creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000264949
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2015年 8月

석사학위 논문

QUAL2E 모형을 이용한 비점오염원의 영향 분석

조선대학교 대학원

토목공학과

나 재 선

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

QUAL2E 모형을 이용한 비점오염원의 영향분석

Effects of non-point pollutant sources using QUAL2E model

2015년 8월 25일

조선대학교 대학원

토목공학과

나 재 선

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

QUAL2E 모형을 이용한 비점오염원의 영향분석

지도교수 김 성 홍

이 논문을 심리학석사학위 신청 논문으로 제출함

2015년 5월

조선대학교 대학원

토목공학과

나 재 선

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

나재선의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 김 운 중 (인)

위 원 조선대학교 교수 김 대 현 (인)

위 원 조선대학교 교수 김 성 홍 (인)

2015년 5월

조선대학교 대학원

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

목 차

ABSTRACT

Ⅰ. 연구 배경 및 목적 1

Ⅱ. 이론적 고찰 3

1. QUAL2E모형의 이론적 배경 3

1) QUAL2E모형의 개요 3

2) 모형의 기본 이론 3

3) 모형의 구성요소 9

4) QUAL2E모형의 적용 사례 21

2. 비점오염저감시설의 설치 및 관리 23

1) 비점오염원의 정의 및 종류 23

2) 비점오염원 관리시설 종류 24

3) 비점오염원 저감시설 처리효율 26

Ⅲ. 대상하천의 선정 28

1. 모의 구간 28

2. 수질측정 31

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Ⅳ. 하천 수질 모델링 ····· 32
1. 수질측정 결과 ····· 32
1) 청천시 ····· 32
2) 강우시 ····· 33
2. 모델의 보정 ····· 34
3. 모형의 보정결과 ····· 37
1) 강우시 ····· 37
2) 청천시 ····· 41
3) 보정결과 분석 ····· 45
4. 비점오염원 저감 대책 시행시 효과 예측 ····· 47
1) 청천시 ····· 47
2) 강우시 ····· 51
3) 비점오염원 저감 대책 시행 효과 분석 ····· 55

Ⅴ. 결론 ····· 57

참 고 문 헌 ····· 59

감사의 글 ····· 62

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 목 차

표 2.1 QUAL2E 반응계수에 대한 일반적인 범위 1 ····· 18

표 2.2 QUAL2E 반응계수에 대한 일반적인 범위 2 ····· 19

표 2.3 QUAL2E 반응계수에 대한 일반적인 범위 3 ····· 20

표 2.4 주요 저류시설의 제거효율 ····· 26

표 2.5 도시 및 농촌 지역 적용대상 비점오염물
저감시설 및 효율 ····· 27

표 3.1 구간번호와 모의구간 분류 ····· 28

표 3.3 조사지점 명칭 ····· 31

표 4.1 청천시 항목별 최대, 최소, 평균 수질 측정값 ····· 32

표 4.2 강우시 항목별 최대, 최소, 평균 수질 측정값 ····· 33

표 4.3 회송천의 주요 입력자료 ····· 31

표 4.4 모델링에 사용된 반응계수 ····· 36

표 4.5 모델링 결과 계산치와 실측치 비교 ····· 45

표 4.5 조사지점 명칭 ····· 31

표 4.6 비점오염원 저감대책 시행 전후의 예측 값 ····· 31

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그 림 목 차

그림 2.1 하천 시스템의 개념적 도식화 ····· 5
그림 2.2 주요 수질 항목간 상호관계 ····· 10
그림 2.3 도시 및 농촌지역의 비점오염원 관리방안 ····· 24
그림 3.1 모의구간의 하천도 ····· 29
그림 3.2 모의구간 수계모식도 ····· 30
그림 4.1 청천시 SS농도 보정 결과 ····· 38
그림 4.2 청천시 DO농도 보정 결과 ····· 38
그림 4.3 청천시 BOD농도 보정 결과 ····· 39
그림 4.4 청천시 TN농도 보정 결과 ····· 39
그림 4.5 청천시 TP농도 보정 결과 ····· 40
그림 4.6 강우시 SS농도 보정 결과 ····· 42
그림 4.7 강우시 DO농도 보정 결과 ····· 42
그림 4.8 강우시 BOD농도 보정 결과 ····· 43
그림 4.9 강우시 TN농도 보정 결과 ····· 43
그림 4.10 강우시 TP농도 보정 결과 ····· 44
그림 4.11 청천시 SS농도 예측 결과 ····· 48
그림 4.12 청천시 DO농도 예측 결과 ····· 48
그림 4.13 청천시 BOD농도 예측 결과 ····· 49
그림 4.14 청천시 TN농도 예측 결과 ····· 49

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그림 4.15 청천시 TP농도 예측 결과 ····· 50

그림 4.16 강우시 SS농도 예측 결과 ····· 52

그림 4.17 강우시 DO농도 예측 결과 ····· 52

그림 4.18 강우시 BOD농도 예측 결과 ····· 53

그림 4.19 강우시 TN농도 예측 결과 ····· 53

그림 4.20 강우시 TP농도 예측 결과 ····· 54

그림 4.21 청천시 비점오염원 저감대책시행 전후
각 항목별 부하량 ····· 56

그림 4.22 강우시 비점오염원 저감대책시행 전후
각 항목별 부하량 ····· 56

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

ABSTRACT

Effects of non-point pollutant sources using QUAL2E model

Na, Jae Sun
Advisor : Prof. Kim, Sung Hong, Ph.D
Department of Civil Engineering
Graduate School of Chosun University

The water quality in korea is being deteriorated due to the increase of various pollutants and increase of the non-point sources. In particular, although the processing efficiency for point sources but only goes higher, non-point sources are not separated because the spills and discharge of pollutants clearly route processing efficiency is poor becoming increasingly increased impact on water quality. Therefore, developing a quantitative method for the removal and pollution loading amount calculations for non-point sources and non-point sources, is very necessary to research in water management.

The purpose of this study is to analyze the water quality of the non-point sources for Hoesong stream using QUAL2E model, and the effects of non-point source pollution abatement facilities. The process is as follows.

First, In the QUAL2E model, the Hoesong stream watershed was divided into 17 reach and 143 elements. Each element has the size of 0.2 km. Second, the

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

input variables of the model were estimated by considering the measured values. Also investigated with respect to two cases were in according on the weather conditions. Third, analysis the effect of Non-point source pollution abatement facilities at installation in SS(Suspended Solid), DO(Dissolved Oxygen), BOD(Biochemical Oxygen Demand), TN(Total Nitrogen) and TP(Total Phosphorus).

Based on the analyses, the follwing are the conclusions of the study.

after implementing non-point pollutant source measure, when it is fine weather, pollutant load is expected to decrease 42.1, 43.6, 32.6, 50.0% in SS, BOD, TN and TP. If non-point pollution management measure is implemented, water quality is improved from Ⅲ grade to Ⅱ grade. In consideration of this point, when it is fine weather or rain, it can be supposed to be set target water quality differently and considered the effect of non-point pollutant source.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Ⅰ. 연구 배경 및 목적

우리나라는 1960년대 이후 인구증가와 더불어 급속한 도시화, 산업화로 인해 물에 대한 수요량이 대폭적으로 증가함과 더불어 수질을 악화시키는 오염물질 배출 또한 지속적으로 증가해오고 있다. 오염원은 크게 점오염원과 비점오염원으로 나누어지는데, 전자인 점오염원은 오염물질의 유출경로가 명확하여 오염원의 수집이 쉽고, 계절에 따른 영향이 상대적으로 적은 만큼 연중 발생량 예측이 가능하여 관거 및 처리장 등 저감시설의 설계와 유지 및 관리가 용이하며, 처리효율은 높아지고 있다. 반면 후자인 비점오염은 도시, 도로, 농지, 산지, 공사장 등으로서 불특정장소에서 불특정하게 수질오염물질을 배출하는 배출원을 말하는데, 오염물질의 유출 및 배출 경로가 명확하게 구분되지 않아 오염원의 수집이 어렵고 발생량·배출량이 강수량 등 기상조건에 크게 좌우되기 때문에 저감시설의 설계 및 유지관리가 어려우며, 수질에 미치는 영향이 날로 높아져 가고 있다.

이에 따라서 정부는 2004년 비점오염원관리종합대책 수립 이후 2006년 비점오염원 설치신고제도 도입, 2008년 국고보조사업 시행, 2012년 제2차 비점오염원관리종합대책 마련 등 본격적인 비점오염원관리를 추진하고 있다. 그러나 유역의 말단에 설치되어 마지막으로 비점오염원을 처리해야하는 비점오염저감 시설은 외국의 기술을 그대로 도입하여 국내 실정에 맞지 않게 적용되거나, 검증되지 않은 시설이 설치되는 등 많은 시행착오를 겪어왔다. 2014년에 개정된 비점오염저감 시설 설치 및 관리·운영은 지난 2004년부터 추진된 시범사업의 운영결과와 국내의 최신 자료, 전문가들 및 현장실무자들의 의견수렴을 통해 기존 매뉴얼의 미비점을 보완하고 기술적인 해설과 적용방법을 제시하고 있다.

이러한 비점오염원에 대하여 우리는 오염원의 유입을 통제하여야하고, 하천의 정화능력을 최대한 복원시켜 하천에 유입된 오염물질의 분해를 유도하여야한다. 이를 위하여 비점오염저감 시설이 계획되어 지고 있다. 이 시설들의 효율적인 운영을 위해서는 이에 영향을 미치는 수질인자에 의한 수질 변화를 파악하여 하천수의 수질을 관리하여야한다. 현실적이고 효과적인 수질관리를 위해서는 때와 장소에 따라 가장 합리적인 대안을 구체적으로 선택해야 할 필요가 있다.

그 방법으로는 각 지역의 수질관리를 위하여 실험실과 현장에서의 실험을 병행하여

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

각 대안의 장·단점들은 비교·분석하여 선정하는 것이 가장 이상적이다.

본 연구에서는 이러한 문제점의 해결과 효율적인 수질 관리를 위하여 비점오염원저감 시설 대안의 효과를 사전에 평가할 수 있는 QUAL2E수질 모형을 이용하여, 비점오염원 저감시설의 설치시 수질에 미치는 영향을 모의하였다.

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

Ⅱ. 이론적 고찰

1. QUAL2E모형의 이론적 배경

1) QUAL2E모형의 개요

QUAL2E는 현재 하천수질을 모의하기 위한 모형 중에서 가장 광범위하게 이용되고 있는 모형이다. 이모형은 횡방향과 연직방향으로 잘 혼합된 하천에서 15가지의 수질항목을 모의할 수 있다.

QUAL2E는 Texas Water Development Board(1970)에 의해서 개발된 QUAL-I 모형에 기초를 하고 있다. Water Resources Engineers(1972)에서는 미국 환경보호청(EPA)와 협력하여 QUAL-Ⅱ의 첫 번째 version을 만들기 위하여 QUAL-I 모형을 수정, 확산시켰으며, 그 후로 Brown and Barnwell(1987)에 의해서 QUAL2E 모형이 개발되었다. 개발된 이후로 모형은 몇 차례 개선되었으며 현재는 모형을 이용하여 개인용 PC에서 사용할 수 있도록 수정, 보완한 것이다. 그 이후로 도스 버전의 QUAL2E를 토대로 환경부 국립환경과학원 등에서 국내 상황에 맞도록 직접 소스코드를 수정하고 개선하여 QUAL-KO, QUAL-KO2 등의 모형을 개발 및 개선해나가고 있다.

2) 모형의 기본 이론

(1) 물질수지방정식

QUAL2E 모형을 구성하는 기본 방정식은 각각의 수치, 수질 성분이 공간 및 시간에 대한 1차원 이송-확산 물질 이동방정식이다. 이 방정식에는 하천의 계산요소에 대한 물질의 흐름에 의한 이동과 확산에 의한 이동, 수체 내부에서 발생하는 반응과 상호작용, 그리고 수체 외부로부터의 유입 또는 외부로의 유출 등을 포함한 4가지 사항을 포함한 방정식으로 식 (2.1)과 같이 나타내어진다.

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\partial (A_X \cdot D_L \cdot \frac{\partial C}{\partial X})}{\partial X} \cdot dX - \frac{\partial (A_X \cdot \overline{u} \cdot C)}{\partial X} \cdot dX + (A_X \cdot dX) \cdot \frac{dC}{dt} + S \quad (2.1)$$

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

여기서,

A_x = 하도 단면적 [L^2]

M = 물질의 질량(mass) [M]

X = 거리 [L]

t = 시간 [T]

C = 오염물질의 농도 [ML^{-3}]

D_L = 종방향 확산계수 [L^2T^{-1}]

U = 평균유속 [LT^{-1}]

S = 외부로부터의 유입 또는 유출 [MT^{-1}]

그리고 dC/dt는 농도 C 인 임의의 오염물질이 물리, 화학 또는 생물학적으로 변화하는 속도이다. S는 사용자에 의하여 지정되는 시스템 외부로부터의 유(출)입들로서 시스템의 상태를 지정하게 되는데 이들은 일반적으로 유량, 수질, 기상 등으로 구분되며 이들 외에 QUAL2E에서는 특별히 다음의 4가지 사항들을 사용자가 지정할 수 있다.

- Headwater Input (물질수지, Flow Augmentation)
- Point Sources/Withdrawals (하수처리장, 우수유출, 도수, 하수처리 효율 등)
- 중분유입 (비점오염원, 지하수로의 손실)
- 하류 경계조건 (확산계수가 큰 감조하천의 하구 등)

또한 $M = VC$ 이므로

$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\partial VC}{\partial t} = V\frac{\partial C}{\partial t} + C\frac{\partial V}{\partial t}$ 이고, $V = A_x dX$ 이므로 흐름이 정상상태라고 가정하면 식 (2.2)와 같이 정리된다.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial (A_X \cdot D_L \cdot \frac{\partial C}{\partial X})}{A_X \cdot \partial X} - \frac{\partial (A_X \cdot U \cdot C)}{A_X \cdot \partial X} + \frac{dC}{dt} + \frac{S}{V} \qquad (2.2)$$

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

정상상태에서 식 (2.2)의 $\frac{dC}{dt}$는 0 이다.

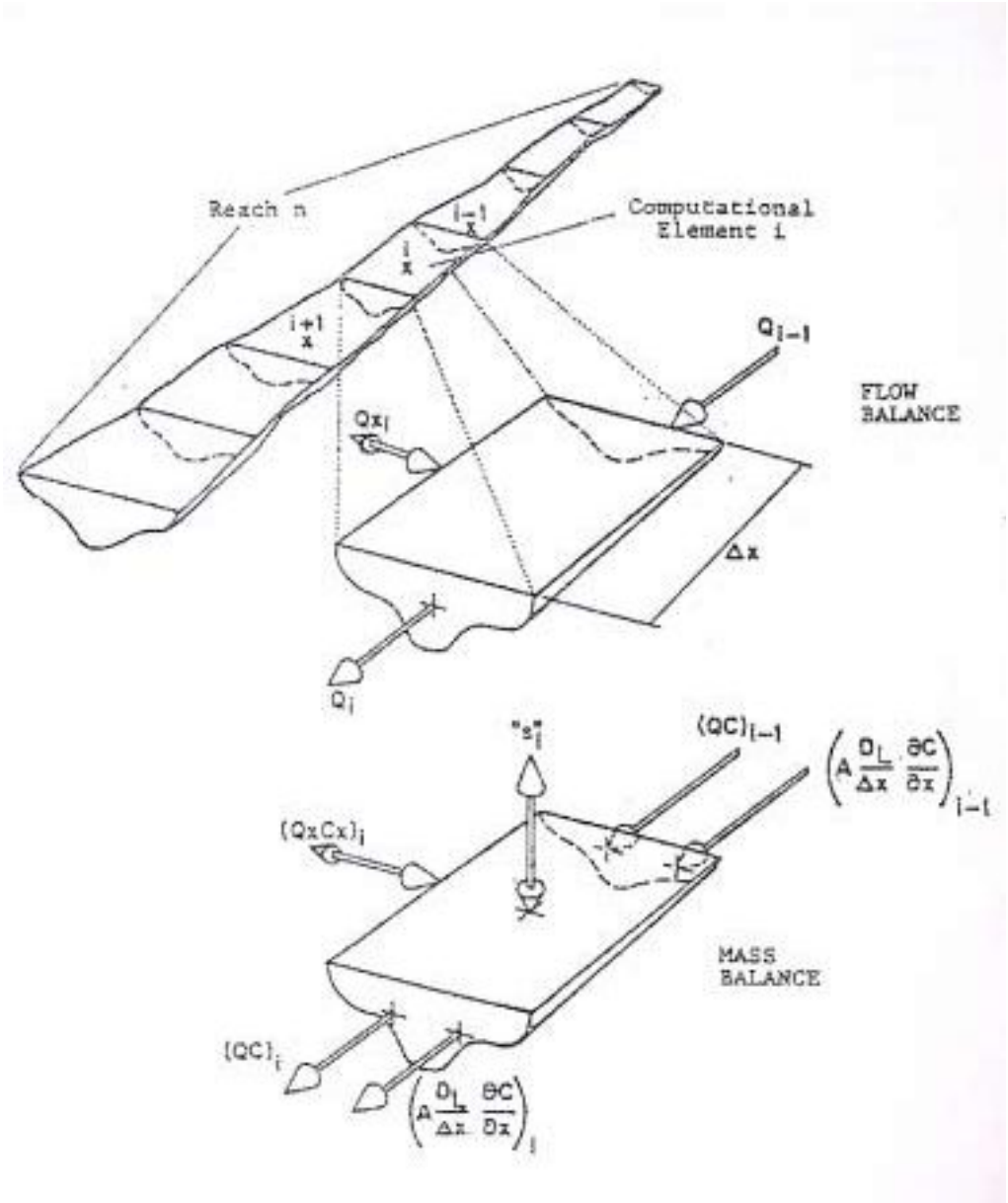

그림2.1 하천 시스템의 개념적 도식화

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

(2) 물질이동

위 식 (2.1), (2.2)에서 물질의 이동은 이송과 확산 두 가지로 구성된다. 이송은 물이 하류방향으로 유하할 때의 오염물의 거동으로 정의되며, 확산은 주로 농도 불일치를 최소화 하려는 자연스러운 경향으로 오염물의 분산과정과 관계가 된다.

(a) 유체이송

QUAL2E 모형은 정상부등류로 가정한다. 정상류는 유체 내 각점의 속도가 시간적으로 변화하지 않는 유체의 운동을 정상류라고 하며, 시간과의 흐름에 따라 변할 경우는 비정상류(부정류)라 한다.

이러한 특성에 대해서 각 요소에 관한 유량 평형 방정식은 식 (2.3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_{i-1} \pm Q_{x,i} - Q_i = 0 \qquad (2.3)$$

여기서,

Q_{i-1} = 계산요소의 상류부 유량

$Q_{x,i}$ = 계산요소 유입(+) 또는 유출(-) 되는 측방향 유량

Q_i = 계산 요소의 하류부 유량

(b) 확산

확산은 전단에 의해서 발생하는 오염물의 분산과정으로 정의된다. QUAL2E 모형은 수로의 특성함수로서 확산을 계산하기 위하여 식 (2.4)의 관계를 이용한다.

$$E = 3.11KnUH^{5/6} \qquad (2.4)$$

여기서,

E = 종확산계수 [L^2T^{-1}]

n = 수로의 조도계수

U = 평균 유속 [LT^{-1}]

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

$H=$ 평균 수심 [L]

$K=$ 확산에 관한 매개변수[무차원]

식 2.4에서 확산에 관한 매개변수 K는 식 (2.5)와 같이 정의된다.

$$K=\frac{E}{HU^{*}} \tag{2.5}$$

여기서, U^{*}는 전단 속도를 나타낸다. 식 (2.4), (2.5)은 자연하천의 경우에 대한 식과는 상이하며, 단지 수로에 관한 매개변수의 함수로서 확산 값을 계산한다. 그러나 K가 결정된다면 이 식들은 부등류 조건의 함수로서 확산을 계산하는 공식을 제공하게 된다. 하천에서의 오염부하가 일시적인 충격부하인 경우에는 난류확산에 의해서 퍼지게 되어 확산의 영향을 고려한 오염물의 농도분포를 구하여야 하지만, 도시 하수/분뇨 처리장 및 공장 폐수 처리장에서와 같이 오염부하가 연속적으로 유입이 될경우에는 PF(Plug Flow)모형이 되어 확산에 의한 오염물의 이동은 물의 흐름에 의한 이동에 비해 무시할 정도이다.

(3) 수리학적 특성

일단 유량 평형이 결정되었다면, 각 요소에 대한 수리/수문학적 특성을 결정하는 것이 필요하다. 특히 유속, 수심 및 단면적을 결정해야 한다. 계산 요소의 수문학적 특성치와 유량과의 관계는 다음 두 가지 방법으로 다루어진다.

(a) 유량계수법

이 방법은 수리모델링을 수행하거나 또는 실측 자료를 이용하여 각 지점별로 유속과 유량을 산정하고 동일 구간 내에서의 유량과 유속, 유량과 수심과의 관계를 회귀분석법에 의하여 구하고 구간(Reach)별로 회귀분석 계수를 입력하여 유속 및 수심이 계산되도록 하고 있으며, 관한 식으로는 다음 식 (2.6), (2.7)과 같다.

$$U=aQ^{b} \tag{2.6}$$

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

$$H = \alpha Q^{\beta} \tag{2.7}$$

여기서, H는 평균 수심이고, a, b, α 및 β는 수위-유량 관계곡선으로부터 결정되는 경험적인 상수이다. 일단 유속 U가 결정되었다면, 흐름의 단면적은 연속 방정식으로부터 식 (2.8)과 같이 계산될 수 있다(a, b = 유속계수, α, β = 수심계수).

$$A_c = \frac{Q}{U} \tag{2.8}$$

(b) 유로단면 이용방법(사다리꼴)

유로단면이 정비되어 사다리꼴의 형태로 되어 있는 경우에는 QUAL2E 모형 내에서 식 (2.9)와 같이 Manning식을 이용하여 해석할 수 있다.

$$Q = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} A \tag{2.9}$$

여기서, R은 수로의 동수반경이고, S는 수로의 에너지 경사를 나타낸다. 이 경우에서는 흐름이 정상류이고 단면적이 일정하다고 가정하기 때문에, 에너지 경사는 수로경사와 같다. QUAL2E 모형은 수로가 사다리꼴을 가진다고 가정하므로, 단면적과 동수반경은 수심의 함수로서 표현될 수 있다. Q가 주어진다면, 식 (2.9)는 수심에 대해서 수치적으로 풀 수 있는 비선형 방정식이 된다. 따라서, 수심은 면적을 수하기 위해서 이용될 수 있고, 흐름의 단면적은 식 (2.8)에서 속도를 계산하기 위해 이용될 수 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3) 모형의 구성요소

(1) QUAL2E모형의 모델적용 범위

QUAL2E 모형은 사용자의 적절한 조합에 의하여 다음 항목의 수질을 예측할 수 있으며, 이들 15가지 항목의 상호작용관계는 그림 2.2에 제시한 바와 같다.

- 용존산소(Dissolved Oxygen)
- 생물학적 산소요구량(Biochemical Oxygen Demand)
- 온도(Temperature)
- 엽록소 a(Algae as chlorophyll a)
- 유기질소(Organic Nitrogen as N)
- 암모니아성 질소(Ammonia as N)
- 아질산성 질소(Nitrite as N)
- 질산성 질소(Nitrate as N)
- 유기인(Organic Phosphorus as P)
- 용존인(Dissolved Phosphorus as P)
- 대장균(Coliform)
- 임의의 비보전성 물질(Arbitrary Nonconservative Constituent)
- 3종류의 보전성 물질(Three Conservative Constituents)

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

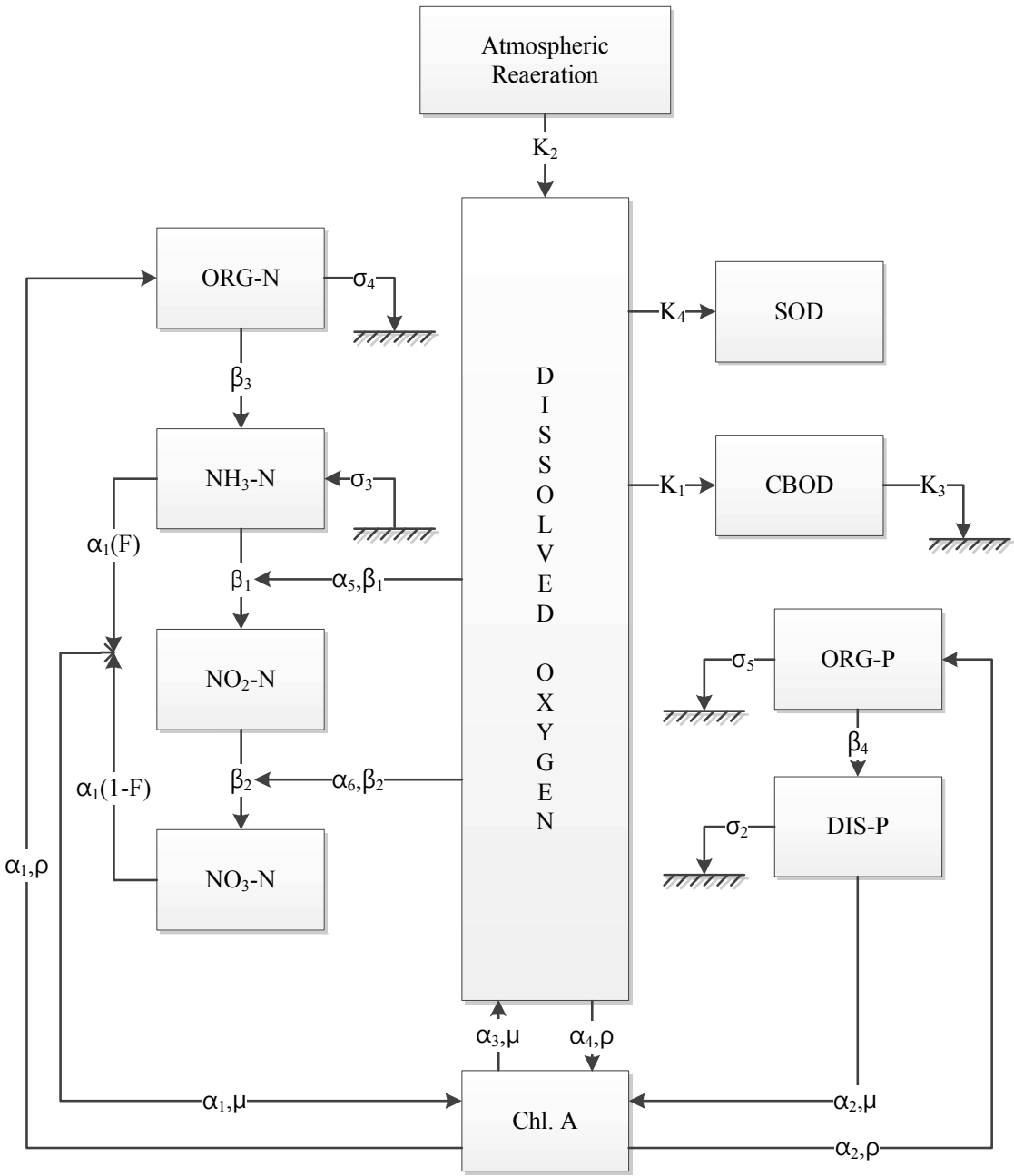

그림 2.2 QUAL2E 모형의 주요 수질인자 상호간의 반응도

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

이 모델에서는 확산 등 주요 전달 메커니즘이 단지 길이적(흐름의 방향)으로만 발생한다고 가정하였으며, 또한 정상상태(Steady State)와 동적인 상태(Dynamic state)를 모두 시행할 수 있도록 다음과 같은 8가지 항목을 보강하였다.

- 조류, 질소, 인, 용존산소간의 상호작용
- 조류의 성장률(Algal growth rate)
- 온도
- 용존산소
- 임의의 비보전성 물질
- 수리학적 요소
- 하류경계
- 입/출력 보정

(2) 수질인자 지배 방정식

(a) DO-CBOD의 관계

먼저 수질인자 중에서 DO와 CBOD의 관계를 중심으로 살펴본다면, 이 두 항목에 대한 반응동역학은 식 (2.10) 및 (2.11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{dL}{dt} = -K_1 L - K_3 L \tag{2.10}$$

$$\frac{dO}{dt} = K_2(O^* - O) - K_1 L - \frac{K_4}{d} \tag{2.11}$$

여기서,

$L =$ 탄소성 BOD의 농도

$O =$ 용존산소의 농도

$O^* =$ 용존산소의 포화농도

$K_1 =$ BOD의 탈산소계수

$K_2 =$ 재포기계수

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

$K_3 =$ BOD의 침전계수

$K_4 =$ 하상산소요구량

$d =$ 평균수심

또한, 사용된 모든 반응계수는 식 (2.12)에 의하여 온도에 대해서 보정되어야한다.

$$K_t = K_{20}\theta^{T-20} \tag{2.12}$$

여기서,

$K_t =$ 수온t(℃)에서의 반응계수

$K_{20} =$ 20℃에서의 반응계수

$\theta =$ 온도보정인자

(b) 수온의 모의

QUAL2E에 적용되는 이송-확산 방정식과 유사하게 열평형 방정식을 표시하면 다음 식 (2.13)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial(A_X \cdot E\frac{\partial T}{\partial X})}{A_X \cdot \partial X} - \frac{\partial(A_X \cdot U \cdot T)}{A_X \cdot \partial X} + \frac{S}{\rho CV} \tag{2.13}$$

여기서 내부열의 생성과 소멸을 나타내는 항들은 무시하고, 이 값들은 일반적으로 무시하기 때문에 하상 침전물과 흐름 사이의 열 전달도 무시할 수 있다. 따라서 열에너지의 외부 생성과 소멸은 대기와 물의 접촉면을 통한 전달에만 의해 변화된다.

$$S = H_{sn} + H_{an} - (H_{br} + H_c + H_e) \tag{2.14}$$

여기서,

$H_{sn} =$ 순 태양 단파복사

$H_{an} =$ 순 대기 장파복사

$H_{br} =$ 수면으로부터의 장파 역복사

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

$H_c =$ 전도

$H_e =$ 증발

태양 복사는 내부적으로 위도와 연중 일조시간 등의 매개변수에 기초해서 계산 된다는 것을 알아야한다. 사용자가 독립적으로 이와 같은 정보를 얻을 필요가 없으므로 이 모형은 좋은 특석을 가지는 것으로 판단된다. 식 (2.14)는 최종 열 평형을 산출하기 위해서 식 2.13형 함수로 나타낼 수 있다. QUAL2E모형 내에서 전도에 의한 교환항을 수온의 선과 같은 비선형 열교환 항을 선형화하기 위해서 몇 가지 추가적인 변형이 이루어졌다. 이런 변형들이 이루어질 때, QUAL2E모형의 효율적인 해석 알고리즘을 통해 열 수지가 계산된다.

(c) 영양물질과 조류의 모의

QUAL2E는 영양물질(질소와 인)의 상호작용과 그에 따른 동역학을 모의한다. 이들 수질항목들의 추가는 용존산소에 대해서 두 가지 영향을 미친다. 첫째로, 질소산화과정에서 질산화를 위한 암모니아의 변형에 의해 산소가 소모되며, 둘째로, 질소와 인은 조류성장을 촉진 시킬 수 있다. 결과적으로 조류의 광합성과 호흡은 각각하천에서 용존산소를 생성하고 고갈시킨다.

또한 질소, 인에 대한 농도변화는 DO와 CBOD의 계산을 수행하지 않아도 모의가 가능하다. 그러나 이 값들은 계산한다면 질산화와 조류의 성장·호흡의 효과를 고려하기 위해 용존산소의 동역학을 변형시켜야한다.

영양물질과 조류가 시간에 따른 농도 변화율을 식으로 제시하면 다음과 같다.

- 조류(algae)의 시간에 따른 변화율

$$\frac{dA}{dt} = \mu A - \rho A - \frac{\sigma_1}{d} A \qquad (2.15)$$

여기서,

$A =$ 조류의 농도

$\mu =$ 조류의 성장률

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

ρ = 조류의 쇠퇴율

σ_1 = 조류의 침전율

d = 평균수심

- 유기성 질소의 시간에 따른 농도 변화율

$$\frac{dN_4}{dt} = \alpha_1 \rho_3 A - \beta_3 N_4 - \sigma_4 N_4 \tag{2.16}$$

여기서,

N_4 = 유기성 질소의 농도

α_1 = 조류 구성요소중 질소의 성분비율

ρ_3 = 조류의 호흡율

β_3 = 유기성 질소가 암모니아성 질소로 가수분해되는 반응 상수

σ_4 = 침전되는 유기성 질소

- 암모니아성 질소의 시간에 따른 농도 변화율

$$\frac{dN_1}{dt} = \beta_3 N_4 - \beta_1 N_1 + \frac{\sigma_3}{d} - F_1 \alpha_1 \mu A \tag{2.17}$$

여기서,

N_1 = 암모니아성 질소의 농도

β_3 = 유기성 질소의 가수 분해율

β_1 = 암모니아성 질소의 생물학적 산화계수

α_3 = 암모니아성 질소에 대한 저층으로부터의 침강율

F_1 = 암모니아 질소체로부터 취해지는 조류의 질소성분 구성비율

$F_1 = P_N N_1 / (P_N N_1 + (1 - P_N) N_3)$

P_N = 암모니아성 질소의 선호계수

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

- 아질산성 질소의 시간에 따른 농도 변화율

$$\frac{dN_2}{dt} = \beta_1 N_1 - \beta_2 N_2 \tag{2.18}$$

여기서,

$N_2 =$ 아질산성 질소의 농도

$\beta_1 =$ 암모니아성 질소의 산화율

$\beta_2 =$ 아질산성 질소의 산화율

- 질산성 질소의 시간에 따른 농도 변화율

$$\frac{dN_3}{dt} = \beta_2 N_2 - (1-F)\alpha_1 \mu A \tag{2.19}$$

여기서,

$N_3 =$ 질산성 질소의 농도

$(1-F) =$ 조류 성장에 따른 $NO_3 - N$ 섭취분율

- 유기성 인의 시간에 따른 농도 변화율

$$\frac{dP_1}{dt} = \alpha_2 \rho A - \beta_4 P_1 - \sigma_5 P_1 \tag{2.20}$$

여기서,

$P_1 =$ 유기성 인의 농도

$\alpha_2 =$ 조류의 인 성분 함유율

$\beta_4 =$ 유기성 인 부식율

$\sigma_5 =$ 유기성 인 침전율

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

- 용존인의 시간에 따른 농도 변화율

$$\frac{dP_2}{dt} = \beta_4 P_1 + \frac{\sigma_2}{d} - \alpha_2 \mu A \qquad (2.21)$$

여기서,

$P_2 =$ 용존인의 농도

$A =$ 조류농도

(d) CBOD의 시간에 따른 농도 변화율

탄소화합물의 산화와 침전에 의한 CBOD의 제거를 고려하며 이에 대한 식 (2.22)와 같다.

$$\frac{dL}{dt} = -K_1 L - K_3 L \qquad (2.22)$$

여기서,

$L =$ CBOD의 농도

$K_1 =$ 탈산소계수

$K_3 =$ CBOD의 침강에 의한 손실률

일반적인 경우 최종 BOD에 대해 모의하도록 되어 있으나, 사용자에 따라서 5일 BOD로 선정하여 사용할 수 있다. 이 경우에는 BOD5를 최종 BOD로 환산하여 사용할 수 있다. 환산하는 방법으로는 다음 식 (2.23)을 사용한다.

$$BOD_5 = BOD_u (1.0 - e^{-5K_1}) \qquad (2.23)$$

여기서,

$BOD_5 =$ 5일 BOD농도

$BOD_u =$ 최종 BOD농도

$K_1 =$ 탈산소 계수

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(e) 용존산소의 사간에 따른 농도 변화율

용존산소의 변화는 재포기와 광합성에 의한 산소공급을 생성항으로, 수체내 영양물질의 산화에 의한 산소요구량을 소멸항으로 나타내었다. 탄소화합물의 산화에 의한 산소요구량을 소멸항으로 나타내었다. 탄소화합물의 산화에 의한 산소요구량 및 질화작용에 의한 산소요구량을 나타내는데 후자는 암모니아성 질소의 산화와 아질산성 질소의 산화에 의한 산소요구량의 두 단계로 나누어 고려하였다.

$$\frac{dO}{dt} = K_2(O^* - O) + (\alpha_3\mu - \alpha_4\rho)A - K_1L - \frac{K_4}{d} - \alpha_5\beta_1N_1 - \alpha_6\beta_2N_2 \qquad (2.24)$$

여기서,

$O =$ 용존산소의 농도

$O^* =$ 포화 용존산소의 농도

$\alpha_3 =$ 조류 광합성 단위 생성율

$\alpha_4 =$ 조류 호흡 단위당 산소소모율

$\alpha_5 =$ 암모니아성 질소 산화 단위당 산소소모율

$\alpha_6 =$ 아질산성 질소 단위당 산소소모율

$K_2 =$ Fickian 확산에 따른 재폭기 계수

$K_4 =$ SOD율

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

(3) 계수의 범위

위에서 제시한바와 같이 수질인자방정식에서는 많은 계수들을 지정하여주고 그 계수를 이용하여 수질 인자들의 값을 계산해낸다. 그 계수들의 범위로 보정시 그 값을 벗어나지 않도록 EPA에서표 2.1과 같이 제시하였다.

표 2.1 QUAL2E 반응계수에 대한 일반적인 범위

Variable	Description	units	Range of Values
α_0	Ratio of chlorophyll-a to algal biomass	$\frac{\mu g - Chla}{mg\,A}$	10～100
α_1	Fraction of algal biomass that is Nitrogen	$\frac{\mu g - N}{mg\,A}$	0.07～0.09
α_2	Fraction of algal biomass that is Phosphorus	$\frac{mg - P}{mg\,A}$	0.01～0.02
α_3	O2 production per unit of algal growth	$\frac{mg - O}{mg\,N}$	1.4～1.8
α_4	O2 uptake per unit of algal respired	$\frac{mg - O}{mg\,A}$	1.6～2.3
α_5	O2 uptake per unit of NH3 oxidation	$\frac{mg - O}{mg\,N}$	3.0～4.0
α_6	O2 uptake per unit of NO2 oxidation	$\frac{mg - O}{mg\,N}$	1.0～1.14
$\mu_{\max}$	Maximum algal growth rate	day^{-1}	1.0～3.0
ρ	algal respiration rate	day^{-1}	0.05～0.5
K_L	Michaelis-Menton half-saturation constant for light (option1)	$Btu/ft^2 - \min$	0.02～0.10
K_N	Michaelis-Menton half-saturation constant for nitrogen	$mg - N/L$	0.01～0.30

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

표 2.1 계 속

Variable	Description	units	Range of Values
K_P	Michaelis-Menton half-saturation constant for phosphorus	$mg-P/L$	0.001～0.05
λ_0	Non-algal light extinction coefficient	ft^{-1}	variable
λ_1	Linear algal self-shading coefficient	$\frac{1/ft}{ugChla/L}$	0.002～0.02
λ_2	Nonlinear algal self-shading coefficient	$\frac{1/ft}{(\lambda gChla/L)^{2/3}}$	0.0165 (Riley)
P_N	Algal preference factor for ammonia	-	0.0～1.0
σ_1	Algal settling rate	ft/day	0.5～6.0
σ_2	Benthos source rate for dissolved phosphorus	$\frac{mg-P}{ft^2-day}$	variable
σ_3	Benthos source rate for ammonia nitrogen	$\frac{mg-O}{ft^2-day}$	variable
σ_4	Organic nitrogen settling rate	day^{-1}	0.001～0.1
σ_5	Organic phosphorus settling rate	day^{-1}	0.001～0.1
σ_6	Arbitrary non-conservative nitrogen settling rate	day^{-1}	variable
σ_7	Benthos source rate for arbitrary non-conservative settling rate	$\frac{mg-ANC}{ft^2-day}$	variable
K_1	Carbonaceous deoxygenation rate constant	day^{-1}	0.02～3.4
K_2	Reaeration rate constant	day^{-1}	0.0～100
K_3	Rate of loss of BOD due to settling	day^{-1}	-0.36～0.36

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 2.1 계 속

Variable	Description	units	Range of Values
K_4	Benthic oxygen uptake	$\frac{mg-O}{ft^2-day}$	variable
K_5	Coliform die-off rate	day^{-1}	0.05～4.0
K_6	Arbitrary non-conservative decay coefficient	day^{-1}	variable
β_1	Rate constant for the biological oxidation of NH3 to NO2	day^{-1}	0.1～1.0
β_2	Rate constant for the biological oxidation of NO2 to NO3	day^{-1}	0.2～2.0
β_3	Rate constant for the hydrolysis of organic N to ammonia	day^{-1}	0.02～0.4
β_4	Rate constant for the decay of organic P to dissolved-P	day^{-1}	0.01～0.7

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

4) QUAL2E모형의 적용 사례

QUAL2E 모형은 수체내에서 발생할 수 있는 물리, 화학, 생물학적인 모든 현상을 시간 및 공간에 대하여 수리학적으로 기술하고 이를 이용하여 실제 또는 가상적인 상황에서 수질과 관련된 인자들의 인과관계를 규명하고자 하는 기법이라고 할 수 있다.

국내에서 이러한 QUAL2E모형을 적용하여 효율적인 수질관리 및 관리대안의 효과를 사전에 평가하는 사례 및 수질인자들의 민감도를 분석하는 사례, 반응계수를 추정하는 사례 등을 찾아 볼 수 있다.

(1) 하천수질 개선 효과 분석

백경원(1995)은 한강하류부에서 QUAL2E 모형을 이용하여 수질을 항목 중 BOD-DO 해석을 실시하였다. 팔당댐에서 인도교구간에서 잠실수중보의 영향을 고려한 수리학적 부등류에 대한 해석도 제시하였다. 한건연(1995)은 한강 하류부에서의 총질소와 총인에 대한 수질모의를 실시하였고, 한강에서 팔당댐과 한강대교 구간에서의 총질소와 총인의 농도예측을 위해서 QUAL2E 모형을 적용하였다. 또한 민감도 분석을 실시한 결과 관련 매개변수들에 대한 총질소와 총인의 민감도는 작게 나타났다고 밝혔으며, 박성천(1997)은 광주천의 수질관리의 정도와 영산강의 희석수의 유입을 고려하여 영산강의 수질개선 효과를 분석하였다. 수질개선의 효과를 분석하기 위하여 영산강유역의 중류부구간의 갈수기를 대상으로 QUAL2E모형에 적용하여 영산강 수질개선 정도를 예측하고 그 결과를 회귀분석에 의하여 회귀식을 제시하였다. 이효범(2001)은 탐진댐 건설의 영향으로 하천의 수량 및 수질, 그리고 생태계의 변화를 예측하고 환경기시설의 설치가 수질에 미치는 영향을 알아보는 사례이다. 여기서는 수질인자 중에서 댐에서의 방류량에 따른 BOD를 예측을 하였으며 그에 따른 오염물질 저감을 고려하여 수질의 오염정도를 판단하였다. 그 결과 댐 방류량을 0.25CMS를 적용하였을 경우 환경기초시설에 의한 탐진강 유역내의 BOD 오염부하량을 2002년과 2007년에 각각 12%, 20%저감 시킬 때 탐진강 하류부의 수질은 Ⅱ등급으로 예측하였고, Ⅰ등급으로 만들기 위한 목표 저감율을 약 50%로 해석되었다. 채병헌(2001)은 금강 수계의 오염이 예상되어 금강 주요 하천의 수질 오염도를 조사 분석하고 하천의 유황 및 수문 등을 파악하여 오염원을 조사하기 위하여 수질 예측 모델링을 수행하였으며, 금강의 주요 지천들이 본류에 미치는 영향을 모델링하여 금강에 미치는 영향을 예측한 결과 갑천이

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

지천으로 유입되면서 BOD가 급격히 높아지는 것을 예측 확인하였다.

(2) 수질 매개변수 민감도 분석

전경수(1993)는 영향계수를 이용한 QUAL2E 모형의 반응계수를 추정한 바 있으며, 이 연구에서의 모형 적용구간은 충주댐으로부터 남한강 수계 하류부까지의 구간에 적용하였다. 댐 유입량 및 방류량 자료를 이용한 물수지분석으로부터 1990년 월별 지천 유입량을 산정하여 월별 수질 측정 자료와 함께 반응 계수의 추정에 사용하였다. 모의 수질 항목으로서 클로필-A, 질소, BOD 및 DO 등을 포함하였다. 수질변화에 영향이 큰 반응계수 들을 산정하기 위하여 민감도 분석을 실시하였으며, 그 결과 11개의 추정 반응계수를 선정하였다. 한건연(1995)은 한강 하류부에서의 총질소와 총인에 대한 수질 모의를 실시하였고, 한강에서 팔당댐과 한강대교 구간에서의 총질소와 총인의 농도예측을 위해서 QUAL2E 모형을 적용하였다. 또한 민감도 분석을 실시한 결과 관련 매개변수들에 대한 총질소와 총인의 민감도는 작게 나타났다고 밝혔다. 신창민(2009)은 QUAL2E 모델과 QUAL-NIER 모델의 비교・평가 하였으며, 국내 주요 수계인 한강, 낙동강, 금강, 영산강, 섬진강을 대상으로 주요 수질 할목에 대해 수질반응식을 산정하고 그에 따른 반응계수를 산정하였으며, TSS, algae, POP 및 PON의 침강속도를 산정하였고, 또한 조류의 일차생산력, 호흡률, 분비율 등을 산정하였다.

본 논문에서는 이러한 QUAL2E 모형을 이용하여 하천의 저감 시설 설치 시 수질 개선에 효과를 분석하여 제시하였다.

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

2. 비점오염저감시설의 설치 및 관리

1) 비점오염원의 정의 및 종류

비점오염원은 건기 시 토지표면에 축척된 다양한 오염물질(유기물, 영양염류, 중금속, 입자상 물질, 각종 유해 화학물질 등)이 강우시 유출수와 함께 유출되어 수질 및 토양 오염을 일으키는 배출원을 말하거나, 토지표면에 축적된 오염물, 토양의 침식, 흙덩이, 강우유출량의 증가, 대기중 오염물질, 부유물질, 용존성 오염물질, 인간의 활동에 의한 오염물질 등이 강우에 의해 유출 되는 것이라고 정의한다.

특정장소에서 유출되는 오염원은 비점오염원과 점오염원으로 구별되며, 비점오염원은 오염물질의 유출 및 배출 경로가 명확하지 않아 차집이 어렵고, 발생량/배출량이 기상 조건과 유역특성에 의해 크게 좌우되기 때문에 관리에 불확실성이 높아 관리를 위해서는 전문적인 접근이 필요하다.

비점오염원은 농작물에 흡수되지 않고 농경지에 남아 있는 비료와 농약, 초지에 방목된 가축의 배설물, 가축사육농가에서 배출되는 미처리 축산폐수, 빗물에 섞인 대기오염물질, 도로노면의 퇴적물, 합류식 하수관거에서 강우시 설계량을 초과하여 하천으로 흘러드는 오수 · 하수와 빗물의 혼합수 등이 있다. 현재 점오염원으로부터 발생하는 오염물질은 감소하고 있으며, 오히려 비점오염원으로부터 발생하는 오염물질의 수계 오염기여도가 높아지고 있다.

비점오염물질은 비점오염원으로부터 배출되는 수질오염물질로서 비점오염저감시설의 설치 및 관리 운영 매뉴얼(환경부, '14.4)에서는 유출결로와 수질 오염물질의 유사 범주를 고려하여 8가지 종류로 분류하였다.

- 토사(Sediment)
- 영양물질(Nutrients)
- 박테리아와 바이러스(Bacteria & Viruses)
- 기름과 그리스(Oil & Grease)
- 금속(Metals)
- 유기물질(Organics)
- 농약(Pesticides)
- 협잡물(Gross Pollutants)

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2) 비점오염원 관리시설 종류

비점오염원 관리를 위한 최적관리기법의 형태는 침전지, 침투지대 건설 및 각종 물리적 처리시설 설치 등의 공학적 기법(engineering art)과 생태기술(eco-technology)에 바탕을 둔 구조적 방법과 배출수기준의 적용, 토지이용규제, 도시관리, 대기오염의 규제 등의 비구조적 방법으로 구분된다. 각종 처리시설 및 구조물을 설치하여 관리하는 경우 비점오염원 규제 능력이 큰 반면 비용이 많이 소요되고, 토지이용규제와 같은 비구조적 방법을 적용하는 경우 비용은 적게 소요되나 민원발생의 소지가 높다.

그림 2.3 도시 및 농촌지역의 비점오염원 관리방안

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(1) 구조적 관리기법

대부분의 비점오염물질은 우수유출수에 의해 희석되어 오염원에서 보다 저농도로 이동하기 때문에 이를 효과적으로 처리하기는 매우 어려우므로 발생 전에 유출자체를 억제시키는 것이 가장 효과적이다. 일단 유출된 후 수집시스템내에서의 처리법에는 침전에 의한 오염물의 제거(저류형), 침투능 증가를 통한 오염물 제거(침투형), 식생을 이용한 오염물 제거(식생형)등의 기법이 있다.

처리효율을 높이려면 오염된 물을 다른 우수유출수와 최대한 분리하여야 하고, 이와 같은 분리를 위해 우회수로와 같은 시설이 건설되기도 한다. 일반적으로 위와 같은 방법은 공학적인 구조물이 필요하고 오염원에서의 관리방안보다 비용이 많이 소요된다.

(2) 비구조적 관리기법

비점오염원 관리기법 중 최선의 안은 비점오염원 발생을 근본적으로 억제하는 방안으로 주로 비구조적인 방법이 이에 속하며 대표적인 비구조적 관리기술은 다음과 같은 것이 있다. 먼저 방류수 수질규제를 적용하는 방법으로 하수처리시설 및 폐수처리시설과 같은 방류수질 규제를 주택단지 및 산업단지의 개발계획 수립 시 비점오염원 저감설치지침과 규제기준을 계획하도록 하여 비점오염원을 감소시키는 방안이며, 토지이용 규제하여 토지이용을 효율적으로 할 수 있도록 토지개발 시 주변자연특성, 환경용량 및 개발형태와 부합한 비점오염원 저감방안을 유도하는 방안이 있다. 또한, 도시환경 개선을 위하여 비점오염원이 발생할 수 있는 지역을 대상으로 강우전 청소, 봄에 눈이 녹기 전에 겨울 내 쌓인 오염물 청소 등을 겸한 거리청소를 실시하는 방안이 있으며, 합류식 하수관거에서 우기 월류수의 관리로 하천유입 오염원 감소시키는 방안이 있다 선진 친환경 경작방법 홍보 및 보급을 원활하게 하여 침식 및 유출량을 감소시키기 위한 작물경작방법을 보급, 윤작 등을 실시하는 등의 방안이 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3) 비점오염원 저감시설 처리효율

비점오염원 관리시설별 처리효율에 대한 국내 자료를 조사한 결과, 도시지역 비점오염원 관리방안연구(1997, 한국환경・정책평가연구원), 팔당상수원 비점오염원 최적관리사업 기본계획 및 타당성조사 수립보고서(2000, 환경부), 비점오염원관리 업무편람(2005, 환경부) 및 수질오염총량관리를 위한 개발사업 비점오염원 최적관리지침(2010, 국립환경과학원)에서는 다음과 같이 관리 시설별 처리효율을 제시하였다.

표 2.5 도시 및 농촌 지역 적용대상 비점오염물 저감시설 및 효율

적용지역	시 설 명		처 리 효 율 (%)			
			BOD	SS	T-N	T-P
도시지역	저류형	저류조	30～40	70～90	20～60	10～60
		인공습지	20～80	50～90	20～40	40～80
	침투형	침투조	50～80	50～80	50～80	50～80
		침투도랑	50～90	50～90	50～90	50～90
	장치형	여과장치	40～70	60～90	20～40	5～80
		와류형 장치	5～10	10～25	5～10	5～10
		침전분리장치	-	10～80	15～51	10～36
	하수처리형	화학처리시설	50～70	85～95	15～30	90～95
농촌지역	저류형	저류지	30～40	70～90	20～60	10～60
		인공습지	20～80	50～90	20～40	15～80
	식생형	식생여과대	10～80	40～90	20～60	30～80
		식생수로	5～25	20～40	10～30	20～40

비점오염물 저감시설의 효율은 도시지역에서 침투도랑이 모든 항목에서 높은 효율을 보이며, BOD의 처리효율은 최소 5%에서 높게는 90%까지 높은 효율을 보인다. SS같은 경우 대부분 50 90% 정도로 높은 효율을 보이지만 와류형 장치를 사용할 경우 10～25%정도로 낮은 효율을 보인다. TN과 TP에서도 와류형장치는 낮은 효율을 보이며 TP같은 경우 화학처리시설 설치 시 가장 높은 효율을 보인다.

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

표 2.4 주요 저류시설의 제거효율(2010, 국립환경과학원)

관리시설		제 거 효 율 (%)					
		TSS	TP	TN	COD	Pb	Zn
연못	평균	60	45	35	40	75	60
	보고된 범위	30~91	10~85	5~85	5~90	10~95	10~95
	적정범위	40~60	10~40	40~60	0~25	0~12	20~95
	고려횟수	18	18	9	7	13	13
인공습지	평균	65	25	20	50	65	35
	보고된 범위	20~100	100 ~120	15~40	20~80	30~95	30~80
	적정범위	50~90	-5~80	0~40	-	30~95	-
	고려횟수	23	24	8	2	10	8
이중목적 저류조	평균	45	25	30	20	50	20
	보고된 범위	5~90	10~55	20~60	0~40	25~65	40~65
	적정범위	70~90	10~60	20~60	30~40	20~60	40~60
	고려횟수	6	6	4	5	4	5

저류시설은 연못, 인공습지, 이중목적 저류조 3가지로 나누어서 생각할 수 있다. 비점오염 저감시설 설치시 주변 환경을 고려하여 선택하게 되는데, 그중 연못을 설치하게 될 경우 보고된 범위를 평균 내어 계산해 보았을 때 Pb, Zn, TSS가 60~75%로 높은 효율을 보이고 TN의 효과가 35%로 가장 낮은 효율을 보인다. 인공습기 같은 경우 Pb, TSS에서 65%로 가장 높은 효율을 보이고, TN, TP가 20~25%으로 낮은 효율을 보인다. 이중목적 저류조 시설은 Pb가 50%로 높은 효율을 보이며, COD와 Zn이 20%로 낮은 효율을 보인다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Ⅲ. 대상하천의 선정

본 연구를 위하여 그림 3.1과 같이 전라남도 화순군 춘양면 회송리 마을 앞을 지나는 총길이 1.6Km의 소하천이며, 지방 2급 하천인 석정천의 지류인 회송천을 대상하천으로 선정하였다.

1. 모의 구간

모의 구간 구분은 수리 또는 지형 특성을 위주로 분할하였으며, 수질예측과 필요 유량을 고려하여 생물학적, 화학적 분해속도 등이 일정하고 보정에 이용할 수 있는 수질과 유량이 측정이 용이한 지점 및 지류 합류지점 등을 중심으로 구분하였다. 또한 비점오염원, 점오염으로 간주할 수 있는 구간을 검토하여 구간을 구분하는데 참고하였다. 회송천 상류의 무명교를 Head Water로 하여 석정천 합류점까지 총 1.45Km를 모의구간으로 설정하였다.

모의구간인 회송천을 표 3.1에 나타낸 바와 같이 6개의 구간(Reach)과 총 31개의 요소(element)로 나누었으며, 각 요소는 0.5Km의 길이로 구분하였다. QUAL2E 모형에 필요한 모의구간의 모식도는 그림 3.2에 나타내었다.

표 3.1 구간번호와 모의구간 분류

수질 예측 모형 적용구간(Reach)	하천 구간의 구분
1	무명교 - 비료공장, 돈사
2	비료공장, 돈사 - 회화리 공장
3	회화리 공장 - 회화천(합류점)
4	회화천(지류)
5	회화천 - 축사
6	축사 - 석정천

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

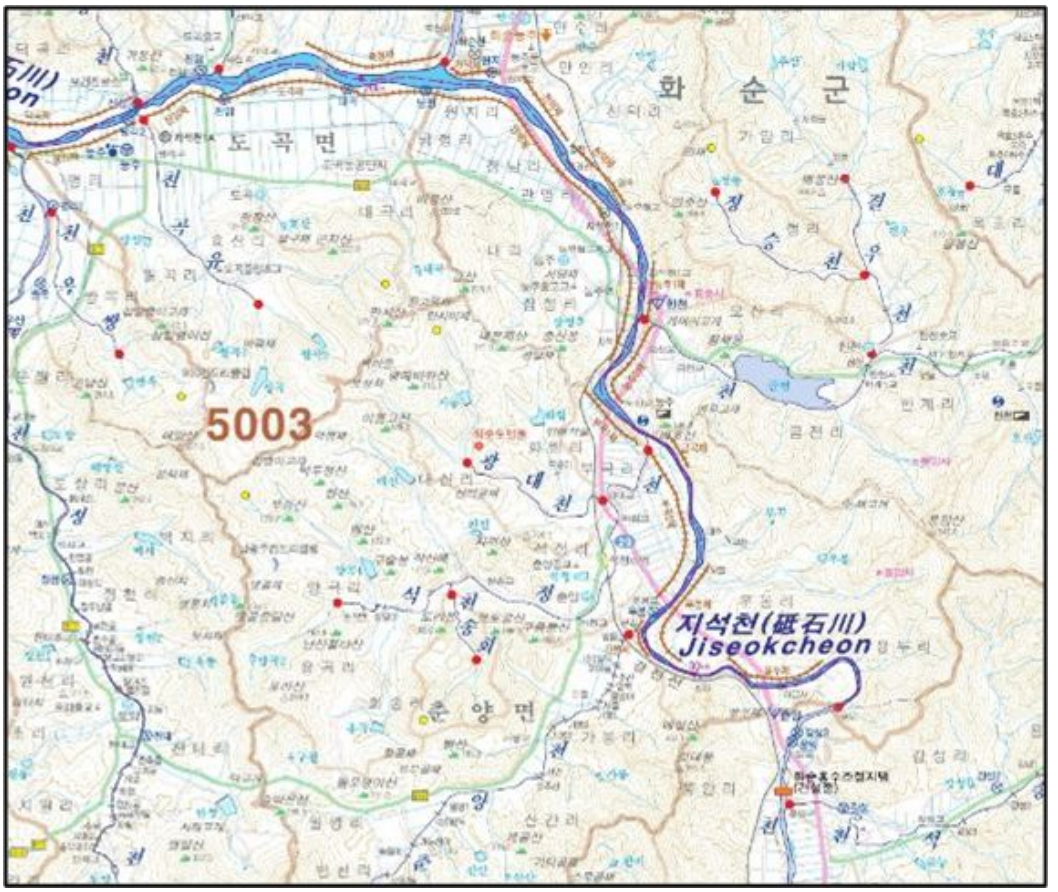

그림 3.1 모의구간의 하천도

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

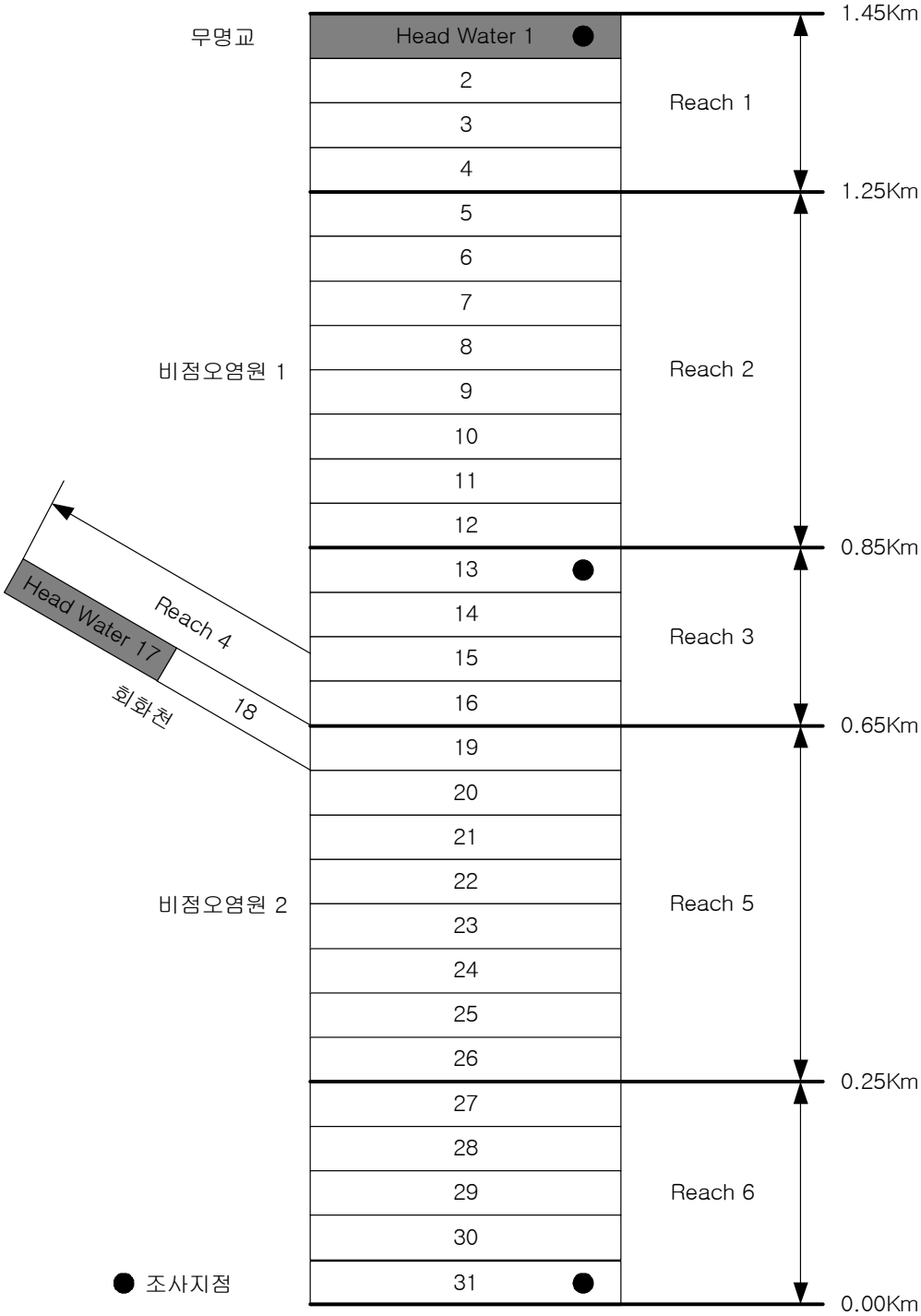

그림3.2 모의구간 수계모식도

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 수질측정

모의구간으로 선정된 하천의 수량과 수질을 조사, 분석하여 설계 및 보정 자료로서 활용하기 위함이다. 조사지점은 총 3개의 지점으로 상류, 중류, 하류로 구분 하였고, 강우조건에 따라 청천시와 강우시로 구분하였다. 각 조사지점으로부터 시료는 성상, 유량, 유속 등의 변화를 고려하여 현장의 수질상태를 대표할 수 있도록 채취하였다. 현장에서 직접 측정할 수 없는 항목에 대해서는 시료를 실험실로 반입 후 냉장 보관하여 분석하였다. 조사항목으로는 유량(Q), 수온, pH, DO, BOD5(이하 BOD), COD, SS, TN, TP으로 총 9가지 항목으로 조사 및 분석을 하였으며, 강우조건에 따라 청천시 1회(2015.02.12), 강우시 1회(2015.02.16) 총 2회 측정을 하였다. 조사 지점은 충분히 수질과 유량 측정이 용이한 지점으로 선정 하였으며, 다음 표 3.3 에 지점의 명칭을 제시하였다.

표 3.3 조사지점 명칭

위 치	조 사 지 점	비 고
상 류	회송리 상류 무명교	
중 류	양돈 축사 인근 하류	
하 류	석정천 합류 지점	

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

Ⅵ. 하천 수질 모델링

본 연구에서는 회송천의 수량 및 수질을 조사하고 하천의 수질모델링을 통해 하천의 수질변화를 예측하여 오염부하량을 예측을 하였다. 하천의 수질모델링은 QUAL2E 프로그램을 사용하였으며, 수질 매개변수 및 반응상수 등은 일반적으로 하천에 적용하는 값을 사용하고, 모의구간에 맞게 보정하였다.

1. 수질측정 결과

시료채취 후 각각의 항목별로 측정 및 실험분석을 한 결과 청천시, 강우시 각각의 경우에 상류, 중류, 하류의 측정값의 최대, 최소, 평균값을 다음과 같이 표 4.1, 4.2에 제시하였다.

1) 청천시

표 4.1 청천시 항목별 최대, 최소, 평균 수질 측정값

분류 \ 항목			유량 (L/sec)	pH	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)
청천시	상류	최대	0.68	6.48	11.50	2.88	2.20	1.60	0.80	0.019
		최소	0.45	6.20	10.50	1.26	1.20	0.40	0.61	0.016
		평균	0.59	6.40	10.75	2.24	1.81	0.80	0.69	0.017
	중류	최대	4.77	7.55	8.40	21.96	16.57	6.60	8.73	0.333
		최소	3.50	7.14	7.50	16.74	12.56	4.00	7.61	0.301
		평균	4.09	7.36	7.88	18.90	14.03	5.00	8.22	0.317
	하류	최대	0.68	6.48	11.50	2.88	2.20	1.60	0.80	0.019
		최소	0.45	6.20	10.50	1.26	1.20	0.40	0.61	0.016
		평균	0.59	6.40	10.75	2.24	1.81	0.80	0.69	0.017

청천시 상류에서 중류로 지나가는 지점에서 비점오염원이 유입되어, 유량 및 pH, BOD, COD, SS, TN, TP의 농도는 모두 증가하였으며, 비점오염원으로 인하여 DO의 농도는 감소한 것으로 보인다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2) 강우시

표 4.2 강우시 항목별 최대, 최소, 평균 수질 측정값

분류 \ 항목			유량 (L/sec)	pH	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)
청천시	상류	최대	8.56	6.70	10.50	1.65	1.25	4.40	0.61	0.013
		최소	6.40	6.40	9.80	1.28	0.96	1.40	0.49	0.010
		평균	7.46	6.55	10.17	1.53	1.13	3.05	0.57	0.012
	중류	최대	27.94	7.19	11.00	4.53	4.08	8.40	0.63	0.169
		최소	20.45	6.78	10.20	3.21	2.90	4.60	0.38	0.110
		평균	24.09	7.00	10.63	3.86	3.35	6.13	0.47	0.131
	하류	최대	28.96	7.10	9.90	1.62	1.16	4.80	0.49	0.049
		최소	23.87	6.83	9.30	1.16	0.85	2.20	0.43	0.033
		평균	26.68	6.94	9.57	1.42	1.00	3.67	0.47	0.043

강우시에는 청천시보다 약 5배 증가하였으며, pH는 큰 지점별로 큰 변화는 보이지 않았다. 또한 유속의 증가와 증가 유량으로 인하여 청천시와 다르게 DO는 일정하게 유지되었으며, BOD, COD, TN, TP는 청천시 보다 낮은 농도를 보였다. 반면에 SS의 농도는 청천시보다 더 증가한 것으로 확인되었다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 모델의 보정

모델링의 보정을 위해 대상 하천의 수리 및 수질 측정을 실시하여 모델링 값과 비교하여 시행 착오법(trial and error method)을 이용하여 보정 하였다. 또한 비점 오염원의 유입 부하량은 측정하기 어려우므로 비점오염 상류지점의 오염 부하량과 비점오염원 유입 직후 하천의 오염부하량 실측 자료로부터 역산하였다. 수질 매개변수 및 반응상수 등은 일반적으로 하천에 적용하는 값을 사용하였으며, 본 모의구간에 맞게 보정하였다.

주요 수리 및 수질 입력 자료는 표 4.2 과 같이 입력, 보정에 사용되었다. 표에 표기된 예측X,Y는 비점오염원의 오염부하량이 50% 감소한 경우이며, 하류인 측점3의 오염물질 농도가 중류인 측점2 보다 낮은 경우 비점오염원2의 오염물질은 산정 하지 않았다.

표 5.3 회송천의 주요 입력자료

수질 예측 모형 적용구간(Reach)		Q (m^3/sec)	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	SS (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)
현황-X (청천시)	측점1	0.00059	10.75	2.24	0.8	0.69	0.017
	비점오염원1	0.00351	7.40	21.71	5.71	9.49	0.367
	측점2	0.0041	7.88	18.90	5.0	8.22	0.317
	비점오염원2	0.0008	18.91	0.00	0.00	0.00	0.000
	측점3	0.0049	9.68	2.66	1.27	4.42	0.030
현황-Y (강우시)	측점1	0.0075	10.17	1.53	3.05	0.57	0.012
	비점오염원1	0.0166	10.84	4.92	7.53	0.42	0.185
	측점2	0.0241	10.63	3.86	6.13	0.47	0.131
	비점오염원2	0.0026	10.64	0.00	0.00	0.43	0.000
	측점3	0.0267	10.63	1.42	3.67	0.47	0.043
예측-X (청천시)	비점오염원1	0.00351	7.40	10.85	2.86	4.75	0.184
	비점오염원2	0.0008	18.91	0.00	0.00	0.00	0.000
예측-Y (강우시)	비점오염원1	0.0166	10.84	2.46	3.77	0.21	0.090
	비점오염원2	0.0026	10.64	0.00	0.00	0.22	0.000

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

1) 보정 계수

QUAL2E모형을 이용한 수질 예측에 필요한 입력자료는 크게 Reach 의 첫 번째 요소에서 물질수지식을 적분하여 계산하는데 초기치를 제공하기 위한 오염물질의 농도와 유량의 초기 조건 또는 경계 조건에 대한 자료인 초기조건(Headwater Inputs)과, 본류로 유입되는 점오염원이나 취수 등에 의해 발생하는 유량의 유실에 대한 정보인 오염원과 취수(Point Source and Withdrawal), 비점오염원이나 지하수의 영향에 의한 유량의 증가에 관한 정보인 중간유입량(Incremental Inflow), 하류부의 오염물질 농도에 관한 정보인 하류부 경계조건(Downstream Boundary Condition)로 나눌 수 있다.

또한 QUAL2E모델을 사용하기 위해서는 사용자는 각각의 반응계수 및 보정계수를 지정하여야 한다. 본 모의실험에서 사용한 반응계수 및 보정계수는 다음 표 4.4에 제시하였다.

수온에 대한 보정은 BOD,SOD, 유기물질 등에서 사용하는 보정계수가 달라서 각 항목에 알맞은 보정값을 사용하였으며, 수리학적 자료에서 속도계수, 속도지수, 깊이계수, 수심지수는 하천 횡단면자료가 있을 경우, 각 구간의 하천단면을 정형화된 사다리꼴 형태로 간주하고 Manning공식과 Newton-raphson 방법으로부터 수심과 유속을 계산하여 사용하지만, 하천 횡단면자료의 확보가 어려운 경우, 임의의 지점에서 유량-유속, 유량수심의 관계식(지수식)으로부터 수리계수를 산출하는 방법으로 HEC-RAS 등 수리 모델을 이용하여 각횡단면별 수문곡선을 도출하여 계수를 구할 수 있다. 본 연구에서는 실측한 값을 토대로 수리계수를 산출하였다. 그리고 BOD 및 DO, N과 P, 조류 및 기타 반응 계수는 일반적인 소하천에 사용되는 계수들을 사용하였으며 허용범위 안에 있는 수치를 사용하였다.

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

표 4.4 모델링에 사용된 반응계수

반응계수의 종류	변 수	사용된 값
수온에 대한 보정	-	1.024~1.083
수리학적 자료	a 속도계수	1.0
	b 속도지수	0.43
	α 수심계수	0.5~1.0
	β 수심지수	0.45
	확산상수	60
	조도계수	0.027
BOD 및 DO 반응 계수	K_1 BOD 분해율 계수	0.3
	K_2 재포기 계수	1.0
N과 P에 대한 반응계수	β_3 유기질소의 가수분해율 계수	0.02
	σ_4유기질소의 침전율 계수	0.001
	β_1 암모니아 산화율 계수	0.1
	σ_3 암모니아 저질발생율	0.0
	β_2 아질산 산화율 계수	0.2
	β_4 유기인의 사멸률 계수	0.01
	σ_5 유기인의 침전율 계수	0.001
	σ_2 용존인의 저질 용출률	0.0
조류 및 기타 반응계수	α_0 조류에 대한 엽록소 비율	10
	σ_1 조류의 침전율	0.3048
	λ_0 조류외적 요인에 의한 광소멸계수	0
	K_5 대장균류의 감쇠계수	0

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3. 모형의 보정결과

1) 청천시

보정은 청천시 실측한 값을 이용하여, QUAL2E모형을 보정한 것으로 각 항목별로 Head Water로부터 거리에 변화하는 수치를 그래프를 다음 그림 5.1~5.5 나타내었다.

SS의 농도변화는 초기농도 0.8mg/L에서 비점오염원1 구간인 0.2Km 지점에서부터 증가하여 0.8km 지점에서 최대치인 5mg/L 까지 증가 후 점차 감소하여 석정천과 합류지점인 최하류 지점에서는 4.1mg/L 값이 예상된다.

DO의 농도 변화는 초기농도 10.81mg/L로 시작하여 비점오염원1인 구간부터 점차 감소하여 0.6km 떨어진 지점에서 최솟값인 7.94mg/L까지 감소하고, 점차 상승하여 석정천과 합류지점인 최하류 지점에서는 9.81mg/L까지 상승된 값이 나타난다.

BOD농도의 변화는 초기농도는 2.2mg/L로 낮게 유지되나, 비점오염원1인 지점인 0.25km 떨어진 지점부터 급격하게 증가하여 0.60km 떨어진 지점에서 18.87mg/L로 가장 크게 나타나고, 그 후로는 점차 감소하여 15.44mg/L까지 감소한다.

TN의 농도 변화는 초기농도는 0.69mg/L에서 유지 되며 비점오염구간부터 급격하게 증가하여 8.22mg/L까지 증가하는 형태를 나타내며, 점차 감소하여 6.73mg/L까지 감소한다.

마지막으로 TP의 농도 변화는 0.02mg/L로 TP기준으로만 확인하였을 경우 1급수의 수질로 판단되어지나, 비점오염원 지역을 지난이후로 TP의 농도는 0.32mg/L까지 증가하게된다 이는 6등급기준인 0.5mg/L보다 초과되기 때문에 매우 나쁜 수질등급으로 예측되어진다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

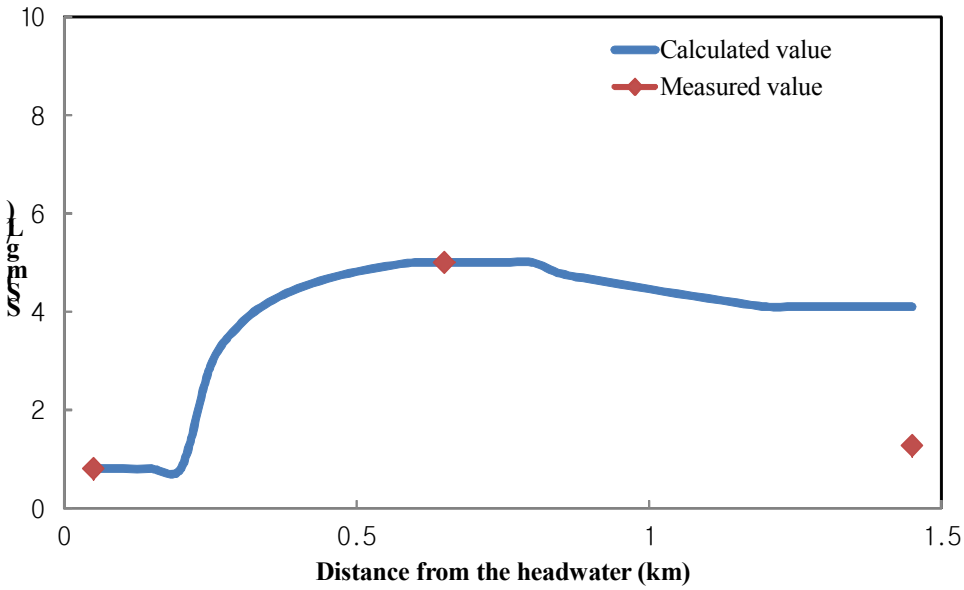

그림 4.1 청천시 SS농도 보정 결과

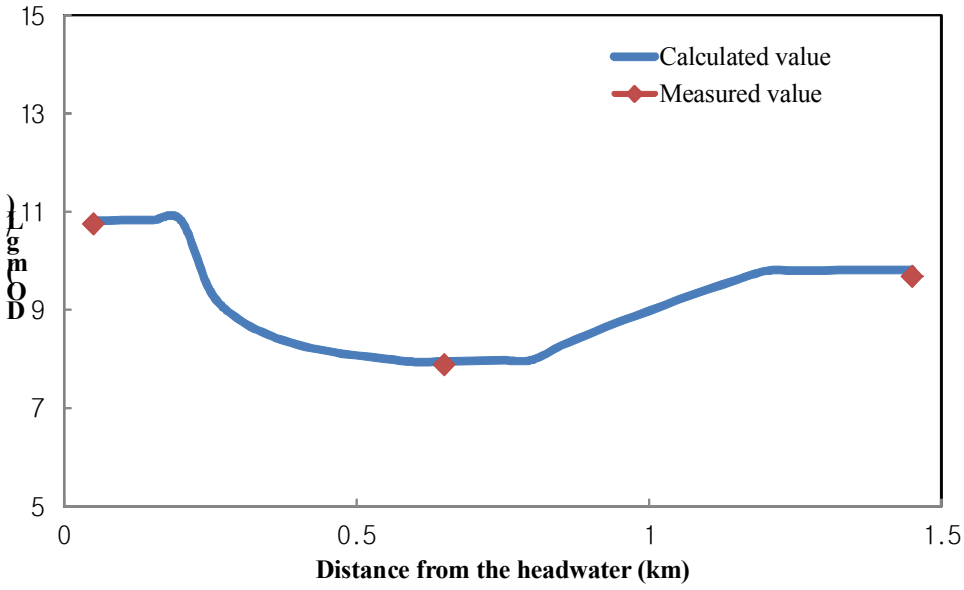

그림 4.2 청천시 DO농도 보정 결과

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

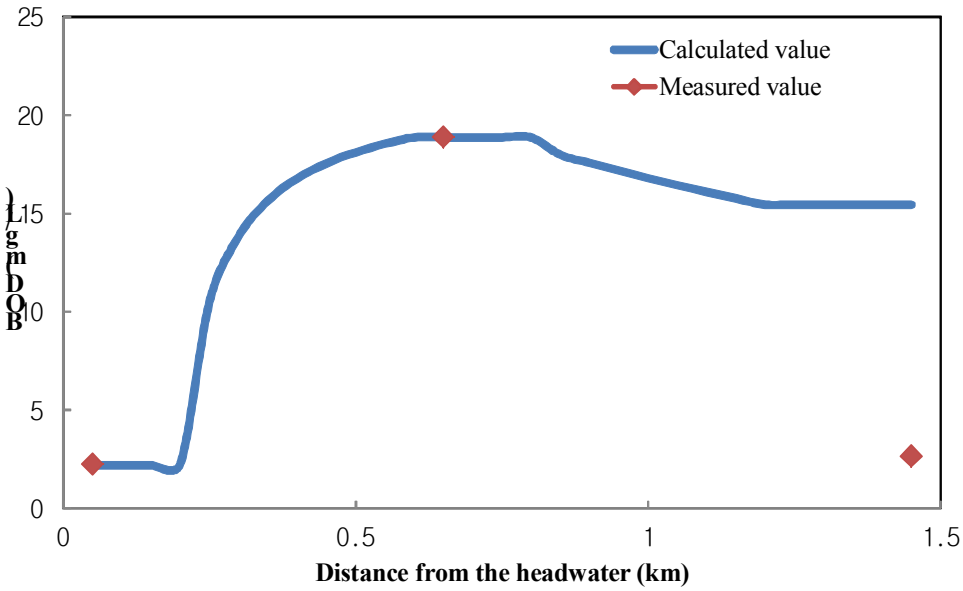

그림 4.3 청천시 BOD농도 보정 결과

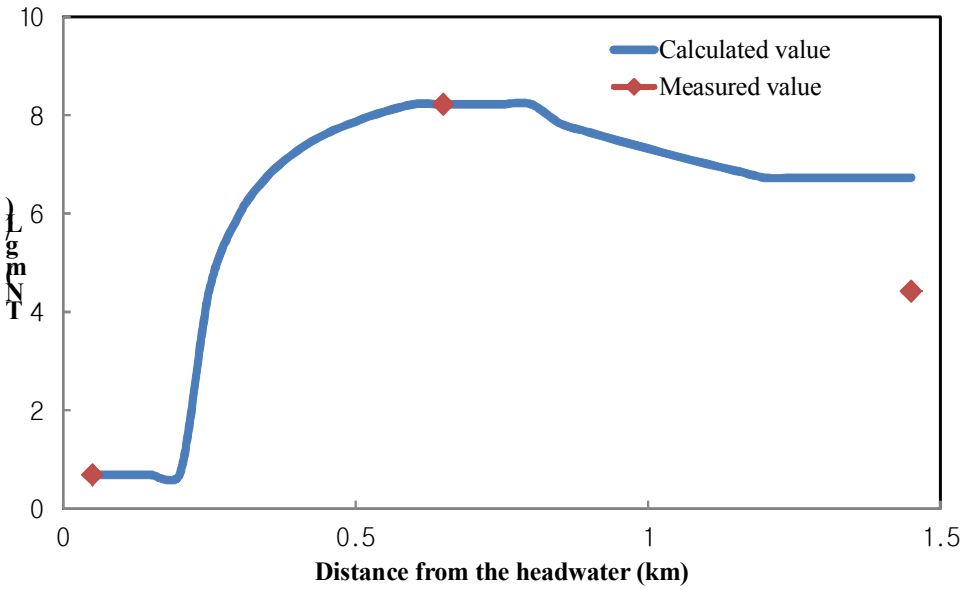

그림 4.4 청천시 TN농도 보정 결과

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

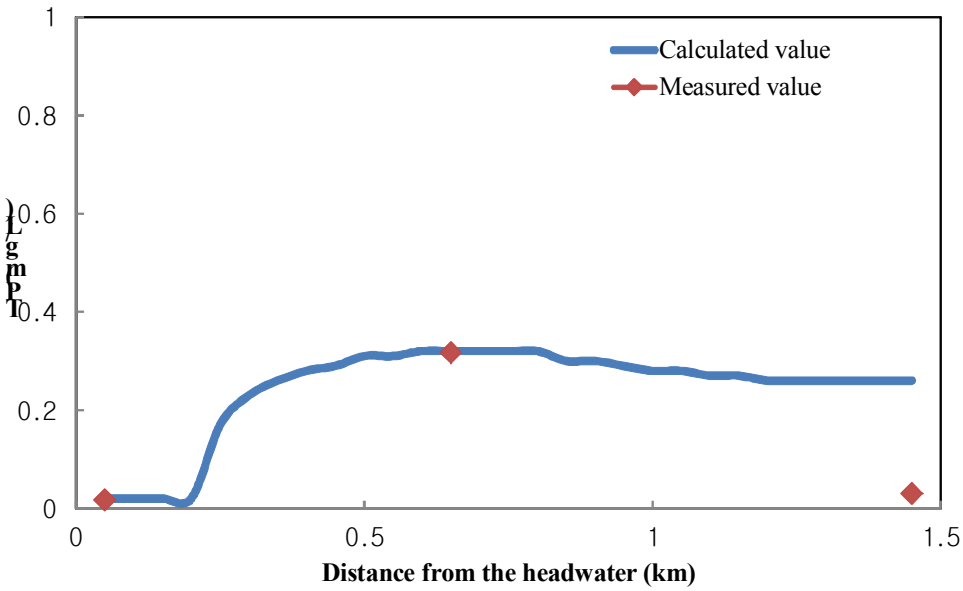

그림 4.5 청천시 TP농도 보정 결과

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2) 강우시

강우시 실측한 값을 이용하여, QUAL2E모형을 보정한 것으로 각 항목별로 Head Water로부터 거리에 변화하는 수치를 그림 5.5~5.10에 나타내었다.

먼저, SS의 농도변화는 초기농도 3.05mg/L에서 비점오염원1인 지점을 지나면서 점차 증가하여 0.6km 떨어진 지점에서 최대치인 6.13mg/L까지 증가한 이후 점차 감소하여 최하류 지점에서 5.51mg/L 까지 감소하였다.

DO 농도변화는 초기농도인 10.2mg/L를 기준으로 조금 증가하여 하류에서는 10.86mg/L까지 증가한다. 그 이유로는 강우시 높은 유량으로 인하여 유속이 증가되어 표면으로 녹아들어가는 산소량이 증가되거나, 비점오염원1에서 BOD 및 유기물질이 낮은 농도로 유입되므로 농도변화가 큰 차이가 없는 것으로 보인다.

BOD농도는 청천시 그래프와 비교하여보았을 때 확연히 농도가 낮게 보인다. 초기농도는 1.53mg/L이며 비점오염원1 구간을 지나면서 증가하여 3.85mg/L까지 증가한 이후 점차 감소하여 최하류 지점에서는 3.46mg/L까지 감소한다.

TN농도의 변화는 초기농도 0.57mg/L로 그 후 점차 감소하여 최하류 지점에서는 0.46mg/L의 농도이며, 큰 변화 없이 유지되는 모양을 나타내고 있다.

마지막으로 TP의 농도변화는 초기농도 0.01mg/L로 비점오염원1 지점을 지나면서 최대 0.13mg/L까지 증가하는 것으로 나타난다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

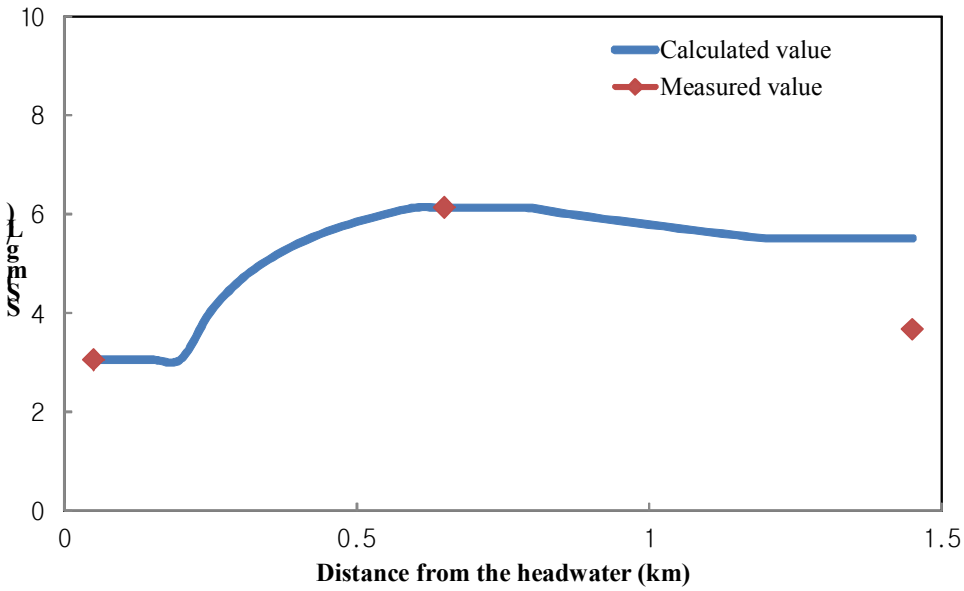

그림 4.6 강우시 SS농도 보정 결과

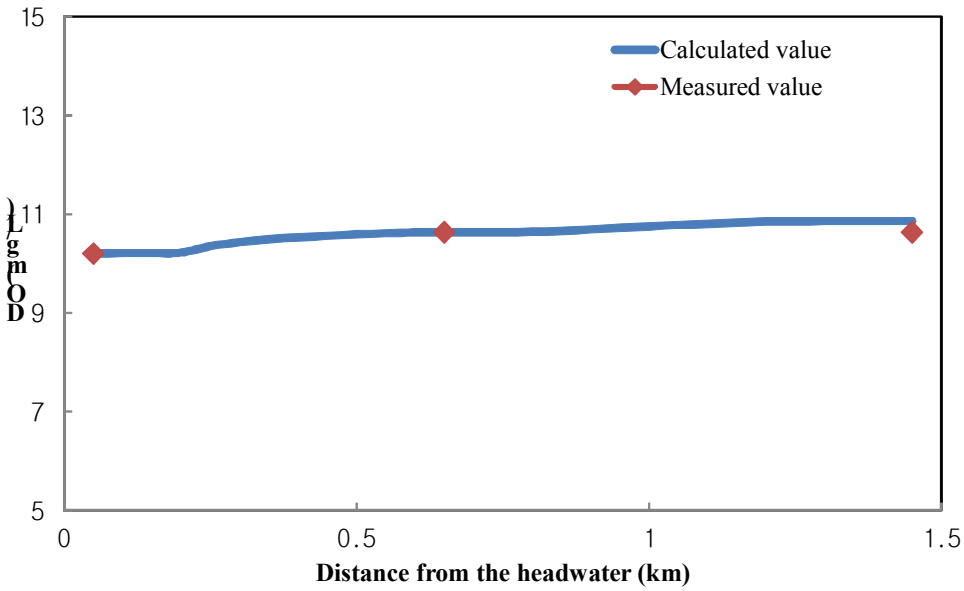

그림 4.7 강우시 DO농도 보정 결과

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

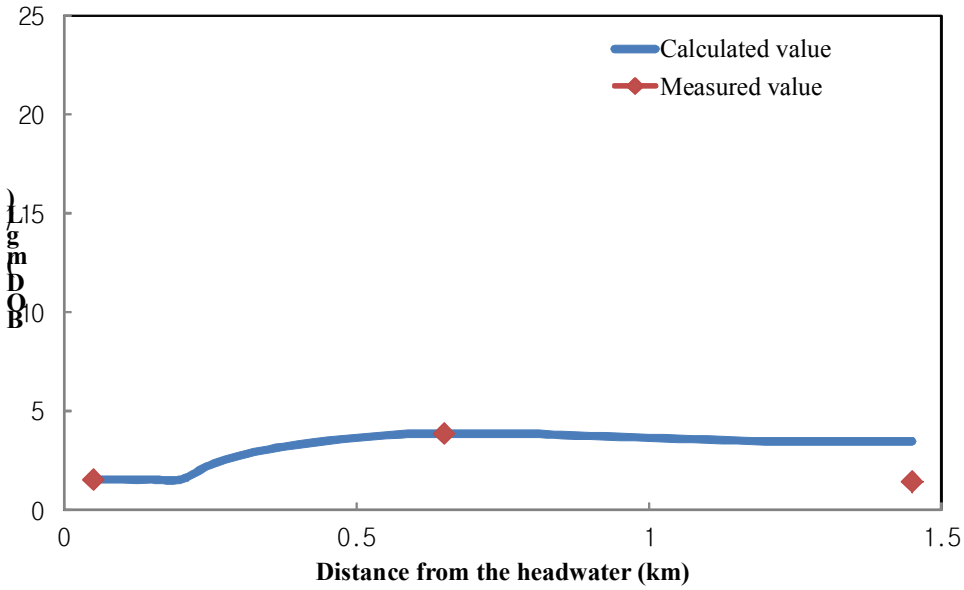

그림 4.8 강우시 BOD농도 보정 결과

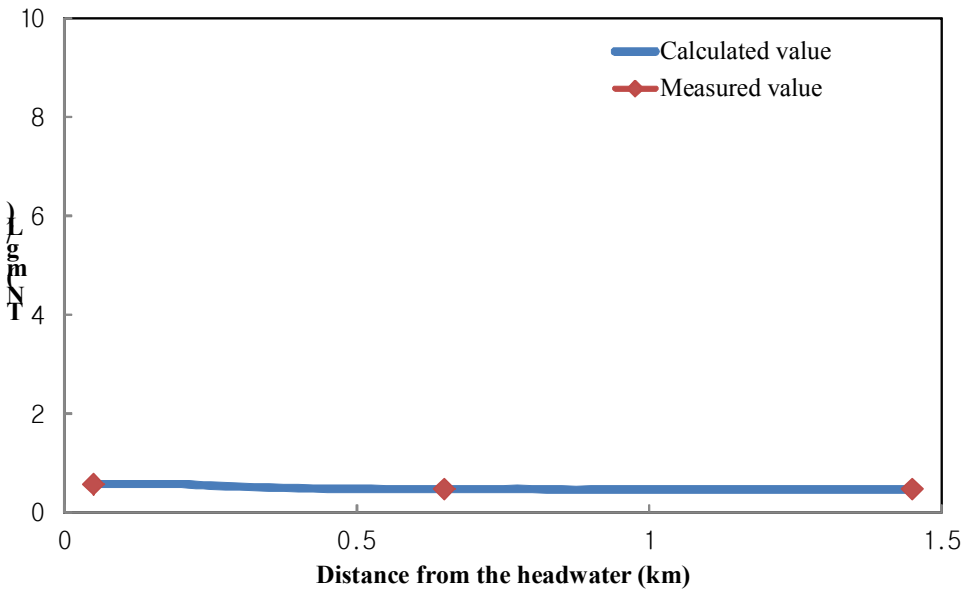

그림 4.9 강우시 TN농도 보정 결과

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

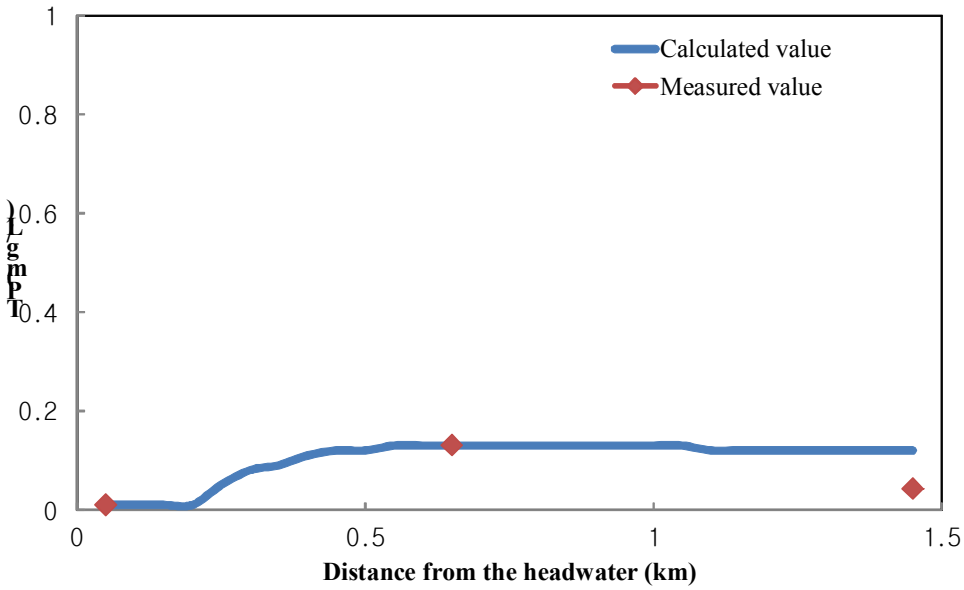

그림 4.10 강우시 TP농도 보정 결과

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3) 보정결과 분석

먼저 보정에 사용된 실제측정값을 QUAL2E모델을 이용하여 모델링된 계산된 값과 비교를 해본결과 다음 표 4.5와 같았다.

표 4.5 모델링 결과 계산치와 실측치 비교

구 분 / 항목 및 지점		청 천 시		강 우 시	
		계산치	실측치	계산치	실측치
SS	상류	0.80	0.80	3.05	3.05
	중류	5.00	5.00	6.13	6.13
	하류	4.10	1.27	5.51	3.67
DO	상류	10.81	10.75	10.20	10.20
	중류	7.95	7.88	10.63	10.63
	하류	9.81	9.68	10.86	10.63
BOD	상류	2.2	2.24	1.53	1.53
	중류	18.87	18.90	3.85	3.86
	하류	15.44	2.66	3.46	1.42
TN	상류	0.69	0.69	0.57	0.57
	중류	8.22	8.22	0.47	0.47
	하류	6.73	4.42	0.46	0.47
TP	상류	0.020	0.017	0.010	0.010
	중류	0.320	0.317	0.130	0.131
	하류	0.260	0.03	0.120	0.043

특이점으로는 보정한 결과 값인 계산치와 실측치를 비교해 보았을 때, 보정이후 나타나듯 중류보다 하류에서 훨씬 낮은 BOD, TN ,TP를 보인다. 그 이유는 적은 유량과 느린 유속으로 하상 침투가 발생하고, 이로 인해 하상 여과되기 때문으로 판단된다. 여기서 보정계수를 이용하여 계산치와 실측치를 일치시킬 수 있으나, 그럴 경우 범위 밖의 보정계수가 사용되어 모델링이 잘못 판단될 수 있다.

그리고 석정천에 부가되는 오염부하량을 산정하기 위해 회송천 최하류 지점의 오염

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

부하량을 산정하여 보았다. 청천시 현재의 오염부하량은 SS, BOD, TN, TP 항목에서 각각 1.74, 6.54, 2.85, 0.11kg/day로 계산되며, 강우시 오염부하량은 각각 12.7, 7.98, 1.06, 0.25kg/day 계산되었다. 여기서 현재 청천시보다 강우시 SS는 7배 이상 증가하였으며, BOD와TP는 약간 증가하고, TN은 오히려 감소하는 것을 알 수 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4. 비점오염원 저감 대책 시행시 효과 예측

1) 청천시

청천시 비점오염원 저감 대책 시행 전(Present)후(Future)에 대하여 각 항목 별로 분석하였다. 그 항목 중 SS의 농도변화는 시행 전에는 초기농도 0.8mg/L에서 비점오염원1을 지난 후 점차 5.0mg/L 까지 증가하고, 이후 점차 감소하여 석정천과 합류지점인 최하류 지점에서는 4.1mg/L로 나타났으며, 비점오염원 저감 대책시행 후 SS농도는 확연히 감소하여 최댓값은 2.56mg/L이며 Headwater에서 0.6Km 떨어진 지점에서 발생하며, 최하류 지점에서는 2.1mg/L로 약 48.78% 감소 될 것으로 예상된다. DO의 농도변화는 시행 전과 후는 큰 변화는 안보이며, 초기 농도는 10.81mg/L에서 비점오염원1 구간을 지나면서 급격하게 감소한 이후 점차 회복하여 최하류 지점에서의 농도는 9.84mg/L로 예상된다. BOD농도의 변화는 초기농도 2.22mg/L에서 비점오염원1인 구간을 지나면서 급격하게 증가한다. 비점오염원 저감 시설 대책 시행 전에는 최대 18.87mg/L까지 증가하며, 이후 점차 감소하여 석정천과 합류지점인 최하류 지점에서는 15.45mg/L까지 감소한다. 시행 후에는 대폭 감소하여 최대 9.59mg/L까지 증가하게 되고, 최하류 지점에서는 7.85mg/L로 약 49.15% 감소 될 것으로 예상된다. TN의 농도변화는 시행 전에는 0.69mg/L에서 비점오염원1인 지점을 지난 이후 급격하게 증가하여 8.22mg/L까지 증가한 이후 점차 감소하여 최하류 지점에서는 6.73mg/L으로 나타났으며, 시행 후에는 대폭 감소하여 최대 4.16mg/L까지 증가하고 최하류 지점에서의 농도는 3.41mg/L로 49.33% 감소될 것으로 예상된다. 마지막으로 TP의 농도변화는 시행 전에는 초기농도 0.02mg/L에서 비점오염원1을 지난 후 급격하게 0.32mg/L까지 증가하며, 점차 감소하여 최하류에서는 0.26mg/L까지 감소되어진다. 시행 후에는 초기농도에서 최대 0.16mg/L까지 증가하며 점차 감소하여 최하류 지점에서는 0.13mg/L로 시행 전과 비교했을 때 50.00% 감소될 것으로 예상된다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

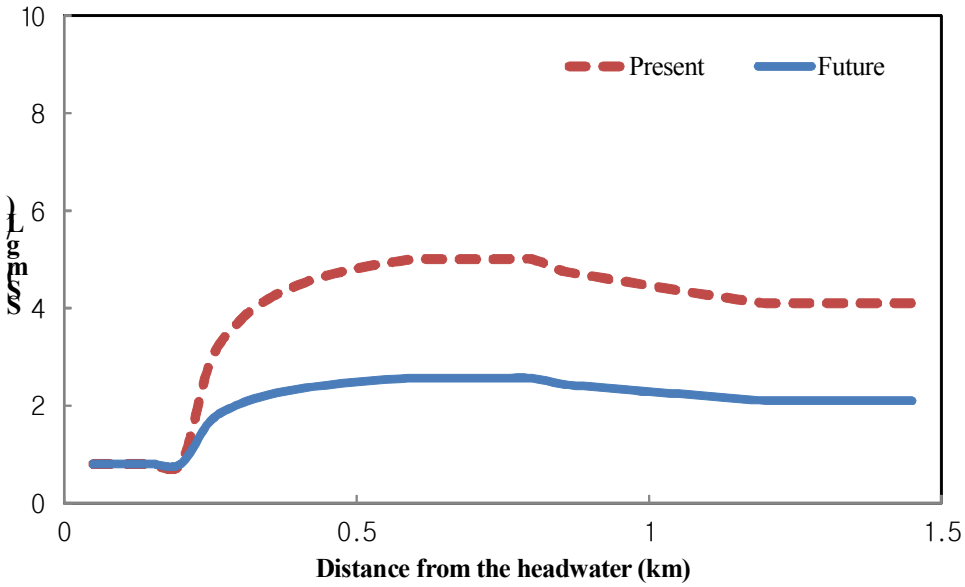

그림 4.11 청천시 SS농도 예측 결과

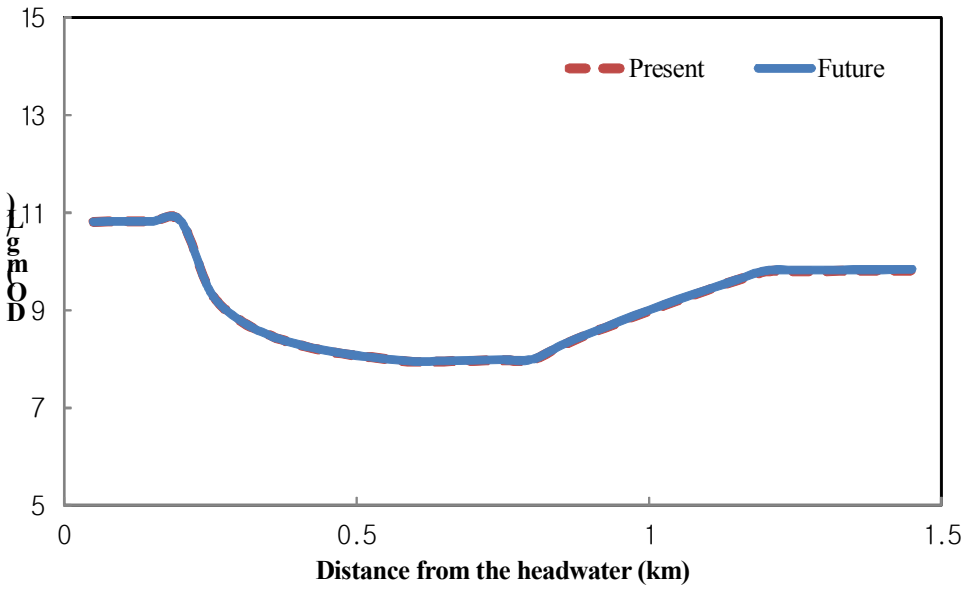

그림 4.12 청천시 DO농도 예측 결과

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

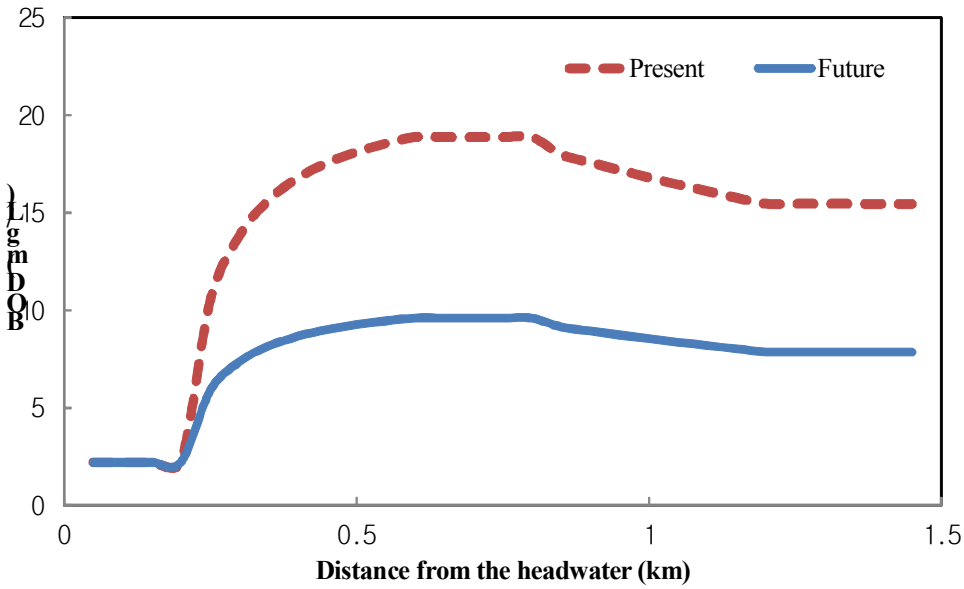

그림 4.13 청천시 BOD농도 예측 결과

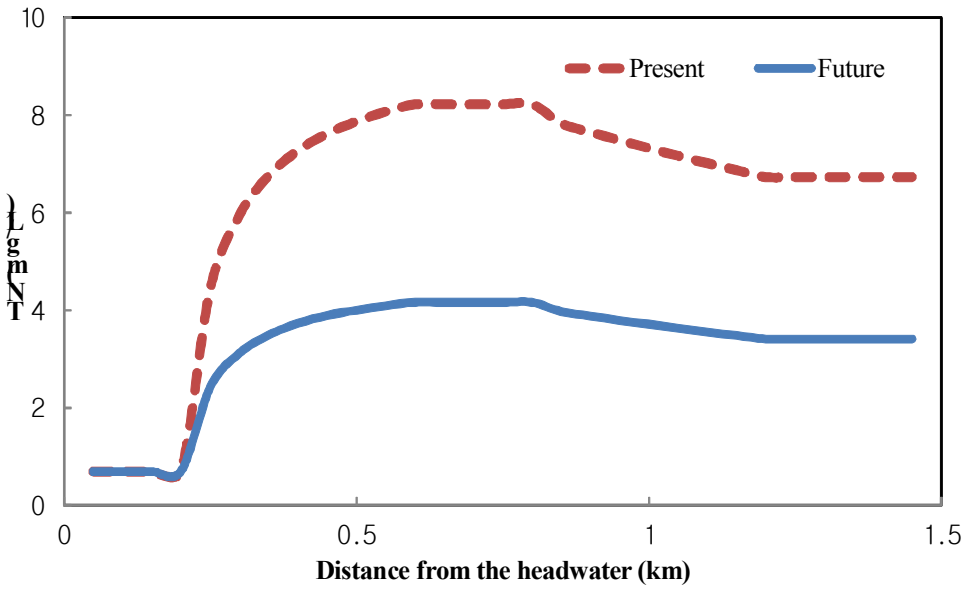

그림 4.14 청천시 TN농도 예측 결과

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

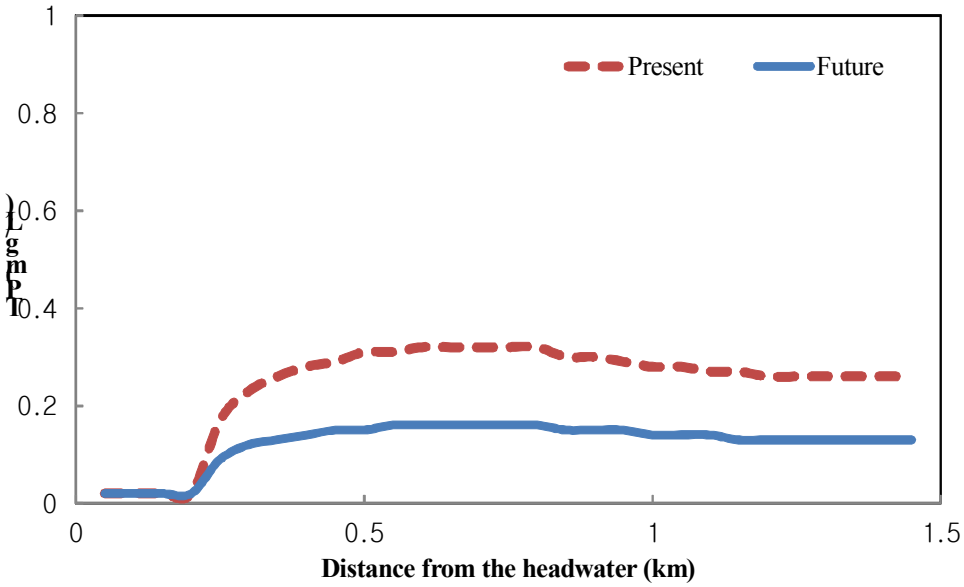

그림 4.15 청천시 TP농도 예측 결과

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2) 강우시

청천시 비점오염원 저감 대책 시행 전(Present)후(Future)에 대하여 각 항목 별로 분석하였다.

먼저 강우시 SS의 농도변화는 시행 전에는 초기농도 3.05mg/L에서 비점오염원1을 지난 후 점차 6.13.0mg/L 까지 증가하고, 이후 점차 감소하여 석정천과 합류지점인 최하류 지점에서는 5.51mg/L로 나타났으며, 비점오염원 저감 대책시행 후 SS농도는 확연히 감소하여 최댓값은 3.55mg/L이며, 이는 Headwater에서 0.6Km 떨어진 지점에서 발생한다. 또한 최하류 지점에서는 2.1mg/L로 시행 후 42.10% 감소 될 것으로 예상된다.

DO의 농도변화는 시행 전과 후는 큰 변화는 안보이며, 초기 농도는 10.2mg/L에서 조금 증가하여 최하류 지점에서의 농도는 10.86mg/L로 예상된다.

BOD의 농도의 변화는 초기농도 1.53mg/L에서 비점오염원1인 구간을 지나면서 증가하여, 3.85mg/L까지 증가하며, 이후 점차 감소하여 석정천과 합류지점인 최하류에서는 3.46mg/L까지 감소한다. 저감대책 시행 후에는 대폭 감소하여 최대 2.17mg/L까지 증가하게 되고, 최하류에서는 1.95mg/L로 약 43.64% 감소 될 것으로 예상된다.

TN의 농도변화는 시행 전에는 0.57mg/L에서 점차 감소하여 최하류 지점에서는 0.46mg/L까지 감소하였으며, 시행 후에는 전보다 더 감소하여 0.31mg/L으로 시행 전보다 32.61% 감소될 것으로 예상된다.

마지막으로, TP의 농도변화는 시행 전에는 초기농도 0.01mg/L에서 비점오염원1을 지난 후 0.13mg/L까지 증가하며, 최하류에서는 0.12mg/L 까지 감소되어진다. 시행 후에는 초기농도에서 최대 0.07mg/L까지 증가하며 점차 감소하여 최하류에서는 0.06mg/L로 시행 전과 비교했을 때 50.00% 감소될 것으로 예상되고, Headwater에서 0.5Km 떨어진 지점에서 최대 54.55%까지 감소하는 것으로 예상된다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

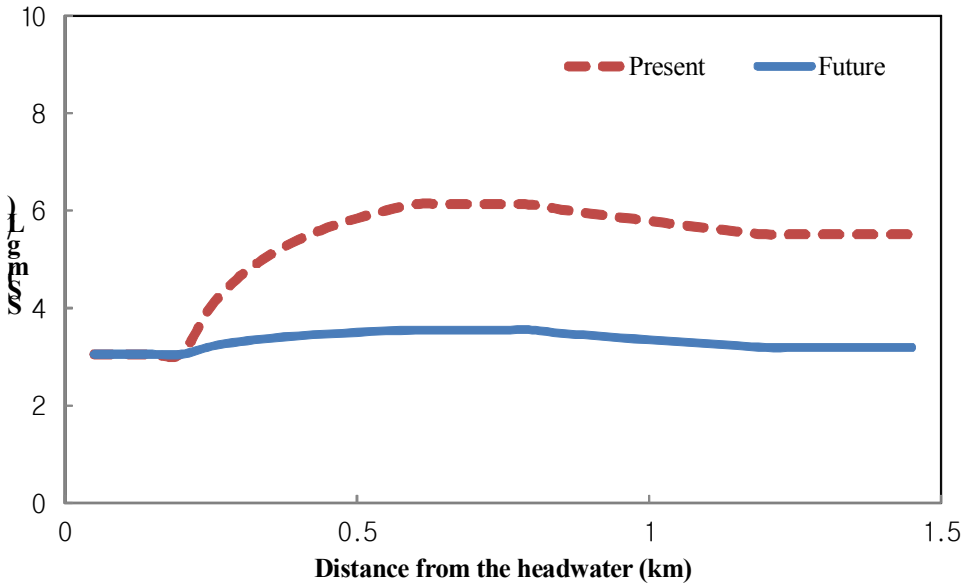

그림 4.16 강우시 SS농도 예측 결과

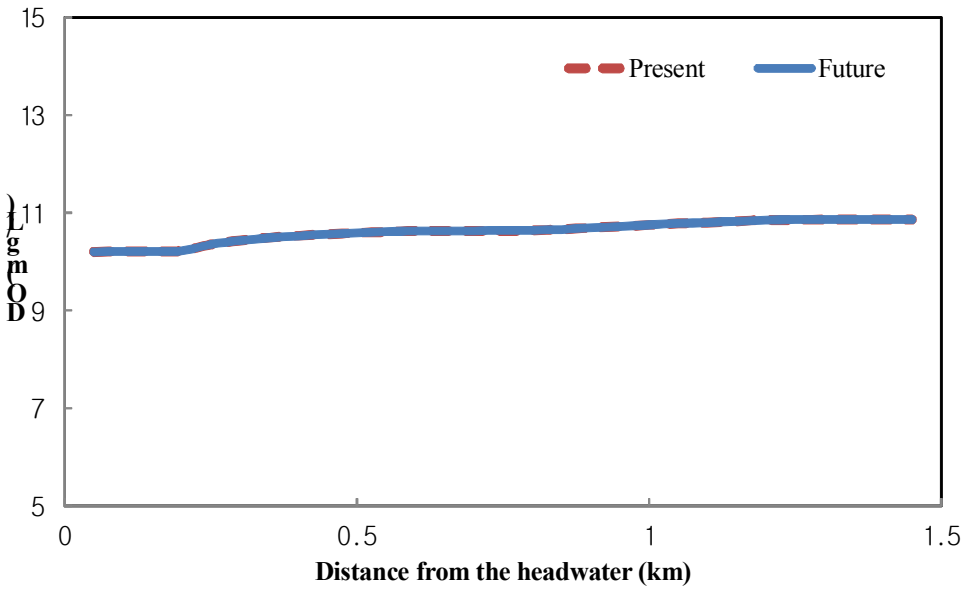

그림 4.17 강우시 DO농도 예측 결과

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

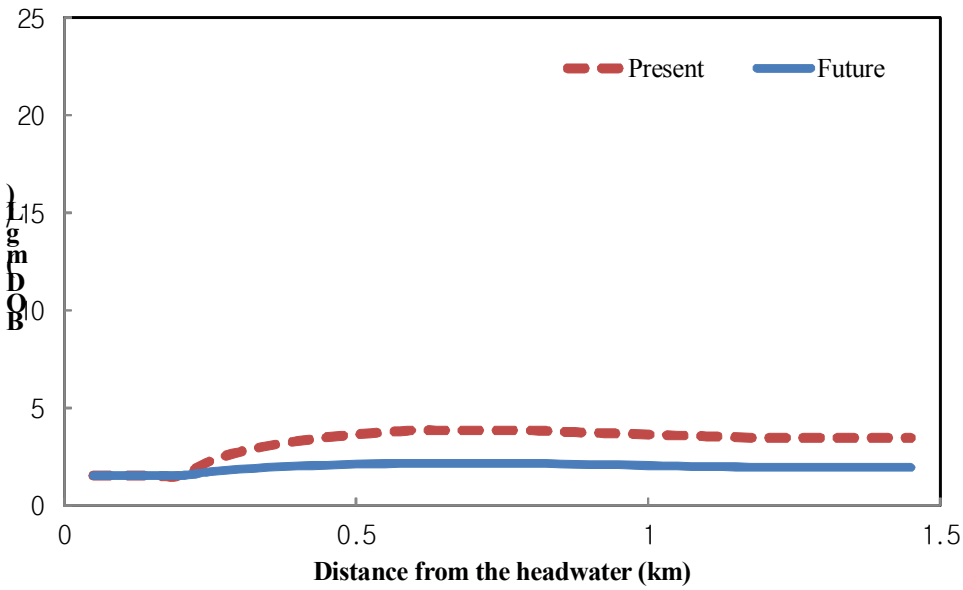

그림 4.18 강우시 BOD농도 예측 결과

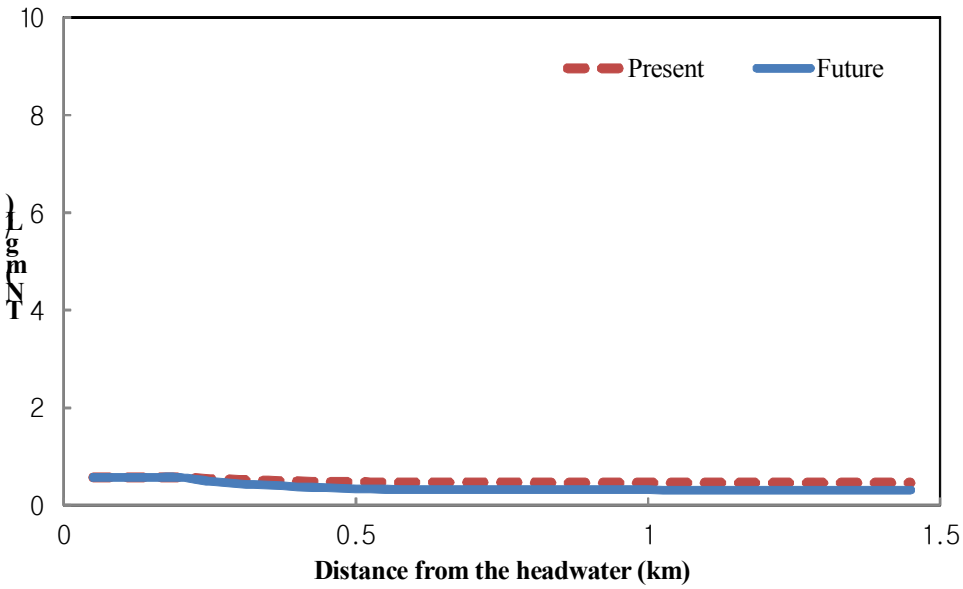

그림 4.19 강우시 TN농도 예측 결과

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

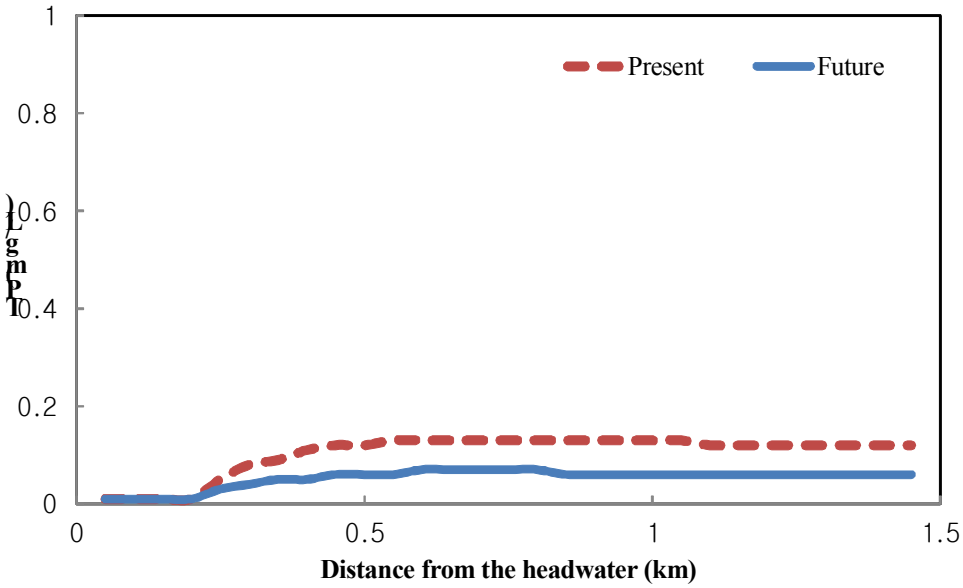

그림 4.20 강우시 TP농도 예측 결과

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3) 비점오염원 저감 대책 시행 효과 분석

비점오염원 저감대책 시행 전후에 관하여 하천수질 모의를 실시하였고, 석정천에 부가되는 오염부하량을 산정하기 위해 회송천 최하류 지점의 오염부하량을 예측하였다. 그 결과 표 4.6에 제시하였다. 비점오염원 저감대책 시행 이후 청천시 오염 부하량은 SS, BOD, TN, TP 항목에서 각각 0.89, 3.32, 1.44, 0.06kg/day로 계산되며, 각각 시행 이전보다 48.78, 49.16, 49.33, 50.00% 감소될 것으로 예측된다. 강우시 오염부하량은 각각 7.36, 4.50, 0.72, 0.14kg/day로 예측되며, 각각 시행 이전보다 42.11, 43.64, 32.61, 50.00% 감소될 것으로 예측된다.

표 4.6 비점오염원 저감대책시행 전후의 예측 값

구 분			SS	BOD	TN	TP	Q (m^3/sec)
청천시	현황	농도(mg/L)	4.10	15.44	6.73	0.26	0.0049
		부하량(kg/day)	1.74	6.54	2.85	0.11	
	예측	농도(mg/L)	2.10	7.85	3.41	0.13	
		부하량(kg/day)	0.89	3.32	1.44	0.06	
	감소율	%	48.78	49.16	49.33	50.00	
		부하량(kg/day)	0.85	3.21	1.41	0.06	
강우시	현황	농도(mg/L)	5.51	3.46	0.46	0.12	0.0267
		부하량(kg/day)	12.71	7.98	1.06	0.28	
	예측	농도(mg/L)	3.19	1.95	0.31	0.06	
		부하량(kg/day)	7.36	4.50	0.72	0.14	
	감소율	%	42.11	43.64	32.61	50.00	
		부하량(kg/day)	5.35	3.48	0.35	0.14	

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

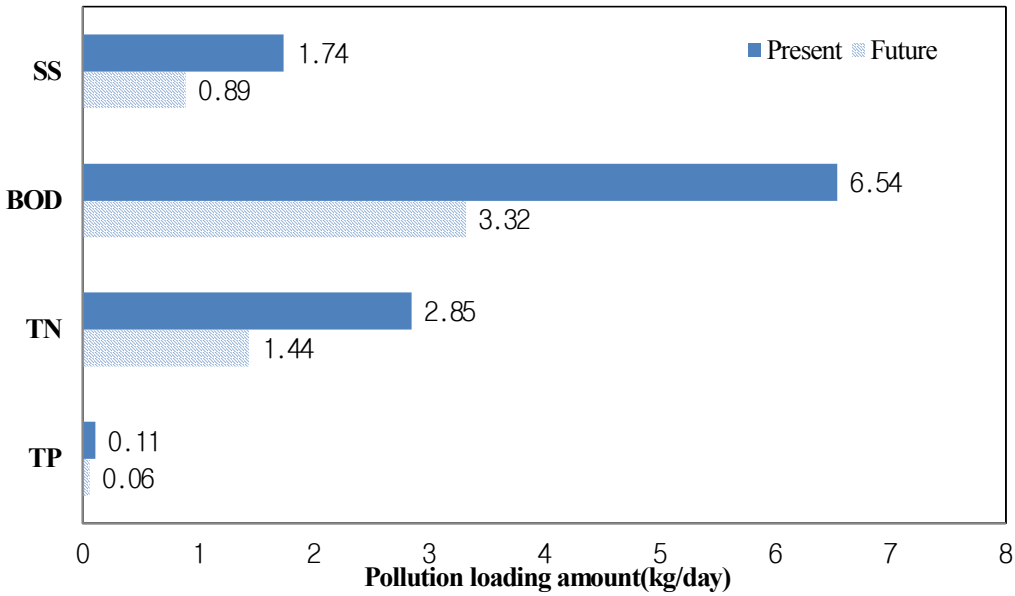

그림 4.21 청천시 비점오염원 저감대책시행 전후 각 항목별 부하량

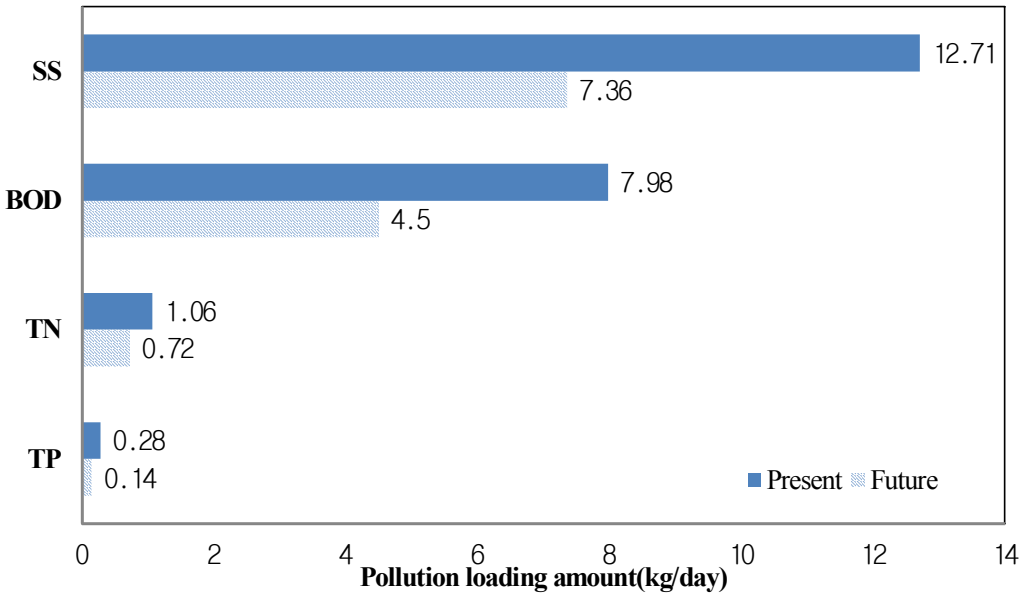

그림 4.22 강우시 비점오염원 저감대책시행 전후 각 항목별 부하량

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Ⅴ. 결론

본 연구에서는 QUAL2E모델을 이용하여 하천수의 수질을 모의하고 비점오염 저감시설 설치 효과를 분석하였다.

1. 현상태에서 회송천에서 석정천으로 유입되는 오염부하량을 계산한 결과 청천시 현재의 오염부하량은 SS, BOD, TN, TP 항목에서 각각 6.54, 1.74, 2.85, 0.11kg/day로 계산되었다. 그리고 강우시 오염부하량은 각각 7.98 12.7 1.06 0.25kg/day 계산되었다. 청천시보다 BOD와 TP는 약간 증가하나 SS는 7배이상 증가하고, TN은 오히려 감소하는 것으로 나타났다.

2. 비점오염원 저감대책 시행 전후에 관하여 하천수질 모의를 실시하였다. 저감시설 설치시 비점오염원 오염부하량이 50% 감소한 경우로 가정하였다. 모의결과 청천시 오염 부하량은 SS, BOD, TN, TP 항목에서 각각 0.89, 3.32, 1.44, 0.06, kg/day로 예측되고, 강우시 오염부하량은 각각 7.36, 4.50, 0.72, 0.14kg/day로 예측되었다.

3. 예상되는 수질 변화를 환경기준과 비교해볼 때, 청천시에는 Ⅵ등급(BOD농도 10mg/L초과)에서 Ⅳ등급(BOD농도 8mg/L이하)으로 향상되며, 강우시에는 Ⅲ등급(BOD농도 5mg/L이하)에서 Ⅰb등급(BOD농도 2mg/L이하)으로 하천수질이 향상되는 것으로 예측되었다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

참 고 문 헌

1) 김선미(1994), QUAL2E 모델을 이용한 금강 하류의 수질 변화에 관한연구, 충남대학교 석사학위논문

2) 김성수 외 4인(2002), 경안천 유역의 강우사상별 비점오염원 유출특석 및 원단위 조사, 대한환경공학회, 24(11), pp.2019-2027

3) 김용구(2002), 진화알고리즘을 이용한 QUAL2E 모형의 반응계수 추정에 관한 연구, 동신대학교 석사학위논문

4) 김은총(2011), 수질모델을 이용한 남원 하천의 효율적인 수질관리에 관한 연구, 서남대학교 석사학위논문

5) 박성천, 이상준(1997), 광주천의 수질관리에 의한 영산강 수질의 개선 효과, 공업기술연구소, 3, pp.133-149

6) 박진호(1994), 팔당호 호소의 비점오염원이 팔당수질에 미치는 영향 평가, 서울대학교 석사학위논문

7) 백경원 외 3인(1995), QUAL2E에 의한 한강하류부에서의 수질 해석, 대한토목학회 논문집, 15(2), pp.45-461

8)성기준(1993), 하천 수질 모형의 비교, 분석에 관한 연구, 서울대학교 석사학위논문

9) 신창민(2009), 수질오염총량관리를 위한 수질 예측모델 인자 적용성 평가, 서울시립대학교 석사학위논문

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

10) 오준성 외 7인(1996), 영산강 수질관리 종합대책 수립에 관한 연구, 한국수자원학회지, 28(4), pp.137-146

11) 이수길(1991), 농촌지역에서의 비점원 오염물질이 하천수질에 미치는 영향에 관한 연구, 서울대학교 석사학위논문

12) 이호선(2010), 비점오염저감시설 형태별 유입부하량 변화에 ㅁ、른 관리주기 산정에 관한 연구, 인천대학교 박사학위논문

13) 이효범(2001), QUAL2E 모형을 이용한 탐진댐 하류부의 수질 예측, 전남대학교 석사학위논문

14) 이효철(2001), QUAL2E 모형을 이용한 탐진댐 하류부의 수질 예측, 서울대학교 석사학위논문

15) 전경열(2009), QUAL2E 모델링을 이용한 소규모 하천의 수질관리 방안연구, 광운대학교 석사항위 논문

16) 채병헌(2004), QUAL2E를 이용한 금강의 수질 모델링, 광운대학교 석사학위논문

17) 한건연 외 3인(1995), 한강하류부에서의 초질소와 총인에 대한 수질 모형, 한국수자원학회지, 28(4), pp.137-146

18) 환경부(2014), 비점오염저감시설 설치 및 관리・운영 매뉴얼

19) Azzellino,A., Salvetti,R., Vismara,R., Bonomo,L.(2006), Combined use of the EPA-QUAL2E simulation model and factor analysis to assess the source apportionment of point and non point loads of nutrients to surface waters, Science of the Total Environment, 371(1-3), pp.214-222

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

20) EPA(1987), The enhance stream water quality models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS : Documentation and user manual

21) EPA(1995), QUAL2E Windows Interface User's Guide

22) Gurr, E., Nnadi, F.(2009), Non-Point Source Nutrient Loading in an Urban Watershed, Reston, Va.; American Society of Civil Engineers, 2, pp.1431-1439

23) Liu, D. F., Qiao, P., Zhang, L. P., Song, M., Liu, S.(2012), Application of QUAL2E Model to Analysis the Permissible Pollution Bearing Capacity of Water Bodies in City Water Area, Trans Tech Publication Ltd, 518-523(3), pp.2385-2390

24) Palmieri, V., de Carvalho, R. J.(2006) Qual2e model for the Corumbatai River, Elsevier Science B.V., Amsterdam, 198(1-2), pp.269-275

25) Subra, W., Waters, J.(1993), Non Point Source Pollution, International Geoscience And Remote Sensing Symposium, 4, pp.2231-2233

26) Torabian, A., Hashemi, S. H., Ghadimkhani, A. A.(2006), An assessment of water withdrawal effect on water quality of the downstream river at the Mamloo Dam site using the QUAL2E model, WIT Transactions on Ecology and the Environment, 95, pp.157-164

27) Wang, H., Wu, Z., Hu, C.(2014), Comprehensive Study of the Effect of Input Data on Hydrology and non-point Source Pollution Modeling, Water Resources Management, 17p

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

28) Yuceer, M., Karadurmus, E., Berber, R.(2007),Simulation of river streams: Comparison of a new technique with QUAL2E, Elsevier Science B.V., Amsterdam, 46(1-2), pp.292-305

29) Yulianti,J.S., Lence,B.J., Johnson,G.V., Takyi,A.K.(1999), Non-point source water quality management under input information uncertainty, Journal of environmental management, 55(3), pp199-217

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

감사의 글

학·석사 연계과정을 포함하여 2년여 동안 많은 가르침과 부족함이 많은 저에게 지도를 해주신 김성홍 교수님께 진심으로 깊은 감사의 말씀을 전하고 싶습니다. 석사과정동안 저에게 인생에 필요한 좋은 말씀들을 해주시고 좋은 길을 갈 수 있도록 인도해주셨습니다. 앞으로 사회생활을 시작함에 있어서 정말 큰 도움이 될 것 같습니다. 앞으로도 제 인생에 영원한 스승님이자 멘토이십니다. 그리고 토목공학과 교수님들께도 부족한 논문이 좋은 논문이 될 수 있도록 조언과 격려를 해주신 박길현 교수님, 김운중 교수님, 김대현 교수님, 박상준 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 또한 항상 따뜻한 격려와 응원을 해주신 김영균 교수님 그리고 학부 때부터 학문을 잘 가르쳐주신 양승현 교수님, 김선학 교수님, 황선하 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

그리고 대학원 생활동안 항상 함께하고 옆에서 버팀목이 되어준 우리 실험실 식구들인 맹선이형, 경면이형, 인호형, 의준이형, 최진홍에게 고마움을 전합니다. 처음 대학원을 생각하고 이 길로 이끌어준 경면이형, 인호형은 졸업 후에도 정말 큰 힘이 되었음을 전하고 싶습니다. 또한 석사과정동안 선배로서 많이 도움을 주었던 경호형, 정환이형에게 깊은 감사를 드립니다. 논문과정 동안 격려해주며 많은 도움을 주었고 많은 이야기들과 고민을 나누었던 민주에게도 고맙다는 말을 하고 싶습니다.

나의 친구들 김민석, 박동녘, 유대인, 정범기 항상 옆에서 응원해주고 서로 하고 싶은 일들 열심히 하고 힘들 때 마다 옆에 있어준 친구들에게 고맙다고 전하고 싶습니다. 그리고 논문과정동안 정말 나만 생각하고 잘해주지 못해서 항상 미안한 예슬이에게 고맙고 미안하다고 전하고 싶습니다. 대학교 생활부터 대학원 생활까지 옆에서 힘이 되어준 상익이형, 유탁이에게도 고맙다는 말을 전합니다.

끝으로 우리가족들. 아버지, 제 생각만하고 철없던 아들 앞으로 사회생활로 나가서 걱정이 많으실 텐데 또 다른 걱정만 안겨드려서 죄송합니다. 하지만 이제 걱정 없으시도록 앞으로 열심히 하겠습니다. 어머니, 아들인 저만 생각하시고 배려해주시고 항상 걱정해주신 그 마음 앞으로 효도 하면서 갚아나가도록 하겠습니다. 그리고 나의 영원한 정신적 지주 누나, 항상 좋은 말들 고맙고 매형이랑 보기 좋은 모습 너무 좋아 고맙고 또 고맙다고 말하고 싶네, 그리고 정말 항상 미안하고 예쁜 우리 여동생 나라야 오빠가 석사과정을 한다고 할 때부터 오빠에게 항상 힘이 되어주고 집에서 오빠의 빈

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

자리를 채워줘서 정말 고맙고 미안해, 앞으로 오빠가 정말 잘할게 고맙고 사랑한다. 마지막으로 우리 늦둥이 재광이, 형이 바쁘다는 핑계로 자주 놀아주지도 못하고 형으로써 많이 못 챙겨준 것 같아서 미안하고 사랑한다.

끝으로 이 논문을 마치기까지 옆에서 많은 도움을 주셨던 모든 분들께 깊은 감사를 드립니다.