

섬강유역 환경용량 및 수질 Modeling

허인량 · 오근찬 · 최지용
강원도보건환경연구원

Water Quality Modeling and Environmental Capacity in the Seom River Basin

In-Ryang Huh, Geun-Chan Oh and Ji-Yong Choi
Kangwon-do Health and Environmental Institute

ABSTRACT

Seom River was major branch of Namhan river, consist of primary basin that Wonjoo-city, Hoingsung-gun and primary contamination source was sewage from human lives. This study was evaluated production contamination loading of each branch basin and water quality grade and water quality simulation by QUAL2E to provide efficient contaminations source control. Result of survey, production loading of BOD, T-N, T-P were 26,591 kg/day, 4,560 kg/day, 731 kg/day respectively. Water quality analysis in 17 points of main stream were appeared that 1st grade(BOD 1 mg/l under) was 6 point, 2nd grade was 9 point and 3rd grade was 2 point. And result of water quality analysis for branch stream, first grade was evaluated 68.7%. Based of field data, calibration and verification result were in good agreement with measured value within coefficient of variance were from 2.59% to 18.73%, from 6.39%, to 28.46%, respectively.

Keywords : Seom river, Water quality modeling, Environmental capacity, QUAL2E

I. 서 론

섬강은 남한강을 구성하는 주요 하천으로써 횡성군 둔내면에 위치한 태기산 정상에서 발원하여 92 km를 유하한 후 원주시 부론면 홍호리에서 남한강 본류와 합류한다. 원주시와 횡성군을 주 유역으로 하고있는 섬강은 원주 및 횡성읍 일대의 생활용수 및 농업, 공업용수로 사용되고 있으며 남한강과 합류후에는 수도권의 상수원으로서 이용되는, 수자원으로서도 가치가 상당히 큰 하천으로 알려져 있다.

최근 산업화 및 도시화가 진행되면서 산업구조 및 생활방식이 복잡해짐에 따라 배출되는 오염물질도 그 구조가 복잡 다양해 지고 있으며 인구밀집지역에서 발생하는 다량의 생활오염물질은 주변 자연환경을 파괴해 가고 있다. 이러한 수환경 파괴에 의한 하천의 오염에 가장 큰 피해를 받는것중 하나는 부영양화된 수계로부터 취수하고 있는 수도사업으로 그 피해로는 전염소처리시 발암물질인 THM(Trihalomethane)¹⁾

의 생성, 조류의 대사 분해산물과 조류생성에 따른 pH의 상승으로 응집작용의 저해에 의한 다량의 응집제 투여,²⁾ 여과지나 스크린의 폐쇄,³⁾ 클로로아민 화합물의 생성에 의한 소독효과의 저해 및 메트헤모글로민의 생성⁴⁾ 등으로 상수처리비용의 증가와 시민의 건강피해의 위험성을 증가시키고 있다.

수질관리는 오염원의 정확한 파악으로부터 방류된 오염물의 물리, 화학 생물학적인 변화를 통해 자정작용과 하천의 유량변화를 정확히 규명함으로써 이루어질수 있다. 그리고 상류오염원의 변화, 즉 부하량의 증감 및 하천의 수리 수문학적 변화에 따른 수질 예측을 위해 각각의 현상을 시·공간에 관해 수식화한 모델링 기법이 널리 이용되고 있다. 이러한 모델링을 통하여 대상하천의 물질변화과정을 설명할수 있으며 자정능력을 산출하여 배출허용량을 결정함으로써 합리적인 수질관리 대책을 수립할수 있다.

하천모델은 Streeter-Phelps⁵⁾가 제시한 유기물산화에 따른 탈산소 계수와 산소재포기에 따른 수중용존산

소소비 변화에 대한 모델을 시초로 Thomas,⁶⁾ Camp,⁷⁾ O'connor,⁸⁾ O'connor & Ditoro,⁹⁾ Yeh 등¹⁰⁾에 의해 수정 변형되어 EPA의 MIT,¹¹⁾ QUAL1,¹²⁾ QUAL2,¹³⁾ QUAL2E¹⁴⁾ 모델에 이르기 까지 많은 연구가 광범위하게 이루어져 수질관리 모델링에 이용되고 있다. 이 중에서 국내에 적용된 수질모델은 주로 QUAL2E모델¹⁵⁾로 이미 그 신뢰성과 실효성이 인정되고 있다.

본연구는 섬강 전역을 대상으로 섬강을 구성하고 있는 본류 및 지류하천에 대하여 매월 수질조사를 통해 수계의 수질현상을 평가하고 유역환경조사에 의해 섬강유역의 환경용량을 파악하였다. 또한 갈수기 및 평수기의 수질환경에 대해 각각의 수질조건 및 모델인자를 입력하여 보정, 검증된 QUAL2E 모델을 이용하여 물질수지를 해석하고 향후 오염원 변화에 따른 섬강전역의 수질변화를 예측하여 효율적인 수질관리 방안을 제시하는데 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 조사지점

섬강유역 수질현황을 파악하기 위한 조사지점 중 본류지점은 Fig. 1과 같이 횡성군 청일면 태기산 발원지부터 최하류인 원주시 부론면 홍호리의 남한강 합류전까지 17개 지점에 대해 '96년 1월부터 12월까지 수질조사를 실시하였으며 지류하천에 대해서는 오염우심 하천인 원주천, 전천, 서곡천을 포함한

16개하천을 조사하였다. 분석횟수는 유역내 주요지점 12개 지점에 대해서는 월별로 수질조사를 실시하였고 나머지 지점에 대해서는 격월간 실시하였다.

2. 수질분석 및 연구범위

수질분석은 모델링에서 예측이 가능한 BOD와 13개 항목을 분석하였으며, 분석 항목중 현장측정이 가능한 항목인 수온, 용존산소, pH, 전기전도도 등은 현장에서 직접 측정하였으며, 현장 측정이 불가능한 항목은 시료를 냉장 보관하여 실험실로 운반한 후 수질오염 공정시험방법에 준하여 분석하였다. BOD의 경우 YSI DO meter를 이용하였으며, 총질소는 자외선 흡광광도법, 총인의 Ascorbic Acid법을 이용하였다. 전기전도도는 YSI Model 33을 이용하였고, 염소이온과 질산성질소는 Ion Chromatography를 이용하여 분석하였다. 채수시 유속 측정이 가능한 지점에서는 유속계(Flow rate Model 2000)를 이용하여 유속을 측정하고 하상 단면을 측량하여 유량을 계산하였다.

본 연구에서의 연구범위는 본류 및 지류의 수질조사지점에 대해서 수질상태를 평가하였다. 유역내에서 발생하는 오염부하량은 각각의 지류유역별로 평가 하여 주요오염원이 되고있는 유역을 파악하였다. 장래 수질예측에 사용한 수질모델은 EPA에서 개발하여 하천수질 예측에 많이 이용되고 있으며, 개인용 컴퓨터에서 사용할수 있도록 수정하여 놓은 QUAL2E 프로그램을 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 오염부하량

수질관리 및 평가를 위해 중요한 자료중의 하나인 오염부하량 산정시, 본 연구에서는 섬강유역을 구성하고 있는 17개 지류 하천 유역과 지류하천에 귀속되지 않은 본류유역에 대하여 발생오염부하량을 조사하였고, 오염부하량 조사는 각 시군의 통계자료¹⁸⁻²⁰⁾를 이용하였다. 오염부하량 산정에 필요한 주 오염원은 인구와 가축사육 그리고 토지이용에 따른 오염과 산업시설에서 배출되는 오염물질로 선정하였다. 그리고 오염부하량 항목은 원단위가 설정되어 있는 BOD, 총질소, 총인에 대하여 조사하였다.

섬강의 16개 지류유역중 주 오염원으로 나타난 유역의 BOD, 총질소, 총인의 발생오염부하량은 Fig. 2에 나타나 있다.

섬강전역에서 발생하는 BOD 발생오염부하량은 26,591

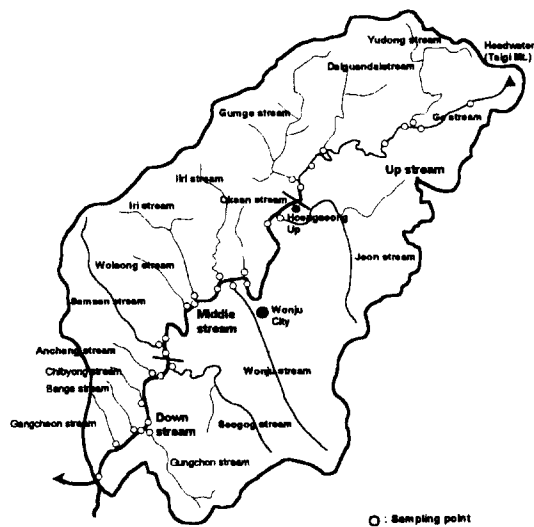


Fig. 1. Basin diagram of Seom river.

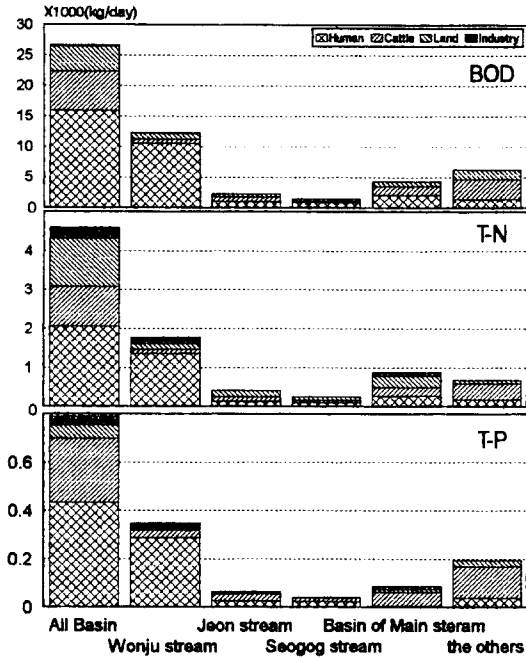


Fig. 2. Distribution of BOD, T-N and T-P loading in each contamination source.

kg/day로 이중 인구에 의한 부하량이 15,998 kg/day로 60.1%를 차지하고 있으며 다음으로 가축에 의한 오염 부하량이 24%, 토지에 의한 오염부하량이 15.3 %, 그리고 산업시설에 의한 부하량이 0.5%로 타 유역에 비해 산업시설에 의한 부하량은 적은 것으로 나타났다.

섬강의 지류유역중 가장 큰 오염원인 원주천의 경우 총 부하량은 12,264 kg/day로 이중 인구에 의한 부하가 10,564 kg/day로 86%로 나타나 대부분의 오염은 인구에 의해서 발생하는 것으로 나타났다. 그리고 횡성읍 생활하수의 영향이 큰 전천의 경우 BOD 부하량은 2,283 kg/day로 나타났으며, 이중 인구에 의한 부하가 45%로 도심을 경유하는 하천은 대부분의 오염원이 인구에 의한 것으로 조사되었다.

오염원별 총질소 부하량의 분포는 유역전체의 부하량이 4,560 kg/day로 이중 45%가 인구에 의하여 발생되었고 총인의 경우는 731 kg/day의 54.8%인 434 kg/day로 나타났다. 또한 원주천에 있어서 총질소 및 총인의 발생오염부하량은 1,778 kg/day, 384 kg/day로 BOD와 같이 인구에 의한 부하가 76.7%, 82.4%로 대부분을 차지하고 있었다.

2. 수질분석 결과

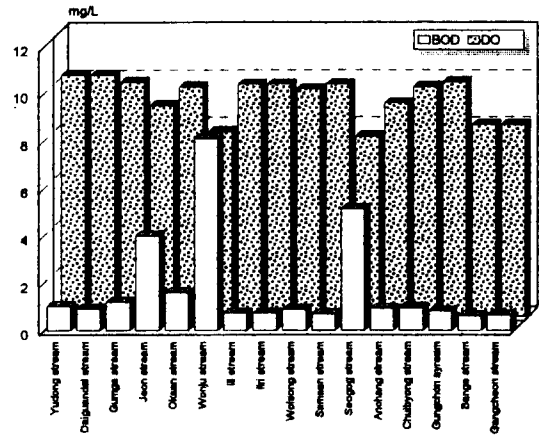


Fig. 3. BOD and DO variation of branch stream of Seom river.

(1) 용존산소 및 유기물 오염물질

지류하천 16개소와 유입하수 3개소를 포함한 총 18개소에 대한 연평균 용존산소 및 BOD 농도는 Fig. 3에 나타나있다.

용존산소의 경우 원주천과 서곡천을 제외한 모든 하천에서 8 mg/l 이상을 보여주었으며 오염이 심한 원주천의 경우도 8.0 mg/l로 양호한 수준이었다. 하천의 오염수준을 BOD로 평가하여보면 총16개 하천 중 1 mg/l 이하인 I 등급 하천이 11개소로 69%가 청정한 수준을 보여주었으며 II 등급이 2개 하천, 18%, III 등급이 전천과 서곡천으로 2개하천 이었고, 원주천의 경우 7.9 mg/l로 IV 등급의 오염이 심한 상태

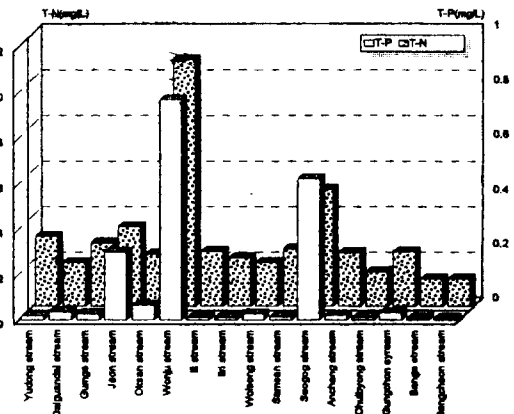


Fig. 4. T-N and T-P variation of branch stream of Seom river.

를 보여주었다.

(2) 영양염류

섬강유역의 지류하천의 총인과 총질소의 농도 분포는 Fig. 4에서 보여주고 있다.

원주천의 경우 총질소는 11.02 mg/l로 이 중 NH₄-N이 6.19 mg/l로 총질소의 56%를 차지하였으며 이에 비해 질산성질소는 3.54 mg/l로 32%를 차지하고 있어 오염이 심한 하천임을 알 수 있었다. 총인이 경우 0.731 mg/l로 이 중 PO₄-P가 0.548 mg/l로 75%를 차지하고 있어 생활하수의 영향을 많이 받고 있음을 알 수 있었다. 전천의 경우 총인 및 총질소의 농도는 0.241 mg/l, 3.691 mg/l로 나타났으며, 총인중 PO₄-P는 0.162로 67%를 차지하고 있었으며, 총질소중 질산성질소의 농도가 2.378 mg/l로 66%를 차지하고 있어 원주천에 비해서 안정상태에 도달하였음을 알 수 있었다. 서곡천의 경우 총인은 0.488 mg/l로 이 중 PO₄-P가 0.386 mg/l로 79%를 차지하고 있었으며, 총질소의 경우 4.9 mg/l로 이 중 질산성질소가 2.21 mg/l로 45%, 암모니아성질소가 2.18 mg/l로 유사한 수준을 보여주었다. 오염우심 하천을 제외한 나머지 하천의 경우, 총질소의 경우 2.96 mg/l에서 1.27 mg/l를 보여주었고, 총인은 0.048 mg/l에서 0.008 mg/l의 범위에 있었다.

(3) 보전성물질

본 연구에서는 전기전도도와 염소이온을 보전성물질로 선정하였으며 그 농도의 분포는 Fig. 5와 같다.

전기전도도의 경우 섬강유역의 주요오염하천인 원주천에서 393 μMHOS/cm를 보여주었고, 염소이온의

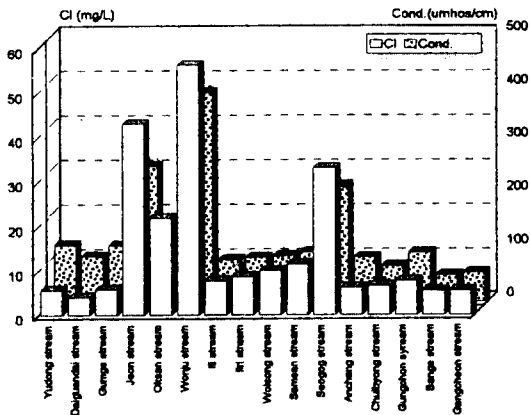


Fig. 5. Conservative matter variation of branch stream of Seom river.

경우 56.3 mg/l를 나타냈다. 섬강유역내 두 번째의 오염하천으로 알려져있는 전천의 경우 전기전도도와 염소이온농도는 각각 255.0 μMHOS/cm과 43.1 mg/l이었으며, 서곡천의 경우는 219.2 μMHOS/cm와 33.2 mg/l를 나타냈다. 주요오염하천인 원주천과 전천, 서곡천을 제외한 나머지 13개 하천의 전기전도도는 50.8-150 μMHOS/cm의 분포를 보여주었고, 염소이온은 4.0-21.9 mg/l의 범위안에 있었다.

3. 수질 모델링

(1) QUAL2E 모델의 보정

모델의 보정은 1년중 유량이 가장 안정화 되어있는 평수기인 9월의 수질 및 유량자료를 이용하여 보정하였다. 유역의 구분은 크게 3개의 대구간으로 발원지부터 황성읍 하수 유입전 까지를 상류로 정하였고, 지정면 지정대교 까지를 중류로, 그리고 나머지를 하

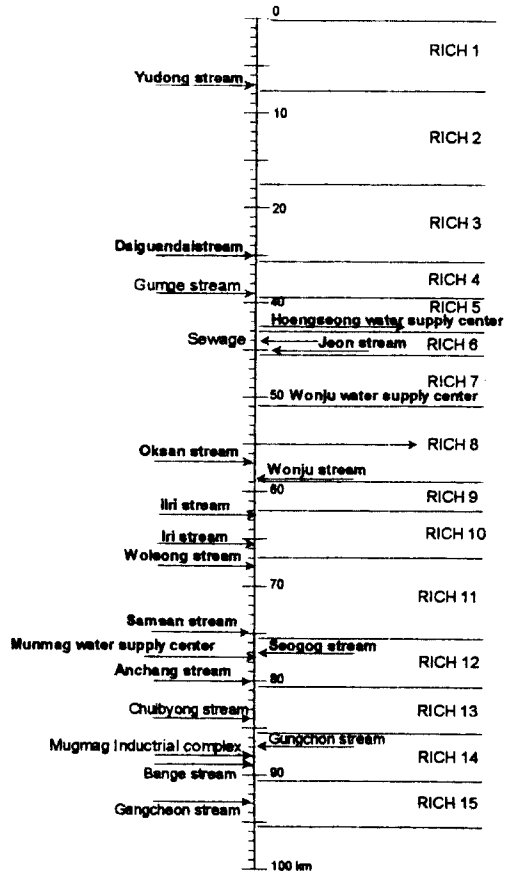


Fig. 6. Schematic diagram for QUAL2E model distance.

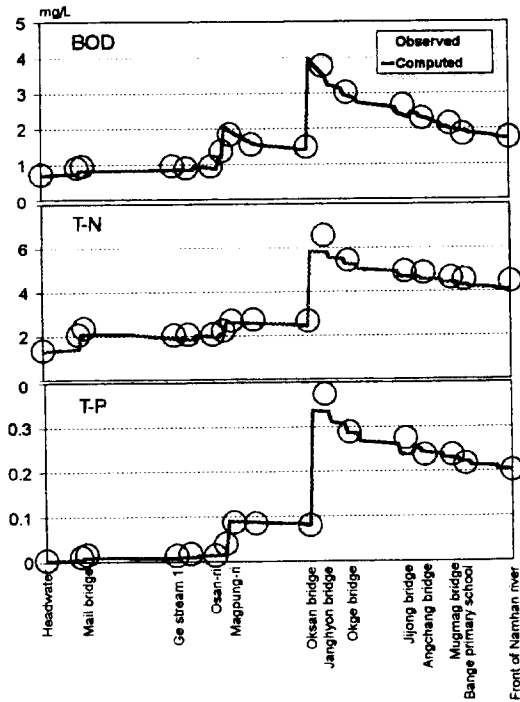


Fig. 7. Model calibration result of BOD, total nitrogen and total phosphorus.

류로 정하였다. 모형을 구성하기 위한 Reach는 Fig. 6과 같이 수리학적 특성이 유사한 지역을 15개로 구분하였으며, Reach를 구성하는 Element는 500 m씩을 1개로 정하여 총 173개로 구획하여 예측하였다.

모델의 Simulation은 모델의 시작지점인 Head water와 지류의 유량과 수질을 하나로 경계조건 값으로 입력하여 모델의 결과값과 실측값이 일치할 때까지 구간별로 각종 반응계수를 수정하면서 수행하였다. 적용된 계수값중 탈산소계수와 재포기 계수는 실측치를 이용하였으며 나머지는 모델의 추천치를 사용하였다. 또한 모델 보정중 실측치와 많은 차이가 있을때는 제안된 범위를 넘지않는 수준에서 보정을 하였으며 BOD 총질소 총인의 보정결과는 Fig. 7에 나타나 있다.

BOD의 경우 발원지에서 0.7 mg/l을 유지하던 상류는 Reach 6의 Element 3에서 황성하수의 영향으로 0.8 mg/l에서 1.3 mg/l로 37% 증가 하였으며, 전천의 유입으로 인해 2.1 mg/l로 증가하였다. 전천 유입후 부터 원주천 유입전까지는 1.7 mg/l로 감소된 경향을 보여주었으며, 원주천 유입직후 4.2 mg/l로 2.4 배의 BOD 증가를 볼수 있었다. 이후 Reach 12의 서곡천의

유입의 영향으로 다소간의 증가가 있었으며 종점에서 1.4 mg/l로 나타났다. 용존산소의 경우 10.3 mg/l에서 황성하수의 영향전까지는 9.0 mg/l 이상을 유지하였으며, Reach 6 이후인 중하류 유역에서 8.3 mg/l에서 9.0 mg/l를 유지하고 있었다. 총질소와 총인의 보정결과도 BOD와 유사한 경향을 보여주었다. 보전성 물질인 전기전도도의 경우 발원지인 시점에서 69.4 µMHOS/cm를 보여주었고 Reach 1의 종점에서 유동천의 유입으로 88.1 µMHOS/cm로 증가하였다. Reach 6에서는 전천 유입의 영향으로 인하여 Element 5에서 134.5 µMHOS/cm로 유입전에 비해 1.5배 증가하였다. Reach 8에서는 Element 20에서 전기전도도가 470 µMHOS/cm인 원주천의 유입으로 인하여 유입전에 비해 263 µMHOS/cm으로 2배정도의 증가를 보여주었다. 이후 다소간의 차이는 있지만 점차적으로 감소하여 섬강이 종점에서는 175.3 µMHOS/cm으로 나타났으며 그림에는 표시하지 않았다.

본 수질모델링의 보정 및 검증 작업을 보다 효율적으로 수행하기 위해서 이 등²¹⁾이 개발한 그래픽 소프트웨어를 사용하였다. 현장조사 결과로 부터 얻어진 수질분석 결과가 모델예측치와 함께 평균수질을 대표한다는 가정을 기초로 QUAL2E 모델의 보정 및 검증을 실시한 결과, 각 수질인자별로 실측치에 대한 예측치의 표준오차(Standard Error)와 분산계수(Coefficient of Variance) 및 전체모델구간에서 나타난 평균표준오차(MSE)와 평균분산계수(MCV%)를 다음에 제시된 식을 이용하여 분석하면 다음과 같다.

$$SE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum (P_i - O_i) \right]^{1/2}$$

$$CV = \frac{SE}{O_m}$$

Table 1. Standard error and coefficient of variance by water quality calibration in September

Items	Cond.	Cl	DO	BOD	Org-N
MSE	13.69	1.14	0.22	0.246	0.014
MCV(%)	10.97	9.61	2.59	12.64	9.99
Items	NH ₃ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	T-N	DOP
MSE	0.115	0.004	0.129	0.228	0.004
MCV(%)	17.95	5.91	5.99	7.06	13.56
Items	DIP	T-P	Coli.	TSS	Chl.a
MSE	0.009	0.008	366	0.198	0.725
MCV(%)	9.68	12.45	18.73	10.18	12.16

$$MSE = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (SE)$$

$$MCV(\%) = \left[\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (CV_i)^2 \right]^{1/2} * 100$$

여기서 SE는 표준오차, CV는 분산계수, O는 실측치, P는 예측치, N은 측정횟수, Om은 실측치의 평균, 그리고 MSE와 MCV는 각각 평균 표준오차와 평균분산계수(%)로, 섬강유역수질 모델의 보정결과를 Table 1과 같이 BOD의 경우 MSE는 0.25 mg/l로 나타났으며, MCV는 12.6%를 보여주었다. 각 예측 항목별 MSE와 MCV는 총질소의 경우 0.228 mg/l, 7.06%로 나타났으며, 총인의 경우는 0.008 mg/l, 12.45%를 보여주었다. 15개 조사 항목의 평균분산계수의 범위는 용존산소의 경우 2.59%로 실측치와 예측치간의 차이가 가장 적게 나타났으며, 대장균군수에서 18.73%로 가장 큰 차이를 볼수 있었으며, 전반적으로 비교적 실측치와 예측치와의 유사한 경향을 보여주었다.

(2) QUAL2E 모델의 검증

본연구대상 유역의 9월 자료로서 QUAL2E 모델

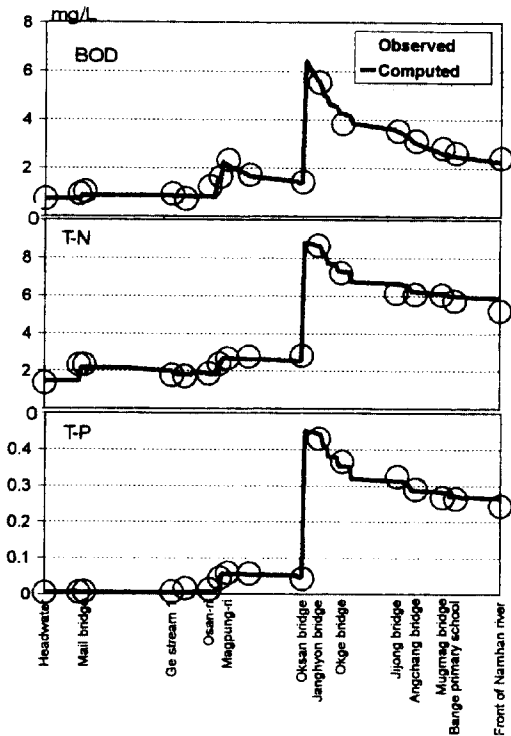


Fig. 8. Model varification result of BOD, total nitrogen and total phosphorous.

Table 2. Standard error and coefficient of variance by water quality varification in December

Items	Cond.	Cl	DO	BOD	Org-N
MSE	12.75	2.55	0.89	0.39	0.025
MCV(%)	7.78	19.2	7.81	17.66	14.02
Items	NH ₃ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	T-N	DOP
MSE	0.086	0.01	0.18	0.199	0.008
MCV(%)	16.9	15.31	7.89	6.93	21.26
Items	DIP	T-P	Coli.	TSS	Ch.La
MSE	0.015	0.019	395	0.6	1.415
MCV(%)	13.98	26.86	26.72	25.6	28.46

을 수리 및 수질 별로 계수를 결정하여 보정작업을 마친 뒤 다른 조건하에서의 예측을 검토하기 위해 갈수기인 12월의 자료로서 검증을 실시하였으며 BOD, 총질소, 총인의 검증 결과는 Fig. 8과 같다.

12월의 실측수질을 9월과 비교하여 보면 원추천의 경우 9월과 12월의 BOD는 7.0 mg/l, 10.5 mg/l로 12월에 33%의 증가를 볼수 있었으며 총질소의 경우 11.8 mg/l에서 13.8 mg/l로, 총인의 경우는 0.268 mg/l에서 0.774 mg/l로 14.4%와 65%의 증가를 볼수 있었다. 본류수계의 수질분석 결과를 비교하여 보면 BOD의 경우 상류수계의 종점인 오산리 지점에서 9월 0.9 mg/l에서 12월 1.2 mg/l로 25%의 증가를 보여 주었으며 황성의 하수 합류후 막풍리 지점에서 1.8 mg/l에서 2.3 mg/l로 증가하였다. 그리고 섬강 본류수계의 측정지점 중에서 가장 오염이 심한 장현교 지점의 경우 3.6 mg/l에서 6.5 mg/l로 1.8배 정도의 BOD 증가를 볼수 있었다. 9월의 수질보정 결과를 기초로 하여 12월의 실측치와의 수질을 검증하여 본 결과 Table 2와 같이, BOD의 경우 평균표준오차와 평균분산계수는 0.30 mg/l와 17.66%로 9월의 0.246 mg/l, 12.64%에 비해 다소 높은 값을 보여주었다. 총질소와 총인의 경우 평균분산계수는 6.93%, 26.86%로 실측치와 유사한 경향을 보여주어 모델의 보정에 무리가 없는 것으로 판단되었다.

IV. 결 론

1. 발생오염부하량 조사결과 섬강전역에서 발생하는 부하량은 BOD 26,591 kg/day, 총질소 4,560 kg/day, 총인 731 kg/day을 보여주었고, 이중 인구에 의한 부하량 점유율은 BOD의 경우 60.1%, 총질소는 45%, 총인은 54.8%로 가축, 토지에 의한 부하량

보다 높은 것으로 나타났다.

2. 수질분석 결과를 BOD로 평가하면 본류 17개 지점중 I 등급이 6개지점, II 등급이 9개지점, III 등급이 2개지점으로 나타났고, 지류 16개 하천에서는 I 등급이 11개 하천, II 등급이 2개하천 III 등급은 전천 및 서곡천으로 2개 하천이었고 IV 등급은 원주천으로 나타났다.

3. QUAL2E를 이용한 섬강수질의 보정결과 실측치와 예측치의 평균분산계수는 DO의 경우 2.59%로 가장 실측치와 유사하게 나타났으며, BOD, 총질소, 총인의 경우 12.64%, 7.06%, 12.45%로 나타났으며 예측치와 유사성이 높은 결과를 보여주었다.

4. 수질예측 검증결과 평균분산계수는 BOD, 총질소, 총인의 경우 17.66%, 6.93%, 26.86%로 전반적으로 실측치와 유사한 경향을 보여주었다.

감사의 글

본 연구는 '96년 강원도보건환경연구원 특수시책 사업의 일환으로 이루어진 연구이며 연구에 도움을 주신 정의호 원장님, 박상균 부장님, 신혜숙, 정원구, 신용건 연구사님과 한림전문대학 이용석 교수님께 감사드립니다.

참고문헌

- 1) Johns, R. A. and G. F. Lee: Recent advanced in assessing impact of phosphorus loads on eutropication related water quality, *Water Res.*, **16**, 502, 1982.
- 2) 한국수자원공사: 부영양화 방지대책, 한국수자원공사 수자원 연구소보, 19-20, 1988.
- 3) Guenton, C. and J. Slawson: Segmented population model of primary productivity, *ASCE, EE*, **119**(45), 127-134, 1976.
- 4) 김정현, 김희강, 김동술, 차동일: *환경과학*, 227, 1989.
- 5) Streeter, H. W. and E. B. Phelps: A study of the pollution and nateral purification of the Ohio River, *U.S. Public Health Bulletin*, **146**, 1925.
- 6) Thomas, H. A.: Pollution load capacity of streams, *Water and Sewage Works*, **95**(11), 409-413, 1948.
- 7) Camp, T. R.: *Water and its impurities*, Chapman and Hall, London 1963.
- 8) O'Connor, D. J.: The effect of stream flow on waste assimilation capacity. *Proceedings of the 17th Industrial Waste Conference, Purdue University, Lafayette*, **112**, 608-629, 1962.
- 9) O'Connor, D. J. and D. M. Di Toro: Photosynthesis and oxygen balance in streams, *JSED, ASCE*, **96**(SA2), 547-571, 1970.
- 10) Yeh, H. H., et als: Generaiized simulation model for Massachusetts streams, *J. Boston Soc. Civ. Eng.*, **60**(3), 107-132, 1973.
- 11) EPA: The MIT water quality model, National Environmental Research Center. U. S.(1976)
- 12) Masch, F. D. and Associate: Qual-I Siltimulation of water quality in stream and canals. Program documentation and user's mannual, Texas Water Development Board, 1970.
- 13) Water Resources Engineers, Inc: Computer program documentation for the stream quality model Qual-II. Prepared for U. S. Environmental Protection Agency, System analysis poranch, Washington D. C. 1973.
- 14) Brown, L. C. and T. O. Barnwell: Computer Program documentation for the enhanced stream water quality model Qual2E. U. S. Environmental Protection Agency, Athenes, GA., EPA/600/3-85/065 1985).
- 15) 서울특별시: 서울특별시 수질오염 저감대책 연구보고서, pp.312-348, 1988.
- 16) 환경처: 수질보전 장기종합대책, 1993.
- 17) 강원도: 폐광지역 환경보전 조사보고서, 1996.
- 18) 원주시: 원주시 통계연보, 1984-1995.
- 19) 횡성군: 횡성군 통계연보, 1984-1995.
- 20) 홍천군: 홍천군 통계연보, 1984-1995.
- 21) 이용석, 박석순: 하천수질관리를 위한 그래픽 소프트웨어 개발, 강원대학교논문집, 32, 1993.