

금강호물의 새만금호 도입에 따른 금강호 수질변화 분석

엄명철[†] · 이재면

한국농촌공사 농어촌연구원

Estimation of Water Quality of Geumgang Lake by Diversion of Geumgang Lake Flow into Saemangeum Lake

Myung-Chul Eom[†] · Jae-Myun Lee

Rural Research Institute, Korea Rural Community & Agriculture Corporation

(Received 19 July 2006, Accepted 6 September 2006)

Abstract

Geumgang canal is planned to connect Geumgang lake with Saemangeum lake to accelerate desalinization and dilute polluted water to improve water quality in Saemangeum lake. The purpose of this study is to evaluate the impact of water quality on Geumgang lake by diversion of its lake flow to Saemangeum lake. WASP5 model was used to estimate water quality of Geumgang lake. Model calibration and verification were done for water quality data for 2001 and 2002. Water quality concentrations in Geumgang lake were simulated for 4 scenarios, which were considered whether the Geumgang canal is built or not. As a result of simulations, there was little impact on water quality in Geumgang lake, though a little of the Geumgang lake flow diverted to Saemangeum lake. As the Geumgang canal is planned to divert the Geumgang water flow which were discharged into the sea through sluice gates when canal is not built, it is thought that there will be little change by diversion of water flow.

keywords : Diversion, Geumgang lake, Saemangeum lake, WASP5, Water quality

1. 서론

금강호물 도입수로는 금강호와 향후 조성될 새만금 담수호를 상호 연결하여 새만금 담수호의 제염을 촉진시킬 뿐만 아니라 만경강 상류로부터 새만금호로 유입되는 오염수를 희석시키기 위한 목적으로 새만금 간척사업 기본계획 당시부터 검토된 시설이다(농어촌연구원, 2004).

2001년 5월 새만금사업 정부조치계획에서는 새만금호의 제염 및 수질개선을 위한 대책으로 금강호물 도입수로 설치 계획을 제시하였다. 금강호물 도입수로는 금강하구인 상류 4 km 지점에서 새만금호 유입부인 만경강 하류 지점을 수로로 연결하여, 금강호 물을 새만금호 유입부로 도수하기 위한 시설이다. 도입수로는 금강호 및 새만금호의 관리수위를 감안하여 자연도수 방식으로 계획하였고, 홍수위를 감안하여 취입부 및 유출부에 제수문을 설치하도록 되어있다(농림부 등, 2001).

그러나 이러한 도입수로 설치되는 서로 다른 두개의 수계를 연결하게 되는 것이므로, 금강호와 새만금호 지역에서의 환경변화를 수반하게 되며, 많은 양의 물이 도수됨에 따라 금강호의 수질이 저하될 것이라는 우려도 제기되었다(새만금사업 환경영향 공동조사단, 2000).

이에 따라 정부에서는 금강호물의 새만금호 도입에 따른 환경영향을 분석하기 위하여 금강호 내외측의 수질생태 영향 검토를 추진하였다. 또한 새만금호 수질개선을 위한 적정 도입수량을 산정하였으며, 금강호물 도수에 따른 금강호 내외측의 생태 영향을 분석하고 그 저감대책을 제시하였다(농어촌연구원, 2004).

본 연구에서는 도입수로를 통해 금강호의 물을 새만금호로 도수함으로써 예상되는 금강호의 수위저하에 따른 호소 내의 수질영향을 분석하고자 한다. 이를 위해 도입수로 설치유무에 따른 수질변화를 수질예측모형을 이용하여 분석하고, 금강호 물의 새만금호 도수가 금강호 수질에 미치는 영향을 검토하고자 한다.

2. 재료 및 방법

금강호의 물을 다른 수계로 도수함으로써 발생하는 금강호 내의 수질변화를 분석하기 위하여 수질모델을 이용하여 호소의 수질예측을 실시하였다. 하천 및 하구, 호소 등의 수질예측에 널리 이용되는 WASP5 모형을 금강 하구의 금강호 유역에 적용하였다. 금강호 유역의 수문 및 수리, 수질환경 자료를 이용하여 수질모형의 입력자료로 구성하고, 2001~2002년의 금강호 수질실측 자료를 활용하여 모형의 검보정을 실시하였다. 수질예측에 이용된 수질인자는 화학

[†] To whom correspondence should be addressed.
libero87@naver.com

적산소요구량(COD), 총질소(T-N), 총인(T-P) 등 총 3가지 항목이다.

2.1. 수질예측모형

WASP5 모형은 수체의 거동을 모의하는 DYNHYD5 모형과 오염물질의 거동과 상호작용을 모의하는 EUTRO5 모형으로 나누어진다. DYNHYD5 모형은 물의 수리현상을 분석하는 모형으로서, 수리학적 계산을 한 후 중간결과를 저장하여 수질모의 모형인 EUTRO5 모형의 입력자료로 제공된다. 즉 DYNHYD5와 EUTRO5는 직접적으로 연계되어 있지 않으며, 다른 적절한 모형을 사용하여 수리학적 계산을 한 후 그 결과를 EUTRO5의 입력자료로 사용할 수 있도록 되어 있다(Ambrose et al., 1991; 박 등, 2000; 윤 등, 2000; 신, 2001).

본 연구에서는 DYNHYD5 모형을 통해 금강호의 물수지를 분석하고 기존의 물수지 모형에서 계산된 결과와 비교 검토한 후, DYNHYD5의 수리 분석 결과를 다시 EUTRO5 모형의 입력자료로 연결하여 금강호의 수질변화를 모의하였다.

2.2. 대상유역

금강호물 도입수로 건설에 따른 금강호의 수질변화를 분석하기 위하여 금강호를 여러 구획으로 분할하고 각각의 지형 및 수질자료를 모형의 입력자료로 구성하였다. WASP5 모형 내의 DYNHYD5 모형의 적용을 위해 금강하구를 구획화하여 Junction 19개와 Channel 18개로 구성하였다. 상류 경계조건은 강경 수위표가 위치하고 있는 강경 지점으로 하였으며, 하류 경계조건은 금강하구언으로 설정하였다. 측면에서 유출입되는 용배수량에 대해서는 4개의 유입지류

와 2개소의 취수원으로 나타내었다(Fig. 1). EUTRO5 모형에 활용되는 금강하구의 세그먼트 수는 총 11개이며, 측면 및 상하류 경계조건은 DYNHYD5에서 설정한 경계조건과 동일하다.

2.3. 입력자료

WASP5를 이용한 금강호 수질모델링을 위해 금강호 유역의 기상자료, 유량자료, 수질자료를 입력자료로 구축하였다. 모형의 보정기간인 2001년과 검증기간인 2002년에 대해 각각의 월별 자료를 입력하였다. WASP5 모형에 입력되는 기상자료는 수온, 수평면일사량, 일조율, 풍속, 기온, 습광계수 등이며, 이는 금강하구에 인접한 군산 기상관측소 및 전주 기상관측소의 2001~2002년 월평균 기상자료를 활용하였다.

유량자료는 유역물수지 분석을 통해 산정된 2001년과 2002년의 금강호 유입량, 소유역 유출량, 배수갑문 방류량, 용수공급량에 대한 월별 자료를 활용하였다(농어촌연구원, 2004). 금강호 유입량은 상류 경계지점인 강경수위표 지점의 유량과, 소유역 유입량으로 구성하였다.

금강호의 측방에서 유입되는 소유역 유량은 기존의 조사자료(농업기반공사, 2002)에서 구분된 하류지점의 7개 소유역(어사천, 길상천, 길산천, 하구언, 부곡천, 복심지)의 면적과 강경 지점의 유량을 이용하여 유량-면적비로 계산하였다(Table 1).

모형에 입력되는 수질자료는 환경부 측정망 조사의 일환으로 실시되고 있는 월별 수질조사 자료를 활용하였다. 금강호 구역에 해당하는 2개 조사지점의 2001년과 2002년 자료를 이용하여 WASP5 모형의 경계농도를 설정하였다.

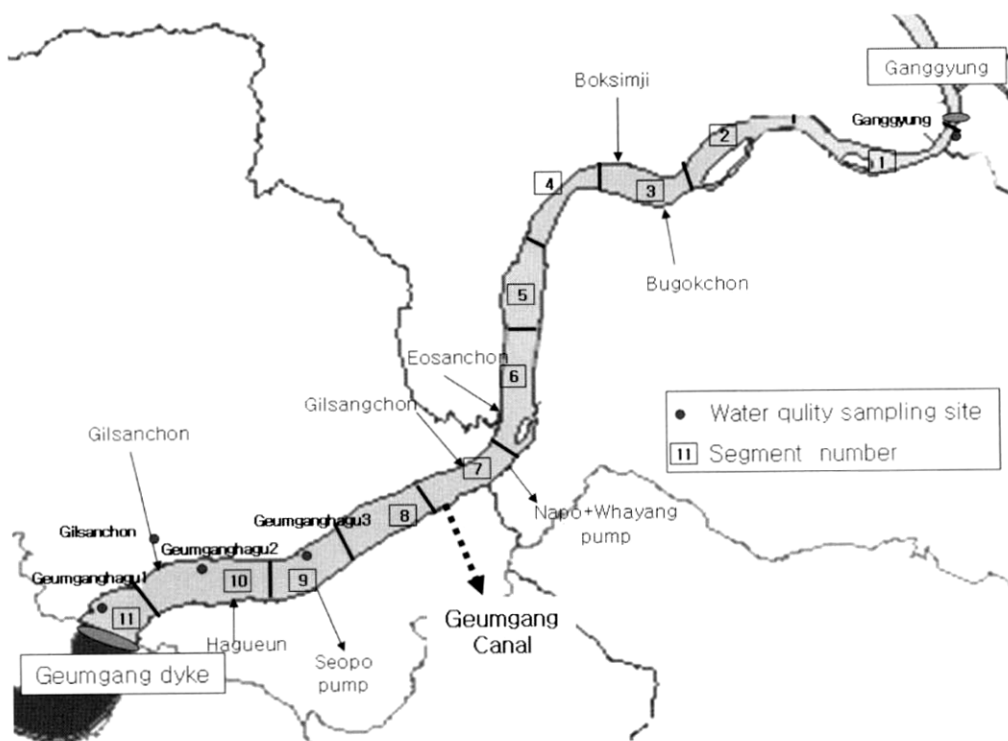


Fig. 1. Segmentation of Geumgang lake.

상류 경계인 강경 수위표 지점에 해당하는 강경 지점과 측면 유입 지점인 길산천 지점 등 2개 지점의 수질자료를 이용하였으며, 그 외 소유역에서 유입되는 경계농도는 길산천 지점의 값을 사용하였다(Table 2).

호소 내 수질조사 지점인 금강하구1, 금강하구2, 금강하구3 등 3개 지점의 수질자료는 실측치와 모의치 비교를 위한 모형의 검보정에 활용하였다.

3. 결과 및 토의

3.1. 모형의 보정

본 연구에서는 모형의 보정을 위한 매개변수의 최적화 기법으로 단순시행착오법을 사용하였다. 모형에 의한 실측치와 예측치가 가장 일치할 때까지 매개변수를 변화시켜 가면서 최적의 값을 추정하였다. 보정은 금강호에 대한 환경부 수질측정망 3개 지점(금강하구1, 금강하구2, 금강하구

3)을 대상으로 2001년 수질자료에 대하여 실시하였다.

수질모형의 보정 결과, COD와 T-N, T-P는 실측치에 비해 예측치가 다소 높게 나타났다. 이에 비해 Chl-a는 예측치가 다소 낮게 모의되었는데, 특히 높은 농도에서 이러한 경향이 뚜렷하게 나타났다. Fig. 2와 Fig. 3은 수질 실측지점에서의 예측치와 실측치를 상호 비교한 결과를 나타낸 것이며, Table 3에서는 보정에 사용된 WASP5 모형의 수질 매개변수 값을 나타내었다.

3.2. 모형의 검증

모형의 검증은 이미 보정된 매개변수가 동일 유역 및 보정에 이용되지 않은 자료기간에 대해서 얼마나 일관된 결과를 모의하여 주는가를 평가하는 것이다.

본 연구에서는 보정에 이용하지 않았던 2002년 자료를 대상으로 모형의 검증을 실시하였다. 모형의 검증에서도 보정에 활용되었던 금강호의 3개 수질측정 지점에 대해 수질

Table 1. Boundary flow rate in Geumgang lake

Year	Inflow (10 ⁶ m ³)							Withdrawl (10 ⁶ m ³)			Outflow (10 ⁶ m ³)
	Ganggyung	Bugokchon	Boksim	Eosachon	Gilsangchon	Gilsanchon	Hagueon	Iksan canal+ Whayang	Okgu canal	Industrial	Geumgang gate
2001	1,720	128	76	57	28	99	37	119	0	0	2,205
2002	4,477	332	197	147	73	257	97	85	0	0	5,496

Table 2. Boundary concentration of water quality in Geumgang lake

Year	COD (mg/L)		T-N (mg/L)		T-P (mg/L)		Chl-a (µg/L)	
	Ganggyung	Gilsanchon	Ganggyung	Gilsanchon	Ganggyung	Gilsanchon	Ganggyung	Gilsanchon
2001	7.4	8.2	4.148	1.906	0.096	0.146	10.0	14.7
2002	8.2	7.7	4.668	2.159	0.120	0.117	11.9	5.2

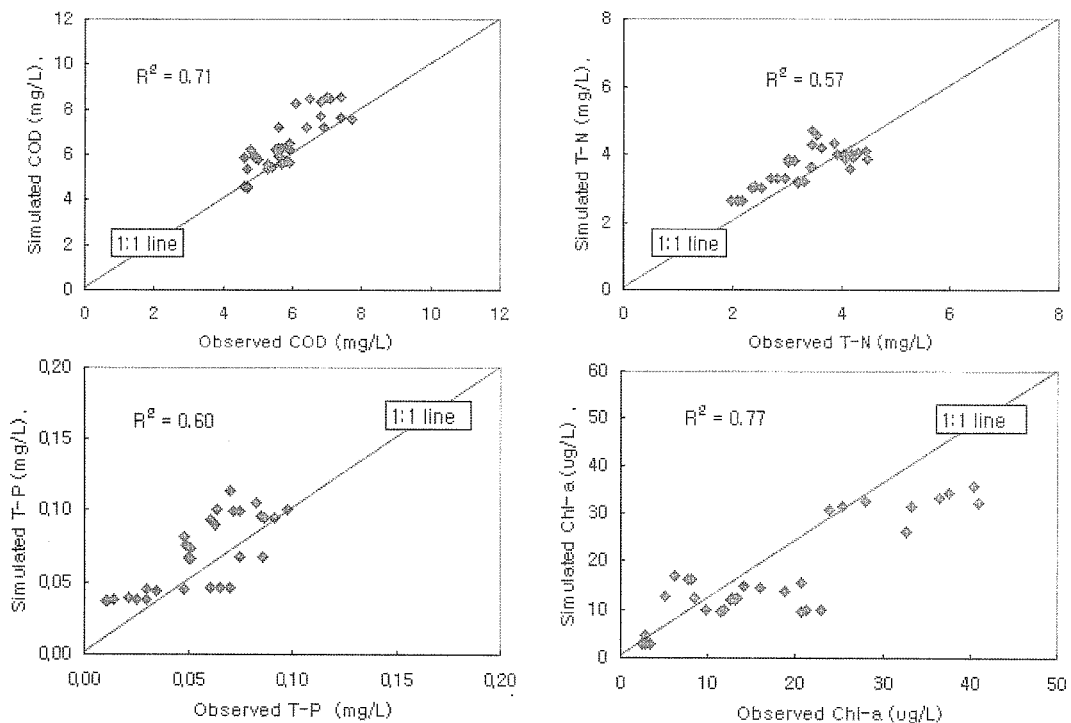


Fig. 2. Scatter diagram of water quality in Geumgang lake for calibration period.

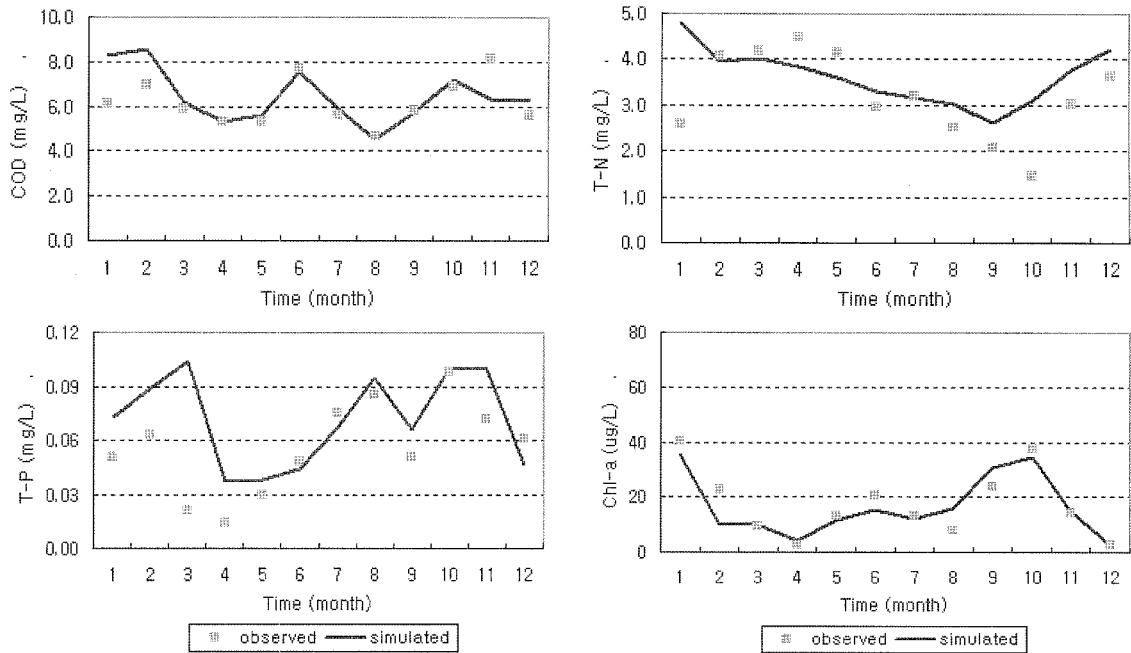


Fig. 3. Comparison of observed and simulated water quality at Geumganghagu1 for calibration period.

Table 3. Parameter values of WASP5 for the Geumgang lake

Variables	ISC	Definition	Unit	Value
Phytoplankton	K1C	Saturated growth rate of phytoplankton	day ⁻¹	0.750
	K1RC	Endogenous respiration rate of phytoplankton at 20°C	-	0.025
	K1D	Non-predatory phytoplankton death rate	-	0.020
	KPZDC	Decomposition rate for phytoplankton in the sediment at 20°C	day ⁻¹	0.010
NH ₃ -N	K1320C	Nitrification rate at 20°C	day ⁻¹	0.080
NO ₃ -N	K140C	Denitrification rate at 20°C	day ⁻¹	0.100
CBOD	KDC	BOD deoxygenation rate at 20°C	day ⁻¹	0.001
	KDT	Temperature coefficient for carbonaceous deoxygenation in water column	-	1.055
	KDSC	Decomposition rate of carbonaceous BOD in the sediment at 20°C	day ⁻¹	0.0004
Organic-N	K1013C	Mineralization rate of dissolved organic nitrogen	day ⁻¹	0.030
	KONDC	Decomposition rate constant for organic nitrogen in the sediment at 20°C	day ⁻¹	0.0004
Organic-P	K58C	Mineralization rate of dissolved organic phosphorus	day ⁻¹	0.175
	KOPDC	Decomposition rate of organic phosphorus in the sediment at 20°C	day ⁻¹	0.0004

항목별로 실측치와 수질모형에 의한 모의치 결과를 서로 비교하였다. 대부분의 수질항목에서 보정기간과 유사하게 실측치와 예측치가 비교적 일치하는 것으로 나타났다. Fig. 4는 금강호의 대표 수질측정지점인 금강하구1 지점에서의 검증기간 중의 모의치와 실측치를 비교한 결과이다.

3.3. 금강호물 도수에 따른 수질모의

3.3.1. 수질예측 시나리오

금강호물 도입수로 운영에 따른 금강호 수질변화를 파악하기 위해 WASP5 수질모형을 이용하여 도수 전후의 수질변화를 예측하였다. 수질예측을 위한 기준년도는 10년 빈도의 갈수년으로 분석된 2001년으로 설정하였다(이 등, 2003; 농어촌연구원, 2004).

수질예측을 위한 시나리오는 총 4가지로 구성하였는데, 수문 및 호소유입 수질농도 조건과 도입수로 설치유무를 기준으로 설정하였다(농어촌연구원, 2004).

시나리오 I-1과 I-2는 2001년 현재의 수질농도를 유입수질 경제농도로 하여 분석한 것으로서, 시나리오 I-1은 도입수로 도수량이 없는 2001년 현재의 상태이며, 시나리오 I-2는 2001년 경제농도와 물수지 조건에서 도입수료가 설치되는 경우의 시나리오이다.

시나리오 II-1과 II-2는 새만금 담수호가 사용되는 시기인 2012년의 금강호 유역 수질조건을 가정하여 분석한 시나리오로서, 유입수질 농도는 2012년의 오염부하량을 고려하여 설정하였다(농어촌연구원, 2004). 시나리오 II-1은 도입수료가 없는 조건이며, 시나리오 II-2는 2012년에 도입수료가 설치되어 운영되는 시나리오이다. 수질예측 시나리오별 유량 입력자료 및 유입수질 농도는 Table 4와 Table 5에 나타내었다.

3.3.2. 수질예측 결과

WASP5 모형을 이용하여, 도입수로 설치에 따른 금강호

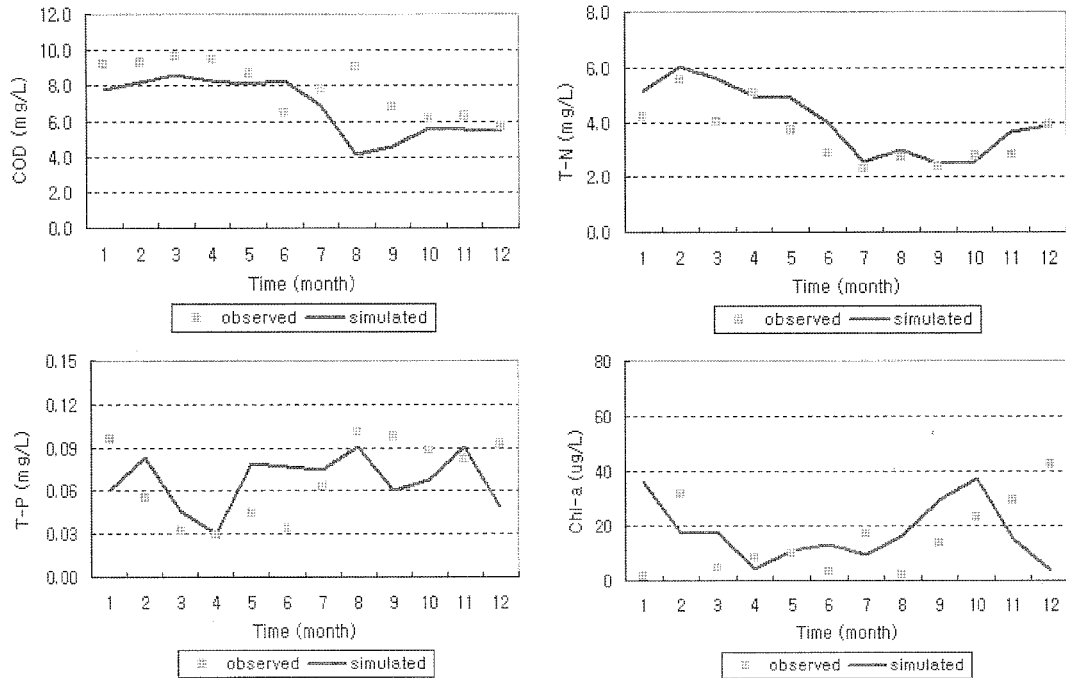


Fig. 4. Comparison of observed and simulated water quality at Geumganghagul for verification period.

Table 4. Scenario and boundary condition of water quality model

Scenario	Withdrawal (10 ⁶ m ³)		Outflow (10 ⁶ m ³)	Boundary concentration			Remark
	Geumgang canal	Others	Geumgang sluice gate	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	
Scenario I -1	-	119	2.025	7.4	4.148	0.096	Observed for 2001
Scenario I -2	566	427	1.150	7.4	4.148	0.096	Observed for 2001
Scenario II-1	-	427	1.716	8.7	4.505	0.101	Simulated for 2012
Scenario II-2	566	427	1.150	8.7	4.505	0.101	Simulated for 2012

Table 5. Monthly withdrawal through the Geumgan canal

Withdrawal (10 ⁶ m ³)	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
	54	45	52	52	43	39	46	39	36	54	52	54	566

의 수질변화를 예측한 결과, 2001년과 2012년의 수질조건 모두에서 도입수로 설치에 따른 수질변화는 거의 없는 것으로 나타났다.

2001년 수질조건 시나리오 중 도입수위가 설치되지 않은 시나리오 I-1에서의 금강호 수질은 구간별로 COD 6.4 mg/L, T-N 3.58~3.67 mg/L, T-P 0.071~0.073 mg/L이고, 도입수위가 설치된 이후인 시나리오 I-2에서는 COD 6.3~6.4 mg/L, T-N 3.54~3.61 mg/L, T-P 0.070~0.072 mg/L로서, 도입수로 설치 전후의 수질변화가 거의 나타나지 않았다(Table 6).

새만금 담수호 사용시기인 2012년을 기준으로 한 수질예측 결과, 도입수위가 설치되지 않은 시나리오II-1에서는 COD 7.3~7.4 mg/L, T-N 3.85~3.92 mg/L, T-P 0.074~0.076 mg/L였다. 2001년에 비해 다소 높은 농도로서, 여전히 호소수질기준 IV등급 수준을 유지하는 것으로 나타났다. 그러나 이러한 변화는 단순히 오염부하량 비율만으로 2012년의 금강호 상류유역 수질농도를 가정하였기 때문에 나타난 예측 결과이므로, 보다 세부적인 상류유역 모델링이 이루어

진다면 예측결과는 다소 달라질 수 있을 것으로 판단된다.

2012년 수질조건에서도 도입수위가 설치되는 시나리오II-2에서는 COD 7.2~7.4 mg/L, T-N 3.82~3.89 mg/L, T-P 0.074~0.076 mg/L로서, 도입수위가 없는 시나리오II-1과 비교할 때 거의 변화가 없는 것으로 나타났다.

금강호 구간별 연평균 수질비교 결과에서도, 금강호물 도입수로 설치에 따른 수질변화는 거의 나타나지 않았다(Fig. 5~Fig. 7).

즉, 금강호물 도입수위가 설치되어 금강호물이 새만금호로 도수되더라도, 이에 따른 금강호의 본류의 수질 변화는 거의 없는 것으로 분석되었다.

이러한 현상은 계획중인 도입수위가 금강호 관리수위 이상의 물만 유입될 수 있도록 설계되기 때문이다. 즉, 도입수로 유입되는 물의 대부분은 당초 수위가 없을 때 배수갑문을 통해 바다로 방류되던 물에 해당하기 때문이다. 따라서 도입수위가 설치되더라도 배수갑문을 통해 방류되던 물이 도수되는 것에 불과하므로 금강호의 물수지에는 큰 변화가 없으며, 호소의 수질 역시 별다른 영향을 받지 않는 것으로 판단된다.

Table 6. Simulated concentration of water quality for each scenario

Site	Simulated	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
Geumganghagu 1	Scenario I -1	6.4	3.58	0.071
	Scenario I -2	6.3	3.54	0.070
	Scenario II-1	7.3	3.85	0.074
	Scenario II-2	7.2	3.82	0.074
Geumganghagu 2	Scenario I -1	6.4	3.64	0.072
	Scenario I -2	6.4	3.58	0.070
	Scenario II-1	7.3	3.89	0.074
	Scenario II-2	7.3	3.85	0.074
Geumganghagu 3	Scenario I -1	6.4	3.67	0.073
	Scenario I -2	6.4	3.61	0.072
	Scenario II-1	7.4	3.92	0.076
	Scenario II-2	7.4	3.89	0.076

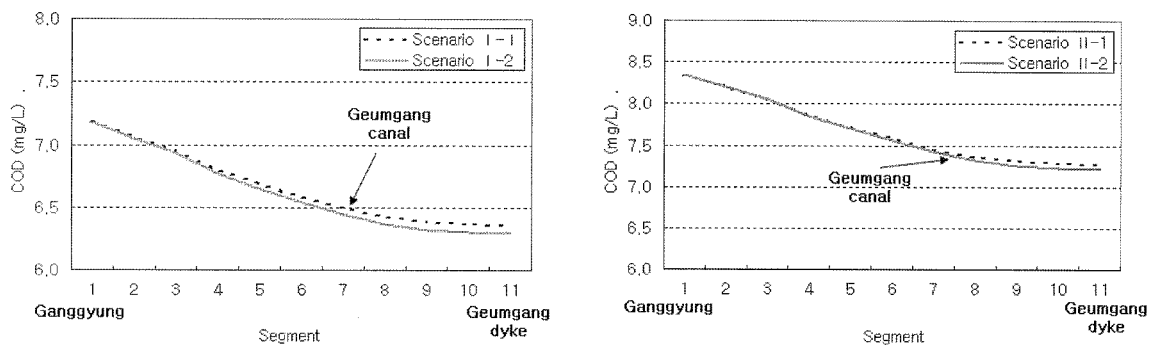


Fig. 5. Variations of COD concentration in Geumgang lake for each scenario.

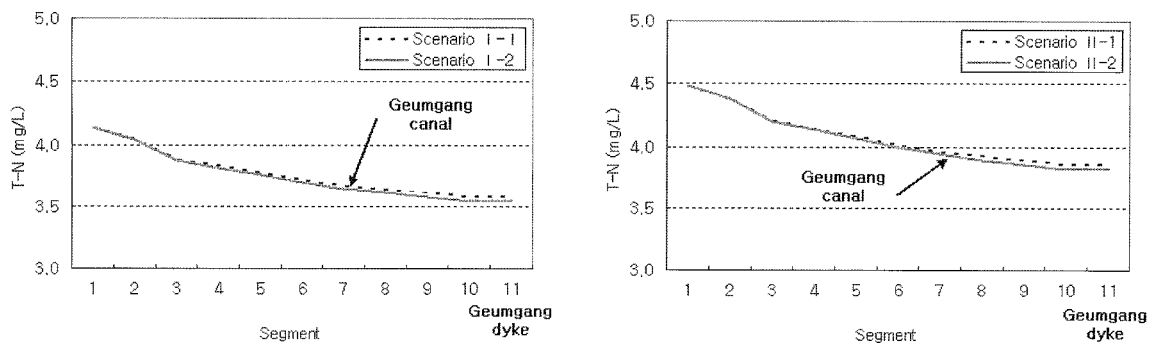


Fig. 6. Variations of T-N concentration in Geumgang lake for each scenario.

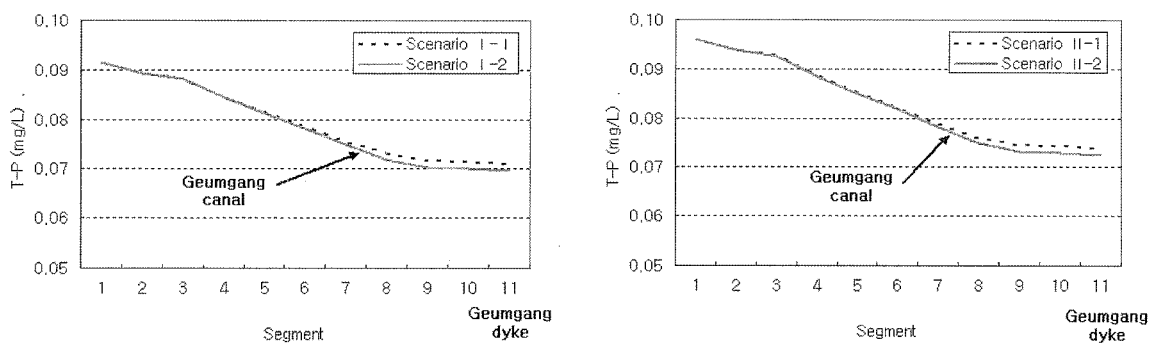


Fig. 7. Variations of T-P concentration in Geumgang lake for each scenario.

4. 요약 및 결론

WASP5 모형을 이용하여, 도입수로 설치에 따른 금강호

의 수질변화를 예측하였다. 2001년과 2012년의 수문, 수질 조건 및 도입수로 설치유무를 기준으로 수질예측 시나리오를 구성하고, 시나리오별 수질예측을 실시하여 그 결과를

상호 비교하였다. 수질예측 결과, 2001년과 2012년의 수질 조건 모두에서 도입수로 설치에 따른 수질변화는 거의 없는 것으로 나타났다.

이는 계획 중인 도입수로가 금강호 관리수위 이상의 물만 유입될 수 있도록 설계되므로, 수로가 설치되더라도 금강호 내의 물수지 및 수위변화는 크지 않기 때문에 나타나는 현상으로 판단된다. 즉 도입수로로 유입되는 물은 대부분이 도입수로 설치 이전에 배수갑문을 통해 방류되던 물에 해당하므로 금강호내의 물수지에는 큰 영향을 미치지 못하므로, 금강호의 수질 역시 별다른 영향을 받지 않기 때문이다.

참고문헌

- 농림부, 환경부, 해양수산부, 전라북도, 새만금관련 관계부처 세부실천계획, pp. 31-34 (2001).
- 농어촌연구원, 금강호물 도입에 따른 환경영향연구, pp. 7-110 (2004).
- 농업기반공사, 금강II지구 물이용 종합계획 연구, pp. 152-159 (2002).
- 박영기, 최문술, 이장춘, WASP5 모형에 의한 새만금호의 수질 매개변수 추정, *대한환경공학회지*, **22**(4), pp. 743-754 (2000).
- 새만금사업 환경영향 공동조사단, 새만금사업 환경영향공동조사 결과보고서 -수질보전분야-, pp. 749-752 (2000).
- 신동석, 유역수질관리를 위한 WASP5 모형의 하천수질예측 적용성 평가, 서울대학교 박사학위논문, pp. 1-10 (2001).
- 윤춘경, 함종화, SWMM과 WASP5 모형을 사용한 하구담수호의 수질예측, *한국환경농학회지*, **19**(3), pp. 252-258 (2000).
- 이택주, 김태철, 새만금호 희석수 공급을 위한 금강호에서의 적정 도수량 산정, *2003년도 한국농공학회 학술발표논문집*, pp. 243-246 (2003).
- Ambrose, R. B., Wool, T. A., Martin, J. L., Connolly, J. P and Schanz, R. W., WASP5, A Hydrodynamic and Water Quality Model, *U.S. EPA* (1991).