 좌측항은 어느 지점에서 시간에 대한 농도변화율을 나타내며, 우측항은 순서대로 종확산항, 이송항, 각 오염물질간의 생화학적 반응을 포함한 유출입항을 각각 표시하고 있으며, 정상상태인 경우에는 $\partial C/\partial t = 0$ 으로서 하천의 흐름조건은 정상류 조건으로 해석하며(Blosser, 1980; McCutcheon, 1982) 평균유속 U 및 평균수심 h의 수리량들은 각각 $U = aQ^b$, $h = \alpha Q^\beta$ 과 같이 유량 Q의 함수로 계산되는데 a, b, α , β 는 대상하천에 대해서 구간별로 산정되어야할 유량계수이다. 모형에서의 생물화학적 상호작용을 정리하면 식 (2)~(9)와 같다(Thomann과 Mueller, 1987).

Carbonaceous BOD:

$$Z = -K_1L - K_3L \quad (2)$$

Organic Phosphorous:

$$Z = \alpha_2 \rho A_0 - \beta_4 P_1 - \alpha_5 P_1 \quad (3)$$

Dissolved Phosphorous:

$$Z = \beta_4 P_1 + \sigma_2/h - \alpha_2 \mu A_0 \quad (4)$$

Organic Nitrogen:

$$Z = \alpha_1 \rho A_0 - \beta_3 N_4 - \sigma_4 N_4 \quad (5)$$

Ammonia Nitrogen:

$$Z = \beta_3 N_4 - \beta_1 N_1 + \sigma_3/h - F \alpha_1 \mu A_0 \quad (6)$$

Nitrite Nitrogen:

$$Z = \beta_1 N_1 - \beta_2 N_2 \quad (7)$$

Nitrate Nitrogen:

$$Z = \beta_2 N_2 - (1-F)\alpha_1 \mu A_0 \quad (8)$$

Dissolved Oxygen:

$$Z = K_2(C_{sat} - C) + (\alpha_3 \mu - \alpha_4 \rho) A_0 - K_1 L - K_2/h - \alpha_5 \beta_1 N_1 - \alpha_6 \beta_2 N_2 \quad (9)$$

반응계수의 수온에 대한 보정은 식 (10)과 같다 (Bowie 등, 1985).

$$X_T = X_{20} \theta^{T-20} \quad (10)$$

여기서, X_{20} 및 X_T 는 각각 수온 20°C 및 $T^\circ\text{C}$ 에서의 반응계수값들이며, θ 는 각 반응계수에 대한 경험적인 계수이다.

3. 한강하류부에 대한 적용

3.1 모형의 구성

모형의 적용대상은 한강하류부를 선정하였는데 그 대상 하천구간은 팔당댐 직하류부에서 한강대교에 이르는 34.5km 구간이다. 하도단면자료는 경기 지구 한강종합개발계획 보고서(1987) 및 한강하류 연안 개발계획 보고서(1989)로부터 수집하였다.

QUAL2E의 모델링 대상하천은 전체구간을 그림 1에서와 같이 0.5km의 69개의 요소(element)로 구성하고 다시 69개의 요소를 수리학적으로 유사한 특성을 갖는 8개의 구간(reach)으로 구분하였다. 그림에서 음영과 숫자는 각 구간의 구분과 요소번호를 나타내고 있다.

본류부로 유입되는 지천에 대한 하도단면 자료가 불충분하므로 지천은 점오염원으로 유입되는 것으로 하였고, 각 수원지의 용수취수량도 고려하였다. QUAL2E의 유량계수를 산정하기 위해서 본 해석 구간은 수중보의 영향으로 유속이 감소되고, 수심이 증가하는 부등류의 특성이 뚜렷하므로 부등류 해석을 실시하였다. 이를 위해서 '92~'94년에 걸친 월평균 팔당댐 방류량 자료와 한강대교의 수위 자료로부터 수중보의 영향을 고려하여 부등류 계산을 실시하고 하도내 각 지점에서의 수심, 통수단면적, 유속, 경심 등의 자료가 얻어지게 되고 그 결

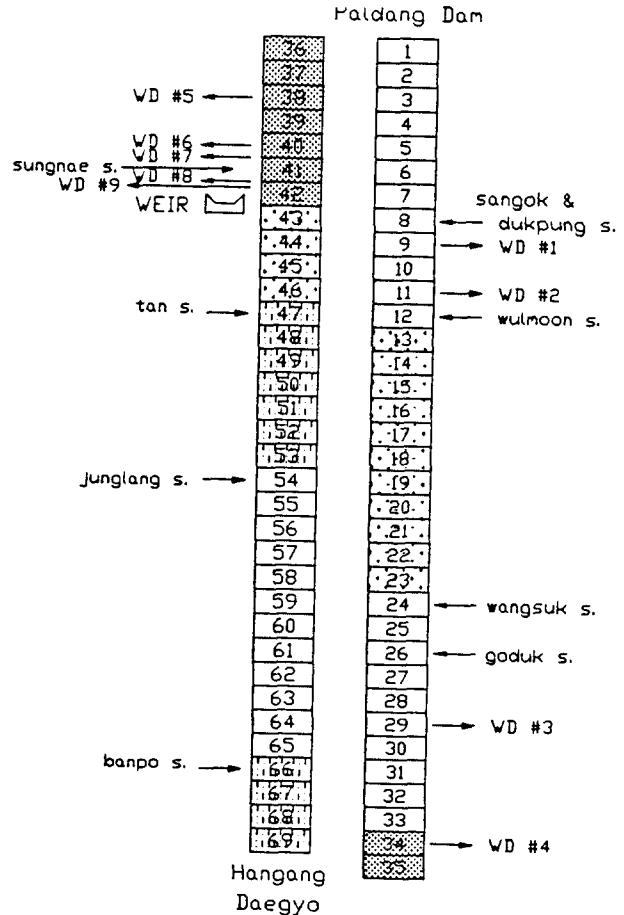


그림 1. QUAL2E 모형의 구성도

과를 구간별로 회귀분석하여 유량계수 a , b , α , β 를 산정하였다(백경원 등, 1995). 수중보의 영향을 고려한 수중보 상류부에서의 부등류해석을 위해서 수중보에서의 월류수심을 한계수심으로 적용하였고 이 값을 기준으로 수중보 지점에서 상류방향으로 부등류 계산을 수행하였다. 이 경우에 팔당댐에서의 유량범위는 $150 \sim 480 \text{ m}^3/\text{sec}$ 였다.

3.2 반응계수의 추정

각 반응계수가 모형에 의한 계산결과에 미치는 영향을 파악하여 추정대상 반응계수를 결정하기 위해서 민감도 분석을 실시하였다. 각 반응계수에 대

표 1. 민감도 분석결과

수질항목	계수명	계수값			계산값(mg/ℓ)			민감도	
		하한치	기준치	상한치	하한치	기준치	상한치		
N	Org-N	ρ	0.05	0.16	0.5	1.46	1.46	1.46	0
		β_3	0.02	0.089	0.4	1.57	1.46	1.08	0.336
	NH ₃ -N	β_3	0.02	0.089	0.4	0.3	0.38	0.67	0.974
		β_1	0.1	0.316	1.0	0.5	0.38	0.21	0.763
	NO ₃ -N	β_1	0.1	0.316	1.0	0.05	0.12	0.2	1.25
		β_2	0.2	0.632	2.0	0.18	0.12	0.06	1.0
		β_3	0.02	0.089	0.4	0.1	0.12	0.17	0.583
NO ₂ -N	β_2	0.2	0.632	2.0	1.0	1.06	1.12	0.113	
T-N					3.02	3.02	3.02	0	
P	Org-P	ρ	0.05	0.16	0.5	0.08	0.08	0.08	0
		β_4	0.01	0.084	0.7	0.09	0.08	0.05	0.5
		σ_5	0.001	0.01	0.1	0.09	0.08	0.08	0.125
	Dis-P	β_4	0.01	0.084	0.7	0.14	0.15	0.19	0.333
		σ_2	0.0004	0.026	1.7	0.15	0.15	0.15	0
		μ_{max}	1.0	2.0	3.0	0.15	0.15	0.15	0
	T-P	ρ	0.05	0.16	0.5	0.24	0.24	0.24	0
σ_5		0.001	0.01	0.1	0.24	0.24	0.23	0.042	
BOD	K ₁	0.02	0.261	3.4	3.06	2.11	0.21	1.351	
	K ₃	-0.36	0	0.36	3.85	2.11	1.42	1.152	
DO	K ₁	0.02	0.261	3.4	7.36	6.49	4.67	0.414	
	K ₃	-0.36	0	0.36	5.98	6.49	6.66	0.105	
	K ₄	0.022	0.984	44.0	7.10	6.49	0	1.094	
	ρ	0.05	0.16	0.5	6.49	6.49	6.49	0	

하여 상한치, 하한치 및 기준치를 설정한 후, 그 값들을 이용하여 QUAL2E에 의해서 각 수질인자의 농도값을 산정하였다. 기존에 조사된 연구자료 및 QUAL2E의 사용설명서 상에서의 상한치와 하한치를 설정하였고, 상한치가 하한치의 10배 이상인 경우에는 이들의 기하평균치를, 그 이하인 경우에는 산술평균치를 기준으로 설정하였다. 민감도는 식 (11)에 의하여 정의하였다.

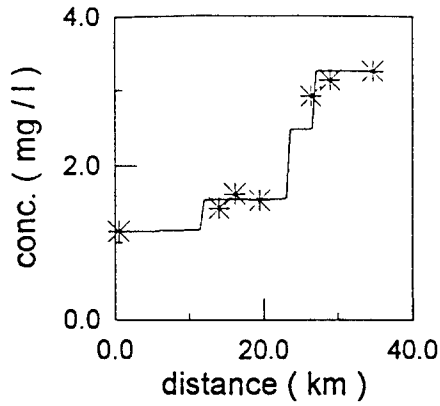
$$Sensitivity = \frac{C_u - C_l}{C_a} \quad (11)$$

여기서, C_u, C_l 및 C_a는 각각 반응계수의 상한치, 하한치 및 기준치로 계산된 농도값들이다. 계산된 민감도 값이 0.1 보다 작은 경우에는 해당 반응계수의 민감도는 작은 것으로 고려하여 최적 반응계수 산정에는 포함시키지 않았다. 민감도 분석 결과는 표 1에 제시되어 있다.

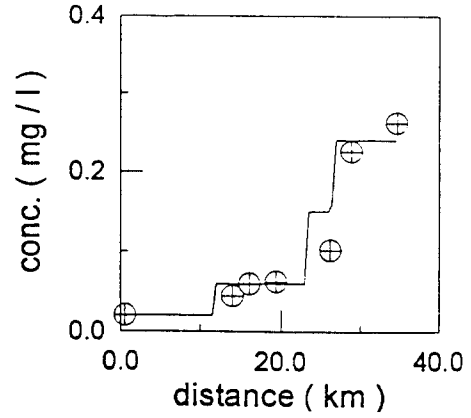
민감도 분석 결과, 반응계수에 민감한 수질인자

로서는 BOD, DO 등으로 나타났다. BOD 및 DO는 K₁, K₃, K₄에 민감하였고, 총질소와 총인 경우 표 3에서 보는 바와 같이 전체적인 민감도는 비교적 작게 나타났다. 따라서, K₁, K₃, K₄에 대해서만 최적 반응계수를 추정하였으며, 총질소와 총인 관련 반응계수들은 추정 대상에서 제외하였고, 자료의 제약상 조류의 농도는 고려하지 않았다.

한강분류부의 K₁, K₃, K₄ 등에 대한 최적반응계수를 도출하기 위하여 영향계수법에 따른 최적화기법을 사용하였는데 이는 기발표 문헌(백경원 등, 1995)에 상세히 기술되어 있다. 잠실수중보 상류부와 하류부에 대하여는 수중보 상류부에서의 수심의 증가와 유속의 감소현상으로 인하여 반응계수의 특성이 상이할 것으로 판단되었으므로 수중보 상하류부 구간에 대하여 오염물의 반응은 흐름방향과 함께 이루어지므로 상류부로부터 하류부로 진행하여 반응계수를 도출하였다.

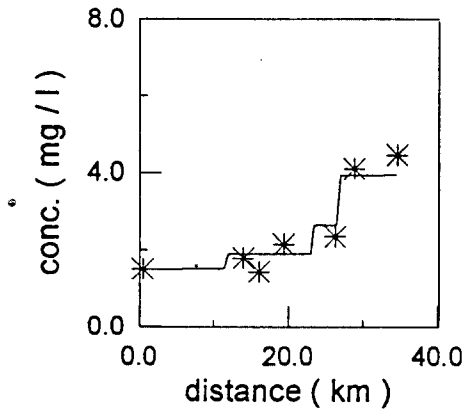


(a) T-N

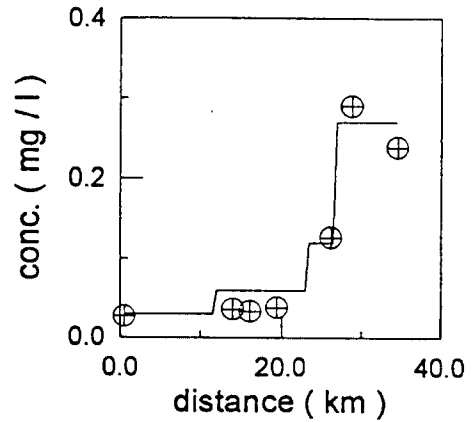


(b) T-P

그림 2. 계산치와 실측치의 비교('94년 2월)

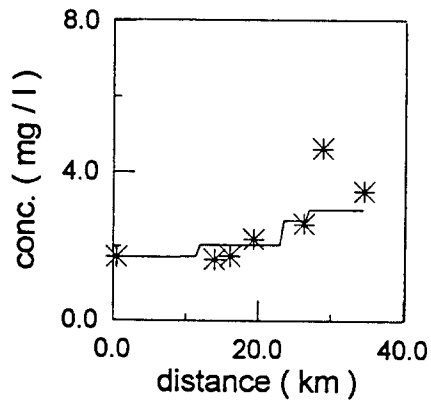


(a) T-N

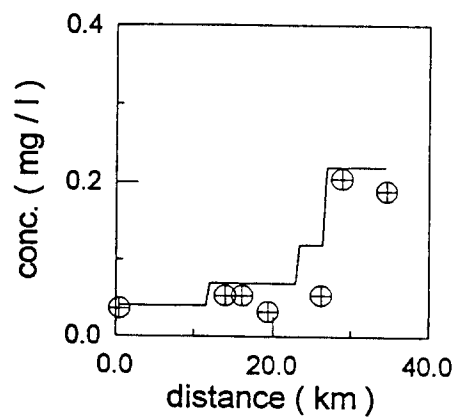


(b) T-P

그림 3. 계산치와 실측치의 비교('94년 3월)

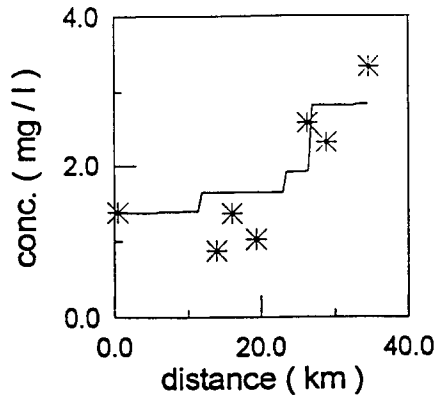


(a) T-N

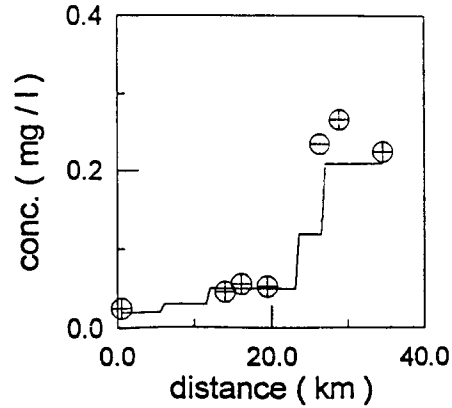


(b) T-P

그림 4. 계산치와 실측치의 비교('94년 4월)

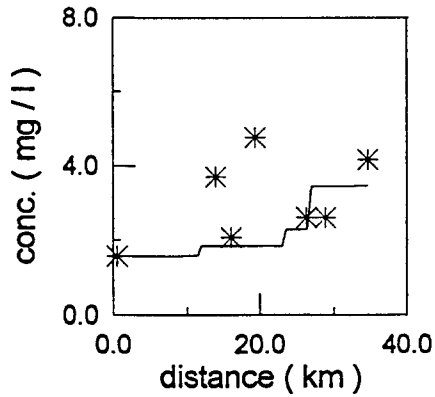


(a) T-N

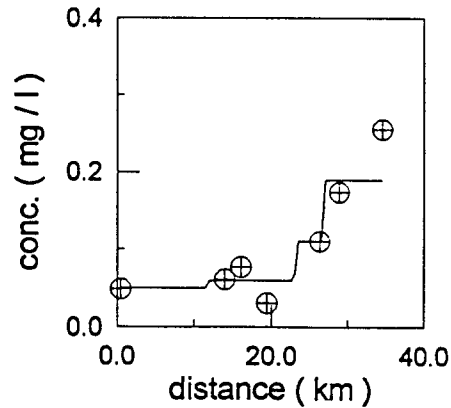


(b) T-P

그림 5. 계산치와 실측치의 비교('94년 5월)



(a) T-N



(b) T-P

그림 6. 계산치와 실측치의 비교('94년 8월)

3.3 모형의 적용

총질소와 총인에 대한 모형 계산치와 실측치와의 비교 검토를 위하여 94년 1월에서 8월까지의 한강 환경관리청의 수질 측정자료(1994)를 활용하였다. 주요지천 중 왕숙천, 탄천, 중랑천의 경우 지천에서의 한강환경관리청의 수질측정자료(1994)를 활용하였다.

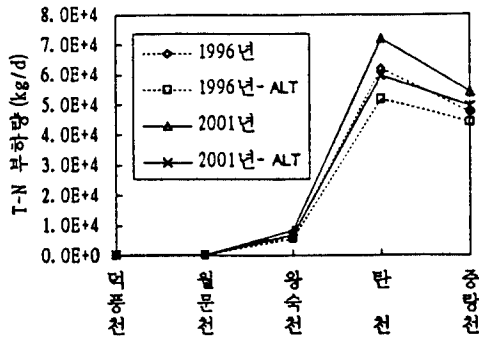
모형의 적용은 1994년 1월~8월의 팔당댐 방류량(1994) 및 한강환경관리청의 수질자료를 활용하였다. 월별 수질측정일의 팔당댐에서의 방류량은 1월~8월까지 150~236m³/sec로서 유량조건이

평균적으로 갈수량에 가까운 조건이었으나 이 중 7월의 유량조건은 651m³/sec로 크게 나타나 본 연구의 유량계수 산정 범위를 벗어나고 있어 수질 모의에서 제외하였다. 그림 2~그림 6은 총질소와 총인에 대한 94년 2월, 3월, 4월, 5월 및 8월의 수질해석 결과로서 모형에 의한 계산치는 그 종단 형상에 있어 실측치와 비교적 잘 일치되고 있음을 보여주고 있었다.

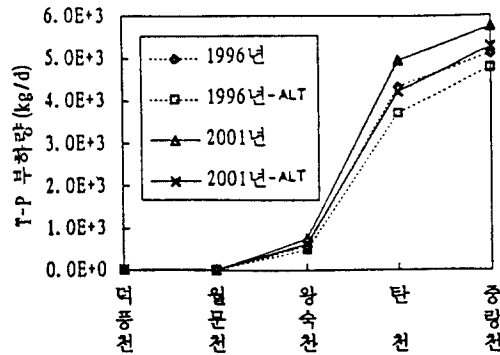
표 2는 주요 수질 실측지점에서의 총질소와 총인에 대한 계산치와 실측치의 범위를 정리한 것이다. 표와 그림에서 보는 바와 같이 총질소와 총인에 대한 계산치는 실측치와 비교하여 합리적인 범위내에 들고 있음을 확인할 수 있었다.

표 2. 주요 지점별 모형 계산치와 실측치의 비교

지 점	농 도	T-N(mg/ℓ)		T-P(mg/ℓ)	
		실측치	계산치	실측치	계산치
구 리 (강동대교)		0.88-4.42	1.43-1.90	0.01-0.08	0.05-0.07
암 사 (암사취수장)		1.36-2.06	1.53-2.05	0.00-0.08	0.05-0.07
구 의 (천호대교)		1.03-4.77	1.43-2.05	0.00-0.06	0.05-0.07
뚝 도 (성수대교)		1.74-2.92	1.93-2.65	0.05-0.24	0.10-0.15
보 광 (한남대교)		2.31-4.64	2.82-3.94	0.17-0.29	0.19-0.27
노량진 (한강대교)		3.26-4.46	2.83-3.95	0.19-0.26	0.19-0.27



(a) T-N



(b) T-P

그림 7. 장래 오염 부하량

4. 장래수질의 모의

4.1 오염부하량 산정

하천에 유입되는 오염물질은 생활하수, 공장폐수, 축산폐수 및 비점 오염원들이 있는 바 이들 물질은 지천을 통하여 유하하는 동안 미생물에 의한 분해, 침전, 지하침투 및 화학적 분해등에 의해 감소하게 된다.

실제의 경우 유달율은 유역의 변화, 즉 신시가지의 개발, 인구의 변화, 하수도의 체계 및 관리정비, 유역의 면적과 경사 등에 의해 변화할 수 있다. 각 지천에서의 유달부하량은 한강으로 유입되는 오염물질의 유입부하량이 된다. 주요 지천 및 배수구역

에 대한 오염물의 유달율과 유달부하량 자료는 구리 하수처리장 방류수 이동관련 타당성 조사 보고서(1994)에 상세히 수록되어 있다. 그림 7은 장래의 총질소 및 총인의 오염부하량 자료를 현재상태 처리시와 하수처리장 증설시의 경우에 대하여 도시한 것이다.

4.2 유량등급별 수질오염도 예측

장래의 팔당댐의 방류량자료(한수문조사년보, 1981~1993)를 기초로 할 때 표 3에서와 같이 갈수량은 128m³/sec인 반면, 취수량은 1996년 및 2001년에 각각 80m³/sec, 90m³/sec로서 취수영향이 과다하게 나타나 적절한 수질예측결과의 도출이 어려울 것으로 판단되었다.

따라서, 갈수량은 충주댐 완공 후의 상시유량인

표 3. 팔당댐의 방류량('81~'93 평균치)

(단위: m³/sec)

갈수량	저수량	평수량	평균 유량	풍수량
128.1	172.4	266.2	472.4	469.3

표 4. 팔당댐 직하류부에서의 장래 수질모의 자료(이길성 등, 1993)

	1996년		2001년		
	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5
BOD(mg/ℓ)	1.158	1.167	1.288	1.307	1.325
T-N(mg/ℓ)	1.688	1.809	1.801	1.849	1.901
T-P(mg/ℓ)	0.089	0.089	0.103	0.105	0.107
비 고	5단계 미취수시	5단계 취수시	5,6단계 미취수시	5단계 취수시	5,6단계 취수시

200m³/sec를 적용하였고 (충주댐 완료 후인 1985~1988년의 갈수량은 214.9m³/sec임), 평수량은 1981년부터 1993년까지의 팔당댐의 연 평균 방류량인 470m³/sec를 적용하였다. 장래의 팔당댐의 수질자료는 BOD 및 총질소와 총인은 이길성 등(1993)에서 제시된 팔당댐 직하류부에서의 동절기를 제외한 년평균치의 수질자료를 활용하였고(표 4 참조), DO와 수온은 연관관계가 매우 크므로 BOD, 총질소와 총인과의 일관된 자료특성을 유지하기 위해서 1991년~1994년의 동절기(12, 1, 2월)자료를 제외한 연 평균값을 사용하였다.

장래의 수질모의는 1996년과 2001년도에 팔당댐의 갈수량 및 평수량 조건하에서 현재상태 처리시와 하수 처리시설 증설시의 경우에 대하여 실시하였다. 장래수질에 대한 모의계산 결과 탄천 및 증랑천 유입 후에 총질소와 총인이 더욱 악화되는 현상을 보이고 있는데 이는 이 구간에서의 절대적인 오염부하량의 증가와 수중보 상류부에서의 취수량 증가로 인하여 희석에 따른 하천자정능력이 크게 떨어진 것에 기인한 것으로 사료된다.

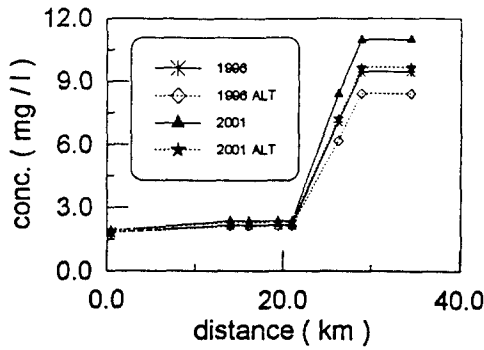
1996년 갈수기의 왕숙천 유입부~수중보 상류부에 대한 수질은 현재상태 처리시의 경우, 총질소가 2.19mg/ℓ, 총인이 0.12mg/ℓ로 나타났고, 처리장 증설시의 경우 총질소가 2.13mg/ℓ, 총인이 0.12mg/ℓ로 나타났다. 이 경우의 한강대교에서의 수질은 총질소, 총인이 처리장 증설시의 경우 각각 9.46mg/ℓ, 0.76mg/ℓ, 대안의 경우 각각 8.44mg/ℓ, 0.69mg/ℓ로 나타났다.

2001년 갈수기의 왕숙천 유입부~수중보 상류부에 대한 수질현황은 현재상태 처리시의 경우가 총질소가 2.41mg/ℓ, 총인이 0.15mg/ℓ로 나타났고, 처리장 증설시의 경우 총질소가 2.32mg/ℓ, 총인이 0.14mg/ℓ로 나타났다. 하류단인 한강대교에서의 수질은 총질소, 총인이 현재상태 처리시의 경우 각각 10.99mg/ℓ, 0.89mg/ℓ, 처리장 증설시의 경우 각각 9.67mg/ℓ, 0.80mg/ℓ로 나타났다.

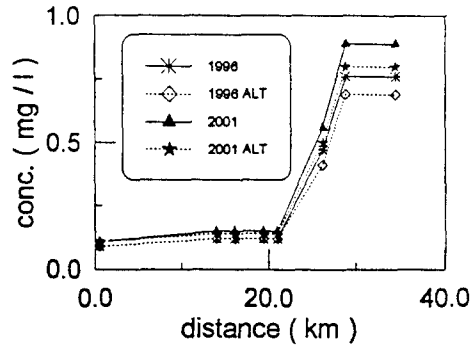
1996년 평수기의 왕숙천 유입부~수중보 상류부에 한 수질현황은 현재상태 처리시의 경우가 총질소가 1.85mg/ℓ, 총인이 0.10mg/ℓ로 나타났고, 처리장 증설시의 경우 총질소가 1.82mg/ℓ, 총인이 0.10mg/ℓ로 나타났다. 하류단인 한강대교에서의 수질은 총질소, 총인이 현재상태 처리시의 경우 각각 4.61mg/ℓ, 0.34mg/ℓ, 처리장 증설시 각각 4.22mg/ℓ, 0.32mg/ℓ로 나타났다.

2001년 평수기의 왕숙천 유입부~수중보 상류부에 대한 수질현황은 현재상태처리시의 경우가 총질소가 2.01mg/ℓ, 총인이 0.12mg/ℓ로 나타났고, 처리장 증설시의 경우 총질소가 1.97mg/ℓ, 총인이 0.12mg/ℓ로 나타났다. 이 경우의 한강대교에서의 수질은 총질소, 총인이 현재상태 처리시의 경우 각각 5.22mg/ℓ, 0.40mg/ℓ, 처리장 증설시의 경우 각각 4.27mg/ℓ, 0.36mg/ℓ로 나타났다. 그림 8~그림 9는 장래에 있어서의 주요 지점별 총질소, 총인의 변동특성을 도시한 것이다.

한강하류부(팔당댐~한강대교)의 수질에 영향을 미치는 왕숙천의 오염부하는 이 구간에서의 전체부

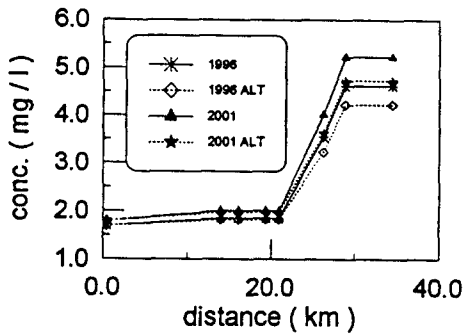


(a) T-N

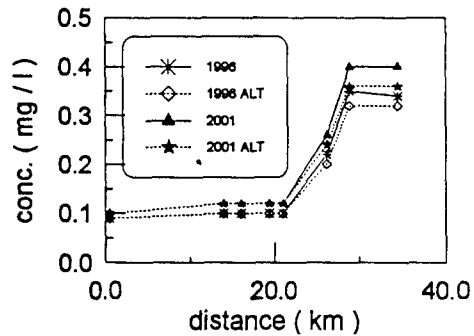


(b) T-P

그림 8. 장래 수질모의 결과(갈수기)



(a) T-N



(b) T-P

그림 9. 장래 수질모의 결과(평수기)

하랑에 대하여 그 기여도는 상대적으로 작게 나타났으나 수중보 상류부가 정체수역이고 취수장이 분포되어 있는 것을 고려한다면 3차 처리등의 적절한 대책이 필요한 것으로 판단된다.

5. 결 론

한강 하류부(팔당댐~한강대교 구간)에서의 총질소와 총인의 농도예측을 위하여 QUAL2E 모형을 적용하였는바, 1994년도의 수질실측 결과와 계산치와는 그 종단형상에 있어 비교적 일치하고 있었다. 이 구간의 주요 지천인 왕숙천, 탄천, 중랑천 등의 장래 오염부하량을 산정하여 한강하류부에서의 수질모의를 실시하였다. 1996년 갈수기에 처리장 증설시의 경우 총질소와 총인의 농도는 수중보 직상류부에서 2.13mg/l, 0.12mg/l로 나타났고

한강대교에서는 8.44mg/l, 0.69mg/l로 나타났으며, 2001년의 경우는 수중보 직상류부에서 각각 2.32mg/l, 0.14mg/l, 한강대교에서 9.67mg/l, 0.80mg/l로 나타났다. 1996년 평수기의 처리장 증설시의 경우는 수중보 직상류부에서 1.82mg/l, 0.10mg/l로 나타났고 한강대교에서 4.22mg/l, 0.32mg/l로 나타났으며 2001년의 경우는 수중보 직상류부에서 각각 1.97mg/l, 0.12mg/l, 한강대교에서 4.72mg/l, 0.36mg/l로 나타났다.

참 고 문 헌

- 경기지구 한강종합개발계획 보고서. (1987). 건설부.
- 구리 하수처리장 방류수 이송관련 타당성 조사 보고서. (1994). 구리시.
- 백경원, 김상호, 한건연, 송재우 (1995). "QUAL2E에

의한 한강 하류부에서의 수질해석.” 대한토목학회 논문집, 제15권, 제2호, pp. 451-461.

안태홍 (1988). “QUAL2E 모형을 이용한 한강분류 수질의 예측평가에 관한 연구,” 석사학위논문, 서울대학교 환경대학원.

이길성 등 (1993). “수도권 광역상수도 5 단계 타당성 조사 및 기본계획.” 연구보고서, 서울대학교 수공학연구소.

전경수, 이길성 (1993). “QUAL2E 모형의 한강수계 적용.” 한국상하수도학회지, 제6권, 제2호, pp. 43-56.

수질측정자료 (1994). 한강환경관리청.

· 팔당댐 방류량 및 인도교 수위 자료, (1992, 1993, 1994). 한강홍수통제소.

한강 수위유지 시설 (잠실수중보) 기본계획 및 실시계획. (1984). 서울특별시.

한강하류 연안 개발계획 보고서. (1989). 서울지방국토관리청.

한건연, 김광섭, 박재홍 (1994). “하천으로 유입된 오염물의 유동해석을 위한 동역학적 모형의 개발.” 한국수문학회지, 제27권, 제4호, pp. 145-154.

한국수문조사년보. (1981~1993). 건설부.

Barnwell, R.B. (1978). “Holston River Study.” *EPA 904/9-78-019*, US EPA.

Blosser, R.O. (1980). *A review of the mathematical water quality model QUAL-II and guidance for its use*. National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement.

Bowie, G.L., et al. (1985). “Rates, constants, and kinetics formulations in surface water quality modeling.” 2nd Ed., *EPA/600/3-85/040*, US EPA.

Brown, R.T., and Barnwell, T.O. (1987). “Computer program documentation for the enhanced stream water quality model QUAL2E and QUAL2E-UNCAS.” *EPA/600-3-87/007*, US Environmental Protection Agency.

Koenig, M. (1986). *Withlacoochee River-QUAL2E model calibration from Clyatville, GA to Ellaville, FL*. US EPA, Region IV, Environmental Services Division, Athens, GA.

McCutcheon, S.C. (1982). “Evaluation of selected one-dimensional stream water quality models

with field data.” *Open File Report 82-851*, US Geological Survey.

Thomann, R.V., and Mueller, J.A. (1987). *Principles of surface water quality modeling and control*, Harper and Row.

Willis, R., Anderson, D.R., and Dracup, J.A. (1976). “Transient water quality modeling in streams.” *Water Resources Bulletin*, American Water Research Association, Vol. 12, No. 1, pp. 157-174.

〈기 호〉

- A_0 : 조류 biomass의 농도
- F : 조류에 의한 질소의 섭취율
- K_1 : 탄소성 BOD의 제거율계수
- K_2 : Ficks의 확산이론과 관련된 재포기계수
- K_3 : 탄소성 BOD의 침전에 의한 제거율계수
- N_1 : 암모니아성 질소의 농도
- N_2 : 아질산성 질소의 농도
- N_4 : 유기질소의 농도
- P_1 : 유기인의 농도
- U : 단면평균유속
- α_1 : 박테리아의 작용에 의하여 암모니아성 질소로 재분해될 수 있는 조류 biomass의 부분
- α_2 : 조류 biomass의 인부분
- α_3 : 광합성에 의한 단위조류의 질소발생량
- α_4 : 단위조류 분해에 필요한 산소소비량
- α_5 : 단위 암모니아성 질소 산화에 필요한 질소소비량
- α_6 : 단위 아질산성 질소 산화에 필요한 질소소비량
- β_1 : 암모니아성 질소의 산화율
- β_2 : 아질산성질소의 산화율
- β_3 : 암모니아성 질소의 수화에 의한 유기질소의 1차 감소율
- β_4 : 유기인의 감소계수
- σ_2 : 용존인의 하상증가율
- σ_3 : 암모니아성질소의 하상증가율
- σ_4 : 유기질소의 침전율
- μ : 조류의 비성장율
- ρ : 조류의 호흡율

〈접수 : 1995년 3월 24일〉