

발 간 등 록 번 호  
11-1480523-000794-01

NEIR NO. 2010-105-1280

# 팔당 상수원 수질에 미치는 점오염원 및 비점오염원의 영향도 비교 평가(I)

국립환경과학원 한강물환경연구소

이형진, 류덕희, 박수영, 박지형, 김현구,  
노혜란, 김성미, 장승현, 방규철, 진영헌

## Comparative Assessment of the Point Source and Nonpoint Source Pollution Effect on Paldang Reservoir Drinking Water Source Quality(I)

Hyungjin Lee, Doughee Rhew, Sooyoung Park, Jihyung Park, Hyungoo  
Kim, Hyeran Noh, Sungmi Kim, Seunghyun Chang, Kyuchul Bang,  
Younghun Jin

Han-River Environment Research Center  
National Institute of Environment Research

2010

---

# 목 차

---

목 차 .....	i
표목차 .....	ii
그림목차 .....	iii
Abstract .....	iv
<b>I. 서론</b> .....	<b>1</b>
<b>II. 연구내용 및 방법</b> .....	<b>3</b>
1. 선행연구 분석 .....	3
2. 수질·유량 및 오염원조사 .....	4
3. 요인분석(주성분분석) .....	4
4. 오염부하량 산정 .....	5
5. 경험론적 유달부하식 .....	6
6. 지형학적 특성인자 추출 .....	8
<b>III. 연구결과 및 고찰</b> .....	<b>9</b>
1. 수질 현황 .....	9
2. 발생 및 배출부하량 .....	9
3. 유역특성인자 추출 .....	13
4. 요인분석 .....	15
5. 유달부하량 산정 및 평가 .....	16
6. 일 유량 산정(곡선식 개발) .....	19
7. 3차원 수리·수질모델 구축 .....	22
<b>IV. 결론</b> .....	<b>24</b>
<b>참고문헌</b> .....	<b>25</b>

## 표 차례

<표 1> Generated Pollutant Loading and Density according to Unit Study Area	1
<표 2> Discharge Loadings according to Unit Study Area	1
<표 3> Topographical Characteristics of Unit Study Area	1
<표 4> Pollution Source Parameters in factor analysis within Unit Study Area	1

## 그림 차례

<그림 1> Category of Study Area .....	6
<그림 2> Kyoung An Stream Basin Water Quality Variation .....	9
<그림 3> BOD <sub>5</sub> Discharge Loading according to Unit Stream Basin .....	2
<그림 4> TN Discharge Loading according to various Stream Basin .....	2
<그림 5> TP Discharge Loading according to various Stream Basin .....	2
<그림 6> Discharge Loading according to Water Quality Items .....	3
<그림 7> Slope Extraction in Study Area .....	4
<그림 8> Kyoung An Stream and Seom River Basins Annual Runoff Loading .....	1
<그림 9> Annual Runoff Loading variation due to flowrate input data(Haukcheon A) .....	1
<그림 10> Rating Corve of Jojong A Basin and Dal Stream Basins .....	1
<그림 11> Rating Corve of Han River D Basin and Seom River A Basin .....	2
<그림 12> Rating Corve of Seom River B Basin and Chungmi A Basin .....	2
<그림 13> Rating Corve of Yanghwa A Basin and Bokha A Basin .....	1
<그림 14> Rating Corve of Han River E Basin and Haukcheon A Basin .....	2
<그림 15> Rating Corve of Kyoung An A Basin and Kyoung An B Basin .....	2
<그림 16> Elevation data Extraction and Grid Construction .....	3

## Abstract

본 연구는 팔당호의 효율적인 관리방안을 확립하기 위해 한강수계 내 14개 단위유역을 선정하여 점오염원과 비점오염원의 유달부하 특성을 규명하여, 팔당호 수질에 대해 영향도를 시·공간적으로 평가하고, 오염원별 대책 우선순위와 그 효과를 제시하여 효율적인 수질관리 방안을 제안하는 것이 목적이다. 각각의 단위유역별로 수질 현황을 파악하고, 실측 유량을 통하여 유달부하량을 산정하여 단위유역별 영향도를 비교·평가하였다. 해당 유역별 요인분석 결과, 청미A 유역과 복하A 유역의 주성분은 축산계, 토지계, 생활계 오염원으로 분석되었으며, 축산계 오염원이 제1요인으로 동일하게 분석되었다.

유역별 발생부하량은 양화A, 복하A, 청미A의 순으로 높게 나타났으며 BOD, TP배출부하량은 청미A 유역이 각각 14%, 15%로 가장 높게 나타났으며, TN의 배출부하량은 청미A 유역과 복하A 유역이 13%로 가장 높게 나타났다. 남한강 하류에 속하는 이들 단위유역에 대한 수질관리 대책 수립시 우선순위 결정에 크게 활용될 것으로 기대된다.

# I. 서 론

팔당호에 유입되는 남한강, 북한강, 경안천의 세 하천중 경안천은 오염도가 가장 높지만 유량이 상대적으로 매우 저기 때문에 수질에 대한 영향도가 크지 않다. 또한 북한강은 남한강에 비해 수질이 상대적으로 양호하여 남한강과 경안천에 대한 희석수의 역할을 한다. 남한강은 유량이 많은 반면 수질이 다소 불량하여 유입하천 중 오염부하량이 가장 많기 때문에 팔당호의 수질에 대한 영향도가 상대적으로 매우 크다(이형진 등, 2007)

수도권 2,400백만 주민들에게 용수를 공급하는 국내 최대 규모의 상수원인 팔당호의 적정 수질 유지를 위하여 정부는 그동안 많은 수질 개선 대책을 수행해 왔다(공동수 등, 2008). 그 정책의 일환으로 정부는 오염과 유해물질로부터 상수원을 보호하여 깨끗한 상수원수를 확보하고 국민들에게 맑은 물을 공급하기 위하여 팔당권역을 상수원보호구역으로 지정하여 관리하고 있다. 그러나 지리적 여건상 수도권에 인접한 팔당호 유역은 지속적인 개발 요구에 시달리며 토지이용도가 급속히 변화하고 있다(공동수 등, 2006). 토지이용의 변화에 따라 오염물질 및 유출특성도 크게 달라져 점오염원과 비점오염원 물질의 상대적인 배출 농도와 하천에의 영향 규명의 필요성이 높아지고 있다.

호소와 하천의 수질은 유입되는 오염물질의 양과 종류에 따라 결정되므로 효율적인 수질관리를 위해서는 하천으로 유입되는 오염물질 부하량의 정확한 산정과 오염물질의 유출특성을 파악하는 것이 무엇보다 중요하다(박지형, 2007). 최근들어 팔당호 유역으로부터 비점오염물질의 유입 증가가 팔당호 수질 악화의 주원인으로 언급되고 있어 비점오염물질의 정확한 양과 영향도에 대한 연구의 필요성이 높아졌다. 비점오염원은 토지이용특성, 강우사상, 지역별 오수 및 우수관리 시스템 등 다양한 요인에 따라 발생정도가 다르므로 시간적·공간적 특성에 따른 발생오염에 대한 정량화가 매우 어려우며(건설기

술정보, 2001), 강우시 빗물과 함께 유출되기 때문에 일간, 계절간 배출량 변화가 크고 유역의 지형·기상·수문 특성 등에 많은 영향을 받기 때문에 이를 정량화하기 위해서는 강우시는 물론 비강우시 유역조건에 따른 수질·수량 관측자료가 필요하나 시기별 수질 및 유량 관측에 많은 시간과 비용이 소요되며, 축적된 관측자료가 충분하다 하더라도 유역의 다양한 환경을 반영하기 어렵다(김철겸과 김남원, 2008; 정은성 등, 2006). 정부가 2006년에 수립한 물환경관리기본계획에 따르면, 계획 수립 당시 한강수계 수질오염 주원인 42%가 비점오염원이며 오는 2015년이 되면 70%로 증가할 것으로 예상하고 있어 비점오염원 관리를 위한 대책마련이 시급한 실정이다. 그러나 현재까지 비점오염원과 점오염원의 영향도는 연평균 배출부하량으로만 평가되어 왔기에 효율적인 수질관리가 어려운 상황이다.

점오염원과 비점오염원으로부터 배출되는 오염물질은 서로 다른 유달특성을 보이므로 연간 배출부하량이 동일한 경우에도 팔당호로 유입되는 부하량이 서로 달라 수질에의 영향도에서 차이를 나타낸다. 또한 상대적으로 일정한 부하를 보이는 점오염원과 달리 강우시에 오염부하가 집중되는 비점오염원은 관리 방안도 서로 달라야 할 것이다. 따라서 본 연구를 통하여 점오염원과 비점오염원의 유달부하 특성을 규명하여 팔당호 수질에 대한 영향도를 시공간적으로 평가하고, 오염원별 대책 우선순위와 그 효과를 제시하여 효율적인 수질관리 방안을 제안하고자 한다.

## II. 연구내용 및 방법

### 1. 선행연구 분석

하천으로 유입되는 오염물질의 양을 나타내는 지표인 배출부하량은 일반적으로 원단위 계산법으로 산출하는데, 동일 배출부하량이라 하더라도 지역적 특성 및 수문 특성에 따라 하천에 최종적으로 영향을 미치는 양은 달라진다. 따라서 오염물질의 유출특성을 고려하여 하천에 유입되는 부하량을 정확하게 산출해 낼 수 있는 기법이 요구된다(하성룡 등, 2003). 하천으로 유입되는 유출부하량 산출을 위해서 실측 수질과 유량, 유역모델링 및 경험식 등을 이용하는 방법이 있다.

실측 수질과 유량 측정을 통한 계산 방법은 광범위한 유역을 대상으로 연속 데이터 확보를 위하여 많은 시간, 인력 및 예산이 투입되어야 하므로 현실적으로 적용이 어려운 방법이다. 한편 HSPF, SWAT, AGNPS, SWMM, L-THIA 등의 다양한 유역모델을 이용하여 유출량을 산정한 연구가 많이 이루어지고 있다. L-THIA모델은 토지이용도, 토양도, 일강우 자료만으로 직접 유출 모의가 가능하며 높은 예측 정확성으로 인하여 전 세계적으로 널리 이용되고 있다(김종건 등, 2007). 또한 대규모의 복잡한 유역에서 다양한 종류의 토양 및 토지이용에 따른 농화학 물질의 거동을 예측하기 위해 개발된 SWAT모델은 준분포형 모형이다. 최근에는 한국건설기술연구원에서 SWAT을 기반으로 한국형 장기유출·수질모형인 SWAT-K모형을 제시하여 유사 발생의 시공간적 특성 규명을 위한 국내 적용성을 입증한 바 있다(김철겸 등, 2009). 이와 같이 다양한 유역모델이 적용되고 있으나 충분하지 않은 입력자료는 모델결과의 불확실성으로 이어질 수 있고, 모델 적용을 위한 전문성 확보가 용이하지 않아 유역모델 적용의 한계점을 갖고 있다.

따라서 오염물질의 거동에 대한 핵심 영향인자를 고려한 다양한 경험식을



개발하여 보다 간단하게 유달부하량을 산정한 연구가 활발하게 진행되어 왔다. 배명순(2003)은 유역의 토지피복, 지형경사, 하천밀도, 평균 유달거리 및 지형특성지표 등을 이용하여 오염부하 유달특성함수를 개발하였다. 또한 엄명철(2004)은 소유역별 유달부하량 산정을 위해 유역면적과 유출량, 유역형상계수를 이용한 회귀식을 제안하여 미계측 소유역에 대해 자정계수를 구한 후 행정구역 단위로 유달부하량을 산정하였다. 한편 박지형(2007)은 기존의 유달식이 단일 유량 값만을 고려하고 있어 유출량 변동에 따른 유달부하량의 변화를 파악할 수 없는 점을 보완한 유달관계식을 개발하고 적용하였다.

## 2. 수질·유량 및 오염원조사

한강수계 수질오염총량관리를 위한 목표수질과 기준유량 설정을 위하여 한강물환경연구소에서 측정한 단위유역 말단의 수질과 유량 자료를 사용하였다. 본 연구의 기준년도인 2007년에 한강수계 전체 유역을 대상으로 약 8일간격으로 약 50회 측정한 수질과 유량자료를 적용하였다. 실측유량은 유달부하식의 입력값으로 사용하고, 실측 수질과 유량 자료를 통해 단위유역 말단 지점에서의 실제 유달부하량을 산정하였다.

현재는 SWAT(Soil and Water Assessment Tool) Model을 이용하여 일 유량을 산정하는 것 또한 하나의 방법이라고 할 수 있다. SWAT Model은 준분포형 장기 강우-유출모델로서 일 단위 유량 모의가 가능하며, 하천의 수리 및 수질모의, 유역 내 점·비점오염원산정, 오염물질 저감효과 모의, 수변녹지대 모의 등을 통하여 하천 수질관리 및 유역 최적관리에 적용되고 정확한 유달부하량을 산정할 수 있으며, 최근에 국내에서 SWAT 모델의 적용은 증가 추세에 있다.

최근 국내에 적용되어 있는 논문을 살펴보면, SWAT 모델을 이용한 경안천 유역의 수질관리 영향 평가(2010, 장재호 등), BASINS/SWAT모델을 이용한 경안천 유역의 오염부하 배출 특성(2009, 정광욱 등), 소양강댐 상류 내린

천 유역에서 SWAT을 이용한 BMP의 유사발생 저감 효과의 분석(2005, 강동균) 등 여러 면에서 활용되고 있다.

### 3. 요인분석(주성분분석)

다변량의 데이터로부터 본질(essence)이 되는 소수의 특징적인 변량을 합성하여 그것을 기초로 데이터를 분석하는 것이 주성분분석이다. 요인의 수를 최소한으로 산출하고 최초 변인들이 지닌 정보(변량)를 극대화하고자 할 때 사용되는 분석법이다.

단순한 요인으로 복잡한 것을 설명하고자 하는 통계적인 기법이 요인분석(factor analysis)이다. 통계적인 현상의 배경에는 여러 가지 복잡한 요인이 있게 마련인데, 그 요인을 소수의 특정 공통요인으로 압축하는 것이다. 그리하여 그 공통요인으로 데이터를 설명하고자 하는 것이 요인분석인 것이다. 요인분석을 사용하여 기본 변수 또는 요인을 식별하여 관측변수 집합에서 상관관계 패턴을 설명할 수 있다. 요인분석은 많은 수의 명백한 변수에서 관측된 대부분의 분산을 설명할 수 있는 소수의 요인을 식별함으로써 데이터 축소에 사용된다.

요인분석(factor analysis)은 여러 변인간의 관계성이나 패턴을 파악하고 변인들이 갖고 있는 정보를 잠재된 적은 수의 구조(construct)로 축약하거나 요약하기 위해 사용하는 통계기법이다. 따라서 요인분석을 통해 수많은 변인들의 상호 관련성을 분석할 수 있고, 이러한 관련성을 기초로 각 변인들이 공통으로 측정하고 있는 차원(잠재적인 요인)을 파악하고 설명할 수 있다. 또한 요인분석은 과학이 추구하는 절약성의 원리(principle of parsimony)를 가장 충실히 따르는 분석방법 가운데 하나이다. 요인분석을 통해 추출된 요인(차원)은 무수히 많은 관찰변인들의 특성을 가장 잘 대표하는 개념이기 때문에 현상을 단순하고 명료하게 설명하는 효율성을 갖는다(양병화, 1998).

요인분석은 질문문항들이나 변수들 사이의 상호관계를 분석해서 이러한

질문문항들이나 변수들 사이에 어떠한 관계가 존재하고 있는지, 즉 질문문항들이나 변수들 사이의 상관관계를 바탕으로 하여 그것들 사이에 서로 유사한 특징을 지닌 대상들을 하나의 집단으로 묶어주게 된다. 그러면 집단내부에 존재하게 되는 분석대상자들은 서로 동질적인 군집을 만들 수 있고 집단 간은 당연히 서로 이질적이 된다.

어떠한 유사점들이 존재하고 있는지를 파악하여 유사한 변수들을 묶어줌으로써 비교적 관련이 적은 변수들을 가지고 자료를 분석해 줌으로써 좀 더 자료의 해석을 용이하게 해 줄 수 있다.

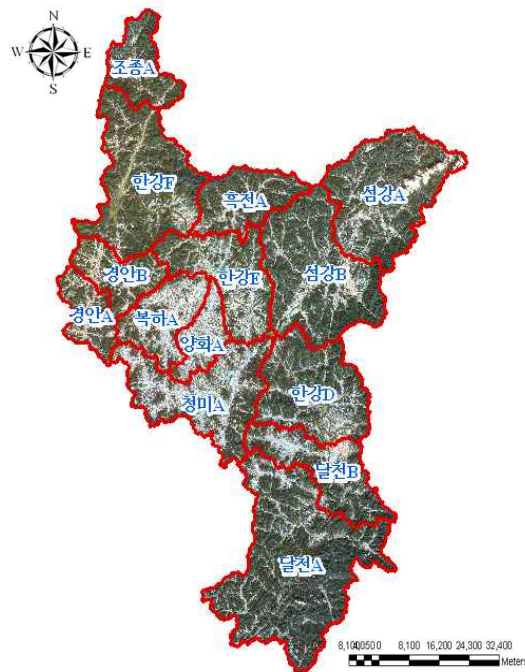
따라서 요인분석은 변수의 감축으로서 변수가 종속변수인지 독립변수인지를 구분하는 것이 아니라 모든 변수들 간의 상호 종속적인 관계를 밝히면 된다. 즉, 원래 변수들 간의 일대일 상관관계의 행렬을 검토함으로써 각 요인이 가장 상관관계가 높은 변수들을 잘 나타낼 수 있는 방법인 것이다. 그러면 각 요인 내에 있는 변수들은 상관관계가 큰 것끼리 모이도록 하는 것이고 다른 요인에 포함된 변수들과는 상관관계가 낮아지는 것이다. 요인분석의 가장 중요한 특성은 원래 변수들이 가지고 있었던 정보 손실을 최소화하면서 상관관계가 높은 원래 변수들을 묶어 대표할 수 있는 새로운 요인을 찾아내는 것이라 할 수 있다.

#### 4. 오염부하량 산정

팔당호 유역의 오염부하량 산정을 위한 유역 구분은 남한강, 북한강 및 경안천 유역의 수질오염총량관리를 위한 단위유역을 기준으로 하였으며, 북한강 청평댐과 남한강 충주조정지댐을 경계로 하였다<그림 1>. 대상 단위유역은 북한강 조종A, 남한강 달천A, 달천B, 청미A, 섬강A, 섬강B, 양화A, 복하A, 한강D, 한강E, 흑천A, 한강F, 경안천 경안A, 경안B의 총 14개 유역이다.

오염원자료는 환경부 '2007년도 전국오염원조사' 결과를 바탕으로 하였으

며, 발생부하량과 배출부하량은 수계오염총량관리 계획수립지침(국립환경과학원, 2006)에 따라 각 오염원 그룹별로 산정하였다. 오염원 그룹은 생활계, 산업계, 축산계, 토지계, 양식계, 매립계의 총 6개로 분류되며 각 오염원 그룹별 점/비점에 대한 발생부하량과 배출부하량을 산정하였다. 배출부하량 산정 결과를 총량관리단위유역 기준으로 정리하고 이를 유달부하식의 입력자료로 하였다.



<그림 1> 연구대상지

### 5. 경험론적 유달부하식

본 연구에서는 유달부하량 산정을 위하여 박지형(2007)이 개발한 경험론적 유달부하식을 적용하였다. 점오염원과 비점오염원의 배출경로와 배출특성이 서로 다르므로 시기별로도 차이를 보이므로 이에 관여하는 인자특성을 각각 규명하여 개발한 경험 유달부하식이다. 본 수식은 자연 현상을 개념화하여 단순화된 수학적 수식으로 표현하는 과정에서 다음과 같은 고려 인자와 이론

및 가정을 포함하고 있다.

- 자정작용의 정도는 오염물질 자체의 생물학적 분해 요인 뿐만아니라 오염물질이 유하하는 시간에 영향을 주는 유하거리, 유역경사, 유역 폭 등 유역형상, 지형적 유출조건의 변화에 따른 유속, 수문조건 등에 따라 달라지므로 이들 인자를 고려하였으며, 점오염원과 비점오염원의 배출경로와 배출특성이 서로 다르고 시기별로도 달라 이에 관여하는 인자 특성도 함께 고려하여 점 및 비점유달부하량을 각각 산정할 수 있도록 하였다.
- 유역경사도와 유량에 따른 유달시간과의 관계를 정의하기 위하여 Chezy의 공식에 의한 평균유속 인자를 이용하여 실제 계산하기 어려운 비시간유달계수  $k$  대신, 적용하기 쉬운 비거리유달계수  $K$ 로 변환 사용하였다.
- 비점오염물질은 분해성이 매우 낮아 유달과정에서 주로 침전에 의해 좌우되며, 물질의 침전에 대한 온도의존성은 낮다. 따라서 비점오염물질의 반응계수  $\alpha_n$ 과  $\beta$ 는 연중 일정한 것으로 가정하였다.
- 비점배출부하량의 유량계수  $b$ 는 같은 오염물질에 대해서 동일한 값을 갖는 것으로 가정하였다.
- 비점배출부하량의 유량승수  $a$ 는 시기에 따라 다를 수 있다. 즉, 일반적으로 동일한 유량이라도 여름철 몬순기 이전 봄철의 오염물질 농도는 몬순기 이후 가을철의 오염물질 농도와 큰 차이를 보이는 현상을 고려하였다.

위와 같은 가정과 인자들을 고려하여 점유달부하량과 비점유달부하량 각각에 대해 식을 개발하고, 분리된 점유달부하량과 비점유달부하량 산정결과를 합산하여 해당유역의 최종 유달부하량을 제시할 수 있다.

$$L = L_p e^{-k'_p I_m} + a L_{nm} \rho^b e^{-(k'_n - \beta) I_m}$$

$L$  : delivery load(kg/day)

$L_p$  : discharged load from point source(kg/day)

$k'_p$  : length-reaction coefficient for point load(km<sup>-1</sup>)

$I_m$  : mean length of watershed(km)

$a$  : flow multiplier to discharged load from nonpoint source(-)

$L_{nm}$  : annual average discharged load from nonpoint source(kg/day)

$\rho$  : hydraulic load of watershed(m<sup>3</sup>/day/ha)

$b$  : flow exponent of discharged load from nonpoint source(-)

$k'_n$  : length-reaction coefficient for nonpoint load(km<sup>-1</sup>)

$\beta$  : length-reaction coefficient for uncertain load(km<sup>-1</sup>)

$$k'_p = \frac{\alpha_p}{\sqrt{q \sin \Theta \cos \Theta}} \quad k'_n = \frac{\alpha_n}{\sqrt{q \sin \Theta \cos \Theta}}$$

$\alpha_p$  : time-reaction coefficient for point load (/day)

$\alpha_n$  : time-reaction coefficient for nonpoint load (/day)

$$q = \frac{Q}{B}, \quad B = \frac{A}{I}, \quad \rho = \frac{Q \cos \Theta}{A} \quad (Q \text{ m}^3/\text{day}, A \text{ ha})$$

$q$  : flowrate to unit watershed width (m<sup>3</sup>/s/km)

$Q$  : flowrate at the terminal of watershed (m<sup>3</sup>/s)

$I$  : horizontal length at contour map (km)

$\Theta$  : mean slope of watershed (-)

$B$  : mean width of watershed (km)

$A$  : watershed area at contour map (km<sup>2</sup>)

## 6. 지형학적 특성인자 추출

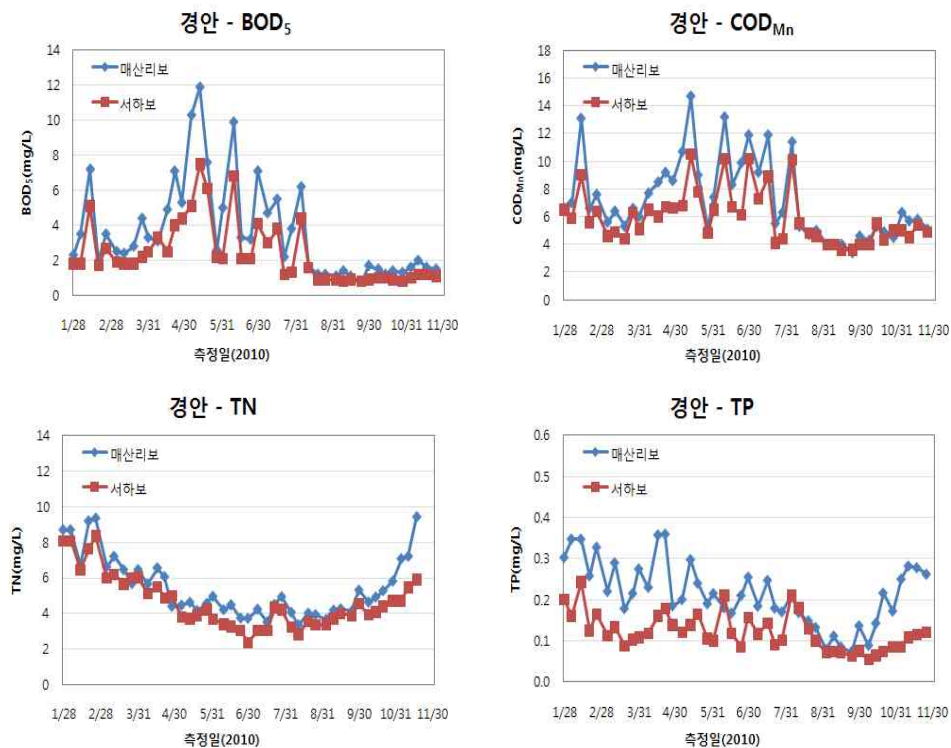
하천특성인자와 유역특성인자로 구성된 지형학적 특성인자의 추출을 위하여 국토지리정보원의 30×30m 크기의 격자로 이루어진 수치고도지형(Digital Elevation Model, DEM)자료를 이용하였다. 지형학적 특성인자 추출을 위한 GIS tool은 ESRI사의 ArcGIS 9.2를 사용하였으며, 전국DEM자료로부터 하천 특성인자와 유역특성인자를 추출하였다. 하천특성인자는 하천망으로부터 하천길이 등의 값을 추출하였고, 유역특성인자는 ArcGIS 9.2의 함수를 이용하여 단위유역 shape file과 DEM으로부터 유역면적, 본류연장, 유역평균폭, 유역평균경사 등의 정보를 추출하였다.

GIS 정보로부터 추출된 인자들은 각 단위유역별 점오염원 및 비점오염원 부하량의 산정과 강우시 및 비강우시의 유달부하량 분석을 통한 정량적 평가를 실시하여 각 유역의 특성을 알아보고자 분석되는 인자들로 사용된다. 또한 어느 유역의 수질오염이 가장 높은지를 비교·평가 하여 합리적으로 판단할 수 있어 GIS의 연계분석이 필수적이라 할 수 있으며 합리적인 수질 관리를 위해서 유역의 특성인자는 점오염원과 비점오염원부하량 산정에 중요한 인자라 할 수 있다.

## Ⅲ. 연구결과 및 고찰

### 1. 수질 현황

경안천 단위유역인 경안A와 경안B의 말단지점인 매산리보와 서하보의 BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Mn</sub>, TN, TP 항목의 자료를 그래프로 나타내었다<그림 2>. 경안천 유역의 2010년도 수질 항목의 경향을 살펴보면 BOD<sub>5</sub>와 COD<sub>Mn</sub>은 측정지점 모두 홍수기 때에 증가하는 경향을 보이다가 홍수기가 지나면서 안정된 수질을 나타내고 있으며, TN과 TP 홍수기에 약간 감소하는 경향을 보이면서 다시 증가하는 추이를 보이고 있다.



<그림 2> 경안천 유역 수질 변동



## 2. 발생 및 배출부하량

2007년도 오염원 자료 기준으로 단위유역별 BOD와 TN 발생부하량은 청미A, 복하A, 섬강B의 순으로 높게 나타났고, TP 발생부하량은 청미A, 복하A, 양화A의 순으로 나타났다<표 1>. 단위면적당 발생부하량을 살펴보기 위하여 발생부하량을 단위유역 면적으로 나누어 발생부하량 밀도를 산정하였다. 그 결과 수질항목 모두 양화A, 복하A, 청미A의 순으로 단위면적당 부하밀도가 높게 나타나 해당 유역내 하천의 수질 오염 노출 가능성이 높은 것으로 사료된다.

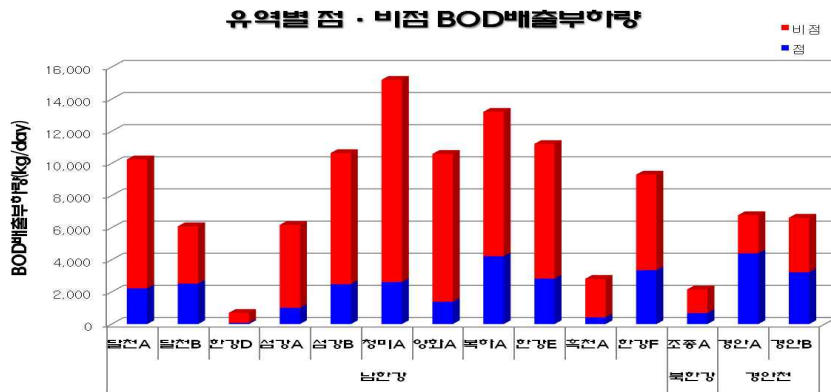
<표 1> 단위유역별 발생부하량 및 발생부하밀도

수계	단위 유역	BOD		T-N		T-P	
		발생부하량 (kg/day)	부하밀도 (kg/km <sup>2</sup> ·day)	발생부하량 (kg/day)	부하밀도 (kg/km <sup>2</sup> ·day)	발생부하량 (kg/day)	부하밀도 (kg/km <sup>2</sup> ·day)
남한강	달천A	44,845	37.0	13,368	11.0	3,105	2.6
	달천B	21,922	54.5	6,040	15.0	992	2.5
	한강D	3,266	5.8	1,076	1.9	272	0.5
	섬강A	34,331	47.9	9,761	13.6	2,533	3.5
	섬강B	60,900	78.8	15,949	20.6	3,774	4.9
	청미A	100,212	168.1	25,715	43.1	9,096	15.3
	양화A	55,640	307.2	14,025	77.4	4,760	26.3
	복하A	81,769	264.2	18,198	58.8	4,853	15.7
	한강E	49,164	108.3	12,739	28.1	3,505	7.7
	흑천A	15,376	49.0	4,287	13.7	1,132	3.6
	한강F	29,176	38.7	7,101	9.4	1,187	1.6
북한강	조종A	8,344	32.1	2,546	9.8	470	1.8
경안천	경안A	32,510	164.1	8,027	40.5	1,592	8.0
	경안B	29,176	117.3	7,101	28.5	1,187	4.8

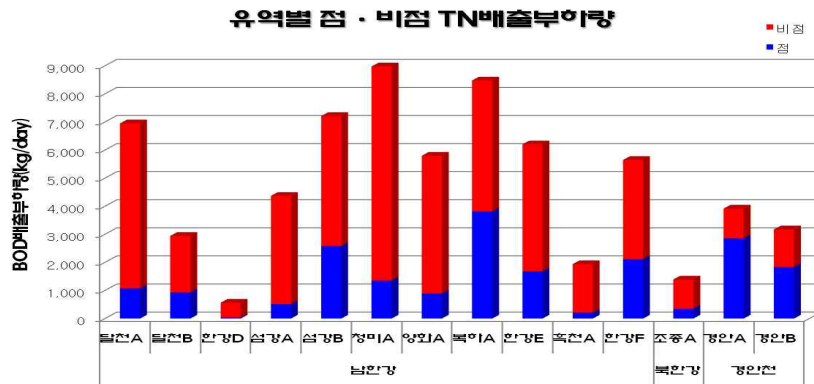
<표 2> 단위유역별 배출부하량

수계	단위 유역	BOD배출부하량 (kg/day)			T-N배출부하량 (kg/day)			T-P배출부하량 (kg/day)		
		점	비점	합계	점	비점	합계	점	비점	합계
남한강	달천A	2,221	8,028	10,248	1,074	5,876	6,949	107	484	591
	달천B	2,520	3,568	6,088	932	2,012	2,944	135	170	305
	한강D	77	624	701	39	525	565	4	44	48
	섬강A	1,018	5,156	6,173	514	3,855	4,369	64	331	395
	섬강B	2,484	8,162	10,646	2,584	4,628	7,212	190	501	691
	청미A	2,619	12,587	15,206	1,353	7,623	8,976	150	851	1,001
	양화A	1,389	9,204	10,593	895	4,904	5,798	98	540	638
	북하A	4,225	8,988	13,213	3,819	4,660	8,479	434	494	928
	한강E	2,828	8,384	11,213	1,683	4,521	6,203	189	455	644
	흑천A	420	2,399	2,819	214	1,725	1,938	24	151	175
북한강	한강F	3,354	5,950	9,304	2,119	3,529	5,648	201	308	509
	북한D	395	2,198	2,594	289	1,257	1,547	31	111	141
경안천	조종A	684	1,474	2,157	346	1,046	1,392	39	84	123
	경안A	4,402	2,377	6,779	2,856	1,061	3,917	289	100	389
	경안B	3,224	3,397	6,621	1,837	1,339	3,176	177	129	307

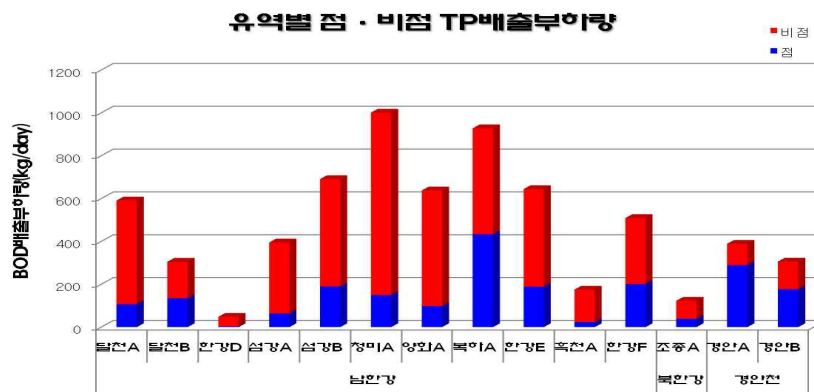
<표 2>, <그림 3~5>에서 보여지는 바와 같이 단위유역별 배출부하량은 BOD, TN, TP 모두 청미A, 북하A, 섬강B의 순으로 높게 나타났으며 이는 모두 남한강수계에 속하는 단위유역으로 북한강내 단위유역보다 4~5배 높은 양을 보이고 있다. 또한 유역내 도시 형성이 급격하게 이루어진 경안천유역은 상대적으로 적은 면적에도 불구하고 높은 배출부하량을 보이고 있다. 최근 팔당호에 대한 수질관리 예산의 투입과 정책에도 불구하고 수질개선 경향이 뚜렷하게 보이지 않는 원인으로 지목되고 있는 비점오염원의 배출부하량은 경안A를 제외한 대부분의 유역에서 3개 항목 모두 점오염원 배출부하량보다 높음을 알 수 있다.



<그림3> 단위유역별 BOD<sub>5</sub> 배출부하량

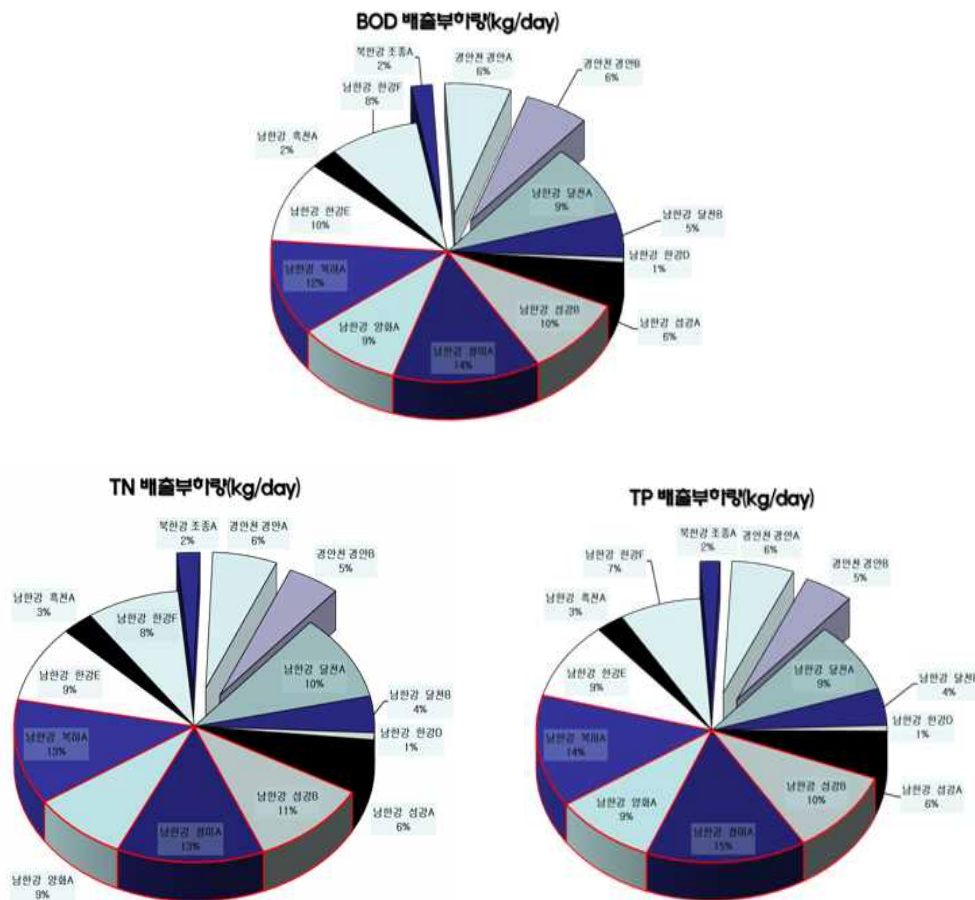


<그림 4> 단위유역별 TN 배출부하량



<그림 5> 단위유역별 TP 배출부하량

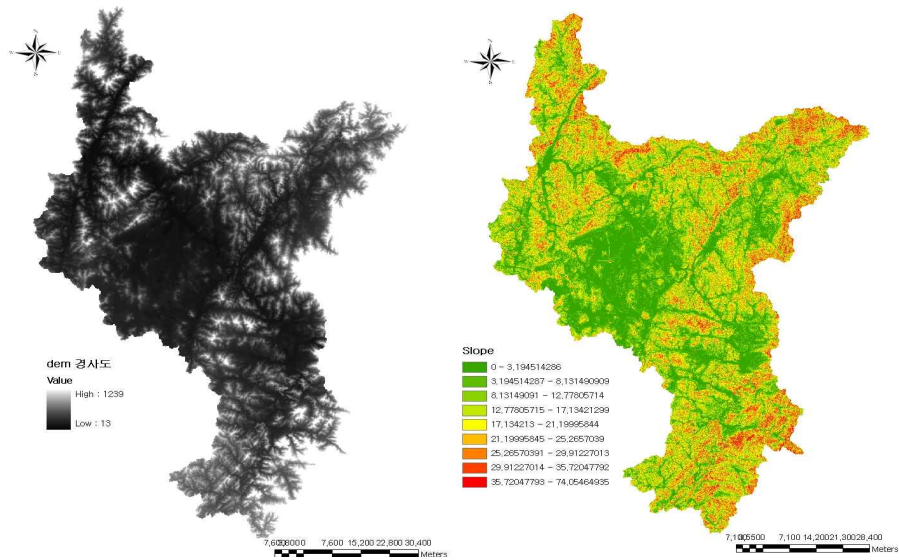
연구사업의 대상유역에 해당하는 14개 단위유역을 대상으로 배출부하량의 기여도를 나타내었다<그림 6>. BOD, TN, TP 배출부하량은 모두 남한강 수계에 속해 있는 청미A, 복하A, 섬강A, 양화A 순으로 기여하는 바가 높게 나타났다. BOD 배출부하량은 청미A 유역이 14%로 가장 높았으며, 그 다음으로 복하A 12%, 섬강B 10%, 양화A 9%순으로 높게 나타났다. TN 배출부하량은 청미A 유역과 복하A 유역이 13%로 가장 높았으며, 섬강B 11%, 양화A 9% 순으로 높게 나타났다. TP 배출부하량은 청미A 유역이 15%로 가장 높았으며, 복하A 유역이 14%, 섬강B 유역이 10%, 양화A 유역이 9% 순으로 높게 나타났다.



<그림 6> 수질 항목별 배출부하량

### 3. 유역특성인자 추출

전국 DEM자료를 이용하여 14개 단위유역에 대한 경사도를 추출한 결과를 <그림 7>에 제시하였다. 전체 단위유역의 평균 경사도는 11.9°이고 양화A 유역이 2.8°로 가장 완만한 경사를 보였으며 산지가 많은 북한강유역의 조종A 유역은 17.7°로 가장 급한 경사를 나타내었다<표 3>. 한편 전체 단위유역 면적의 합은 6,988km<sup>2</sup>이며 달천A유역이 1,211km<sup>2</sup>로 가장 넓은 면적을 보였고, 하천연장의 총합은 808km이며 달천B유역내 하천이 123.4km으로 가장 긴 반면 경안A유역은 27.7km로 가장 짧은 하천 연장을 갖는 것으로 나타났다. 경안A 유역은 다른 유역보다 상대적으로 높은 배출부하량과 짧은 하천연장을 갖고 있어 유역 말단지점에서의 유달부하량도 높은 값을 보였다.



<그림 7> 경사도 추출

<표 3> 단위유역의 지형특성인자

수계	단위유역명	면적(km <sup>2</sup> )	경사도(°)	하천연장(km)
남한강	달천A	1211.7	15.68	108.2
	달천B	401.9	12.93	123.4
	한강D	567.8	12.38	47.9
	섬강A	717.3	15.87	52.7
	섬강B	773.1	14.15	91.4
	청미A	596.3	7.30	60.1
	양화A	181.1	2.83	28.0
	북하A	309.5	5.84	37.8
	한강E	454.0	8.17	38.0
	흑천A	313.8	15.26	46.8
	한강F	754.9	15.29	68.8
북한강	조종A	260.2	17.65	40.9
경안천	경안A	198.1	10.92	27.7
	경안B	248.8	12.87	36.3

#### 4. 요인분석

조사연구사업의 단위유역별 부하량의 특성을 알아보기 위하여 주성분분석을 실시하였다. 달천유역과 섬강유역, 경안천 단위유역은 A,B로 나뉘어져 있는 유역을 하나의 유역으로 분석하였다. 각 유역별 요인인자는 생활계, 토지계, 축산계 분야의 부하량이 주요인으로 분석되었으며 산업계 분야의 부하량은 각 유역에 미치는 영향력이 다소 적은 것으로 분석되었다. 각각의 단위유역별로 주성분 분석결과를 살펴보면 달천 및 한강E, 조종A 유역에서는 생활계 부하량, 섬강유역 및 청미천, 북하천, 흑천유역에서는 축산계 부하량, 한강D, 한강F 및 양화천 유역은 토지계 및 생활계 부하량, 경안천 유역은 생활계, TN항목과 생활계 부하량이 제 1요인으로 분석되어 단위유역별에서의 주요한 특성으로 나타났다<표 4>.

<표 4> 단위유역별 오염원 인자

수계	단위 유역명	성분		
		제1요인	제2요인	제3요인
남한강	달 천	생활계(발생)	축산계(발생)	토지계(발생)
	한강D	토지계(비점), 생활계(점)	축산계(비점, 발생)	생활계(발생)
	섬 강	축산계(비점, 발생)	생활계(발생)	토지계(비점)
	칭미A	축산계(비점, 발생)	토지계(비점, 발생)	생활계(발생)
	양화A	토지계(비점, 발생), 생활계(점)	축산계(비점, 발생)	생활계(발생)
	북하A	축산계(비점, 발생)	토지계(비점), 생활계(점)	생활계(발생)
	한강E	생활계(점, 발생)	축산계(발생)	토지계(비점)
	흑천A	축산계(비점, 발생)	생활계(점, 발생)	토지계(비점, 발생)
	한강F	생활계(점), 토지계(비점)	생활계(발생)	축산계(비점)
북한강	조종A	생활계(발생, 점)	축산계(비점, 발생)	토지계(비점, 발생)
경안천	경 안	생활계	토지계(비점, 발생)	산업계(점)

단위유역별 발생 및 배출부하량의 주성분분석 결과를 보면 경안천 유역의 경우 생활계의 발생 및 점·비점 배출부하량이 제 1성분으로 분석되어 생활계 오염원의 개선이 우선적으로 필요하다고 판단된다. 제 2성분으로 산업계 점 오염원 배출부하량 및 발생부하량으로 나타났고, 제 3성분으로 토지계 비점 오염원 배출부하량과 발생부하량 순으로 나타났다.

달천 유역의 요인분석(주성분분석)한 결과 생활계 발생부하량 오염원이 제 1성분으로 분석되었으며, 제 2성분으로는 축산계 발생부하량, 제 3성분으로는 토지계 발생부하량 순으로 분석되어 달천유역에서도 주된 요인이 생활계로 분석된 경안천과 비슷한 결과를 나타내었다. 달천 유역의 주된 성분으로 나타난 발생부하량의 오염원이 배출부하량 오염원 보다 주요 오염원 이라고 판단된다.

북하A 유역의 요인분석(주성분분석)한 결과 축산계 발생 부하량 및 비점 오염원 부하량이 제 1성분으로 분석되었다. 제 2성분은 토지계 비점 오염원 배출 부하량, 제 3성분은 생활계 점 오염원 배출부하량으로 분석되었다. 이는 비점 오염원

의 영향을 받는 것으로 판단된다.

섬강 유역의 요인분석(주성분분석)한 결과 축산계 비점 오염원 배출부하량 및 발생 부하량의 오염원이 제 1성분으로 분석되었으며, 생활계 발생부하량이 제 2성분, 토지계 비점 오염원 배출부하량이 제 3성분으로 분석되었다.

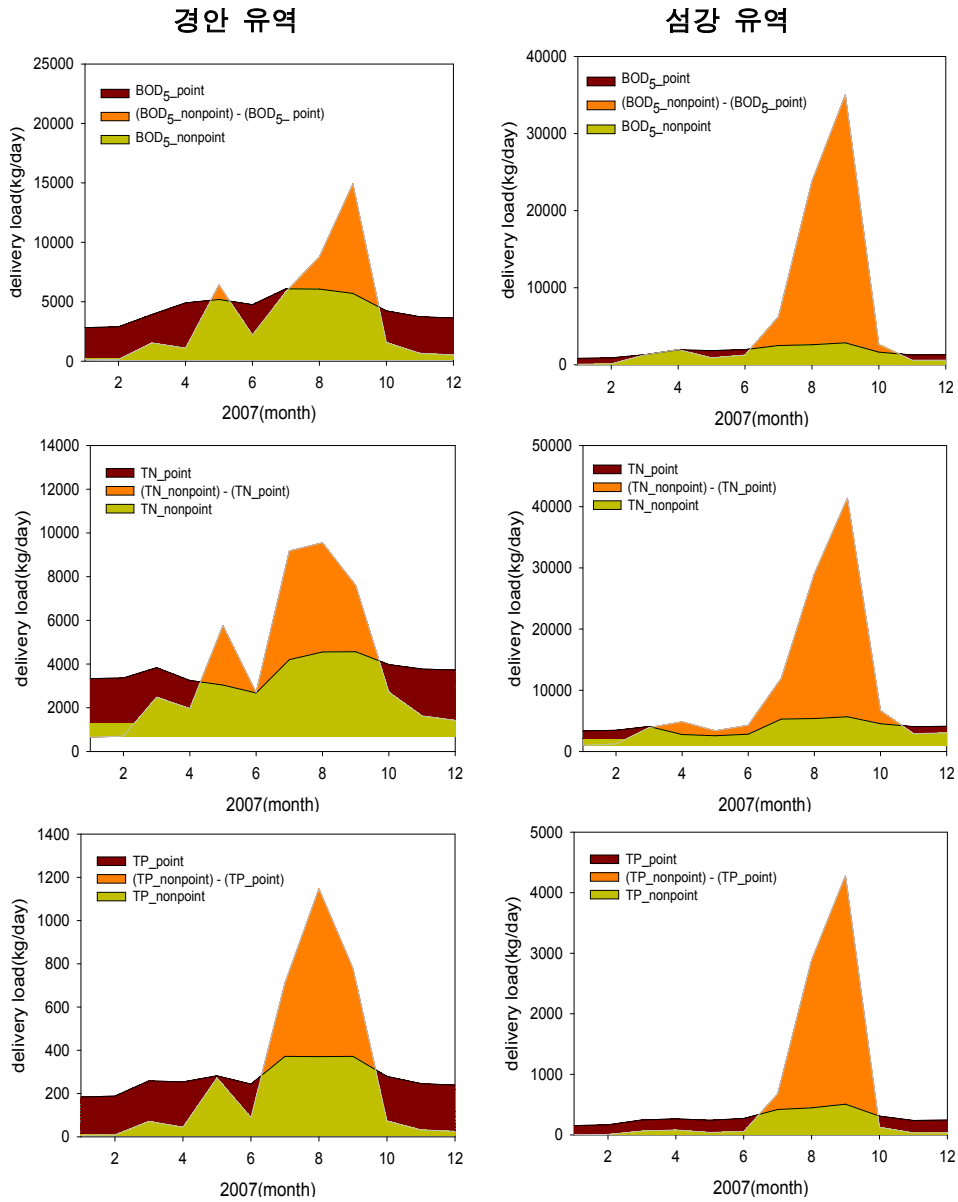
청미A 유역의 요인분석(주성분분석)한 결과 축산계 발생부하량 및 비점 오염원 배출부하량이 제 1성분으로 분석되었으며, 제 2성분은 토지계 발생부하량 및 비점 오염원 배출부하량으로 분석되었고, 제 3성분으로는 생활계 발생부하량 및 점 오염원 배출부하량으로 나타났다.

## 5. 유달부하량 산정 및 평가

유달관계식을 이용하여 단위유역별 유달부하량을 산정하고, 특히 점유달부하량과 비점유달부하량 각각의 비율을 분석하여 단위유역별 유달부하 특성을 규명하였다. 그 결과 점오염유달부하량은 연중 비교적 일정한 값을 보이고 있으나, 비점오염유달부하량은 강우에 의한 유황변화의 영향을 크게 받아 홍수기에 집중 배출되는 것으로 나타났다. 다른 유역보다 상대적으로 규모가 큰 하수처리장이 많은 경안천 유역(경안A 및 경안B)은 5월 및 7~9월을 제외한 기간 동안 BOD의 점오염유달부하량이 전체 유달부하량의 71.8~95.6% 범위를 차지하며 더 많은 비율을 보이고 있다<그림 8>. 특히 저·갈수기인 1~2월에 약 95%의 점유율을 보이며 상대적인 양이 많아 해당 시기의 수질악화 원인은 점오염원임을 알 수 있다. 그러나 홍수기인 7~9월에는 비점오염유달부하량이 전체 유달부하량의 50.5~72.3%를 차지하는 것으로 나타났다. 강우에 의한 유량 증가로 비점오염유달부하량이 증가하는 경향은 TN과 TP에서도 유사하게 나타났으나, TN은 BOD와 TP보다 연중 비점오염원의 비율이 높게 나타났다. TN의 비점오염유달부하는 7~9월의 홍수기에는 전체 유달부하량의 62.5~68.6%를 차지하였고, 1~2월에는 16.4%~17.3% 11~12월에는 30.2~27.7%의



비율을 보이며 해당시기에 10% 미만의 비점오염유달부하를 보이는 TP보다 높은 비율을 나타냈다.



<그림 8> 경안(경안A+경안B) 및 섬강(섬강A+섬강B) 유역의 연간 유달부하량

섬강 유역(섬강A 및 섬강B) BOD의 점유달부하량은 1월과 2월의 갈수기에 는 전체 유달부하량의 88.1~92.2%에 해당하는 높은 점유율을 보인다. 반면 홍수 기인 7~9월에는 비점유달부하량이 전체 유달부하량의 71.3~92.5%의 비율을 보 이며 강우에 의해 많은 비점오염물질이 하천으로 유입됨을 알 수 있다. 이러한 비율은 도시화가 많이 진행된 경안천 유역보다 비점오염의 영향을 더 크게 받 기 때문인 것으로 사료된다.

강우에 의한 유량 증가로 섬강 유역의 비점오염유달부하량이 증가하는 경향 은 TN과 TP에서도 유사하게 나타났으나, 경안천 유역과 유사하게 TN은 BOD 와 TP보다 연중 비점오염의 비율이 크게 나타났다. TN의 비점오염유달부하는 7~9월의 홍수기에 전체 유달부하량의 69.3~87.9%를 차지하였고, 1~2월에는 23.0~26.3%의 비율을 11~12월에는 41.9~42.5%의 비율을 보이며 해당시기에 10%전후의 비점오염유달부하를 보이는 BOD와 TP보다 상대적으로 높은 비율을 나타냈다.

따라서 섬강 유역의 TN농도는 연중 비점오염원에 의한 영향을 받고 있으 며, 이와 같은 TN의 비율은 BOD와 동일하게 경안천 유역보다 섬강 유역에서 비점오염의 상대적 비율이 높다. 섬강의 유달 특성 분석 결과 하천에 대한 점 오염원의 영향은 연중 일정하고 비점오염원의 영향은 강우시 단기간에 집중적인 영향을 끼치는 것으로 밝혀졌다.

홍수기 집중강우 발생시 한강수계 상류댐으로부터 유입량과 팔당댐의 방류량 은 급격하게 그 양이 증가한다. 댐을 통한 인위적 방류로 하천내 오염물질과 팔 당호 내 퇴적된 유기물질은 팔당상수원 하류로 급격하게 쓸려내려간다. 따라서 이 시기에 순간적으로 유입되는 많은 양의 비점오염물질이 팔당호 수질에 장 기적 영향을 미칠 것인가, 영향이 있다면 그 정도는 얼마만큼인가 등은 향후 수리 및 수질모델링을 통해 규명할 것이다.

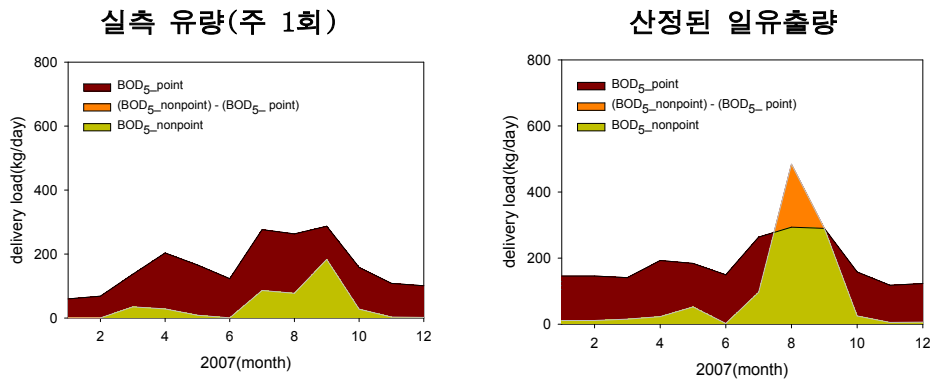
본 연구에서 유달부하량 산정을 위하여 주 1회 간격으로 측정된 유량자료를 입력한 결과, 일부 유역에서 강우에 의한 비점유출 특성을 반영하지 못하는 왜곡

된 경향이 나타났다.

<그림 9>은 2007년 주1회 측정된 실측유량을 입력값으로 한 경우와 일유출량을 사용한 경우의 흑천A 유역에 대한 점유달부하량 산정 결과이다. 현장에서 직접 실측한 유량과 수질로부터 유달부하량을 산정하는 방법은 정확도가 높지만, 특정 시간의 현상을 반영하는 단속성 자료이므로 많은 변동성을 내포하고 있다.

한편 약 8일 간격의 실측유량과 수위자료를 통해 수위-유량관계곡선식을 개발하여 연간 일유출량을 산정한 후 유달부하식에 입력한 경우 일반적인 비점부하량의 유출 특성을 반영함을 알 수 있다. 따라서 향후 연구기간동안 보다 정확한 점 및 비점유달부하량 결과를 위하여 일유출량 산정에 대한 추가 연구가 요구된다.

일유출량 산정을 위하여 수위-유량관계곡선식 개발하거나 SWAT등의 모형을 적용하여 장기간의 신뢰성 있는 일유량자료를 확보할 계획이다.

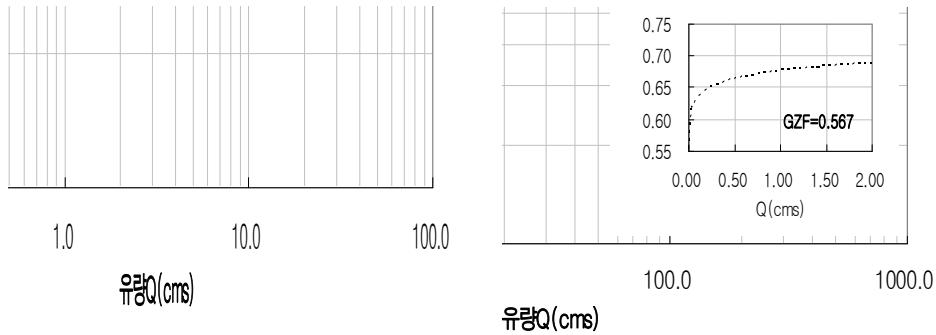


<그림 9> 유량 입력값 변화에 따른 연간 유달부하량 차이(흑천 A)

## 6. 일 유량 산정(곡선식 개발)

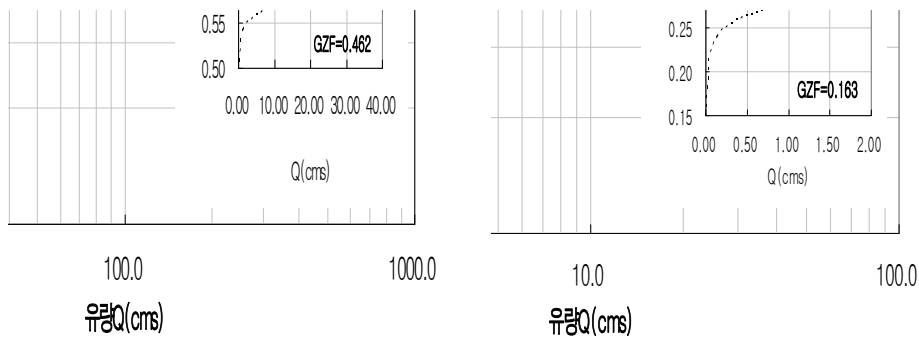
단위유역별로 유달 부하량을 산정하기 위해서는 실측한 자료를 바탕으로 일 유량을 산정해야 보다 정확하고 정밀한 점 및 비점 오염원을 구할 수 있다. 그

러나 현재 8일 간격으로 유량측정을 하여 일 유량을 산출해 내기가 어려운 실정이다. 그러기 위해서는 수위-유량 관계곡선식 개발이나 모델 등을 통하여 일 유량을 산정해야 한다. 금년도 연구수행 과제에서는 2007년도 실측 유량자료를 통하여 수위-유량관계곡선식을 단위 유역별로 표현하였다<그림 10 ~ 15>.



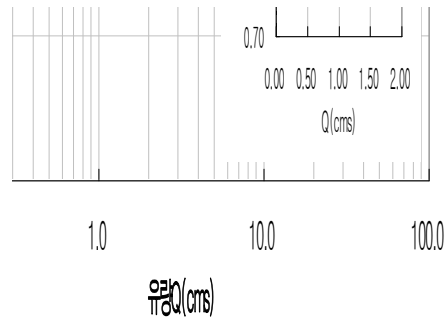
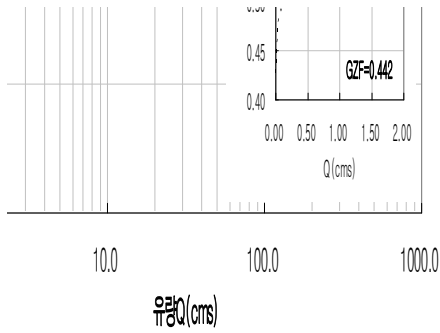
- |   |  |
|---|--|
| <p>조종A 수위-유량관계곡선식</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 전수위 : 유량=66.636×(수위-0.146) ^ 1.7907</li> </ul> | <p>달천A 수위-유량관계곡선식</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 저수위: 유량= 40.645×(수위-0.567) ^ 1.2212</li> <li>• 고수위: 유량= 126.37×(수위-0.789) ^ 1.2736</li> </ul> |
|---|--|

<그림 10> 조종A 유역과 달천A 유역의 수위-유량관계곡선식



- |  |  |
|--|--|
| <p>한강D 수위-유량관계곡선식</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 전수위: 유량=370.88×(수위-0.462) ^ 1.0357</li> </ul> | <p>섬강A 수위-유량관계곡선식</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 저수위: 유량=19.745×(수위-0.163) ^ 1.3037</li> <li>• 고수위: 유량=65.276×(수위-0.483) ^ 1.1088</li> </ul> |
|--|--|

<그림 11> 한강D 유역과 섬강A 유역의 수위-유량관계곡선식



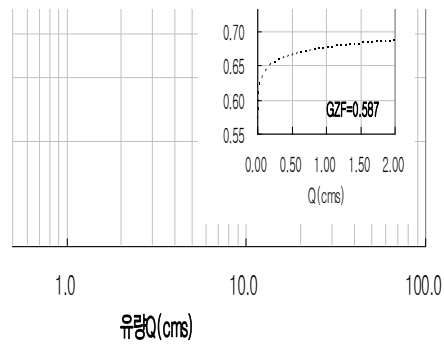
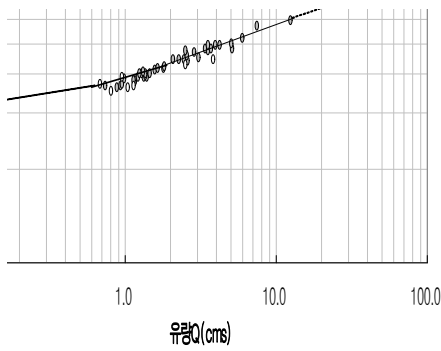
섬강B 수위-유량관계곡선식

- 저수위: 유량=89.308×(수위-0.442)<sup>1.4479</sup>
- 고수위: 유량=114.20×(수위-0.669)<sup>0.6877</sup>

청미A 수위-유량관계곡선식

- 저수위: 유량=14.870×(수위-0.711)<sup>0.8207</sup>
- 고수위: 유량=50.271×(수위-0.840)<sup>0.9122</sup>

<그림 12> 섬강B 유역과 청미A 유역의 수위-유량관계곡선식



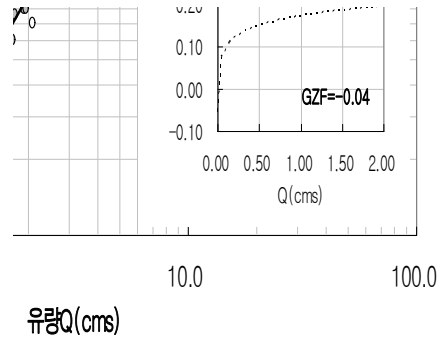
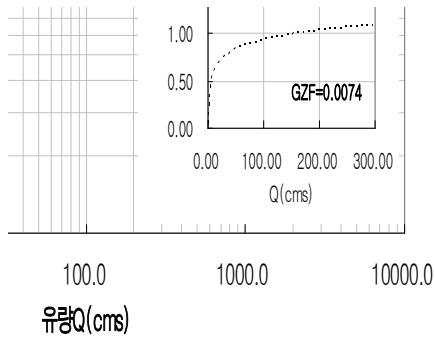
양화A 수위-유량관계곡선식

- 저수위: 유량=10.276×(수위-0.323)<sup>0.7756</sup>
- 고수위: 유량=58.093×(수위-0.381)<sup>1.1729</sup>

복하A 수위-유량관계곡선식

- 저수위: 유량=14.000×(수위-0.587)<sup>1.0187</sup>
- 고수위: 유량=35.562×(수위-0.825)<sup>1.0314</sup>

<그림 13> 양화A 유역과 복하A 유역의 수위-유량관계곡선식



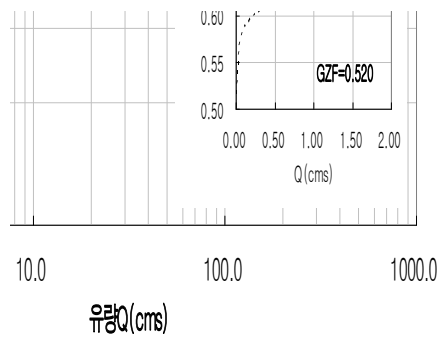
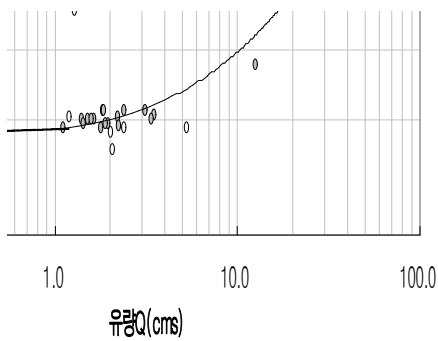
한강E 수위-유량관계곡선식

• 전수위: 유량 =  $490.39 \times (\text{수위} - 0.0074)^{1.0819}$

흑천A 수위-유량관계곡선식

• 저수위: 유량 =  $11.510 \times (h - (-0.04))^{0.8761}$   
 • 고수위: 유량 =  $33.008 \times (h - 0.075)^{0.8315}$

<그림 14> 한강E 유역과 흑천A 유역의 수위-유량관계곡선식



경안A 수위-유량관계곡선식

• 전수위(보개방): 유량 =  $7.976 \times (\text{수위} - 0.172)^{1.0155}$   
 • 전수위(보닫힘): 유량 =  $11.705 \times (h - 0.338)^{1.2417}$

경안B 수위-유량관계곡선식

• 저수위: 유량 =  $62.66 \times (\text{수위} - 0.520)^{1.7591}$   
 • 고수위: 유량 =  $105.47 \times (\text{수위} - 0.726)^{0.9611}$

<그림 15> 경안A 유역과 경안B 유역의 수위-유량관계곡선식

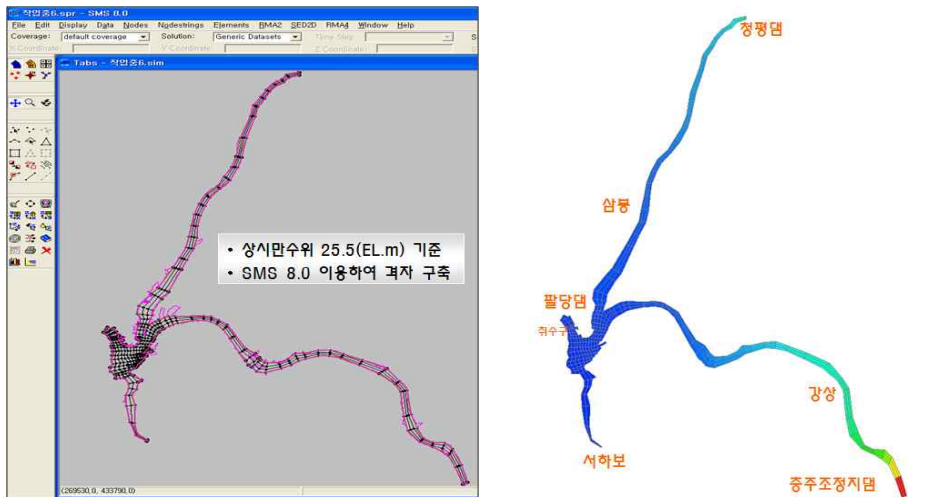
### 7. 3차원 수리·수질모델 구축

점오염유달부하량과 비점오염유달부하량의 변화에 따른 팔당댐 취수원 지점

의 수질변화 경향을 해석하기 위하여 본 연구에서는 3차원 수리·수질모델인 EFDC(Environmental Fluid Dynamics Code) 모델을 사용하고자 한다. 공동수 등(2008)은 팔당호의 다차원적 물질거동을 해석하고자 EFDC 모델을 사용하여 팔당호에 대한 적용성을 평가한 바 있다.

따라서 수질모델링을 통하여 점 및 비점오염부하량을 각각 감소시킨 경우 팔당댐 앞 지점에서 수질의 변화 경향을 규명하고자 한다. 모델을 이용한 모의구간은 남한강 충주조정지댐, 북한강 청평댐, 경안천의 서하보를 경계지점으로 하였다(그림 16).

모델 격자 구축은 한국 수력원자력(주)에서 수행한 팔당호 수위고도 조사결과(2007)에 대한 CAD 자료를 기반으로 하였다. 팔당호의 상시 만수위인 EL. 25.5m를 기준으로 SMS 8.0 tool을 이용하여, 수체 경계 레이어와 고도 자료를 추출하여 격자를 구축하였다.



<그림 16> 고도자료 추출 및 격자 구축

팔당호에는 남한강, 북한강, 경안천이 유입되고 있으며 유량 변화가 크기 때문에, 유량을 연속적으로 측정하여 유입량을 산정하는 것은 현실적으로 어려

운 일이다. 또한 수위관측소의 수위-유량 관계식 역시 불확실성을 크게 내포하고 있기 때문에, 동 관계식으로부터 유입량을 산정하여 물수지를 해석하는 경우 시기에 따라 큰 오차를 보이게 된다. 반면, 팔당호의 유출량(발전방류량+수문방류량+취수량)은 가장 신뢰할 수 있는 수문량으로 볼 수 있으므로, 호의 저류량 변동을 고려한 아래의 물수지를 통해 유입량을 산정할 수 있다. 이와 같은 이론적 배경을 바탕으로 2007년의 수위 자료와 실측 유량 및 수질 자료를 이용하여 입력자료 구축을 완료하였다.

$$\frac{\Delta V}{\Delta T} = I - O, \quad I = \frac{\Delta V}{\Delta T} + O$$

$V$ : 저류량,  $T$ : 시간,  $I$ : 유입량,  $O$ : 유출량

향후 연구기간동안 모델의 보정 및 검증을 통해 본 연구를 위한 적용성을 평가하고, 다양한 시나리오별 분석을 통해 과학적인 수질관리 방안의 제시를 목표로 하고 있다.



## IV. 결 론

1. 경안천의 수질을 현장조사 실시하여 분석한 결과 유기물의 경우 계절적으로 8월 중순 이후부터 초겨울 11월까지 양호한 상태를 보였고, 영양염류의 경우는 가을철인 10월부터 증가 추세를 보였다
2. 단위면적당 발생부하량을 살펴보기 위하여 발생부하량을 단위유역 면적으로 나누어 발생부하량 밀도를 산정한 결과 수질항목 모두 양화A, 복하A, 청미A의 순으로 단위면적당 부하밀도가 높게 나타나 해당 유역내 하천의 수질오염 노출 가능성이 높은 것으로 판단된다
3. BOD 배출부하량은 청미A 유역이 14%로 오염원 기여도가 가장 높았고, TN 배출부하량은 청미A 유역과 복하A 유역이 13%로 가장 높았으며, TP 배출부하량은 청미A 유역이 15%로 가장 높았다. 이는 단위유역에 대한 수질 관리 대책 수립시 우선순위 결정에 있어 활용될 것으로 판단된다
4. 청미A 유역과 복하A 유역을 요인분석(주성분 분석)한 결과 청미A 유역과 복하A 유역의 경우 제1성분이 축산계, 제2성분이 토지계, 제3성분이 생활계 오염원으로 분석되어 이들 유역에서는 발생 및 배출부하량 오염원 형태가 동일한 것으로 나타났다
5. 점·비점오염원의 유달부하량을 보다 더 정확하고 정밀하게 산정하기 위해 단위 유역별로 수위-유량관계곡선식과 SWAT 모델을 이용하여 합리적으로 일유량 산정을 보완할 수 있을 것으로 사려된다
6. 또한 EFDC모델을 보정 및 검증, 시나리오 분석을 통하여 유역의 특이성 및 강우시와 비강우시의 차이점을 분석하고 팔당상수원의 점오염 및 비점오염 부하량의 영향도를 비교평가 할 수 있을 것으로 기대한다

## 참고문헌

- 이형진 등, 2007. 남한강수계 저수기 수질변동 특성에 관한 연구, 한국물환경학회지 제23권 제6호, pp 889-896
- 공동수 등. 2008. 팔당호의 다차원적 물질거동 해석(II). 국립환경과학원.
- 공동수 등. 2006. 남한강수계 오염물질 유출 및 수질변동 특성에 관한 연구 (II). 국립환경 과학원
- 김철겸, 김남원. 2009 환경부 8일 간격 유량·수질 관측자료 분포형 모형을 이용한 연속 오염부하곡선의 유도, 한국물환경학회지, 25(1), pp. 125~135
- 박근애, 권형중, 김성준, 2006. 수자원단위지도를 기반으로 한 북한강 유역의 지형학적 특성 분석, 대한토목학회논문집, 26(3B), pp. 241~251
- 박지형. 2007. 유역형상과 수리 특성을 고려한 경험론적 유달부하 산정, 박사학위논문. 경북대학교 대학원.
- 배명순. 2003. 지형정보학을 이용한 오염부하 유달계수 산정, 박사학위 논문. 충북대학교 대학원.
- 엄명철. 2004. 하구담수호 유역의 시공간적 오염물질 배출구조 해석, 박사학위논문. 서울대학교 대학원
- 이재안 등. 2009. 상류유역 강우유출수가 대청호 호수 만입부 수질에 미치는 영향분석(I). 국립환경과학원
- 양병화. 1998. 다변량 자료 분석의 이해와 활용. 학지사.
- 하성룡 등. 2003. 수질모델링을 위한 수리·수문 인자분석. 한강수계관리위원회.
- K.J Lim, B.A. Engela, Z. Tanga, S. Muthukrishnanb, J. Choic, K. Kim, 2006. Effects of calibration on L-THIA GIS runoff and pollutant estimation, Journal of Environmental Management, 78, pp. 35~43