

# GIS를 이용한 미호천의 장래수질예측 Water Quality Prediction of the Miho Stream Using GIS

노준우\* · 이상진\*\* · 이상욱\*\*\*

Noh, Jun Woo · Lee, Sang Jin · Lee, Sang Uk

## 要 旨

본 논문에서는 금강수계의 미호천을 대상으로 GIS를 이용, 2010년을 대상으로 장래수질을 예측하였다. 오염총량관리 기본계획에서 제시된 자료를 기반으로 미호천으로 유입되는 지류별 수계에 대하여 재계산하여 각 수계별 오염부하량을 산정하였으며 이들 정보를 활용하여 지류별 농도를 계산한 다음 미호천의 수질모의를 실시하였다. 수질모의는 대표적인 하천수질 모형인 Qual2E 모형을 사용해서 BOD, TN, TP 등의 대표적인 수질인자에 대한 모의를 실시하였다. 수계별 오염부하량을 산정한 결과 도시지역을 포함한 무심천 및 보청천의 부하량이 높게 나타남을 알 수 있었고 미호천 전체 수질은 청주 하수처리장의 영향을 직접적으로 받는 것으로 나타났다. 대상유역에서의 효율적 수질관리와 오염총량제에서 제시한 목표수질을 달성하기 위해서는 하수처리장의 고도처리가 먼저 달성되어야 함을 알 수 있었고, 그 외에도 무심천으로 공급되는 농업용수의 유량을 증가시켜 이를 수질회색의 용도로 사용하는 방안에 대해서 모의를 실시함으로써 수질기준을 만족할 수 있는 적정유량을 산정하여 제시하였다.

**핵심용어 :** 오염총량제, 장래수질, 목표수질, Qual2E, BOD

## Abstract

This study conducted water quality projection of year 2010 in Miho stream of the Geum river basin by using GIS. Pollutant load data of corresponding tributary of the Miho stream is estimated based on the pollutant load of TMDL zone to simulate water quality of the Miho stream for BOD, TN, and TP. The pollutant load of the urban area such as Bochung and Musim stream basin is relatively high and the wastewater treatment plant of Chunju city directly affects the entire water quality of the target area. As a result, simulation result reveals that water treatment facility needs more refined treatment process for efficient water quality management. Also, to meet the target water quality of the Miho stream water quality simulation estimates the additional dilution flow by increasing irrigation water supplied from the Daechung dam through the Musim stream.

**Keywords :** TMDL, Water Quality Projection, Target Concentration, Qual2E, BOD

## 1. 서 론

금강은 대청댐을 기준으로 상류단(용담-대청구간)과 하류단(대청댐-하구둑)으로 구분할 수 있다. 상류단의 경우 큰 오염원의 유입이 없어 수질이 매우 양호한 반면, 대청댐 이하 하류단의 경우 대전시 및 청주시와 같은 대도시가 위치하고 있어 이들로부터 배출되는 하수처리수에 의해 금강의 수질이 갈수록 악화되고 있는 실정이다. 이중 미호천은 본류구간으로 유입되는 지류 중 유역면적이 가장 크고 유량 또한 풍부하여 대청댐 하류단의 유량

확보나 수질관리를 위해서 매우 중요하다. 특히 최근 신도시 건설이 이루어지고 있어 체계적인 수질관리가 필요한 지역이다. 본 연구에서는 충청남북도 오염총량관리 보고서(2005)에 제시된 각 소유역별 오염부하량 자료를 활용하여 미호천을 대상으로 장래수질을 예측하고 동시에 기준년도 목표수질을 만족하는 유량을 산정하였다. 이를 위하여 총량관리 보고서(2005)에 제시된 총량구역별 혹은 행정구역별로 산정된 오염부하량을 바탕으로 GIS tool을 사용하여 각 수계별 영역에 해당되는 오염부하량을 재산정 하는 작업을 실시하였다.

2008년 1월 4일 접수, 2008년 2월 11일 채택

\* 한국수자원공사 수자원연구원 수자원환경연구소 선임연구원 (jnoh@kwater.or.kr)

\*\* 교신저자·정회원·한국수자원공사 수자원연구원 수자원환경연구소 선임연구원 (sjlee@kwater.or.kr)

\*\*\* 한국수자원공사 수자원연구원 수자원환경연구소 연구원 (sulee@kwater.or.kr)

이건호(1999)등은 한강 수계 평창강과 주천강 유역을 대상으로 유역 오염부하량 저감 효과영향에 대하여 모의한 바 있고, 충청남도 보건환경연구원(2005)은 유구천을 대상으로 하천 수질 변화 영향을 평가하였다. 정세웅 등(2004)은 GUI 를 강화한 동적수질모형을 개발하여 대청댐 이하 금강본류에 대해 적용한 바 있고 고익환 등(2005)은 동일구간을 대상으로 정상상태 및 동적 수질모형에 대하여 주요 수질인자를 산정하는 매개변수에 관한 비교를 수행한 바 있다. 국내 하천 수질모의에 가장 널리 사용되어 온 모형중 하나인 Qual2E는 USEPA가 수년간 환경기술을 통합하여 개발한 하천 수질모형으로 다양한 유역에 적용되어 활용되어 왔으며(Linfield and Barnwell, Wangne and Tisdale(1996)은 유역의 유로에 따른 인의 거동을 평가하기위해 Okeechobee watershed을 대상유역으로 Qual2E 모형을 적용하였다.

이와 같이 국내외에서 검증된 Qual2E를 활용하여 본 연구에서는 미호천 유역의 장래 수질예측을 위해 모의 적용하였다. 미호천 본류로 유입되는 지류는 점오염원으로 처리하였고, 모의에 필요한 자료를 산정하기 위하여 전술한 방법에 의해 각 지류로부터 배출되는 오염부하량을 계산하고 지류별 유달율을 구한 다음 이를 기반으로 수질모의에 필요한 입력자료를 각 항목별로 생성하여 모의를 수행하였다.

## 2. 오염부하량 산정

### 2.1 대상유역 현황

대청조정지 댐으로부터 하구언에 이르는 금강본류로 직접 유입되는 하천들은 갑천, 미호천, 논산천과 같은 국가하천과 지방1급 하천, 그 이외에도 수많은 지방2급 하천들이 있다. 그림 1과 같이 미호천 유역은 금강유역의

북쪽 중앙부에 위치하고 유역의 북쪽 및 동쪽은 한강유역, 북서쪽은 안성·삼교천유역 남쪽은 금강 잔유지역과 접하고 있으며, 그 유역면적은 1,850km<sup>2</sup>로서 금강 전 유역 면적의 18.8%를 점하고, 유로 연장은 87.3km에 달한다. 미호천유역에는 본류로 유입되는 다수의 지류가 위치해 있으며 발원지부터 보강천 이전까지는 지방1급하천으로 구분되고 보강천 합류 이후부터는 국가하천으로 분류된다. 특히 미호천 유역에는 상류단의 초평저수지 및 백곡저수지를 비롯, 하류단의 용암저수지 등 다수의 소규모 저수지가 존재하여 이지역의 농업용수 공급을 담당한다.

### 2.2 BOD 배출부하량 산정

금강 오염총량보고서(2005)에 따르면 2002년을 기준으로 조사된 총량구역별 혹은 행정구역별 오염발생 및 배출부하량을 바탕으로 장래 지역별 자연증가율, 개발계획, 그리고 환경기초시설 수립계획 등을 감안하여 기준연도인 2010년도에 대한 구역별 삭감량과 목표수질을 제시하였다. 본 연구에서는 각 지류별 수질농도 계산을 위하여 2010년을 기준으로 산정된 발생부하량과 배출부하량 자료를 이용하여 해당 지류수계별로 재해석하고 이를 산정하였다. BOD의 경우, 총량단위 유역도를 이용하였으며, TN과 TP의 경우에는 행정구역별로 산정된 값들을 이용하였다. 총량구역별로 산정된 해당수계의 BOD 장래 배출부하량은 그림 2와 같다.

총량단위 유역별로 살펴본 결과 기준오염부하량의 경우 청주시 지역이 가장 높은 값을 나타내고 있으며 최종 및 기준 부하량의 경우 미호천 상류부와 청원지역이 다소 높게 나타나고 있다. 소유역별 BOD 배출부하량을 그림 1에 제시된 하천수계별로 GIS tool을 사용하여 재산정한 결과를 그림 3에 나타내었고 지류 하천수계에 해당되지 않는 부분은 미호천 본류로 구분해 주었다.

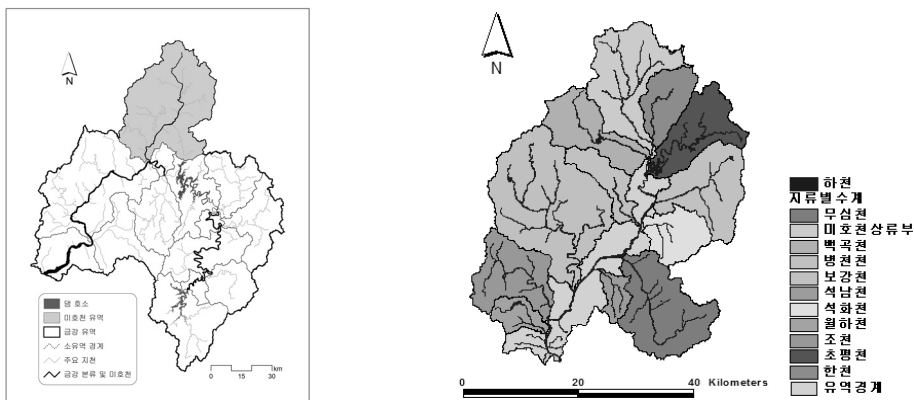


그림 1. 금강유역 및 미호천유역 수계도



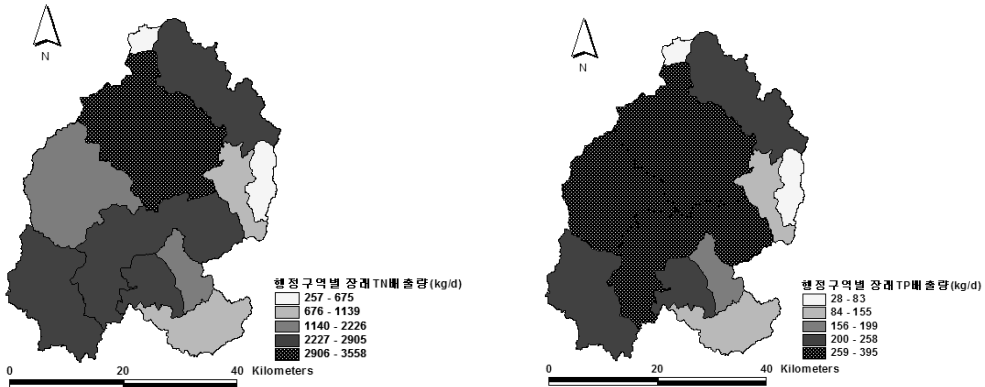


그림 5. 행정구역별 TN, TP 배출부하량

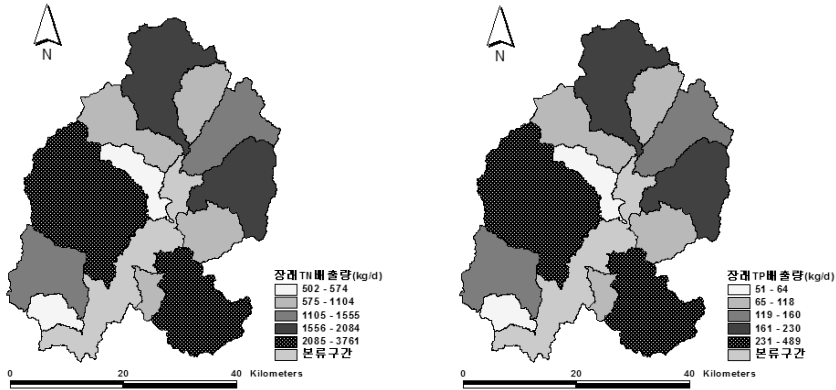


그림 6. 수계별 TN, TP 배출부하량

표 1. 수계별 배출 오염부하량

하 천	BOD배출부하량(kg/d)			TN배출(kg/d)		TP배출(kg/d)	
	기존	최종	기준	기존	장래	기존	장래
미호천상류부	5,414	5,469	5,469	2,485	2,084	232	213
한천	2,365	2,369	2,369	1,049	913	99	91
백곡천	1,799	1,387	1,387	1,581	1,104	132	118
초평천	842	841	841	1,640	1,432	156	143
보강천	4,404	3,632	3,551	2,466	2,004	271	230
성암천	997	972	890	801	574	72	64
석화천	1,901	1,613	1,206	916	777	130	106
무심천	6,828	7,935	5,808	4,138	3,761	414	392
석남천	2,683	3,861	1,689	990	912	86	86
병천천	7,966	6,702	5,739	4,056	3,111	500	489
조천	3,123	2,936	2,937	1,528	1,555	153	160
월하천	761	747	747	488	502	48	51

### 3. 유달률 및 기준유량의 산정

#### 3.1 유달률 산정

각 유역에서 산정된 배출부하량은 유역에서 발생된 유량으로 수질농도가 결정되고 점오염원의 형태로 본류구간에 유입된다. 유달률은 배출부하량과 유달부하량의 비로 정의되며 유역특성뿐 아니라 유량이 커질수록 증가하는 경향을 보인다. 유달부하량은 실측된 유량과 수질농도의 곱으로 정의되며 이를 산정하기 위하여 2002년 3월부터 2003년 12월 까지 BOD, TN, TP를 대상으로 수집된 수질자료와 유량자료를 이용하였다. 통상 유달율은 식 (1)과 같은 형태를 가지게 되며, Y는 유달률을 나타내며, Q는 하천유량을 나타낸다.

$$Y = a Q^b \quad (1)$$

유달률과 유량과의 상관관계를 회귀분석에 의하여 산정하고 이렇게 결정된 계수 a, b 값을 표 2에 제시하였다.

표 2. 수계별 유량-유달률 상관관계식의 계수

하천	BOD		TN		TP	
	a	b	a	b	a	b
미호상류부	0.0491	0.884	0.2609	0.891	0.1251	1.083
한천	0.1049	0.687	0.6153	0.897	0.3545	1.035
백곡천	0.1187	1.041	0.2189	1.152	0.1046	0.893
초평천	0.2414	1.0496	0.1497	0.9585	0.1167	1.212
보강천	0.1262	0.5319	0.3565	0.8563	0.2556	1.066
성암천	0.1836	0.6531	0.2051	0.8854	0.1872	1.2564
석화천	0.0715	0.4363	0.5491	0.6989	0.3894	0.8347
무심천	0.0387	0.9260	0.1151	1.1267	0.0537	1.1830
석남천	0.1919	1.1543	1.3713	0.8290	1.2367	1.8210
병천천	0.0322	0.6914	0.1110	0.9918	0.0271	1.3191
조천	0.0715	0.9834	0.2993	0.8386	0.8176	0.6000
월하천	0.0715	0.9834	0.2993	0.8386	0.8176	0.6000

표 3. 지류별 유달부하량(2010년)

하천	면적 (km <sup>2</sup> )	유량 (m <sup>3</sup> /s)	BOD(kg/d)		TN(kg/d)	TP(kg/d)
			최종유달부하량	기준유달부하량	유달부하량	유달부하량
미호천상류부	201.0	0.87	236	236	478	23
한천	86.0	0.37	126	126	218	12
백곡천	126.1	0.54	88	88	120	7
초평천	132.8	0.57	113	113	126	8
보강천	159.0	0.69	375	367	518	39
성암천	65.0	0.28	78	71	38	2
석화천	84.0	0.36	74	55	210	18
무심천	198.6	0.86	266	195	364	18
석남천	32.7	0.14	111	49	321	5
병천천	360.8	1.56	293	251	536	24
조천	136.7	0.59	125	125	299	95
월하천	43.6	0.19	10	10	37	15

#### 3.2 기준유량 및 유달부하량 산정

기준유량이란 인위적으로 공급되거나 소모되는 유량을 제외한 경우에 의해 생성되는 자연유량값을 기준으로 산정하도록 되어있으며 10년 평균저수량은 1년중 275일 이상 흐르는 유량값을 의미한다. 환경부에서는 이러한 기준유량을 설정하고 이에 따라 단위유역별 목표수질을 설정하였다. 금강유역의 경우 13.7m<sup>3</sup>/s로 기준유량이 설정되어 있으며, 식 (2)와 같은 면적비 유량법에 의해 미호천 말단의 기준유량은 8m<sup>3</sup>/s로 산정되었고 동일한 방법으로 미호천으로 유입되는 지류수계별 기준유량을 산정하였다.

$$\text{면적비유량}(Q) = \frac{A}{A_0} \times Q_0 \quad (2)$$

A는 대상지류의 유역면적(km<sup>2</sup>)이며, A<sub>0</sub>는 미호천전체 유역면적(km<sup>2</sup>)을 나타낸다. Q<sub>0</sub>는 기준유역유량(m<sup>3</sup>/s)으로 유량에 따른 지류별 유달부하량은 표 3과 같다.

### 3.2 지류의 소유역처리

지류에 포함되지 않은 중간유입 되는 오염원을 고려하기 위하여 오염총량 단위유역도의 세유역도를 이용하여 그림 7과 같이 지류수계를 제외한 본류하도구간에 기여하는 소유역을 통합하는 형식으로 총 10개의 소유역으로 구분하였다.

구분된 각 소유역 구간별로 2010년을 기준으로 예측한 배출 오염부하량은 표 4에 제시하였다. 이들 소유역의 유달률은 주변 지류유역의 유달률과 동일한 값을 사용하여 적용하였다.

## 4. 수질모의

### 4.1 수질모형의 구성

수질모의를 위하여 Qual2E 모형을 사용하여 미호천본류의 수질모의를 실시하였다. Qual2E 모형은 하천의 형

상을 일정한 길이를 가지는 격자의 연속체로 구성하여 각각의 격자에 대한 수질은 동일한 값을 가지며 특정 수질인자에 대한 반응율을 적용, 자연유하 혹은 오염원 유입에 의한 수질변동을 모의할 수 있도록 구성되어 있다.

미호천 하류 금강 합류점까지 전체 50km의 구간을 수리 또는 지형 특성을 고려하여 16개의 Reach로 나누어 구성하였으며, 각 Reach별 계산요소(Element)는 1km로 구성하였다. 10개의 지류는 점오염원(Point Source)으로 본류로 유입되는 것으로 가정하였고 하천수를 이용하는 취수원에 대해서도 고려하였다. 모의항목으로는 수온, BOD, 질소 및 인 계열, 그리고 용존산소를 고려하여 수질모의를 실시하였다. Qual2E 모형을 구성한 모식도를 그림 8에 제시하였다.

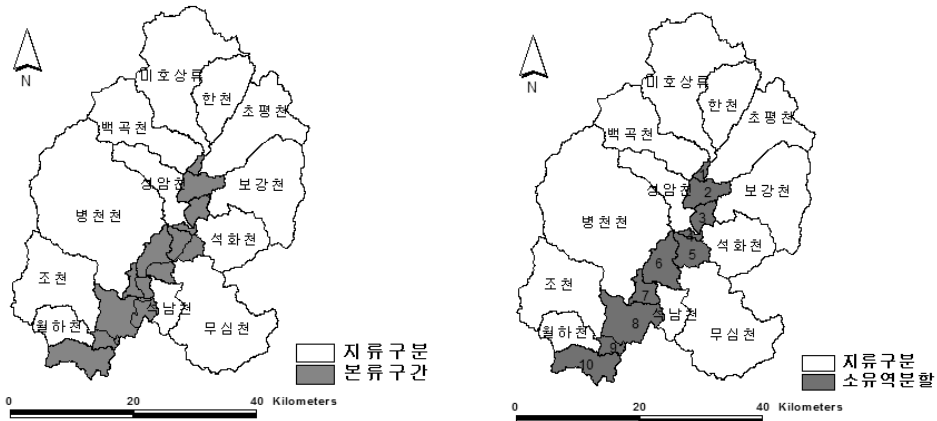


그림 7. 중간유입 부분 소유역 구분

표 4. 본류부 소유역별 부하량

소유역	2010년			
	BOD(kg/d)		TN(kg/d)	TP(kg/d)
	최종	기준	배출부하량	배출부하량
1	45	45	41	4
2	219	219	213	23
3	187	136	124	17
4	147	106	35	5
5	468	380	480	49
6	3488	3164	606	65
7	630	348	306	31
8	2899	1763	807	91
9	162	162	109	11
10	1717	1717	465	47

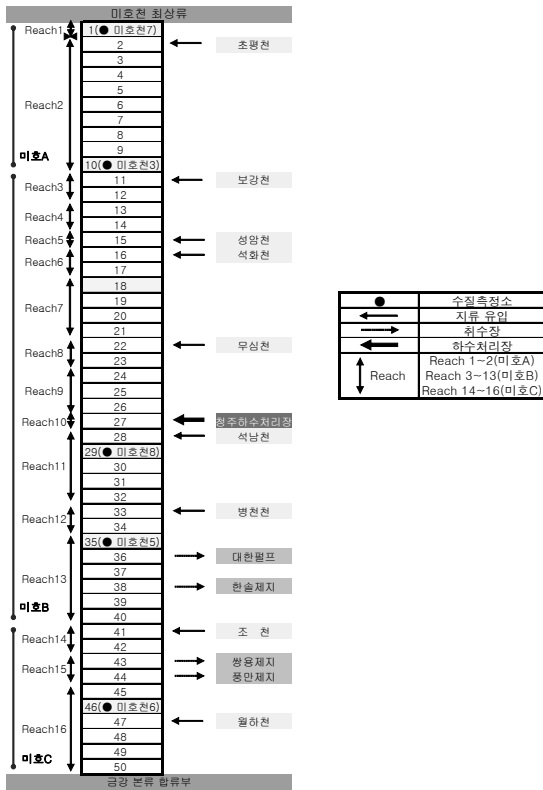


그림 8. 미호천 Qual2E 모식도

표 5. 모형의 보정에 사용한 입력자료(2003년 10월)

관측지점	유량 [M <sup>3</sup> /s]	BOD [mg/L]	유기질소 [mg/L]	암모니아 [mg/L]	아질산 [mg/L]	질산성 [mg/L]	유기인 [mg/L]	용존인 [mg/L]
미호상류	1.88	1.69	0.64	0.42	0.04	0.73	0.13	0.13
초평천	0.06	1.50	0.66	0.43	0.04	0.75	0.08	0.08
보강천	1.23	3.65	2.33	1.53	0.13	2.66	0.45	0.45
성암천	2.31	2.23	1.62	1.06	0.09	1.85	0.13	0.13
석화천	3.16	2.09	1.19	0.78	0.07	1.36	0.11	0.11
무심천	0.49	2.62	1.13	0.75	0.07	1.29	0.31	0.31
석남천	0.55	2.04	2.10	1.38	0.12	2.40	0.35	0.35
병천천	0.65	4.42	5.74	3.77	0.33	6.56	0.54	0.54
조천	1.82	3.36	2.02	1.33	0.12	2.31	0.64	0.64

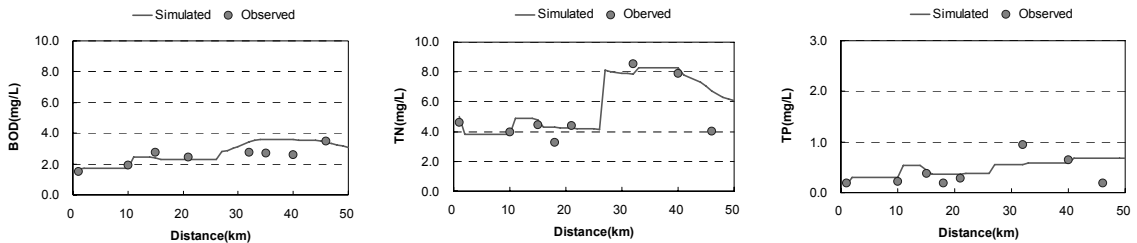


그림 9. 모형의 보정결과

#### 4.2 수질모형의 검, 보정

하천의 수질모형의 매개변수 결정은 현장 조사를 통해서 산출하고 검토하여 적정값을 사용하는 것이 바람직하나 여기서는 각 매개변수에 대하여 제시된 범위 안에서 실측치와 모형에 의한 계산치의 차이가 최소가 될 때까지 반복하는 방법으로 모형의 보정을 실시하였다.

구축한 모형의 매개변수 보정을 위하여 2003년 10월에 실측한 자료를 이용하였고 보정된 매개변수를 사용해 4월에 측정한 자료와 비교함으로써 매개변수에 대한 검증을 실시하였다. 표 5에 모형의 보정에 사용한 입력자료를 제시하였다.

그림 9는 모형의 매개변수를 보정한 후 모의치와 실측치를 비교한 그림이다. 여기서 x축은 미호천 상류단부터의 거리에 해당하고 y축의 경우 각 해당인자별 수질농도를 나타낸다. TN의 경우 하류단 근처에서 이상치를 보이는데 관측치의 오차로 판단하고 이를 제외한 구간 전후의 TN 농도를 고려하여 매개변수를 보정하였다.

보정된 매개변수를 다른 조건에서 수집한 자료에 적용하기 위하여 2004년 4월 환경부 수질관측소 자료를 이용하여 모형을 검증하였으며 결과를 그림 10에 나타내었다. 모의 결과 BOD의 경우 상류단으로부터 40km 전후 구간에서 약간 과대 추정되는 경향이 있지만 대체로 모형이 관측치를 잘 모의하는 것으로 나타났고 TN과 TP의 경우도 관측치를 잘 반영해 주고 있다.

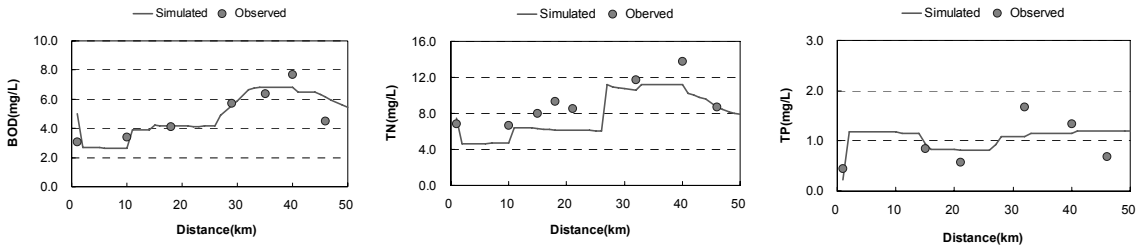


그림 10. 모형의 검증결과

4.3 장래수질예측 및 필요유량 산정

현재 총량제에는 BOD를 규제대상으로 선정하여 2010년까지 목표수질을 만족할 수 있도록 부하량을 삭감해 나갈 계획이며 TN 및 TP의 경우는 2차 오염총량제를 통하여 다루어질 전망이다. 모형의 검보정 작업을 통하여 산정된 매개변수를 이용하여 먼저 BOD를 대상으로 기준,

기준 및 최종부하량으로 구분하여 2010년을 기준으로 장래수질을 모의하였으며 이들 결과를 그림 11에 제시하였다. 이때 최종부하량은 자연증가율과 개발계획만을 고려한 오염부하량을 의미하며 기준부하량이란 자연증가율 및 개발에 따른 삭감율을 동시에 고려한 부하량을 의미한다.

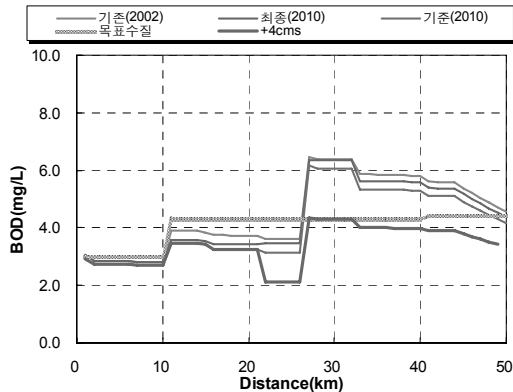


그림 11. BOD 장래수질예측결과

모의결과로부터 미호천 하류부의 수질악화는 청주 하수처리장의 영향이 가장 큰 것으로 드러났으며 이를 위해서는 처리시설의 고도화가 속히 달성되어야 할 것으로 보인다. 추가적으로 희석용수 공급을 위한 수질개선효과를 알아보기 위해서 목표수질을 달성하기 위한 용수공급량을 산정해 보았다. 미호천의 목표수질을 달성하기 위해서는 대청댐으로부터 무심천으로 약 4m<sup>3</sup>/s의 추가용수 공급이 필요한 것으로 산정되었으며 이를 그림 11에 함께 제시하였다. 한편 TN과 TP모의 결과는 그림 12와 같이 분석되었으며, 이때에도 방류량증가에 따른 수질개선효과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 표 6에서는 장래수질 예측을 위하여 입력된 유량 및 수질인자들의 농도값을 보여주며 BOD의 경우 최종 및 기준 부하량으로 구분하여 제시하였다.

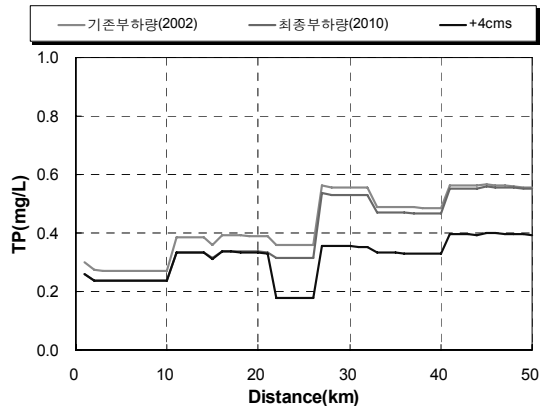
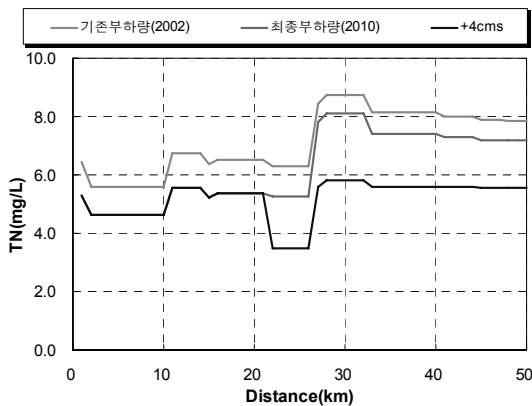


그림 12. TN, TP 장래수질예측결과



표 6. 장래 수질 예측에 이용한 수질자료(2010년)

하천	유량 [m <sup>3</sup> /s]	최종BOD [mg/L]	기준BOD [mg/L]	유기인 [mg/L]	암모니아 [mg/L]	아질산성 [mg/L]	질산성 [mg/L]	유기인 [mg/L]	용존인 [mg/L]
미호상류	1.78	2.92	2.92	1.86	1.22	0.11	2.12	0.13	0.13
초평천	0.57	2.29	2.29	0.89	0.58	0.05	1.01	0.08	0.08
보강천	0.69	6.32	6.18	3.05	2.01	0.17	3.49	0.33	0.33
성암천	0.28	3.21	2.94	0.55	0.36	0.03	0.63	0.05	0.05
석화천	0.36	2.36	1.77	2.35	1.54	0.13	2.68	0.28	0.28
무심천	0.86	3.60	2.63	1.72	1.13	0.10	1.96	0.12	0.12
석남천	0.194	6.66	2.91	6.71	4.41	0.38	7.66	0.16	0.16
병천천	1.558	2.18	1.87	1.39	0.91	0.08	1.59	0.09	0.09
조천	0.59	2.45	2.45	2.05	1.35	0.12	2.35	0.93	0.93
월하천	0.19	0.64	0.64	0.80	0.52	0.05	0.91	0.47	0.47

## 5. 결 론

오염총량제의 본격적인 시행을 앞두고 낙동강 및 금강 수계에 대하여 총량구역을 지정하고 행정구역별 오염부하량 및 할당부하량, 그리고 목표수질이 공시되었다. 현재 총량제의 규제대상은 BOD로 선정되었으며 향후 질소 및 인계열의 유기물질로 그 적용범위가 확대될 전망이다. 본 연구에서는 미호천수계에 대하여 행정구역별 혹은 총량단위구역별로 산정된 오염부하량을 수질모의가 용의 하도록 수계별로 재산정하고 기준수질 및 장래수질을 예측함으로써 목표수질을 만족하기 위한 추가용수 공급량을 산정하였다.

최종 모의결과를 정리해보면 2010년을 기준으로 약 4m<sup>3</sup>/s의 추가용수가 무심천으로 공급되었을 경우 목표수질을 만족하는 것으로 모의되었다. 본 연구에서 제시한 추가용수 공급량은 수질관리의 기준유량인 10년 빈도 저수량에 해당하는 13.7m<sup>3</sup>/s의 유량이 대청댐으로 유입되는 시점을 기준으로 산정된 값이므로 현재 공시되어 있는 용수수급을 위하여 필요한 저수용량과 비교해 보았을 때 다소 큰 값이 될 수도 있다. 한편 미호천의 수질은 하수종말처리장으로부터 방류되는 처리수 농도와 직접적으로 연관되어 있으며 이러한 하수처리시설의 고도화를 통해서도 추가용수 공급에만 의존하는 수질개선 대책을 상당부분 해소할 수 있을 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 1-6-3)에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

- 정세웅, 고익환, 김남일, 2004, "1차원 비정상상태 하천수질모의를 위한 KORIV1-WIN 개발", 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp. 563-567.
- 고익환, 노준우, 김영도, 2005, "정상 및 비정상상태 하천수질모형의 비교", 수자원학회논문집, 38(6), pp. 941-949.
- 이건호, 허인량, 정의호, 최지용, 이용석, 1999, 한강상류 유역수질 보전에 관한 연구(2), 수질보전 15: pp. 305-314.
- 충청남도 보건환경연구원, 2005, Qual2E 모형을 이용한 소하천 관리방안 연구.
- 충청남도, 2005, 충청남도 금강 오염총량관리 기본계획.
- 충청북도, 2005, 충청북도 금강 오염총량관리 기본계획.
- Linfield, B. and Barnwell, T., 1987, *The Enhanced Stream Water Quality Models Qual2E and Qual2E-UNCAS: Documentation and User Manual*, USEPA/600/3-87/007, USEPA, Env. Res. Lab., Athens, GA
- Wangne, R.A. and T.S. Tisdale., 1996, Framework for phosphorus transport modeling in the lake Okeechobee watershed, Journal of American Water Resource Association 32: pp. 57-73.