

## QUAL2E 및 QUAL2K를 이용한 곡교천의 수질모델링

김남찬<sup>†</sup> · 손종희  
광운대학교 환경공학과

### Water Quality Modeling for Gokgyochun by QUAL2E and QUAL2K

Nam-Chan Kim<sup>†</sup> and Jong-Hwoi Son

*Dept. of Environmental Engineering, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea*

Received April 30, 2013/Revised May 16, 2013/Accepted June 14, 2013

This study is performed to increase the accuracy of the water quality modeling. Two water quality models such as QUAL2E and QUAL2K (or Q2K) are applied to simulate the water quality of Gokgyochun. The simulation results of both QUAL2E and Q2K show generally similar ranges of error although the differences of internal reaction mechanism of both models cause insignificant disagreement. In the Q2K model, BOD variable can be divided CBOD (cs) and CBOD (cf), that is, CBOD (cs) is increased by degradation of detritus and fast reacting CBOD (cf) is increased by hydrolysis of CBOD (cs). In addition, a decrease in concentration of CBOD caused by denitrification is considered in Q2K differently in QUAL2E. For the calculation of nitrogen concentration, QUAL2E simulates four different types of nitrogens such as ammonia, nitrite, nitrate, and organic nitrogen, but Q2K three different types of nitrogens except nitrite. Also, Q2K model include attached bottom algae for the simulation of phosphorus concentration. These differences of reaction mechanism between two models represent different simulation results. In conclusion, it is advisable to use more than two models simultaneously for the stream water quality modeling and Q2K model is recommendable to apply after due consideration of extensive reaction mechanisms and user-friendly model interface.

**Key words:** QUAL2E, QUAL2K, Water Quality, Modeling, Gokgyochun

## 1. 서 론

우리나라의 대형 국책사업이나 중요 환경영향평가에 서도 수질모델의 필요성이 새삼 인식되고 있는 실정이며, 이는 하천 및 호소의 물 관리에 대한 중요한 도구로 발전되어 그 적용범위가 더욱 증가될 전망이다.<sup>1-4)</sup> 따라서 수질 모델을 이용한 프로젝트 실행시 장래 예측의 정확도 및 신뢰도를 높일 수 있도록 우리나라 실정에 맞는 수질모델을 선택하는 것이 우선적이며, 이에 필요한 신뢰성 있는 자료 확보가 필수적이다. 정상상태 수질모델 중에서 가장 널리 사용되고 있는 모델로는 미국 환경보호청에서 개발한 QUAL2E<sup>5)-8)</sup>가 있으며, 현재는 QUAL2E의 단점을 보완할 수 있는 차세대 모델로

서 QUAL2K(Q2K라고도 함)<sup>9-13)</sup>를 미국 환경보호청에서 개발하여 지원하려는 계획에 있다.

본 연구는 곡교천 수계의 대상 수역에 대하여 유량 및 수질의 실측자료를 바탕으로 해당 수계의 오염현상의 원인파악에 주력하며, 환경부 등의 추가적인 기초자료를 수집하여 정상상태 수질모델인 QUAL2E 및 Q2K를 적용하고 분석하는 데 목적이 있다.

## 2. 연구 방법

### 2.1. 입력자료의 구성

QUAL2E 및 Q2K를 이용한 대상수계의 수질모의를 위한 소구간 구분을 Fig. 1에 나타내었다. 장재천으로

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.

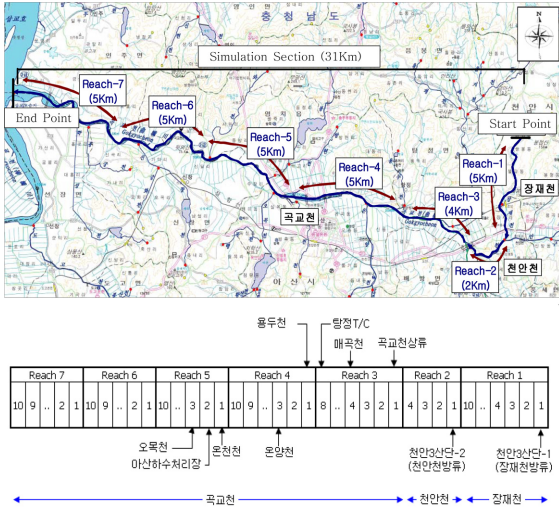


Fig. 1. System segmentation with locations of pollution sources along the Gokgyochun.

유입되는 지점을 모의시점으로 하여 삽교호 유입 전까지 31 km 구간에 대해 총 7개의 소구간(reach)으로 구분하였으며, 각 소구간은 0.5 km의 계산요소들로 다시 세분하여 총 62개의 요소들로 구성하였다. 장재천의 경우 천안천 합류지점까지 1개의 소구간, 천안천의 경우 장재천 합류지점부터 곡교천 합류지점까지 1개의 소구간, 곡교천의 경우 천안천 합류지점부터 삽교호 유입 전까지 5개의 소구간으로 구간을 나누어 수질모델을 수행하였다.

수질모의를 위한 유입유량 및 경계 수질농도는 천안 제3일반산업단지 환경영향평가(재협)의<sup>14)</sup> 및 탕정 테크노컴플렉스 일반지방산업단지 조성사업 환경영향평가<sup>15)</sup>를 위한 환경질 측정자료를 이용하였으며, 본 연구에 적용한 수질측정지점을 Fig. 2에 나타내었다. 수질모델 보정을 위한 측정자료의 경우 갈수에 준하는 유행조건을 기준으로 기존에 활용할 수 있는 자료를 최대한 이용하였다. 곡교천 하류지역의 실측이 이루어지지 않은 지류

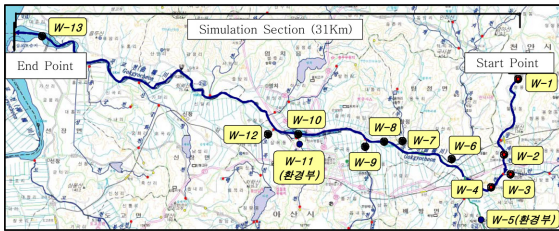


Fig. 2. Monitoring stations along Gokgyochun for water quality simulation.

Table 1. BOD concentrations at calibration station

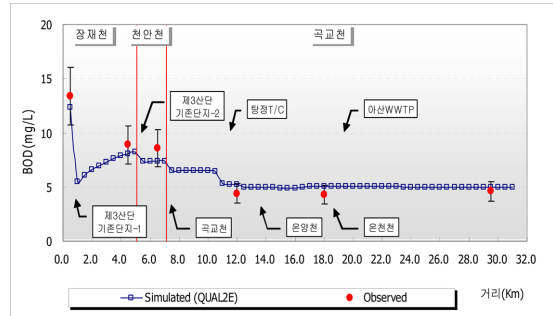
		BOD(mg/L)
CS-1	Jangjaechun(W-2) <sup>9)</sup>	8.9
CS-2	Chunanchun(W-4) <sup>9)</sup>	8.6
CS-3	Gokgyochun(W-8) <sup>10)</sup>	4.4
CS-4	Gokgyochun(W-10) <sup>10)</sup>	4.3
CS-5	Gokgyochun(W-13) <sup>10)</sup>	4.6

Remark: CS=Calibration Station

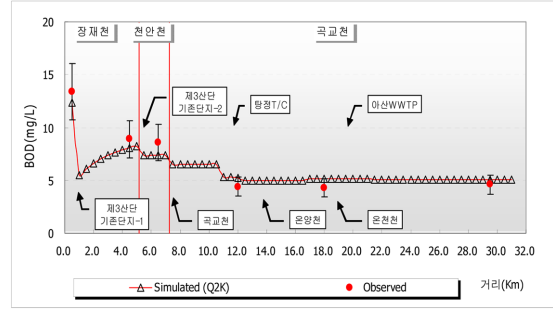
에 대해서는 모델 내에서 Incremental flow의 형태로 유입되는 것으로 가정하고, 수질 농도는 측정이 이루어진 지점의 평균농도를 적용하였다. 이 외에도 환경부 상시 측정망 자료가 존재하는 곡교천 상류 경계지점 및 온천천에 대하여 환경부 측정자료<sup>16)</sup>를 사용하였다. 기상자료를 입력할 때 QUAL2E의 경우 단일한 일별 기상자료를 입력하는 반면에 Q2K의 경우 시간별 기상자료를 입력하여 수질모의를 한다는 점에서 좀 더 정확한 결과를 기대할 수 있다.<sup>17)</sup>

2.2. 수질모델의 보정

두 가지 정상상태 수질모델의 비교·분석을 위하여 모델의 보정을 선행하였다. 수질모의 보정은 BOD에 대하여 실시하였으며, 수질 모의에 적용된 경계 수질자료



(a) QUAL2E



(b) Q2K

Fig. 3. Calibration of BOD in Gokgyochun by QUAL2E and Q2K.

**Table 2.** Reaction coefficients of water quality for QUAL2E

	Definition	Range <sup>1)</sup>	Range <sup>2)</sup>	Adopted values
DO Reaction	Reaeration Model	-	-	O'Connor-Dobbins
	Temp correction	-	-	1.024
BOD Reaction	BOD Decay (1/day)	0~10	0.02~3.4	0.02
	BOD Settling (1/day)	0~10	-0.36~0.36	0.01

Remark: 1) USEPA, QUAL2E Windows Interface User's Guide, 1995; 2) USEPA, The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS : Documentation and User's Manual, 1987.

와 동일한 시간대에 측정된 수질 자료를 Table 1에 나타내었다.

Fig. 3은 QUAL2E 및 Q2K에 대한 BOD농도 보정 결과를 나타내고 있다. 모델의 보정에 사용된 수질 매개변수는 Table 2에 나타내었으며, 모의치와 실측치의 오차가 최소화되도록 시행착오법을 이용하여 산정하였다. 수계오염총량관리기술지침<sup>18)</sup>에 의하면 보정시 사용한 반응계수의 조건에서 독립된 다른 실측변수를 입력하여 모델의 적용성을 검증하여 실측수질에 대한 모의치의 오차범위는 20% 이내가 되어야 한다고 기술되어 있으며, 본 모의에서는 일부지점을 제외한 지점에 대하여 15%의 오차 범위 내에서 보다 정확한 보정을 실시하였다. 보정된 수질농도는 QUAL2E 및 Q2K 정상상태 수질모델 모두 모의구간에 대한 전반적인 실측수질농도 변화를 유사하게 따르고 있는 것으로 판단하며, 모델의 특성상 두 모델 모두 매우 유사한 보정결과를 나타내었다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. BOD

QUAL2E의 경우 BOD 농도는 유기물질의 분해 및 침강에 의한 감소만을 고려하였으나, Q2K의 경우에는 Detritus의 용해가 원인이 되어 증가되는 Slowly Reacting CBOD (cs)와 Slowly Reacting CBOD의 가수분해를 통하여 얻어지는 Fast Reacting CBOD (cf)로 나뉘어서 모의를 하고 있으며, 가수분해에 의한 증가와 탈질에 의한 감소도 고려하고 있다.<sup>19,20)</sup>

곡교천 대상수계에 대한 BOD의 모의결과를 Table 3에 나타내었다. BOD의 R<sup>2</sup>값은 0.9995로 나타났으며, BOD의 실측값에 대한 오차율은 QUAL2E가 13.72%로 Q2K 14.46%보다 적게 나타내었다. 앞서 언급한 바와 같이 Q2K에서 BOD는 Detritus의 용해가 원인이 되어 증가되는 Slowly Reacting CBOD (cs)와 Slowly Reacting CBOD의 가수분해를 통하여 얻어지는 Fast Re-

acting CBOD (cf)로 나뉘어서 모의하고 있다. 그러나 현재 우리나라에서는 Slowly Reacting CBOD (cs)의 실험이 구축되어 있지 않아 본 연구에서는 Fast Reacting CBOD (cf)를 BOD<sub>5</sub>로 가정하고 모의를 하였으며, 가수분해에 의한 증가 및 탈질에 의한 감소의 작용으로 인하여 다른 수질항목에 비하여 QUAL2E와는 다소 다른 모의결과를 나타낸 것을 확인할 수 있다. QUAL2E의 경우는 유기물질의 분해 및 침강에 의한 감소만을 고려하고 있어서 조류농도가 높은 하천의 경우 자생 BOD에 의한 영향을 고려하는데 한계가 있다. Q2K의 경우도 조류의 내생호흡에 의한 BOD의 반응기작이 고려되어 있지는 않지만 부착성 조류 및 Detritus의 실험체제가 구축이 되어 수질모델에 적용할 경우 QUAL2E의 문제점을 보완할 수 있다고 판단한다.

현재 오염총량관리제를 시행하는 데 있어 목표수질을 선정하는 과정에 QUAL2E 모델을 주로 사용하고 있다. 그러나 낙동강유역의 경우에는 조류의 영향으로 인해 QUAL2E 모델이 부적합하다고 판단되어 다른 모델을 고려중에 있으며 많은 어려움이 따르고 있는 실정이다. 이에 대한 해결책으로 오염총량관리제를 시행하는데 있어서 우리나라 실정에 맞는 수질모델을 선택하여 평가하는 것이 올바른 평가가 될 수 있다고 판단한다.

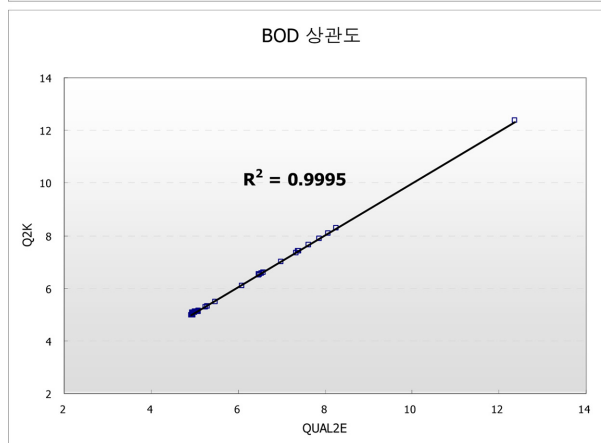
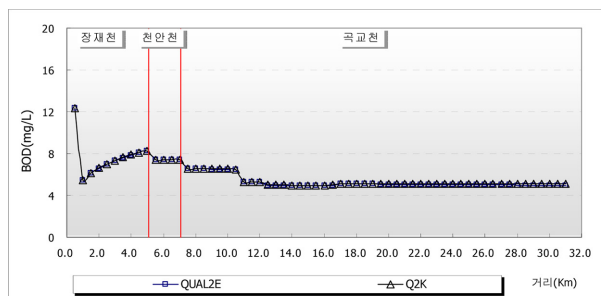
#### 3.2. 질소

질소는 수중에서 다양한 형태로 존재하고 있으며, 유기질소가 질산화 과정을 거치면서 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소로 변화되고, 질산성 질소의 경우에는 탈질반응에 의해 가스 형태의 질소로 전환된다. QUAL2E의 경우 4가지 형태의 질소농도를 고려하고 있으며, 따라서 질산화과정에서 암모니아성 질소의 산화율( $\beta_1$ )과 아질산성 질소의 산화율( $\beta_2$ )을 각각 입력하여야 한다. 낮은 산소 농도 조건에서 발생할 수 있는 탈질산화 과정은 Q2K에서는 고려하는 반면, QUAL2E 모델에서는 이를 고려하지 않는다. Q2K의 경우에는 암모니아성 질소, 질산성 질소, 유기질소 등 3가지 형태

Table 3. BOD concentrations for simulation results

Distance	QUAL2E	Q2K	Remark	Comparizon of results				
				Simulation	Measure-ment			
0.0	12.37	12.38						
1.0	5.47	5.47						
2.0	6.59	6.60						
3.0	7.33	7.35						
4.0	7.86	7.88						
4.5	8.07	8.10	Point-1					
5.0	8.25	8.28						
6.0	7.39	7.41						
6.5	7.39	7.40	Point-2					
7.0	7.38	7.40						
7.5	6.54	6.56	Inflow of Gokgyochun					
8.0	6.54	6.55						
9.0	6.50	6.52	Inflow of Maegokchun					
10.0	6.49	6.51						
11.0	5.29	5.32	Tangjeong T/C					
12.0	5.25	5.28	Point-3					
12.5	4.96	4.99	Inflow of Onyangchun					
13.0	4.96	4.98						
14.0	4.94	4.98						
15.0	4.93	4.97						
16.0	4.93	4.96						
16.5	4.96	5.00	Inflow of Onchunchun					
17.0	5.09	5.14						
17.5	5.08	5.13	Inflow of Omokchun					
18.0	5.08	5.12	Point-4					
19.0	5.07	5.12						
20.0	5.06	5.11						
21.0	5.04	5.11						
22.0	5.03	5.10						
23.0	5.02	5.10						
24.0	5.02	5.10						
25.0	5.01	5.09						
26.0	5.00	5.09						
27.0	4.99	5.08						
28.0	4.98	5.08						
29.0	4.97	5.07						
29.5	4.96	5.07	Point-5					
30.0	4.96	5.07						
31.0	4.95	5.07	Inflow of Sapgyoho					
			Average	6.15	6.19	6.16	13.72%	14.46%

<Simulation results between QUAL2E and Q2K>

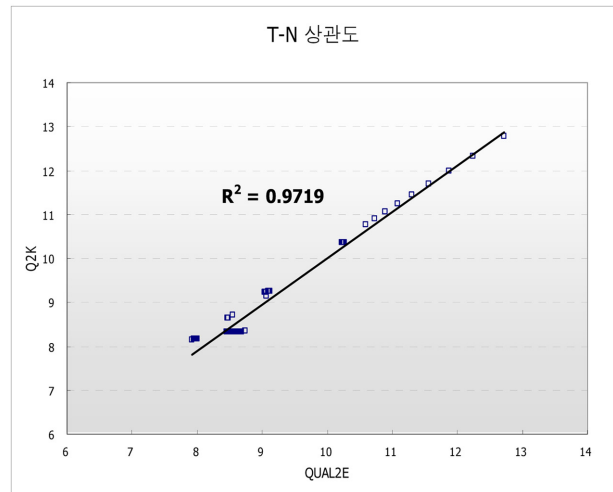
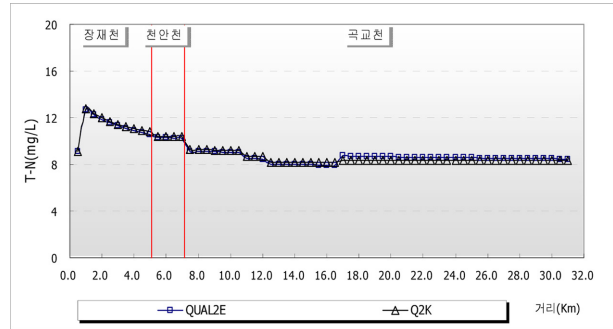


	Simulation		Measure-ment	Error range(%)	
	QUAL2E	Q2K		QUAL2E	Q2K
Point-1	8.07	8.10	8.90	9.33%	9.03%
Point-2	7.39	7.40	8.60	14.10%	13.94%
Point-3	5.25	5.28	4.40	19.24%	19.94%
Point-4	5.08	5.12	4.30	18.03%	19.14%
Point-5	4.96	5.07	4.60	7.89%	10.27%
Average	6.15	6.19	6.16	13.72%	14.46%

Table 4. T-N concentrations for simulation results

Distance	QUAL2E	Q2K	Remark	Comparizon of results				
				Simulation	Measure-ment			
0.0	9.072	9.136						
1.0	12.714	12.779						
2.0	11.870	11.979						
3.0	11.304	11.444						
4.0	10.897	11.062						
4.5	10.734	10.908	Point-1					
5.0	10.590	10.774						
6.0	10.257	10.370						
6.5	10.245	10.370	Point-2					
7.0	10.226	10.370						
7.5	9.115	9.244	Inflow of Gokgyochun					
8.0	9.105	9.244						
9.0	9.067	9.223	Inflow of Maegokchun					
10.0	9.048	9.223						
11.0	8.545	8.707	Tangjeong T/C					
12.0	8.464	8.645	Point-3					
12.5	7.999	8.173	Inflow of Onyangchun					
13.0	7.991	8.173						
14.0	7.975	8.172						
15.0	7.959	8.172						
16.0	7.944	8.171						
16.5	7.916	8.143	Inflow of Onchunchun					
17.0	8.736	8.359						
17.5	8.684	8.320	Inflow of Omokchun					
18.0	8.675	8.320	Point-4					
19.0	8.657	8.320						
20.0	8.639	8.320						
21.0	8.622	8.320						
22.0	8.605	8.320						
23.0	8.588	8.320						
24.0	8.571	8.320						
25.0	8.554	8.320						
26.0	8.538	8.320						
27.0	8.522	8.320						
28.0	8.505	8.320						
29.0	8.490	8.320						
29.5	8.482	8.320	Point-5					
30.0	8.474	8.319						
31.0	8.459	8.319	Inflow of Sapgyoho					
			Average	9.320	9.313	8.206	13.59%	13.45%

<Simulation results between QUAL2E and Q2K>

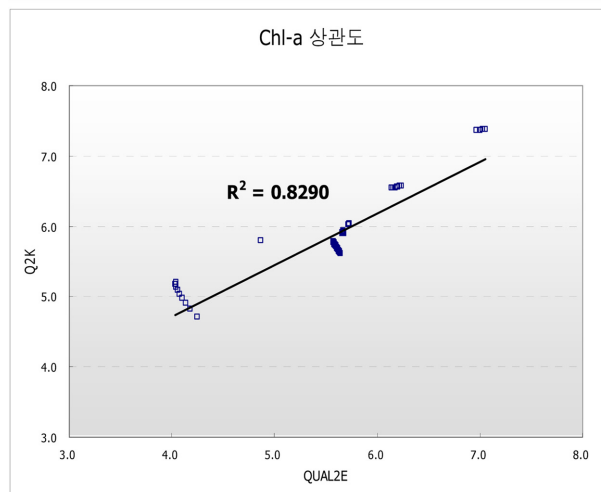
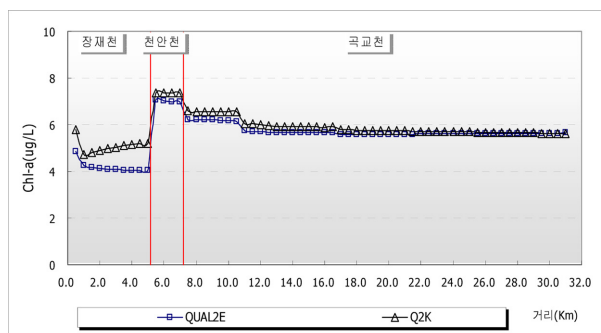


	Simulation		Measure-ment	Error range(%)	
	QUAL2E	Q2K		QUAL2E	Q2K
Point-1	10.734	10.908	8.010	34.01%	36.19%
Point-2	10.245	10.370	9.018	13.61%	14.99%
Point-3	8.464	8.645	8.046	5.20%	7.45%
Point-4	8.675	8.320	7.833	10.74%	6.22%
Point-5	8.482	8.320	8.125	4.39%	2.39%
Average	9.320	9.313	8.206	13.59%	13.45%

Table 5. Chl-a concentrations for simulation results

Distance	QUAL2E	Q2K	Remark	Comparizon of results				
				Simulation	Measure-ment	Error range(%)		
0.0	4.87	5.80						
1.0	4.25	4.70						
2.0	4.13	4.91						
3.0	4.07	5.04						
4.0	4.04	5.13						
4.5	4.03	5.17	Point-1					
5.0	4.04	5.20						
6.0	7.02	7.37						
6.5	7.00	7.37	Point-2					
7.0	6.97	7.36						
7.5	6.23	6.58	Inflow of Gokgyochun					
8.0	6.22	6.57						
9.0	6.19	6.56	Inflow of Maegokchun					
10.0	6.16	6.54						
11.0	5.72	6.04	Tangeong T/C					
12.0	5.72	6.02	Point-3					
12.5	5.67	5.94	Inflow of Onyangchun					
13.0	5.67	5.93						
14.0	5.67	5.92						
15.0	5.66	5.91						
16.0	5.66	5.89						
16.5	5.68	5.90	Inflow of Onchunchun					
17.0	5.58	5.78						
17.5	5.58	5.77	Inflow of Omokchun					
18.0	5.58	5.76	Point-4					
19.0	5.58	5.75						
20.0	5.59	5.74						
21.0	5.59	5.73						
22.0	5.60	5.72						
23.0	5.60	5.71						
24.0	5.61	5.69						
25.0	5.61	5.68						
26.0	5.62	5.67						
27.0	5.62	5.66						
28.0	5.63	5.65						
29.0	5.63	5.64						
29.5	5.63	5.63	Point-5					
30.0	5.63	5.63						
31.0	5.64	5.62	Inflow of Sapgyoho					
			Average	5.59	5.99	5.83	3.24%	0.70%

<Simulation results between QUAL2E and Q2K>



의 질소 농도를 모의하며, 암모니아성 질소에서 질산성 질소로 전환되는 질산화율을 입력하여야 한다.

곡교천 대상수계에 대한 총 질소의 모의결과를 Table 4에 나타내었다. 총 질소의  $R^2$ 값은 0.9719로 나타났으며, 실측값에 대한 오차율은 Q2K 13.45%로 QUAL2E 13.59%보다 다소 적게 나타내었다. Q2K에서는 QUAL2E에서 모의하고 있는 아질산성 질소를 고려하지 않는 점과, 낮은 산소농도 조건에서 발생할 수 있는 탈질산화 과정을 고려한다는 차이가 있지만 두 모델의 모의결과가 상당히 유사하게 나타났다. 이는 연구대상 수계가 두 모델의 차이를 부각시킬 수 있는 저산소 조건의 수계가 아니며, 질소계열에서 아질산성 질소가 차지하는 비율이 미비한 결과로 판단한다.

### 3.3. 조류

수중의 조류 농도는 조류의 성장, 사멸 및 침강 기작에 의해 변화되며, 두 모델 모두 Chlorophyll a 농도를 입력함으로써 이에 비례한 조류의 농도를 구한다. 조류의 성장률을 나타내는  $\mu$ 값은 최대 성장률인  $\mu_{max}$  값에 수온, 광 제한인자, 영양물질 제한인자 등을 고려하여 계산된다. 조류 생체량의 감소율을 나타내는 매개변수로 QUAL2E에서는 단일변수인 내생호흡률만을 고려하며, Q2K에서는 내생호흡률 및 사멸률을 고려한 감소율을 나타내고 있다.<sup>21)</sup> 곡교천 대상수계에 대한 Chl-a의 모의결과를 Table 5에 나타내었다. 실측값에 대한 오차율은 Q2K 0.70%로 QUAL2E 3.24%보다 다소 적게 나타내었으나  $R^2$ 값은 0.8290로 다른 수질항목에 비하여 두 모델의 모의결과가 상대적으로 큰 차이를 나타내었다. Q2K의 경우 조류에 대한 반응기작은 QUAL2E와 유사하지만 부착성 조류 및 Detritus물질이 추가되어 모의된다는 점에서 다소 차이를 나타내고 있으며 QUAL2E에 비하여 조류에 관련된 매개변수 입력이 구체화되어 있어서 Q2K에서의 조류모의가 보다 정확하다고 판단한다.

## 4. 결 론

본 연구는 오염총량관리제의 시행 또는 중요 환경영향평가에서 필수적으로 사용되고 있는 수질모델의 정확도 향상과 우리나라 실정에 맞는 하천수질모델을 선택하는데 참고로 활용할 수 있는 자료를 제공하는 것을 목표로 수행되었다. 곡교천 수계를 대상수역으로 선정하여 해당수계에 대한 수질자료 및 오염원을 조사하고 이를

기반으로 두 가지 정상상태 모델인 QUAL2E와 Q2K를 적용하여 연구한 내용은 다음과 같다.

1. 곡교천 수계에 대하여 정상상태 수질모델인 QUAL2E와 Q2K를 적용한 결과 전체적으로 실측치와 모의치가 수계오염총량관리기술지침서에서 기술한 오차 범위 20% 이내로 보정이 되었으며, 본 모의에서는 일부 지점을 제외한 지점에서 15%의 오차 범위 내에서 정확한 보정이 이루어졌다. 또한 동일한 매개변수를 사용한 결과 두 모델의 특성상 유사한 보정결과를 나타내었다.

2. 수질모델별 비교분석에서는 두 가지 정상상태 수질모델의 오차가 유사한 결과를 나타내었으나, 모델별 내부 반응기작의 차이와 모델 입력자료의 입력방법 차이로 인하여 다소 모의결과와 차이를 나타내기도 하였다.

3. 향후 하천수질모델의 활용에서는 모델 프로그램의 기반이 window라는 점에서 편의성이 도모되었다는 점과 부착성 조류 및 detritus의 영향을 고려하여 내부반응기작을 구성하고 있다는 점에서 Q2K 수질모델의 선택이 신중히 고려되어야 한다.

4. 오염총량관리제 혹은 중요 환경영향평가를 시행하는데 있어서 하나의 모델을 사용하면 부적합한 결과가 얻어질 수 있으므로 우리나라 실정에 맞는 수질모델을 선택하여 평가하는 것이 올바른 평가가 될 수 있다고 판단된다.

## 감사의 글

이 논문은 2012년도 광운대학교 교내학술연구비 지원에 의해 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Steven C. Chapra, *Surface Water-Quality Modeling*, 1997, McGraw-Hill, Inc.
2. George L. B., William B. M., Donald, B. P., Carrie, L. C., James, R. P., Gretchen, L. R., Kay, M. J., Peter, W. H. C., Steven, A. G., and Charles, E. C., *Rates, Constants, and Kinetics Formulations in Surface Water Quality Modeling*, Second Edition, 1985, USEPA.
3. Campolo, M, Andreussi, P and Soldati, A., *Water Research*, 2002, 36, 2673-2680.
4. McIntyre, N. R. and Wheeler, H. S., *Environmental Modeling and Software*, 2004, 19, 1131-1140.
5. USEPA, *QUAL2E Windows Interface User's Guide*, 1995.

6. Brown, L. and Barnwell, T., *The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E: Documentation and User's Manual*, 1987, USEPA.
7. 서동일, 이종현, 이은형, 고익환, *대한환경공학회지*, 2004, 26(8), 933-940.
8. 유하나, 서동일, 윤종욱, 유경미, *대한상하수도학회 추계 학술발표회 논문집*, 2006, 804-812.
9. 윤진호, 서동일, *대한환경공학회지*, 2013, 35(3), 192-199.
10. 김백중, 서동일, *한국물환경학회 춘계학술발표회 논문집*, 2012, 456-457.
11. 서동일, 윤종욱, 이재운, *대한상하수도학회지*, 2008, 22(1), 121-129.
12. Chapra, S. C. and Pelletier, G. J., *QUAL2K : A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality: Documentation and Users Manual*, 2003, Tufts University.
13. Prakash R. Kannel, Seockheon Lee, Sushi R. Kanel, Young-S. Lee and Kyu\_H. Ahn, *Environ Monit Assess*, 2007, 125, 201-217.
14. 천안제삼사이언스컴플렉스(주), *천안 제3산업단지조성사업 환경영향평가(재협의)*, 2008.
15. 삼성전자(주), *탕정테크노컴플렉스 일반지방산업단지 조성 사업 환경영향평가*, 2007.
16. 환경부, *수질자동측정망 자료*, 2007.
17. 기상청, *기상자료*, 2008.
18. 국립환경과학원, *수계오염총량관리기술지침*, 2004.
19. 국립환경과학원 금강물환경연구소, *모형 parameter 정보 DB화*, 2005.
20. 국립환경과학원 금강물환경연구소, *정상비정상 모델링 기법개발 및 적용성 평가*, 2005.
21. Taylor, G. D., Fletcher, T. D., Wong, T. H. F., Breen, P. F., and Duncan, H. P., *Water Research*, 2005, 39, 1982-1989.