

자생 BOD 영향에 따른 남강댐 하류부 수질모델링 연구

A Study on Water Quality Modeling for Autochthonous BOD Effect in Namgang Dam Downstream

황 수 덕* / 이 성 준** / 김 영 도*** / 권 재 현****

Hwang, Soo Deok / Lee, Sung Jun / Kim, Young Do / Kwon, Jae Hyun

Abstract

The TMDL, the watershed-oriented water quality management policy, was introduced to inhibit the total amount of pollutant loading generation, and to develop the region environmentally friendly. However, despite the implementation of TMDL, the water quality of Nam river downstream has worsened continuously since 2005. Diverse pollution sources such as cities and industrial zone are scattered around the Nam river. Eutrophication are caused due to deterioration of water quality by low velocity. BOD concentrations in the eutrophic waters affected by the incoming BOD and the autochthonous BOD by the production of phytoplankton. In this study, the quantitative relation of incoming BOD and autochthonous BOD was analyzed for water quality management. The influence of autochthonous BOD was analyzed using QUALKO2 and QUAL2E. Considering the effects of Chl.a, BOD concentration from QUALKO2 model simulations is higher than BOD concentration from QUAL2E model. The results of QUALKO2 showed higher correlation with the measured data. Autochthonous BOD needs to be managed to solve the water pollution problem of Nam river downstream, which is looking for ways to reduce Chl.a by using the increase of the dam outflow and the improvement of the water quality from WWTP.

Keywords : Autochthonous BOD, Nam river, QUALKO2, QUAL2E, Dam outflow

요 지

오염발생부하량을 억제하고 환경 친화적으로 지역을 개발할 수 있는 유역중심의 수질관리정책으로 수질오염 총량관리제를 도입하게 되었다. 하지만 총량 관리제의 시행에도 불구하고 낙동강 주요지천인 남강 하류부의 수질이 2005년 이후 지속적으로 악화되고 있는 실정이다. 남강 하류수계는 주변의 도시와 산업지역에 비점오염원이 산재하고, 하류수계의 물의 흐름이 더욱 완만해짐에 따라 수질 악화가 가속화되고 부영양화 현상이 발생되고 있다. 부영양화된 수역에서 BOD 농도는 유역으로부터 발생한 미처리 하수가 수역으로 유입되는 영향도 있지만 하천내에서 미처리된 영양염을 이용한 식물플랑크톤의 생산에 의해 공급되는 자생 BOD의 영향도 크게 작용한다. 남강하류의 수질관리를 위해서 유입 BOD와 자생 BOD의 기여도를 파악하여 오염 원인물질을 줄이기 위한 수질관리 방안이 설정되어야 한다. 본 연구에서는 조류 생산 및 사멸에 의한 내부생산 유기물 증가를 고려하도록 국내에서 개발된 QUALKO2와 미국 EPA의 QUAL2E를 이용하여 자생 BOD의 영향을 분석하였다. QUALKO2 모형에서 Chl.a의 영향을 받는 구간에서 BOD 농도가 QUAL2E 모형의 BOD

* 한국수자원공사 K-water연구원 연구원(e-mail: dikaal@naver.com)
Researcher, Korea Institute of Water and Environment, K-water

** 국립환경과학원 물환경연구부 연구원(e-mail: sungjun82@korea.kr)
Researcher, Water Environment Research Dept., National Institute of Environmental Research

*** 교신저자, 인제대학교 환경공학과(낙동강유역환경연구센터) 조교수(e-mail: ydkim@inje.ac.kr, Tel: 055-320-3252)
Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Environmental Engineering, Inje University

**** 인제대학교 환경공학과 교수(e-mail: envkwon@inje.ac.kr)
Professor, Department of Environmental Engineering, Inje University

농도보다 증가하고, 실측값과의 상관관계를 분석해 본 결과 QUALKO2 모형에서 상관관계가 높게 나타났다. 남강 하류의 수질악화 문제를 해결하기 위하여 댐 방류량의 증가와 하수처리장 방류수질 개선 등에 의한 Chl.a의 저감 방안을 모색하여 자생 BOD를 관리할 수 있을 것이다.

핵심용어 : 자생 BOD, 남강, QUALKO2, QUAL2E, 댐 방류량

1. 서 론

국내에서는 환경기초시설 확충 및 배출기준 강화 등 기존의 사후적 수질관리정책에서 허용 오염총량 이내에서 지속가능한 개발을 유도할 수 있는 유역중심의 예방적 수질관리정책으로 수질오염총량관리제도를 도입하였다. 하지만 오염총량관리제의 시행으로 유역에서 발생하는 부하량의 삭감에도 불구하고 낙동강 주요지천인 남강 하류부의 수질이 2005년 이후에도 지속적으로 악화되고 있는 실정이다. 일반적으로 하천 수계는 호수와는 달리 유속이 빠르므로 물의 체류시간이 짧은 것이 특징이다. 그러나 남강 주요 지천의 하류부는 하상구배가 매우 완만하며 유속이 느리고, 따라서 체류시간이 호수와 비슷한 양상을 보이고 있다. 특히 남강 하류부는 주변의 도시와 농경지로부터 물 사용량이 많기 때문에 하류부 흐름이 더욱 완만해지고 이로 인하여 수질 악화가 가속화되고 수역의 영양단계가 점점 증가하는 부영양화 현상이 자주 발생되고 있다.

수계로 방류되는 영양염류의 증가로 인한 담수의 부영양화는 20세기 중반 이후에 중요한 환경문제로 대두되었고, 이중 인위적 요인에 의한 부영양화가 특히 심각한 것으로 나타났다(Harper, 1993). 일반적으로 국내하천의 수질관리를 위해 BOD를 지표항목으로 이용하여 하천의 유기물 오염도를 파악하고, 이와 관련한 목표 수질의 달성을 위한 유역내 수질 관리방안을 계획한다. 그러나 부영양화된 수역에서 BOD 농도는 유역으로부터 발생한 유입 BOD 이외에도 하천 내에서 미처리된 영양염을 이용한 식물플랑크톤의 생산에 의해 공급되는 자생 BOD의 합으로 나타난다. 따라서 수질관리를 위해서 유입 BOD와 자생 BOD가 어느 정도 기여하는가를 정량적으로 파악하고, 기여도에 따라 원인물질을 줄이기 위한 수질관리 방안이 선정되어야 한다(Kim and Lee, 2001). 자생 BOD는 식물플랑크톤의 호흡작용에 의한 산소 소모와 활성을 잃은 식물플랑크톤의 미생물 분해에 의한 산소소모가 포함되어 BOD농도로 나타난다(Shin and Park, 1995). Shin et al. (1996)은 현장조사결과를 통하여 식물플랑크톤의 생산이 가장 활발한 하계에 낙동강 수역의 공간적 특성에 따른

식물플랑크톤의 양을 chlorophyll-a (Chl.a) 농도로 표현하고 BOD와의 정량적인 관계를 산정하였고, 또한 식물플랑크톤의 실험실 배양 및 분해실험을 통하여 식물플랑크톤의 활성도 차이에 따른 Chl.a와 BOD와의 상관관계를 규명한 바 있다. Jeong et al. (2004)은 강 하류에서의 수생 생태계 특성을 파악하기 위하여 환경요인 변동에 따른 Chl.a 농도변화의 상관성을 통계학적 방법으로 해석하여 $PO_4^{3-}-P$, $NO_3^- -N$, $NH_4^+ -N$ 이 Chl.a의 변화에 크게 작용한다는 것을 제시한 바 있다. 하천에서 식물플랑크톤의 역할은 수계의 일차 생산자로서 수체에 산소를 공급하고 동물플랑크톤의 먹이가 되어 수생태계가 건강하게 유지되도록 하지만 부영양화로 인한 생태계 불균형이 수질오염의 원인 중 하나로 나타나고 있다.

하천에서의 정상상태 수질분석을 위해 가장 널리 사용되고 있는 모형은 QUAL2E 계열의 모형이다(Brown and Barnwell, 1987). 국내에서는 1980년대 초부터 하천수질 모형을 적용하기 시작하였는데, 주로 수질개선 방안의 정량적 평가를 목적으로 이용하여 왔으며, 여러 가지의 하천수질 모형 중에서 QUAL2E 모형이 가장 많이 사용되어 왔다(NIER, 2004; Seo et al., 2008; Jun and Lee, 1993). 그러나 낙동강수계는 하류로 갈수록 경사가 완만하고 유속이 느려짐으로 인해 물의 체류시간이 길어져 정체수역의 특성을 나타내어 하류구간에서는 조류의 농도가 급격히 증가하고 있어 기존의 QUAL2E 모형으로는 유기물의 오염도를 정확히 예측하는데 한계가 있다(Choi et al., 2008). QUAL2E 모형은 대구간의 요소가 작고 질소와 조류의 농도가 낮아 유기물과 용존산소가 외부에서 유입되는 비생물성 CBOD에 의하여 좌우되는 수체에 한하여 적용이 가능하며 QUALKO2 모형은 조류의 영향을 많이 받는 낙동강수계의 수질현상을 모의하기에 적합하다(Lee, 2010; GP, 2009). 모형의 적정성은 실측자료를 사용한 통계적 검증과 매개변수의 불확실성에 대한 평가를 통해 판단할 수 있으며(Beck, 1987; Christophersen et al., 1993; Kleissen et al., 1990; Klepper et al., 1991), 또한 실측자료에 대한 재현성의 정확도와 불확실성으로도 판단할 수 있다. 임의의 하천에 적용한 모형 결과의 정확도는 모의값과 실측값

의 오차로 정량화할 수 있으며, 불확실성은 정밀도의 역수와 같은 개념으로 매개변수의 변동에 의한 모의값의 확률분포로 판단될 수 있다. 따라서 정확도가 크며 불확실성이 작은 수질모형이 대상 하천의 수질해석에 가장 적합한 모형인 것이다(Choi et al., 2008). 하천수질 모형을 남강에 적용한 선행연구로서 Choi et al. (1995)은 QUAL2E 모형을 이용하여 남강의 각 수질항목에 대한 반응계수의 민감도를 조사하여 반응계수가 수질에 미치는 영향을 조사하고 검·보정 과정을 거쳐, 장래 남강 수질변화를 예측함으로써 남강 수질관리를 위한 기초자료를 제공하고자 하였고, Park and Lee (1993)는 QUAL2E 모형과 STREAM 모형을 이용하여 남강에서 하천수질 변화를 모의하여 비교분석을 하고 장래 수질변화를 예측한 바 있다.

본 연구에서는 국내에서 개발되어 조류 생산 및 사멸에 의한 내부생산 유기물 증가를 고려할 수 있는 QUALK02 모형과 미국 EPA의 QUAL2E 모형과의 비교를 통하여 남강 하류부에서의 자생 BOD의 영향 예측에 적합한 하천수질 모형을 제시하고자 하였다. 또한 자생 BOD가 남강 하류부의 하천수질에 미치는 영향을 정량적으로 평가 하였으며, 향후 남강 수계의 최적 수질관리 방안 제시를 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

2. 남강 유역의 수문 및 수질 특성 분석

Fig. 1은 남강댐 하류부 유역을 나타낸 것으로서 남강은 낙동강의 제1지류로 전체 유역의 면적은 3,467.52 km², 유로연장은 189.83 km, 유역평균폭 18.27 km, 형상계수는 0.10, 평균고도는 EL. 319.96 m, 평균경사는 31.86%이다. 유역형상은 수지상 형태로 유수가 하천에 일시에 집중되는 일은 없으나 홍수위가 오래 지속되는 경우가 발생한다. 북쪽에 소백산맥이 있어 여름에 남서쪽에서 오는 저기압이 산맥에 부딪쳐서 형성되는 지형성 강우가 자주 발생한다. 또한 남강댐 하류부 구간은 진주시를 가로지르며, 남강수 증보와 교량 등의 인공구조물과 만곡흐름을 특징으로 하는 하천으로서 하상경사가 매우 완만하고 유속이 비교적 느리므로 체류시간이 크고 하천수질이 환경기초시설의 방류농도와 남강댐 방류량에 큰 영향을 받는다(GNDI, 2010).

Fig. 2는 2005년 1월부터 2011년 8월까지의 강수량, 유량, 댐방류량을 나타낸 것으로 강수량이 증가하면 댐방류량과 하류부 유량에 영향을 미치며, 특히 집중호우 기간인 6~8월에 댐 방류량과 하류부 유량의 상관성이 높은 것을 확인할 수가 있다. Fig. 3은 남강 하류부의 하천유량에 대한 강수량과 댐방류량의 상관관계를 분석한 것으로

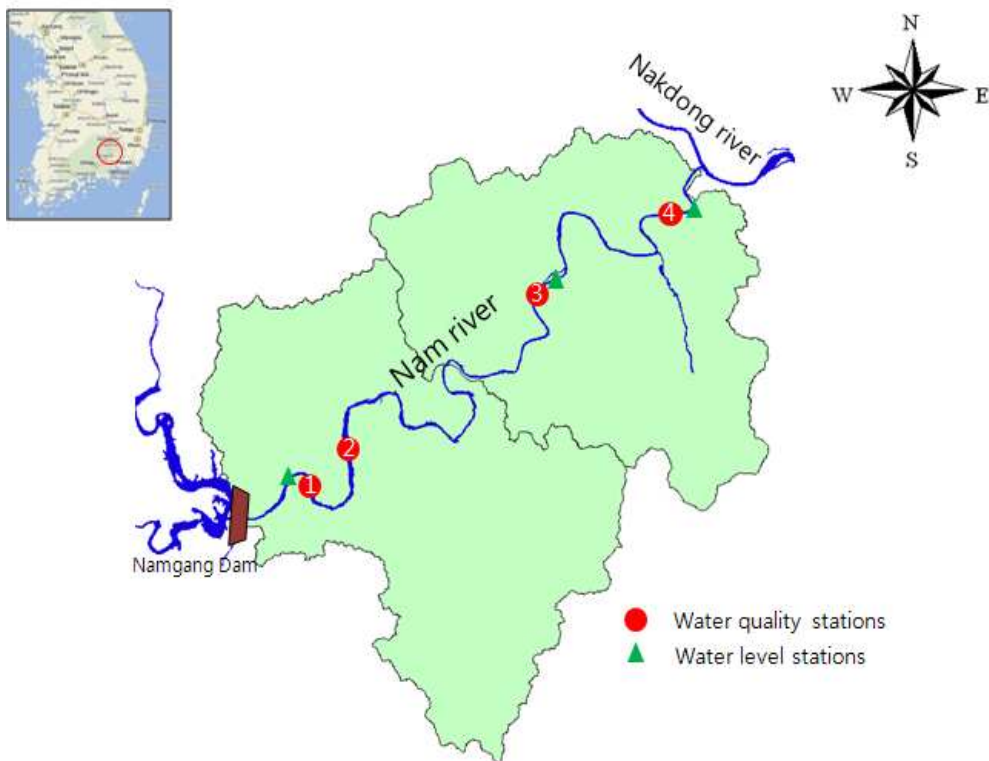


Fig. 1. Water Quality Monitoring Station in Nam River Watershed

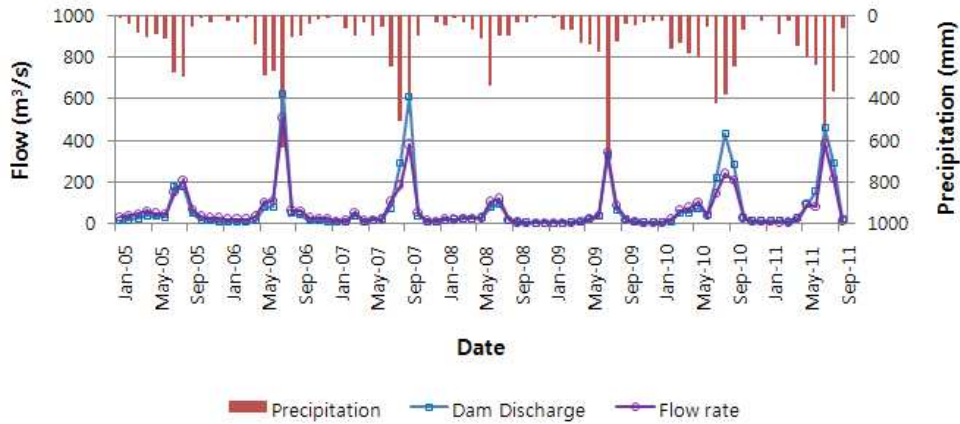


Fig. 2. Precipitation and Temperature of Nam River Watershed

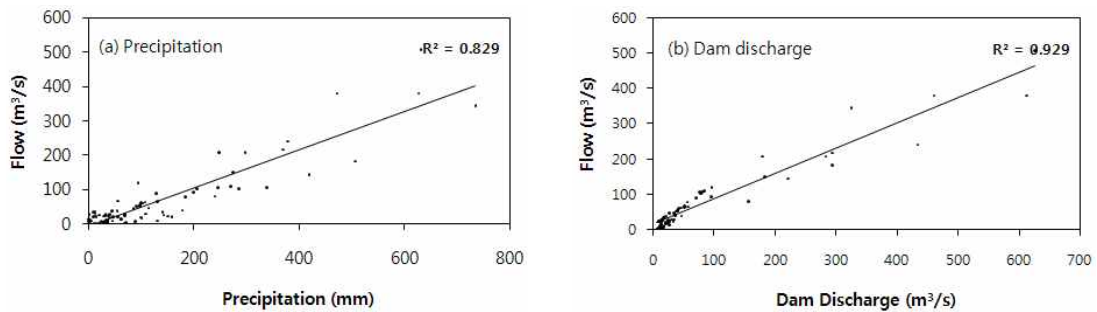


Fig. 3. Correlation between Precipitation, Dam Discharge and Flowrate (2005~2011)

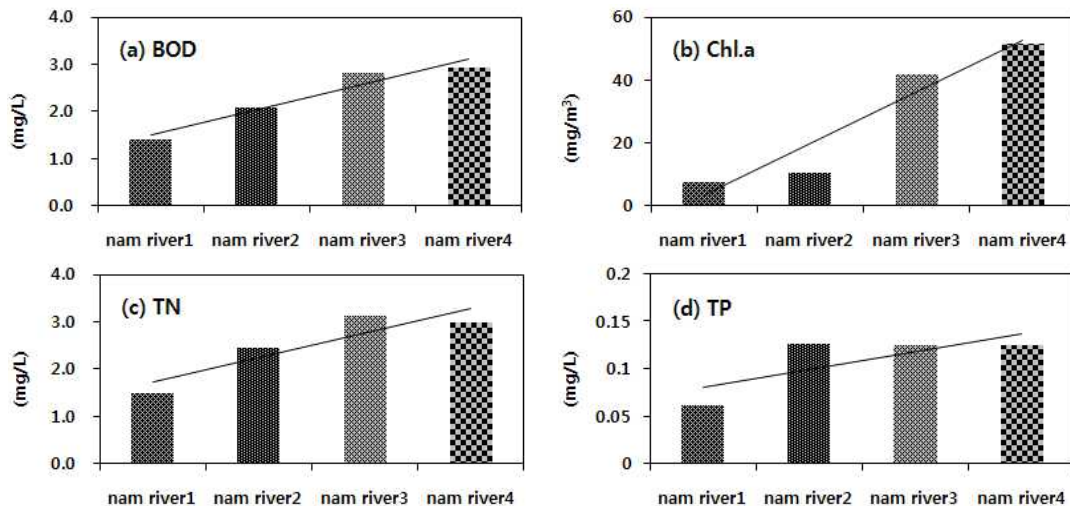


Fig. 4. Analysis of Water Quality Monitoring Station in Nam River Watershed

서, 하천유량과 강수량의 경우 $R^2=0.8296$ 이고 하천유량과 댐방류량의 경우 $R^2=0.9291$ 로서 남강 하류부의 하천유량은 강수량에 의한 유역내 유출보다 상류에 위치한 댐방류량의 영향을 보다 크게 받는 것으로 나타났다.

Fig. 4는 Fig. 1에 나타난 남강댐 하류부 수질측정망 지

점에서의 최근 6년간의 평균적인 분포를 나타낸 것인데, 남강 하류부로 갈수록 BOD, Chl.a, TN, TP의 농도가 높아지는 것을 확인할 수 있다. 특히 Chl.a의 경우 1, 2지점보다 3, 4지점에서 훨씬 높게 나타난다. BOD, T-N, T-P의 경우에는 2지점부터 높아지는데, 이는 2지점 상류에

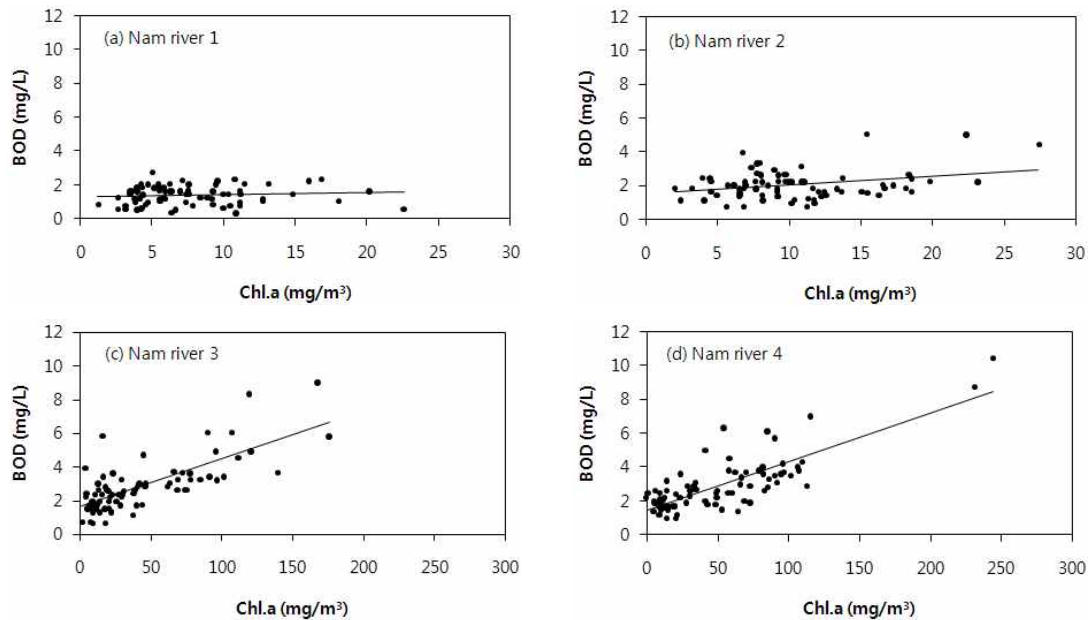


Fig. 5. Correlation between Chl.a and BOD (2005~2011)

위치한 환경기초시설의 방류수 영향인 것으로 판단된다. Fig. 5는 BOD와 Chl.a 농도간의 상관관계를 나타낸 것으로 1지점보다 4지점으로 갈수록 BOD와 Chl.a의 상관관계가 높아지는 것을 확인할 수가 있다. 이는 하류부로 갈수록 체류시간이 길어지고, 조류가 증가하게 되면서 산소소모량이 많아져 이로 인한 자생 BOD의 영향이 증가하는 데 기인하는 것으로 판단된다.

3. 모형의 구성 및 적용

QUALKO2 모형은 조류의 생산 및 사멸에 의한 내부 생산 유기물 증가를 고려하고, Bottle BOD 개념을 도입하였다(GP, 2009). 부유조류가 사멸하게 되면 조류의 탄소성 유기물이 수중으로 순환되어 수체내의 유기물 증가를 가져오게 된다. 기존의 QUAL2E 모형에서는 조류의 소실량을 모두 호흡에 의한 것으로 가정하여 사멸과 분비에 의한 CBOD 증가를 무시하고 있는 반면 조류 소실에 따른 질소와 인은 모두 유기태로 변환되는 것으로 가정하고 있다. 또한 QUAL2E 모형에서 BOD는 CBOD로 입력하므로 Bottle BOD의 개념이 결여되어 있다. 모의항목을 CBOD로 입력하는 경우 수체내 CBOD 변화와 그에 따른 산소소모량이 계산되며, DO 부프로그램에서만 변환계수에 의해 CBOD로 변환된 후 분해과정의 산소소모량이 모의되고 다른 부프로그램에서는 모두 CBOD 형태로 모의된다. 그러나 국내에서 측정되는 BOD₅는 5일간 Bottle내에서

일어나는 산소소모량의 총량이다. 이는 Bottle수에 포함되어 있는 비생물성 CBOD 뿐만 아니라 조류의 내생호흡에 의한 산소소모량과 질산화에 의한 산소소모량이 포함된다. QUALKO2 모형은 조류의 소실을 호흡과 사멸로 분리하여 수체내 호흡에 의한 산소소모와 CBOD 증가를 고려하고, 조류 소실에 따른 질소와 인의 배출형태를 유기태와 무기태로 분할하였으며, Bottle BOD 개념을 추가하였다(GP, 2009). 또한 WASP5 모형에서는 실내에서 측정된 CBOD, Org-N, Org-P 농도에서 조류기인성 CBOD 및 조류에 포함되어 있는 Org-N과 Org-P 함량을 감하여 입력하여야 물질수지가 맞도록 되어 있으나 QUALKO2 모형에서는 측정치를 입력할 경우 비생물성 물질과 생물성 물질이 내부적으로 분할되어 모의되도록 하였다. QUALKO2 모형으로 모의한 BOD농도는 유입 BOD와 자생 BOD의 합으로 나타내어지고, QUAL2E 모형은 유입 BOD만 고려한 값을 계산한다(GP, 2009).

본 연구에서는 QUALKO2 모형과 동일한 격자와 입력 자료를 이용하여 QUAL2E 모형에 적용을 하여 각 수질항목별 모의결과를 비교하였다. 두 모형간의 농도차를 이용하여 각 계산요소의 유량을 고려한 자생 BOD를 구할 수 있다. 또한 QUALKO2 모형에서는 Chl.a의 영향 유·무를 비교하여 분석하였다. Fig. 6은 남강댐 하류부에 대한 모식도를 나타낸 것으로 대구간(reach)은 총 22개이며 소구간(element)은 총 100개이다. QUAL2E 모형에서도 똑같은 모식도와 수리계수를 적용하였으며 각 오염원들의 농

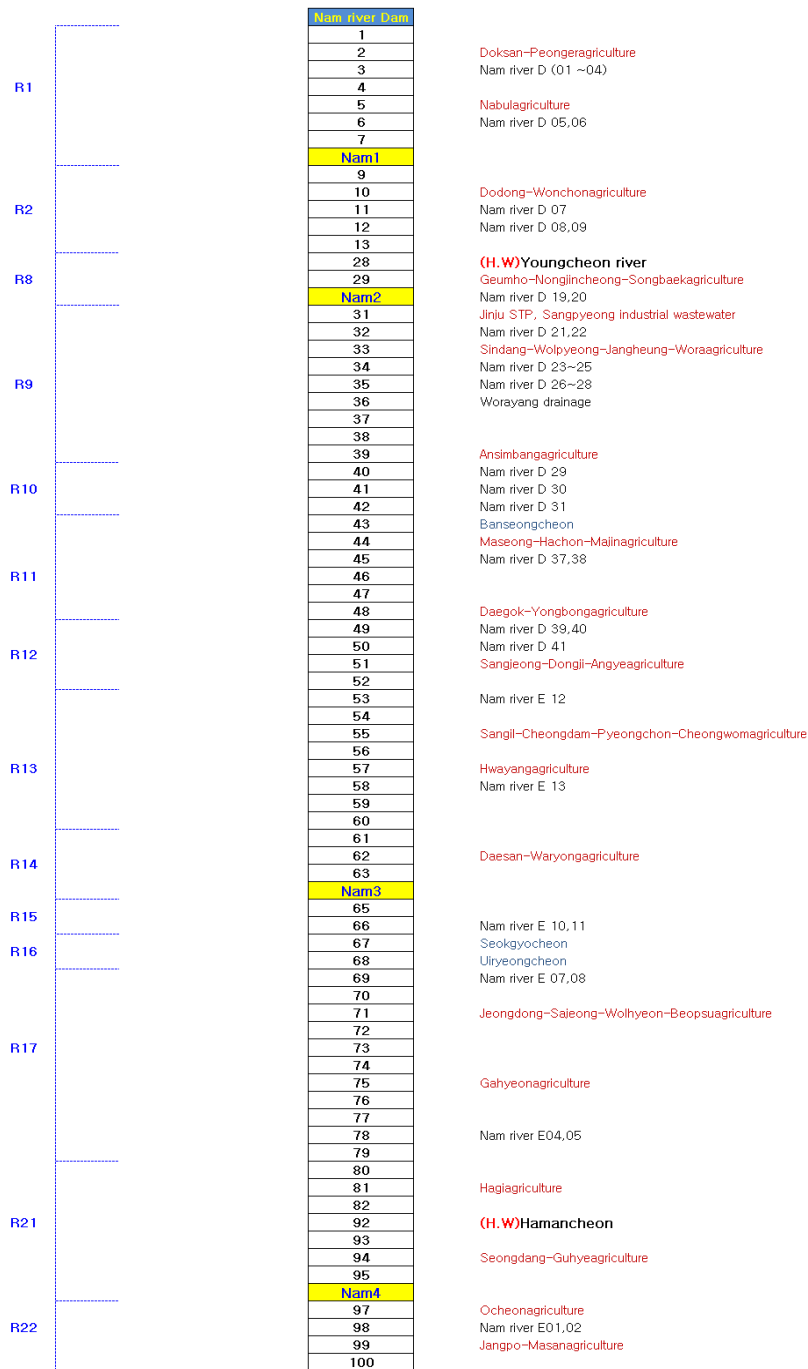


Fig. 6. Nam River Modeling Hydrosphere Schematic

도는 2010년 부하량 값을 유달률과 물수지관계를 이용하여 역산정하였다. 수질 모형에 적용하기 위한 하천구간별 수리계수를 유량-유속, 수위-유량 관계곡선에서 계산한 후 동일구간에 포함된 단면별로 계산된 값의 평균으로 산출하였다. 수위 값은 기준 수위표 대비 수위-유량 관계 곡선을 활용하여 산정하였으며, 유속 값은 위성자료를 통한 대표단면을 산정하여 산출하였다. Table 1은 남강댐 하류

부에 HEC-RAS를 적용하여 산정한 대구간별 수리계수를 나타낸 것이다. 또한 본 연구에서는 단위유역별로 주요 지류에 대한 하천유량과 수질에 대한 실측 결과를 이용한 유달부하량과 오염원 자료와 원단위를 이용하여 계산된 배출부하량으로부터 유달률을 산정하였다. 이를 이용하여 소유역별 면적과 유량에 관한 유달함수식을 작성하였으며, 실측자료가 없는 소유역의 경우에는 이와 같은

Table 1. Hydraulic Coefficients Estimated using HES-RAS

Name	Reach	Element	(V)=a(Q)b		(H)=c(Q)d	
			a	b	c	d
Nam river	1	8	0.1117	0.5064	0.3923	0.3476
	2	5	0.0482	0.5723	0.5000	0.2456
	3	4	0.3682	0.3485	0.2733	0.3854
	4	2	0.3445	0.396	0.1346	0.2863
	5	3	0.5187	0.275	0.1223	0.5128
	6	2	0.4324	0.3952	0.2726	0.3782
	7	3	0.3134	0.3698	0.2817	0.3795
	8	3	0.0238	0.6614	0.5491	0.1806
	9	9	0.1378	0.3216	0.1932	0.3416
	10	3	0.0652	0.6008	0.3183	0.3112
	11	6	0.0992	0.3968	0.1278	0.5356
	12	4	0.0302	0.6724	0.5601	0.2682
	13	8	0.1119	0.4649	0.4586	0.3359
	14	4	0.0966	0.411	0.3879	0.3288
	15	2	0.1495	0.4252	0.3325	0.3986
	16	2	0.1278	0.3954	0.6077	0.3182
	17	11	0.1522	0.3275	0.1937	0.4165
	18	3	0.4053	0.4085	0.2482	0.3788
	19	3	0.3102	0.5156	0.3198	0.4165
	20	3	0.2606	0.5911	0.3983	0.3191
	21	8	0.1082	0.5157	1.028	0.2479
	22	4	0.1187	0.556	0.8778	0.3294

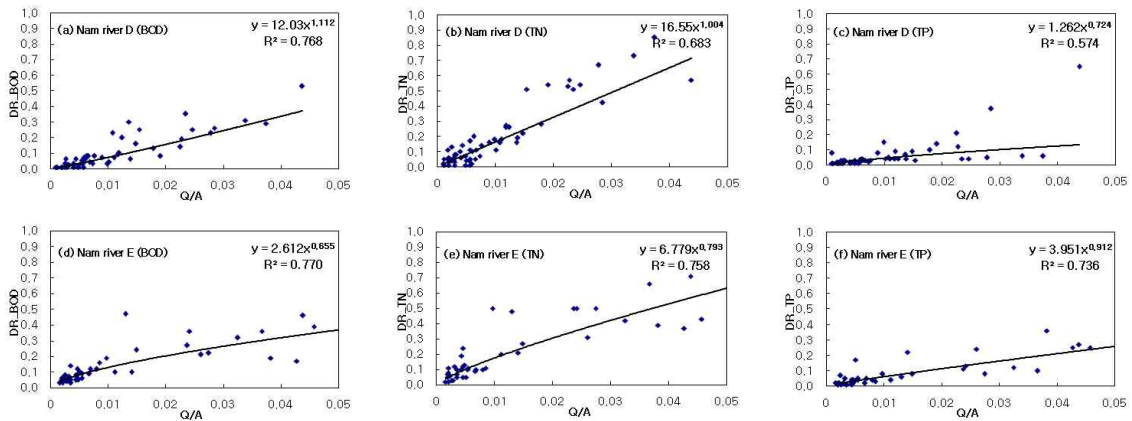


Fig. 7. Empirical Equation for Delivery Ratio of Nam River Watershed

단위유역별 유달함수식을 사용하여 유달률을 구하였다. Fig. 7은 수질항목별 남강D와 남강E 단위유역에서 작성한 유달함수식을 나타낸 것이다(GP, 2009).

4. 모형의 검보정 및 결과 분석

본 연구에서 2단계 수질오염총량관리 기본계획 수립을 위하여 8일 간격으로 측정된 수질자료와 해당수계 내에 존재하는 환경부 수질측정망과 물환경연구소에서 측정하

는 단위유역 말단부에서 목표수질 만족여부를 분석하는 평가수질을 이용하여 검·보정을 수행하였다(GP, 2009). 보정은 2010년 3월 수질 자료를 사용하였고, 유량은 단위유역의 말단 유량 자료를 사용하였다. 검증은 2010년 9월 수질자료를 적용하였다. 본 연구에서는 Table 2와 같은 통계적 지표를 이용하여 오차분석을 실시하였으며, Table 3은 이에 따른 보정 및 검증에 대한 오차분석 결과를 나타낸 것이다. Fig. 8은 남강댐 하류부에서의 각 수질항목별 QUALKO2 모형과 QUAL2E 모형의 보정과 검증 결과를

Table 2. Statistical Indices for Evaluating Model Accuracy

Statistical index	Equation	Desired value
Coefficient of determination	$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_0 - Q_f)^2}{\sum_{i=1}^N (Q_0 - Q_{ave})^2}$	1
Root Mean Square Error	$SE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [Q_i - Q_0]^2}$	0
Normalized root mean squared error	$NRMSE = \frac{SE}{(Q_{obj,max} - Q_{obj,min})}$	0

Where, Q_0 =Observed value, Q_f =Simulated value
 Q_{ave} =Average of observed value, N =Number of data

Table 3. Evaluation of Model Performance

Variable	Calibration			Verification		
	R^2	RMSE	NRMSE	R^2	RMSE	NRMSE
BOD	0.9689	0.7320	0.4258	0.7132	0.9407	0.4343
T-N	0.8758	0.6048	0.4663	0.0567	0.7658	0.4841
T-P	0.6053	0.0364	0.3234	0.3600	0.0869	0.6736

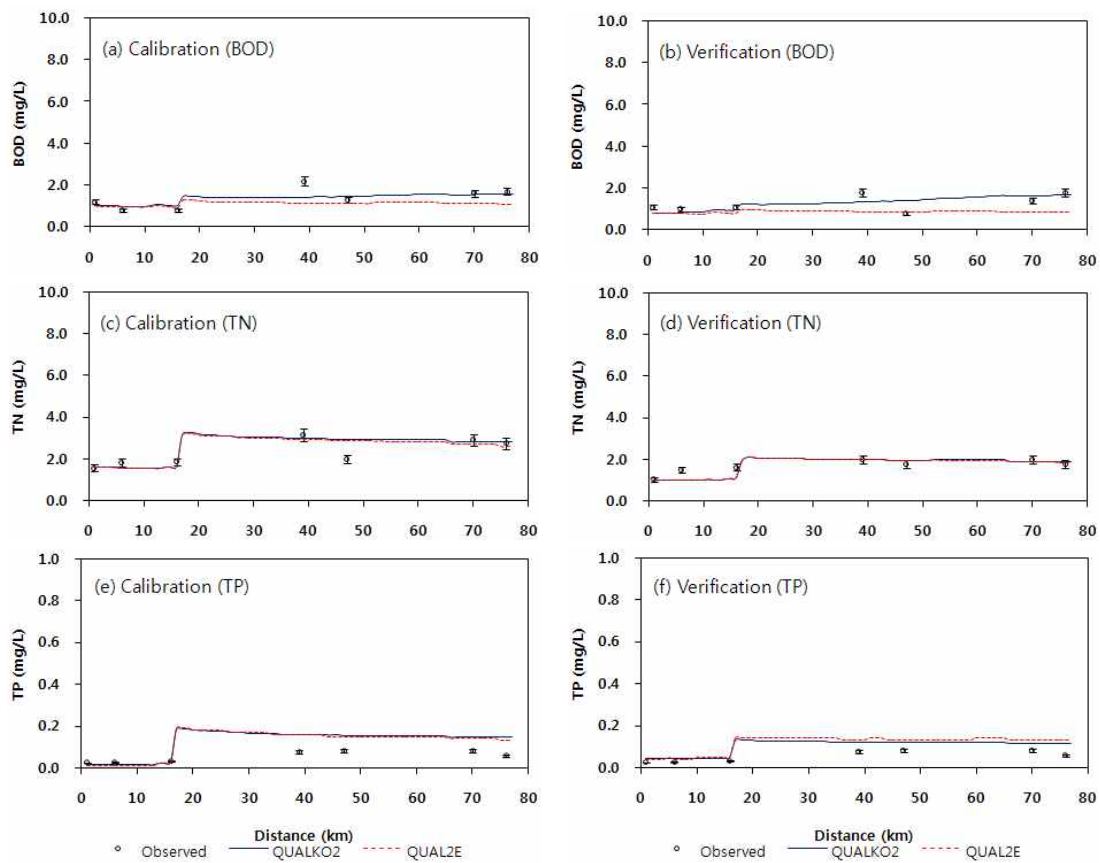


Fig. 8. Results of Calibration and Verification

실측값과 함께 나타낸 것으로서 남강댐 직하류부터 낙동강 합류부까지의 거리별 수질 농도를 도시하였다.

Fig. 9를 보면 2010년에 비해 2008년은 BOD와 Chl.a의 상관관계가 비교적 높게 나타나지 않는다. 2008년에는 Chl.a의 농도가 다른 해에 비해 높게 나타나 BOD와의 상관성이 낮은 것으로 분석되었으며 Fig. 10에서 QUALKO2 모형과 QUAL2E 모형을 2008년 8월 수질자료를 이용하

여 비교해 보았다. T-N과 T-P와는 달리 BOD의 경우 하류로 갈수록 QUALKO2 모형이 QUAL2E 모형보다 Chl.a에 의한 자생 BOD의 증가로 BOD농도가 높은 것을 알 수가 있다. 또한 Chl.a에 의한 자생 BOD의 영향을 알아보기 위하여 QUALKO2 모형에서 조류의 영향 유무에 의한 모의를 하였다. Fig. 11에서 BOD의 경우 조류의 영향을 받는 조건에서 실측값과 모의값의 상관계수는 0.7529이고

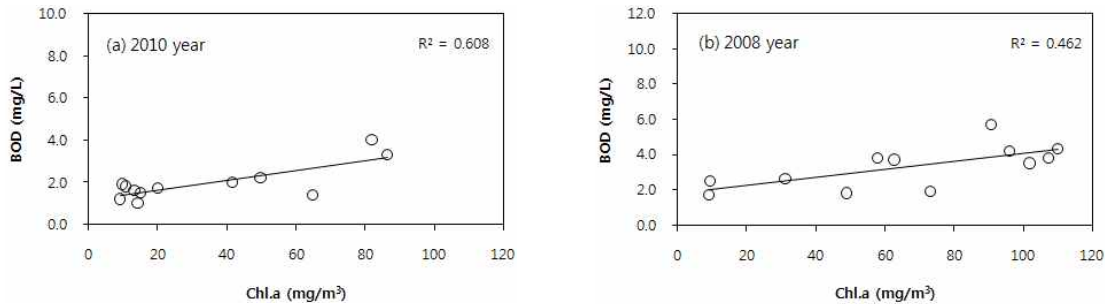


Fig. 9. Correlation between Chl.a and BOD

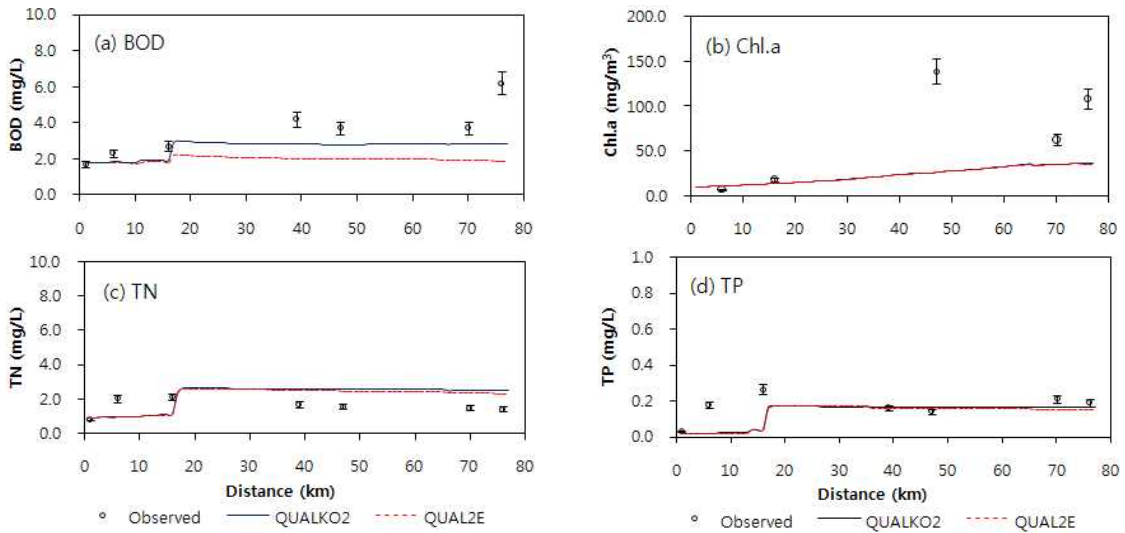


Fig. 10. Comparison of QUALKO2 and QUAL2E

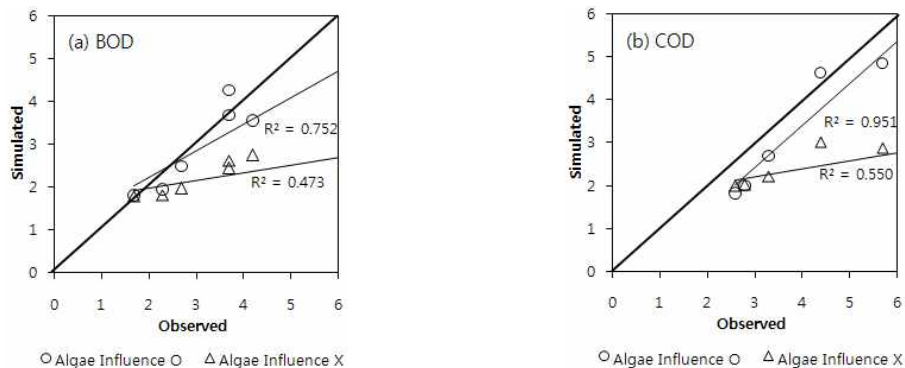


Fig. 11. Correlation between Observation and Simulation

조류의 영향을 받지 않는 조건에서는 0.4731로 조류의 영향을 받는 조건이 더 높은 상관관계를 가지는 것을 볼 수가 있다. 따라서 남강 하류부는 조류의 영향을 받아 BOD 농도가 증가되었다고 볼 수가 있다. COD의 경우 조류의 영향을 받는 조건에서 상관계수는 0.9519로 높게 나타났고 영향을 받지 않는 경우에는 0.5508로 낮았다. Fig. 12에서는 QUALKO2 모형을 이용하여 Chl.a와 COD 및 BOD의 상관관계를 나타내었는데 COD와 Chl.a의 상관관계가 높다는 것을 확인할 수가 있다. Fig. 13에서 QUALKO2 모형과 QUAL2E 모형에 대한 모의값과 실측값의 오차를 분석하였는데 QUALKO2 모형에서 BOD, TN, TP 모두 결정계수가 크게 나타나고 있어서 QUAL2E 모형에서의 모의보다 QUALKO2 모형에서 오차가 더 작은 것을 알 수가 있다.

Fig. 14는 각 시나리오에 따른 수질모의 결과를 나타낸 것으로 댐방류량 증가와 환경기초시설 방류수 수질개선 변화를 통한 수질 예측 결과를 분석하였다. 남강의 유량은 댐방류량의 영향을 크게 받으며 댐방류량의 증가에 따른 수질 변화를 분석한 결과 유량이 30% 증가함에 따라 BOD 8.1%, Chl.a 6.2%, TN 11.6%, TP 14.4%가 감소되는 것을 확인할 수 있다. 하수처리장의 방류수 수질 강화로 인하여 2010년도의 하수처리장 유량과 방류수 수질 농도

를 입력해 본 결과 BOD의 농도가 9.3% 감소하고 Chl.a 2.3%, TN 22.5%, TP 34.2% 감소하였다. BOD 농도가 많이 감소되지 않는 이유는 Chl.a의 농도가 수질개선 전과 후가 큰 차이를 보이고 있지 않아서 전체적으로 영향을 작게 받은 것으로 사료된다.

5. 결 론

오염총량관리제도의 대상지역인 남강 하류유역의 신외성 있는 오염원 자료와 부하량 자료를 이용하여 수질 모델링을 남강댐 하류부에 적용을 하여 분석한 결과는 다음과 같다.

- 1) 남강 하류의 목표수질 초과원인 분석을 해본 결과 자생 BOD의 영향을 많이 받고 있는 것으로 나타났다. 자생 BOD가 남강 하류에 미치는 영향을 알아보기 위해 QUALKO2와 QUAL2E를 비교를 해보았으며 수리계수와 유량, 점오염원 등은 두 모형 모두 동일하게 적용을 하였다. QUAL2E와 달리 QUALKO2 모형은 조류생산 및 사멸에 의한 내부생산 유기물 증가를 고려하기 때문에 QUAL2E 모형에 비해 QUALKO2 모형의 BOD농도가 Chl.a의 영향으로 높아지는 것을 확인할 수 있었다.

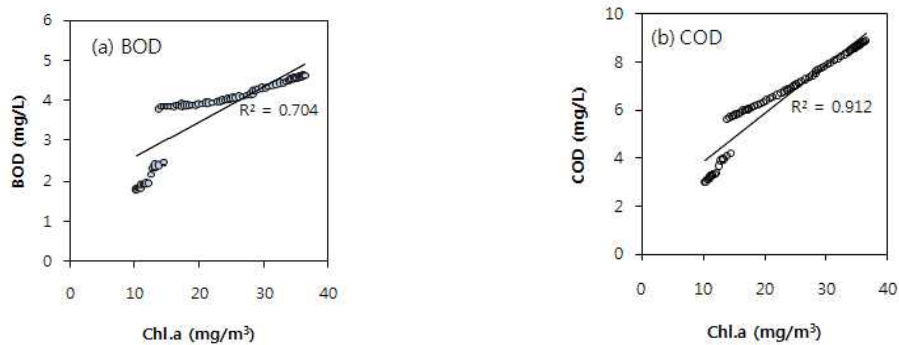


Fig. 12. Correlation between BOD, COD and Chl.a

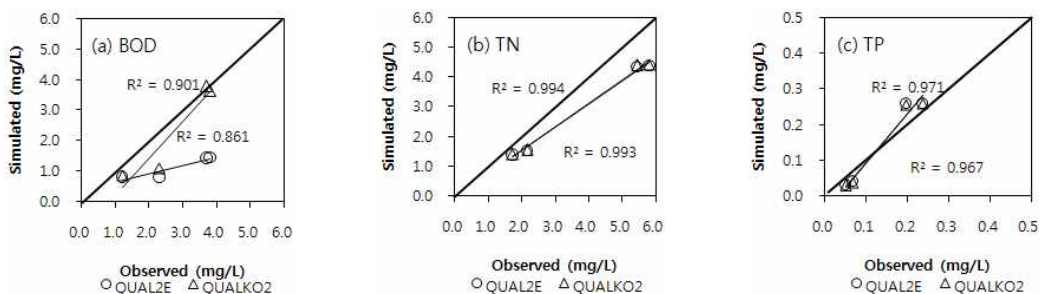


Fig. 13. Correlation between QUALKO2 and QUAL2E

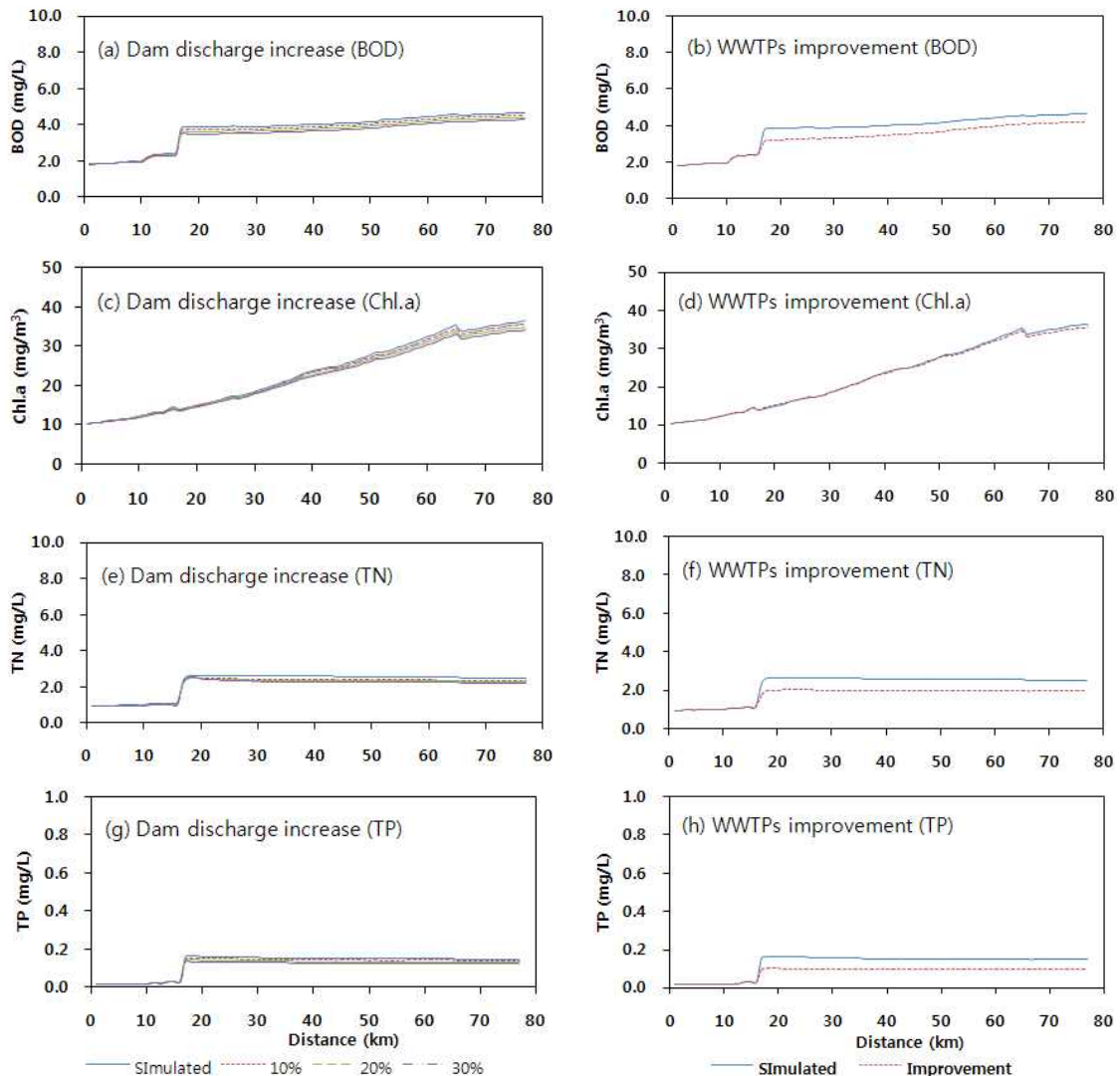


Fig. 14. Results of Water Quality Improvement Scenario

- 2) QUALKO2 모형에서 조류의 영향을 받는 조건과 받지 않는 조건으로 나누어 모의한 결과 BOD의 경우 조류의 영향을 받는 조건이 실측값과 모의값에서 더 높은 상관관계를 가지는 것을 볼 수가 있으므로 실제로 조사되는 값은 조류의 영향을 받아 BOD농도가 증가되었다고 사료된다.
- 3) 자생 BOD의 영향을 고려한 모형을 이용하여 시나리오를 분석해 보았는데 댐방류량과 환경기초시설의 방류수 수질개선의 영향도 중요하지만 하천에서의 Chl.a 관리가 가장 중요한 것으로 나타났다. 하천 수질악화의 원인을 정확하게 분석을 하고 관리를 할 수 있다면 목표수질을 달성할 수 있을 것이라고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 경남녹색환경지원센터의 연구비 지원(남강하류 정체수역의 자생BOD 기여도 및 수질영향 평가)에 의해 수행되었다.

REFERENCES

- Beck, M.B. (1987). "Water quality modeling: A review of the analysis of uncertainty." *Water Resources Research*, Vol. 23, No. 8, pp. 1393-1442.
- Brown, L.C., and Barnwell, T.O. (1987). *The enhanced stream water quality models QUAL2E and*

- QUAL2E-UNCAS: documentation and user manual*. Env. Res. Laboratory. US EPA, EPA/600/3-87/007, Athens, GA. pp. 189.
- Choi, H.S., Park, T.J., and Heo, J.S. (1995). "Application of QUAL2E model to water quality prediction of the Nam river." *Journal of The Korean Society of Environmental Agriculture*, Vol. 14, No. 1, pp. 7-14 (in Korean).
- Choi, J.K., Chung, S.W., and Ryoo, J.I. (2008). "Comparative evaluation of QUAL2E and QUAL-NIER models for water quality prediction in eutrophic river." *Journal of Korean Society on Water Environment*, Vol. 24, No. 1, pp. 54-62 (in Korean).
- Christophersen, N., Neal, C., and Hooper, R.P. (1993). "Modelling the hydrochemistry of catchments: a challenge for the scientific method." *Journal of Hydrology*, Vol. 152, pp. 1-12.
- GNDI (Gyeongnam Development Institute)(2010). *Improvement plan for water quality in downstream of Namgang dam*. Research result, pp. 7-11 (in Korean).
- GP (Gyeongnam Province)(2009). *Master plan of Nakdong river 2nd TMDL(Total Maximum Daily Loads) in Gyeongnam Province*. Technical Report (in Korean).
- Harper, D. (1993). *Eutrophication of freshwater - Principles, problems and restoration*. Chapman & Hall, pp. 1-28.
- Jeong, S.W., Lee, J.H., and Heo, H.G. (2004). "Environmental studies in the lower part of the Han river 6. The statistical analysis of eutrophication factors." *Journal of Korean Society of Limnology*, Vol. 37, No. 1, pp. 78-86 (in Korean).
- Jun, K.S., and Lee, K.S. (1993). "Application of QUAL2E to the Han river." *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, Vol. 6, No. 2, pp. 20-30 (in Korean).
- Kim, J.G., and Lee, J.Y. (2001). "Application of QUAL2E model for water quality management in the Keum river." *Journal of The Korean Environmental Sciences Society*, Vol. 10, No. 2, pp. 119-127 (in Korean).
- Kleissen, F.M., Beck, M.B., and Wheater, H.S. (1990). "The identifiability of conceptual hydrochemical models." *Water Resources Research*, Vol. 26, No. 12, pp. 2979-2992.
- Klepper, O., Scholten, H., and van de Kamer, J.P.G. (1991). "Prediction uncertainty in an ecological model of the Oosterschelde Estuary." *Journal of Forecasting*, Vol. 10, No. 1-2, pp. 191-209.
- Lee, S.J. (2010). *Comparison and evaluation of surface water quality model for water quality prediction in Nakdong river*. MS Thesis, Inje University, pp. 49-61 (in Korean).
- NIER (National Institute of Environmental Research) (2004). *Development of water quality prediction model Nakdong river watershed*. Research result (in Korean).
- Park, S.S., and Lee, Y.S. (1993). *Use guidelines of STREAM and STRESS model*. Kangwon university environmental engineering, pp. 62 (in Korean).
- Seo, D.I., Yun, J.U., and Lee, J.W. (2008). "Comparative analysis of QUAL2E, QUAL2K and CAP steady state water quality modeling results in downstream areas of the Geum river." *Journal of Korean Society on Water Environment*, Vol. 22, No. 1, pp. 121-129 (in Korean).
- Shin, S.K., and Park, C.K. (1995). "Water quality management considering autochthonous BOD in the Nakdong river." *Conférence of Korean Society of Environmental Engineers*, No. 3, pp. 510-511 (in Korean).
- Shin, S.K., Park, C.K., and Lee, S.W. (1996). "The relationship between chlorophyll-a and BOD in the Nakdong river." *Journal of Korean Society of Water Quality*, Vol. 12, No. 4, pp. 369-375 (in Korean).

논문번호: 12-014	접수: 2012.02.12
수정일자: 2013.01.07	심사완료: 2013.01.07