

수자원 보전을 위한 유역통합관리 방안에 관한 연구(II) - 오십천 수계의 수질모델링 및 수질 예측 -

허인량* † · 정의호* · 권재혁**

강원도 보건환경연구원*

삼척대학교 환경공학과**

Study in the integrated watershed management for conservation of water resources(II)

- Water quality modeling and simulation of Oship stream -

In-Ryang Huh* † · Ui-Ho Jeong* · Jae-Hyuk Kwon**

* Institute of Health and Environment, Kangwon-Do

** Dept. of Environmental Engineering, Samchok National University

ABSTRACT

Oship stream is located nearby south eastern coasta. This study was performed to find out water quality modeling and then to predict water quality of Oship stream. Based on survey data, BOD, T-N, T-P calibration and verification result were in good agreement with measured value within mean coefficient variance(MSE) value, which were 13.9%, 9.0%, 26.5% and 19.5%, 12.0%, 16.5%, respectively. Sectional water quality predictions of the main stream of Oship stream are executed on the basis of the following cases 1) with sewage treatment of Dogye-eup 2) reduction of mine wastewater treatment of 80% in th basin. As a result, BOD, T-P improvement rates at down stream of Oship stream, case 1) were appeared 12.2%, 22.2%, case 2) maximum sulfate ion and conductivity reduction removal rate of Oship stream were 58%, 68%. The main pollution sources of Oship-stream were almost domestic wastewater and mine wastewater discharged from Dogye-eup which located in upper stream. The large effects will appear after the construction of Dogye sewage water treatment plant which remove the organic matter and nutrients in these sewage water. The waste water from mine can not easily to treat for characteristics of effluence and economic problems. However, to achieve the goal of water quality in Oship-stream water system, treatments of those are necessary.

Keywords : water quality modeling, QUAL 2E, Oship stream, Mine wastewater

I. 서 론

동해 연안에 위치한 하천중에서 남쪽에 위치하고 있는 삼척오십천은 태백시 도계읍 구사리 백병산에서 발원하여 43km를 유하한 후 동해바다로 직접 유입되는 하천으로서 총 유역면적은 398km²로 유역의 구성은 상류에 태백시 일부와

삼척시로 되어있다.

오십천의 주요 지류하천은 2002년 세계동굴박람회 개최되는 환선굴이 위치하고 있는 무릉천을 포함하여 15개 하천이 있다.

동해 연안에 있는 하천은 남북한강의 평균 유로연장인 약 75km에 비해서 매우 짧은 10.2km 정도로 이 때문에 수자원의 보유력이 남, 북한강에 비해 작아 단성적인 수자원 고갈문제로 고심하고 있다. 또한 연구대상수계인 삼척오십천은 상류에 휴폐 금속광산으로부터 배출되는 갱내수에 의해 오염의 영향이¹⁾ 있는 유역이며 오십천

† Corresponding author : Institute of Health and Environment, Kangwon-Do
Tel : 033-254-2719 Fax : 033-253-2718
E-mail : huhsys@provin.kangnam.kr

상류의 도계읍 일원은 가행광산 및 폐광이 요소 요소에 많이 분포되어 있으며 폐광으로부터 유출되는 갯내수는 지하수위의 변동에 따라서 유출되는 유출구가 수시로 변하여 처리가 매우 어려운 상황이다⁴⁾. 또한 동해 연안의 조사대상 하천은 금년 봄의 대규모 산불²⁾로 인하여 산림이 황폐화된 지역으로서 향후 산림의 복원이 이루어질 때까지 하천 생태에도 어느 정도 영향을 미칠 것으로 판단된다. 이에 본 연구는 조사대상 수계의 수자원을 효과적으로 관리하기 위하여 오십천의 세부유역별로 수질조사를 실시하였으며 유역환경현황 조사를 통하여 환경용량을 평가하였다. 또한 현재의 수질을 보다 효과적으로 관리하기 위하여 본류 수계에 대하여 수질모델링을 실시하였다. 이번 연구에 사용한 수질모델은 QUAL2E 모델⁵⁾로서 미국 환경청(EPA)에서 개발한 하천수질 예측 모델인 QUAL2를 개인용 컴퓨터에서 사용할 수 있도록 수정하여 놓은 프로그램으로, 특히 현재 하천 수질 예측 모델로는 신뢰성을 세계적으로 인정받고 있으며, 한강, 낙동강³⁾ 등 우리나라 주요 수계의 수질 예측에 사용된 바 있는 모델로 알려져 있다. 본연구결과는 조사대상 수계에 대하여 환경친화적 개발 및 효율적인 수질환경 보전방안을 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

II. 연구방법

본 연구는 동해 연안 수계의 주요 하천인 삼척 오십천의 본류 수계에 대하여 각각의 지점별로 수질의 변화특성과 세부 구간 및 지류 하천의 수질분석을 통한 수질변동 추이와 현재의 수질 실태를 평가하고 세부유역별 오염원 및 환경질 조사를 통한 효과적인 유역관리 방안을 제시하고자 하였다. 수질조사는 2000. 8 ~ 2001. 7월에 걸쳐 본류 15개 지점, 지류 15개 하천, 갯내수 9개소, 하수토구 5개소에 대하여 조사를 실시하였으며 수질조사 항목으로는 BOD 및 T-N, T-P 등의 수질기준 평가에 필요한 항목과 전기전도도 등의 보전성물질 및 부영양화 조사항목

그리고 탄광으로부터 배출되는 갯내수의 오염도를 평가하기 위하여 유해 중금속 등을 조사하였다. 또한 오십천은 대부분 석회암지대에 위치하고 있으며 갯으로 부터 유출되는 이온성 물질로 인하여 경도가 매우 높아 상수원으로서의 가치를 하락시키고 있으며 이에 음용수로서의 가용성을 평가하기 위하여 경도 등을 조사하였다. 수질 Modeling은 QUAL2 E를 사용하여 보정과 검증을 실시하였으며 모델링에 의한 수질예측은 현재 상류의 도계읍에서 발생하는 생활하수를 처리하였을 경우와 유역내 산재해 있는 광산폐수 중에서 기여율이 높은 광산으로부터 발생하는 폐수의 부하삭감시 수질의 변화를 예측해 보았다.

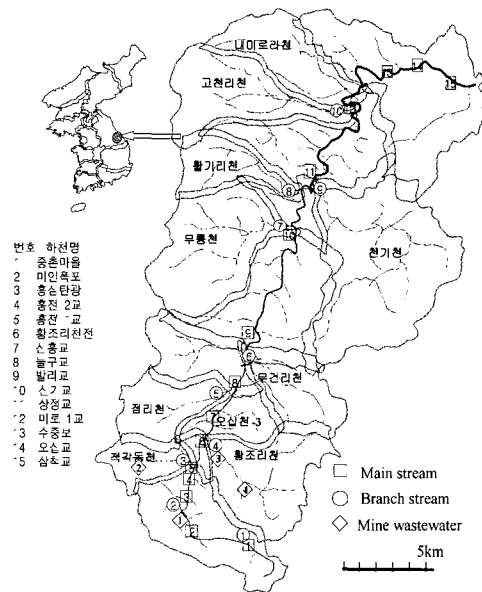


Fig. 1. Basin diagram of the Oship stream.

III. 결과 및 고찰

1. 모델의 구성

QUAL2E 모델의 수립에 있어서 기본조건은 우선 하천을 동일한 수리적, 생물학적 특성을 갖는 구간을 하나의 reach로 설정하고 각각의 reach는

다시 수치 해석적 해(numerical solution)를 구하는 기본 인자가 되는 element로 분할하는 것이다. 본 연구에서 오십천 유역의 모델의 모식도는 총 18개의 reach로 분할하여 수행하였다. 또한 이를 구성하는 element는 200m를 동일한 계산요소로 정하여 총 238개로 나누었으며 수질 모델의 head water는 삼척시 도계읍 통리의 도계 통리간 도로 중간에 설치된 중촌교 위의 셋터로 정하여 모델을 수립하였다.

모델의 보정 및 검증은 모델의 시작지점인 head water와 지류의 유량과 수질을 하나의 경계조건 값으로 입력하여 모델의 결과 값과 실측 값이 일치할 때까지 구간별로 각종 반응계수⁷⁾와 각 구간별 증감된 유량에 대한 수질을 비점오염원으로 판단하고 수질을 가감 하면서 보정을 수행하였다. 또한 적용된 계수는 모델의 추천치를 사용하였으며 보정과 검증 결과 실측 자료와 추천치의 결과가 많은 차이를 보일 때는 실측 자료에 적합한 계수를 사용하였다.

수질모델링의 보정 및 검증작업을 보다 효율적으로 수행하기 위해서 이 등⁸⁾이 개발한 그래픽소프트웨어 Qgra97을 사용하였으며, 모델 보정 후 실측치와 예측치의 결과를 평가하기 위해서 Robert⁹⁾ 등이 제시한 아래와 같은 방법을 적용하였다.

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

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

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

$$MCV(\%) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (CV_i) * 100$$

여기서 SE는 표준오차, CV는 분산계수, O는 실측치, P는 예측치, N은 측정횟수, O_m은 실측치의 평균, 그리고 MSE와 MCV는 각각 평균 표준오차와 평균분산계수(%)로 표현되어진다.

Fig. 2. Schematic diagram of Oship stream.

Table 1. Typical ranges for QUAL2E reaction coefficient

Parameter	Value
O ₂ Uptake by Ammonia Oxidation	3.43
O ₂ Uptake by Nitrite Oxidation	1.14
Chlorophyll a to Algae Ratio	50
BOD Decay Coefficient	0.153-3.053
Reaeration Coefficient	8.12-64.7
BOD Settling Coefficient	0.0-2.36
Sediment Oxygen Demand(SOD)	0.00
Org-N Hydrolysis Coefficient	0.05
Org-N Settling Coefficient	0.05
NH ₃ -N Oxidation Coefficient	0.75-6.75
Benthos Source Rate for Ammonia	0.00
Nitrite Oxidation Coefficient	2.1-8.1
Org-P Decay Coefficient	0.04-5.74
Org-P Settling Coefficient	0.08-1.28
Benthos Source Rate for Phosphorus	0~-10
TSS Decay Coefficient	0
TSS Settling Coefficient	0~-4.0
Benthos Source Rate for TSS	0

2. QUAL2E 모델의 보정

모델의 보정은 조사기간 중에서 비교적 평수기에 해당하는 유량이라고 할 수 있는 2000년 9월의 수질 및 유량자료를 이용하여 보정하였다. 오십천 본류 수계의 모델의 보정은 18개 본류구간의 측정지점에 대하여 실시하였으며, 그 결과는 그림 3과 그림 4와 같다. 보정된 항목별 수질에 대하여 실측치와의 유의성⁹⁾을 검토해 본 결과 표 2와 같이 BOD의 경우 MSE는 0.10mg/l로 나타났으며, MCV는 13.9%를 보여주었다. 각 예측 항목별 MSE와 MCV는 총질소의 경우 0.19mg/l, 9.0%로 나타났으며 총인의 경우는 0.003mg/l, 26.1%를 보여주었다. 15개 조사 항목의 MCV의 범위는 용존산소의 경우 5.6%로 실측치와 예측치 간의 차이가 가장 적게 나타났으며, NO₂-N에서 37.6%로 가장 큰 차이를 볼 수 있었다. 이는 영양염류인 인류와 질소류 중에서 측정농도가 극히 낮은 것이 그 원인인 것으로 판단되며, 전반적으로 실측치와 예측치가 유사한 경향을 보여주었다.

모델의 결과로서 나타난 수치의 평가는 상류의 물머리와 도계읍 하수 유입전인 흥전2교, 도계읍 도심 후인 유치원 앞 신흥교, 삼척시 분뇨처리장 후의 발리교 그리고 하류의 마평수중보와 오십천교의 실측수질과 모델치를 비교하여 모델이 실측치를 모사해 주는 정도를 평가하였다. 수질의 성분중 보존성 물질 중에서 광산폐수의 대표적인 황산이온의 경우는 head water에서 4.3mg/l로 시작하여 도계읍 하수의 영향을 받기 전인 흥전2교에서 113mg/l로 증가하였다. 이때의 실측치는 146mg/l로 실측치와의 오차율은 22.6%였다. 이후 도계읍의 생활하수 및 갯내수의 영향을 받은 유치원 앞에서는 222mg/l로 실측치인 220mg/l와 상당히 유사한 결과를 보여주었다. 이후 오십천의 대부분의 오염의 영향이 끝난 발리교의 경우 모델치는 143mg/l로 실측치 158mg/l에 비하여 오차율은 9.4%였다. 이후 오십천의 하류인 마평수중보와 오십천교에 있어서 실측치에 대한 모델치의 재현성은 83.7%, 9.6%로 황산이온의 모델 결과는 실측치를 잘 표현해 주고 있는 것으로 나타났다.

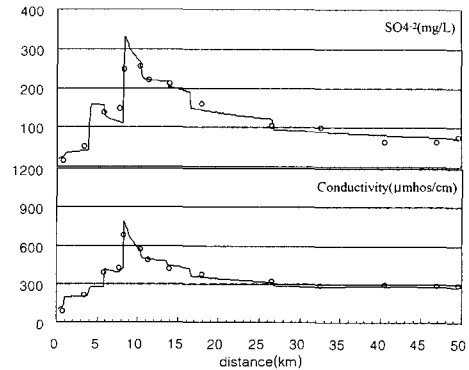


Fig. 3. SO₄²⁻ and Conductivity calibration result of Oship stream.

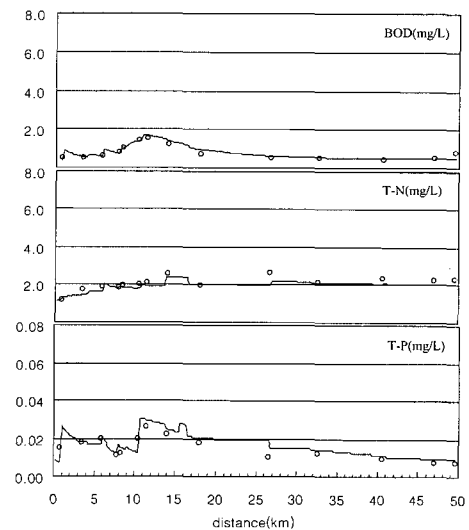


Fig. 4. BOD, T-N, T-P calibration result of Oship stream.

모델에 적용한 수질성분 중에서 하천의 수질 등급을 평가할 때 가장 기본이 되는 BOD의 경우 상류인 샛터에서 실측치 0.5mg/l였으며 도계하수 유입전인 흥전2교에서는 실측치 0.8mg/l, 모델치 0.70mg/l로 오차율은 12%를 보여주었으며 도계의 도시에 의한 영양이 끝나는 신흥교에서 실측치 1.5mg/l인데 비해서 모델치는 1.65mg/l로 91%의 모사율을 보여 주었다.

이후 reach 8의 마지막 요소인 발리교의 경우 도계읍의 대부분의 오염이 끝나는 구간으로서 실측치 0.81mg/l로 모델치 0.7mg/l에 비하여 1.1배 높은 수질상태를 나타내었다. 오십천의 하류구간인 마평수중보와 오십교의 경우의 모델 모사율은 각각 82.6%, 66%로 나타났다. 하천 및 호수의 부영양화 유발물질인 총질소와 총인 중에서 총질소의 모델 결과치를 평가해 보면 다음과 같다. 우선 도계 도심 전인 흥전2교의 총질소 실측 농도는 1.83mg/l이며 모델 결과치는 1.81mg/l로 매우 유사한 결과치를 보여 주었다. 이후 reach 6의 마지막 요소인 신흥교에서의 모델치는 1.94mg/l로 실측치와 편차율은 8.1%로 좋은 결과를 보여주었다. 또한 삼척시 분뇨처리장의 방류수가 유입된 후의 reach 8의 10번 요소인 발리교에서는 모델결과치 2.00mg/l로 실측치와의 편차율은 5%로 실제의 농도를 잘 표현해 주고 있는 것으로 나타났다. 이후 오십천 수계의 종점인 오십교에서의 실측치는 2.27mg/l로 모델치인 2.03mg/l에 비해 다소 높게 나타났으며 모사율은 89.5%였다. 마지막으로 총인의 경우 흥전2교에서는 실측치 0.011mg/l이며 모델치와 비교 해 볼 때 9%의 편차가 있었으며 도계읍 도심 후의 신흥교에서는 모델치 0.029mg/l이며 실측치와의 편차는 11.5%로 총인은 낮은 농도 임에도 불구하고 재현성은 양호한 것으로 나타났다. 이후 오십천의 종점으로서 삼척시 상수원의 취수장이 위치하고 있는 마평취수장에서의 모델 결과 실측치 0.007mg/l에 비해 모델치는 0.007mg/l로 모델치와 실측치는 서로 일치하는 것으로 나타났다.

3. QUAL2E 모델의 검증

모형의 검증은 유량측정 결과 비교적 갈수기

이면서 각각의 지류 및 본류 구간의 건천화 현상이 적은 시기인 2월의 수질자료를 이용하여 실시하였으며 각각의 수계에 대한 모델의 검증 결과는 다음과 같다. 오십천 수계에 수질보정에 있어서 보전성 항목인 전기전도도의 결과는 다음과 같다. 평균 표준오차인 MSE는 52.5µmhos/cm이며 평균 분산계수 MCV는 17.1%로 보정 때의 수준을 유지하며 모델의 결과와 실측치의 관계를 비교적 잘 재현하는 것으로 나타났다. 모델의 검증시 BOD의 경우 MSE는 0.22mg/l로 나타났으며, MCV는 19.5%를 보여주었다. 각 예측 항목별 MSE와 MCV는 총질소의 경우 0.26mg/l, 12.0%로 나타났으며 총인의 경우는 0.005mg/l, 16.5%를 보여주었다. 15개 조사 항목의 MCV의 범위는 용존산소의 경우 6.4%로 실측치와 예측치 간의 차이가 가장 적게 나타났으며, NH₃-N에서 39.0%로 가장 큰 차이를 볼 수 있었다. 이는 보정시와 같이 영양염류인 인류와 질소류 중에서 측정농도가 극히 낮은 것이 그 원인인 것으로 판단된다.

2월 모델의 시점인 중촌교위인 reach 1의 element 4의 황산이온은 41.5mg/l 이었으며 이후 경동탄광 통리광업소 및 비점오염원의 형태로 배출되는 갯내수 등의 유입 후 흥전2교에서 실측치 236mg/l로서 모델치는 217mg/l를 나타내 편차율은 8.1%였다. 오십천에 있어서 상류의 오염원이 영향을 받은 유치원 앞 신흥교에 있어서 모델치는 551mg/l 이며 편차율은 3.5%이었으며 오십천의 모델구간 중에서 가장 최하류인 오십천교의 모델치와 편차율은 각각 207mg/l, 16%로 실측치와 모델의 결과와의 재현성은 양호한 것으로 나타났다.

Table 2. Model Calibration result of the Oship stream

구분	COND.	Cl	SO ₄	DO	BOD	Org.-N	NH ₃ -N
MSE	28.2	0.398	17.53	0.52	0.10	0.03	0.008
MCV(%)	9.4	9.2	19.0	5.6	13.9	27.6	18.0
	NO ₂ -N	NO ₃ -N	T-N	Org.-P	PO ₄ -P	T-P	TSS
MSE	0.002	0.196	0.194	0.001	0.003	0.003	1.85
MCV(%)	37.6	9.9	9.0	17.3	16.3	26.1	29.8

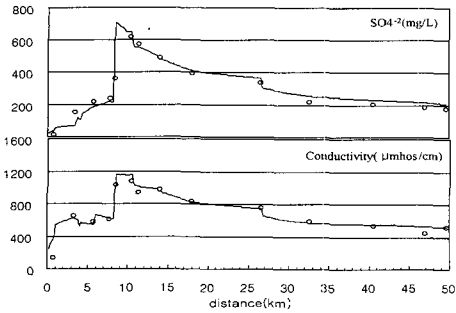


Fig. 5. SO42- and Conductivity verification result of Oship stream.

BOD에 있어서는 홍전2교에서 모델 결과는 1.14mg/l이며 이때의 실측치는 1.3mg/l로 편차는 12.3%였으며 이로부터 3.2km 하류인 신흥교에서는 갈수기 하수의 영향으로 급증하였고 모델치는 5.35mg/l로 산출되었으며 이때의 실측치와의 오차율은 8%로 본 지점에서의 BOD도 비교적 잘 모사해 주고 있는 것으로 나타났다. 이후 수중의 BOD는 지속적으로 감소하여 삼척시 마평 취수장 앞에서 모델치는 0.72mg/l로 실측치 0.7mg/l에 비해서 모델치가 각각 3.1%의 오차를 볼 수 있었다. 영양염류 중에서 대표적인 총인의 검증 결과는 다음과 같다. 모델의 시작인 물머리에서 0.003mg/l이던 모델결과의 농도는 홍전2교에서 0.031mg/l로 약 10배 가량 증가하였는데 이는 중간지류인 예낭골천과 경동 통리

광업소에서 유출되는 전처리치천의 영향인 것으로 판단되며 실측치는 0.029mg/l로 실측치와 모델치간의 편차율은 7%였다. 이후 오십천 상류의 오염원에 의한 영향이 모두 끝이 난 발리교의 경우는 실측치 0.060mg/l이며 모델치는 0.059mg/l이고 상관성이 매우 높았다. 이후 삼척시 하류의 마평취수장과 오십교에서의 총인의 모델 결과는 각각 0.005mg/l, 0.004mg/l 이었으며 이 두지점에서의 모델치와 실측치는 일치하는 결과를 얻을 수 있었다.

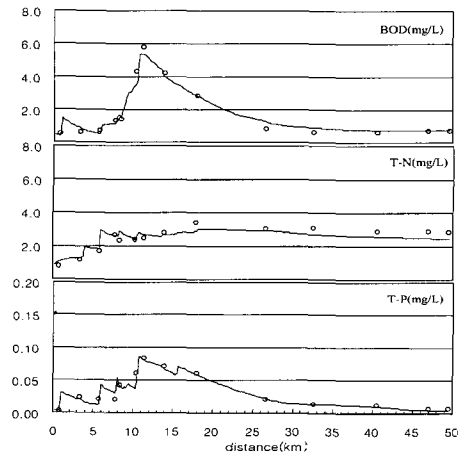


Fig. 6. BOD, T-N, T-P Conductivity verification result of Oship stream.

Table 3. Model verification result of the Oship stream

Items	COND.	Cl	SO ₄	DO	BOD	Org.-N	NH ₃ -N
MSE	52.5	2.37	51.8	0.94	0.22	0.025	0.056
MCV(%)	17.1	16.5	32.5	6.5	19.5	19.7	39.0
	NO ₂ -N	NO ₃ -N	T-N	Org.-P	PO ₄ -P	T-P	TSS
MSE	0.003	0.275	0.261	0.003	0.005	0.005	0.97
MCV(%)	26.7	14.3	12.0	34.1	28.0	16.5	87.7

4. 오염부하량 변동에 따른 수질예측

수질조사 및 오염원조사 그리고 수리수문 조사를 완료한 후 보정과 검증을 통하여 모델을 수립하게 되는데 수립된 모델을 통하여 장래 수질예측이나 오염원변화에 따른 수질예측 등의 Case 별 수질예측을 하게 된다. 수립된 모델을 이용하여 여러 가지 오염원 변화를 통한 예측을 할 수 있겠으나 본 연구에 있어서는 현재 삼척 오십천의 수질보전을 위하여 가장 큰 문제라고 판단되는 도계읍주변에서 발생하는 생활하수를 처리하였을 때의 수질과 휴폐광산 및 가행광산에서 발생하는 갭내수 중에서 오십천 수계의 수질에 많은 영향을 주며 실제적으로 관리가 가능한 지역에 대하여 갭내수를 처리하였을 경우의 수질을 예측하였다.

1) 도계읍에서 발생하는 하수의 처리시

도계읍의 하수가 유입되기 전까지의 수질은 처리 전후 거의 동일하였으며 도계읍의 하수가 유입된 후의 수질상태는 다음과 같다. 우선 도계읍 도심부인 상덕리천이 합류되기 전까지는 하천의 수질에 영향을 주는 하수토구는 3개 있으며 이러한 하수토구로부터 유출되는 하수는 현재 공사중이며 2002년 가동 예정인 도계읍 늑구리 부근의 하수처리장으로 차집시켜 처리하는 것으로 가정하였다.

하수처리에 있어서 기본조건은 도계하수처리장 실시설계보고서에 제시한 자료¹⁰⁾를 이용하였다. 처리유량은 1일 6,300톤이며 하수처리율은 BOD, 총질소, 총인이 각각 92.5%, 70.0%, 73.8%이며 유출수의 농도는 7.65, 4.59, 0.707mg/l으로 제시된 자료를 이용하였다. 이러한 조건 하에서 하수를 처리한 후의 상덕리천 합류전의 수질은 BOD 1.36mg/l에서 0.66mg/l로 50% 이상의 수질개선 효과를 볼 수 있었으나 질소의 경우에는 하수의 농도와 하천의 농도가 유량의 차이에 비해서는 그리 크지 않아 하수 처리에 의한 효과는 미미하였다. 그러나 총인의 경우는 그 비율이 커서 처리 전 0.012mg/l에서

0.008mg/l로 33%의 삭감효과를 볼 수 있었다. 그리고 도계의 하수배출량 중에서 가장 배출량이 큰 면사무소 앞 교량 밑의 하수 토수로부터 배출되는 하수의 처리 후 도계읍 도심부 하류의 신흥교의 수질은 BOD 1.67mg/l에서 0.71mg/l로 57%의 BOD 제거 효과를 볼 수 있었다. 그리고 총인에 처리효과는 처리전 0.029mg/l에서 처리후 0.009mg/l로 69%의 처리효과를 볼 수 있었다. 삼척오십천의 하류이면서 삼척시의 수자원으로 이용되고 있는 마평취수장의 수중보에서의 처리효과는 상류의 도계읍 인근 본류 수계에 비해서 낮게 나타났는데 그 원인으로서 발원지부터 18km 정도면 대부분의 오염물질은 유입된 후이고 이 후부터는 수체에 포함되어 있는 오염물질이 수체내에서 자정하며 이러한 현상은 BOD에 있어서는 더 크게 나타나 마평취수장에서의 처리 전후의 BOD는 각각 0.49mg/l와 0.43mg/l였다. 이에 비해서 총인은 많은 차이를 볼 수 있었으며 처리 전후의 수질은 각각 0.009mg/l, 0.007mg/l로 22%의 효과를 볼 수 있었으며 이를 요약하면 표 5와 같다.

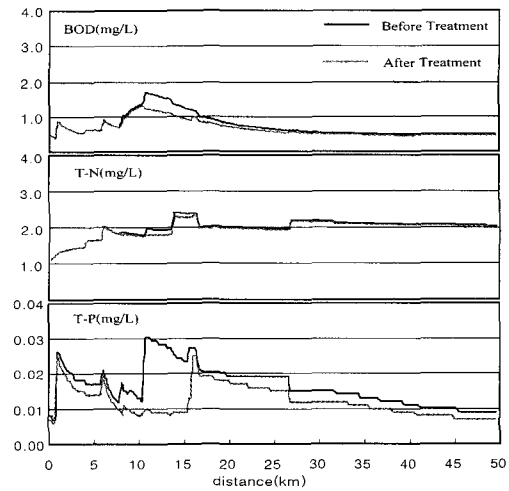


Fig. 7. Water quality simulation result by sewage treatment of Dogye-eup.

Table 4. Water quality simulation result by sewage treatment of Dogye-eup

	도계읍 도심부 종점 신흥교			오십천 하류 오십교		
	before treatment	after treatment	rate(%)	before treatment	after treatment	rate(%)
BOD	1.67 (II등급)	→ 0.71 (I등급)	57.4	0.49 (I등급)	→ 0.43 (I등급)	12.2
T-N	1.938	→ 1.776	8.3	2.034	→ 2.013	1.0
T-P	0.029	→ 0.009	69.0	0.009	→ 0.007	22.2

2) 오십천 수계의 주요 갯내수 처리시

본 절에서는 오십천 상류 유역에 위치한 광산 중에서 비교적 많은 갯내수를 배출하여 오십천에 미치는 영향이 큰 신원광산 지표유출수, 예남골천상류의 유창탄광, 적각동천 상류의 대한석공 흥전갱 및 도계광업소에서 배출되는 갯내수중 QUAL2E 모델이 표현할 수 있는 항목 중에서 갯내수의 파라미터인 전기전도도와 황산이온이 80% 감소되었을 때 본류에 미치는 영향을 검토하였다. 수질예측결과 현재의 상황에서 오십천 유역의 전기전도도 및 황산이온농도가 최대치를 보여준 지점은 적각동천 합류후로서 각각 780µmhos/cm, 329mg/l 이었으나 주요 광산배수의 부하를 80% 삭감 후 329µmhos/cm, 105mg/l 로 58%, 68%의 수질개선 효과를 볼 수 있었다. 광산으로부터 유출되는 광산폐수는 그 특성상 하상에 침전 속도가 커 오십천의 최하류에는 상류에 비해 그다지 큰 영향을 미치지 못하는 것이다.

오십천 최하류의 처리 전후의 전기전도도 및 황산이온의 농도는 처리전 205µmhos/cm, 45mg/l 에서 처리후 272µmhos/cm, 72.5mg/l로 각각 항목의 개선율은 24.6%, 38%로 나타났다.

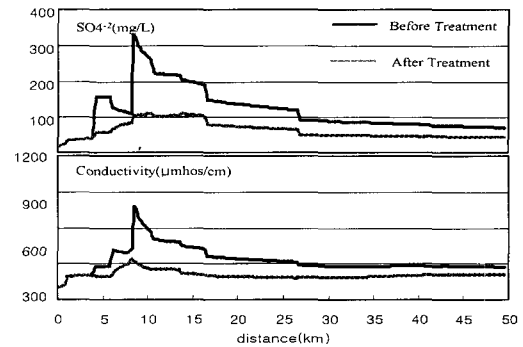


Fig. 8. Water quality simulation result by mine wastewater treatment.

Table 4. Water quality simulation result by mine wastewater treatment

	Conductivity(µmhos/cm)			SO ₄ ²⁻ (mg/L)		
	before treatment	after treatment	rate(%)	before treatment	after treatment	rate(%)
예남골천 합류후	418	→ 210	50	128	→ 66	48
적각동천 합류후	781	→ 329	58	329	→ 105	68
점리천 하류후	447	→ 217	51	204	→ 109	46

IV. 결론

참고문헌

동해 연안 남단에 위치하고 있는 삼척오십천은 동해 연안의 중요한 지류하천으로 환경용량 및 개발잠재력이 매우 큰 하천으로서 오십천 본류 수계에 대하여 수질 분포 및 QUAL2E 수질 모델을 이용하여 보정과 검증 실시 후 이를 바탕으로 하여 각각의 Case별로 수질을 예측한 결과가 다음과 같다.

1) 오십천 본류구간의 수질은 상류 도계읍 도심구간 일부를 제외하고 BOD 1mg/l 이하를 유지하고 있었으나 광산지대의 영향으로 염류의 농도는 일반 하천에 비하여 매우 높게 나타났으며 수자원의 질적 평가에 중요한 요인이 되는 경도의 경우 하류에서 약 200-450mg/l as CaCO₃ 였다.

2) QUAL2E를 이용한 삼척오십천 수질의 보정결과 실측치와 예측치의 평균분산계수는 DO의 경우 5.6%로 가장 실측치와 유사하였으며 BOD, 총질소, 총인의 경우 13.9%, 9.0%, 26.5%로 나타났으며 검증결과 평균분산계수는 19.5%, 12.0%, 16.5%로 나타났다.

3) 총인의 보정결과 평균분산계수가 일반 하천에 비하여 높게 나타났으며 이는 광산지대로부터 유출되는 철분에 의한 흡착 침전이 그 원인인 것으로 판단되며 광산지대의 하천 수질의 모델 수립시 인 성분과 철분과의 관계를 고려해야 할 것으로 판단된다.

4) 오십천 상류의 도계읍 도심부로부터 발생되는 하수를 전량 차집하여 도심부 5km 하류에서 처리 후 방류한 결과 도계읍 도심부의 BOD는 1.7mg/l에서 0.5mg/l로 수질이 개선되는 것으로 예측되었다.

5) 오십천 상류로부터 발생하는 광산폐수 중에서 비교적 오염 부하가 크며 처리 가능한 갯내수에 대하여 광산폐수의 주요 인자인 황산이온을 80% 삭감시켰을 때 오십천 상류의 황산이온 개선율은 46-68mg/l로 나타났다.

1. 석탄광 폐광지원백서. 석탄산업 합리화 사업단, 169-182, 1995.
2. 강원동부산불피해지역 자연생태조사 보고서. 강원도보건환경연구원, 85-88, 2000.
3. 낙동강수계 수질관리를 위한 모델링(I). *J.KSWQ Feb.*, 41-53, 1993
4. 석탄 및 석회석광산 채광지역의 산림훼손지복원연구. 석탄산업합리화사업단, 119-138, 2001
5. Brown, L. C. and Barnwell, T. O. : The enhanced stream water quality models Qual2E and Qual2E-UNCAS : Documentation and user manual. U.S.EPA, Athenes, GA., EPA/600/3-87/007,1987.
6. 폐광지역 환경보전 조사보고서. 강원도, 24-41, 1996.
7. BOD 탈산소계수(K)와 온도보정계수(θ)의 변이에 관한 연구. 최승봉, 강원대학교 석사학위논문, 11-20, 1994.
8. 이용석, 박석순, 하천수질관리를 위한 그래픽 소프트웨어 개발. 강원대학교논문집, 제 32편, 112-117, 1993.
9. Robert B. Ambrose and Roesch, Jr, Stephen E.: Dynamic Estuary Model Performance. *Journal of the Engineering Division, ASCE*, 108(EE1):51-71, 1982
10. 삼척도계 하수종말처리장 실시설계보고서. 삼척시, 253-259, 1998.