

발간등록번호
11-1480523-001233-01

NEIR-RP2012-222

## 세분류 토지피복자료의 총량제 이행평가 적용방안 연구

물환경연구부 수질총량연구과

박배경, 박재홍, 박지형, 김홍태, 김보배, 김현정, 손지영, 이미선, 김동일,  
황하선, 이재관

### Application of Land-cover Map in the Performance Assessment for TMDL Management System

Baekyung Park, Jaehong Park, Jihyung Park, Hongtae Kim, Bobae Kim,  
Hyunjung Kim, Jiyoung Son, Misun Lee, Dongil Kim, Hasun Hwang,  
Jaekwan Lee

Water Pollution Load Management Research Division  
Water Environment Research Department

2012



---

# 목 차

---

목차 .....	i
표목차 .....	ii
그림목차 .....	iii
Abstract .....	iv
<b>I. 서 론 .....</b>	<b>1</b>
1. 연구 필요성 .....	1
2. 연구 목적 .....	1
<b>II. 연구내용 및 방법 .....</b>	<b>2</b>
<b>III. 연구결과 및 고찰 .....</b>	<b>3</b>
1. 3대강수계 연도별 토지지목 변화 및 부하량 영향 분석 .....	3
2. 환경부 토지피복지도 구축 현황 분석 .....	4
3. 연구 대상지역 선정 .....	6
4. 공부상지목과 세분류 토지피복지도 특성 비교 결과 .....	7
5. 세분류 토지피복지도의 유역(수질) 평가·예측 모델 적용 .....	15
6. 토지이용자료별 배출부하량 적용에 따른 실제수체 변화 추이 분석 ..	24
<b>IV. 결 론 .....</b>	<b>25</b>
<b>참고문헌 .....</b>	<b>30</b>

## 표 목 차

<표 1> 3대강수계 제1단계 수질총량제 기간동안의 토지지목별 면적 및 발생부하량 변화 결과 .....	4
<표 2> 3개 단위유역별 면적 비교 결과 .....	11
<표 3> 3개 단위유역별 발생/배출부하량(오염원별) 비교 결과 .....	14
<표 4> 목적함수 평가기준 .....	17
<표 5> 청원군(미호B 유역) 연도별 수질변화 추이 .....	26
<표 6> 청원군(미호B 유역) 연도별 토지지목별 면적변화 추이 .....	26
<표 7> 청원군(미호B 유역) 연도별 배출부하량 변화 추이 .....	27
<표 8> 3개 단위유역 할당부하량 현황 및 토지이용별 감소 부하량 .....	28

## 그 립 목 차

<그림 1> 환경부 토지피복지도 구축 체계도 .....	5
<그림 2> 환경부 세분류 토지피복지도 구축 현황 .....	5
<그림 3> 공부상지적도와 토지피복지도에 따른 비교결과(낙본E) .....	6
<그림 4> 공부상지적도와 토지피복지도에 따른 비교결과(위천B) .....	7
<그림 5> 공부상지적도와 토지피복지도에 따른 비교결과(감천A) .....	7
<그림 6> 세분류 토지피복지도 구축사례(학교용지) .....	8
<그림 7> 공부상지목에 의한 5개 지목 분류결과 예시 .....	9
<그림 8> 세분류 토지피복지도에 의한 5개 지목 분류결과 예시 .....	10
<그림 9> 공부상지목과 토지피복지도 면적 차이 원인 예시(학교용지) .....	12
<그림 10> 공부상지목과 토지피복지도 면적 차이 원인 예시(전, 답) .....	13
<그림 11> 3개 단위유역별 발생/배출부하량(점/비점) 비교 결과 .....	15
<그림 12> 낙본E 단위유역 입력자료 구축 .....	16
<그림 13> 낙본E 단위유역 보정결과 .....	17
<그림 14> 낙본E 단위유역 모의결과 적합도 판정결과 .....	18
<그림 15> 위천B 단위유역 입력자료 구축 .....	19
<그림 16> 위천B 단위유역 보정결과 .....	20
<그림 17> 위천B 단위유역 모의결과 적합도 판정결과 .....	21
<그림 18> 감천A 단위유역 입력자료 구축 .....	22
<그림 19> 감천A 단위유역 보정결과 .....	23
<그림 20> 감천A 단위유역 모의결과 적합도 판정결과 .....	24

Abstract□

## Abstract

The current TMDL management system has difficulties in calculating discharged pollution load from land source correctly. The discharged pollution load from land source in the current TMDL management is calculated by using land category in cadastral map. However, this method has a limit to representing water quality affect.

Based on these problems, this study analyzed applications of land-cover map as a management from land source to promote technique-based reinforcement in TMDL management system and suggested some ideas to develop the system.

This study showed that; 1) lot area computed from land-cover map was smaller than that from cadastral map and the rest area calculated from land-cover map was larger than that from cadastral map. This result implies that land-cover map precisely reflects green area by using a detail information and 2) discharged pollution load calculated from land-cover map was about 4.6~9.1% smaller than that from cadastral map(discharged pollution load from land source from land-cover map was about 6.4~20.1% smaller than that from cadastral map). This means that land-cover map is necessary for pollution load management in local government.

Ministry of Environment plans to construct land-cover map until after 2013 year although the nation-wide construction is requested for making connection between equity among areas and TMDL management plan as soon as possible.

Current land-cover map's application in TMDL management needs some considerations of supplementation. First, pre-existing land-cover map should be reflected land-use change by consulting and completing development projects every year. Second, the change of land category by a natural increase in pollution sources should be considered natural increase rates predicted by TMDL management's original plan.

# I. 서 론

## 1. 연구 필요성

- 우리나라는 2000년대 초부터 본격적으로 수질오염총량관리제가 시행되었으며 2010년 제1단계가 종료되었고 현재는 2015년까지 제2단계가 시행중에 있다.
- 제1단계 수질오염총량제를 시행하면서 오염총량관리 계획수립의 성공을 좌우하는 가장 기초적인 작업인 오염원 조사에서 특히 조사에 많은 시간과 비용 그리고 정확도가 떨어지는 토지이용현황자료(기존에는 지적공부상 지목자료 활용)의 효율적 구축은 매우 필요한 것이 현실이며, 아울러 영상자료로 추출된 토지이용 현황자료로 오염부하량을 산정하는 방법의 도입 필요성이 매우 큰 것을 알 수 있었다.
- 이는 총량제 이행평가지 토지계 배출부하량 산정에 지자체에서 제출하는 공부상 지목자료를 이용함에 따라 검증 및 실제 활용까지 상당한 시일이 소요되어 이에 대한 보완이 필요함을 의미한다.
- 이에 최근에는 '세분류 토지피복지도 구축 및 갱신사업(환경부 2012)'과 연계하여 매년 제공 예정인 토지피복지도의 총량관리 오염원(토지계)자료로 대체·활용 가능성 검토가 이루어지고 있다.

## 2. 연구 목적

- 이에 본 연구에서는 환경부에서 매년('11년~) 제공되는 토지피복지도를 이용하여 총량제 이행평가지의 토지계 배출부하량 산정방안에 대해 마련하고자 하였다.
- 따라서 실수체에 미치는 영향과 밀접하게 연계되는 토지계 배출부하량 산정을 통해 수질총량제의 과학적 기반을 보강하는데 본 연구의 목적이 있다.

## II. 연구내용 및 방법

- 오염원(토지계) 자료 활용성 평가
  - 공부상 지목과 토지피복지도 토지이용현황 비교
  - 현행 이행평가지 적용되고 있는 공부상 지목면적 자료와 환경부 구축 토지피복자료의 차이점에 대해 분석 및 고찰을 실시하였다.
  - 현재 토지피복지도가 구축되어 있는 낙동강수계에서 시범지역을 선정하여 분석을 실시하였다.
  - 토지피복지도의 토지계 오염원 활용성 평가
  - 대지면적의 차이점 및 대지 및 녹지 혼용지역에 대해 집중 검토하였다.
- 세분류 토지피복지도의 유역(수질) 평가·예측모델 적용
  - 상용유역모형 구축(SWAT 모델)
  - 낙동강수계 대상지역 토지이용도 및 기상자료 등 입력자료 구축
  - 세분류 토지피복지도를 이용한 유출량 평가
  - 기상자료를 통한 하천유량 보정
  - '09년 배출부하량 입력 및 수질농도(BOD, TP) 보정
  - 토지계 배출부하량에 의한 하천 유출량 분석
- 기존 총량 시행지역에서의 시범적용
  - 총량계획 수립지역 시범적용
  - 총량제 이행평가상의 토지계 배출부하량과의 관계분석 및 차이점 원인분석을 위함이다.
  - 기존 총량계획과 연계성 검토 및 기술적 제반여건 분석
  - 토지피복지도 적용에 따른 이행평가상의 장·단점 분석
  - 이행평가상의 토지피복지도 적용을 위한 기술지침 개정사항 분석
  - 안정적 토지피복지도 구축을 위한 제반여건 분석

### Ⅲ. 연구결과 및 고찰

#### 1. 3대강수계 연도별 토지지목 변화 및 부하량 영향 분석

- <표 1>에서와 같이 3대강수계 제1단계 수질총량제 시행결과 총량제 시행전 대비 대지면적(공부상지목 기준)의 증감률이 높은 것으로 나타났다.
  - 이는 개발사업 추진에 따라 대지면적이 증가된 것으로 대지면적에 의한 배출부하량이 지자체 할당부하량에 미치는 영향이 매우 큼을 의미한다.
- 발생부하량 산정결과는 영산강수계를 제외하고 10,000 kg/일의 차이를 보였다.
- 따라서 실제 수체에 미치는 영향을 고려한 총량제 시행을 위해서는 보다 정확하게 현재의 토지상황을 고려할 수 있는 방법의 도입이 필요할 것으로 판단된다.

<표 1> 3대강수계 제1단계 수질총량제 기간동안의 토지지목별 면적 및 발생부하량 변화 결과

구분	지목	연도별 현황									연평균증감률 (%)	발생부하량 (kg/일)	
		2002 (기본계획)	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010		2003 (2004)	2010
금강수계	전	1,156.8	1,144.7	1,141.7	1,137.8	1,131.7	1,119.6	1,111.6	1,112.0	1,109.3	-0.52	1,820.1	1,763.8
	답	2,352.5	2,339.4	2,335.6	2,340.2	2,315.5	2,294.7	2,279.4	2,274.3	2,266.5	-0.46	5,380.6	5,213.0
	임야	7,518.6	7,402.1	7,398.6	7,413.0	7,382.3	7,366.1	7,355.4	7,371.4	7,366.1	-0.26	6,884.0	6,850.5
	대지	861.2	887.3	895.0	908.4	933.8	951.8	988.2	1,010.2	1,022.0	2.16	76,219.1	87,789.8
	기타	1,122.6	1,139.9	1,152.8	1,155.7	1,161.1	1,164.8	1,169.6	1,172.6	1,176.6	0.59	1,094.3	1,129.5
	계	13,011.7	12,913.5	12,923.8	12,955.1	12,924.5	12,897.0	12,904.1	12,940.6	12,940.6	-0.07	91,398.0	102,746.5

III. 연구결과 및 고찰

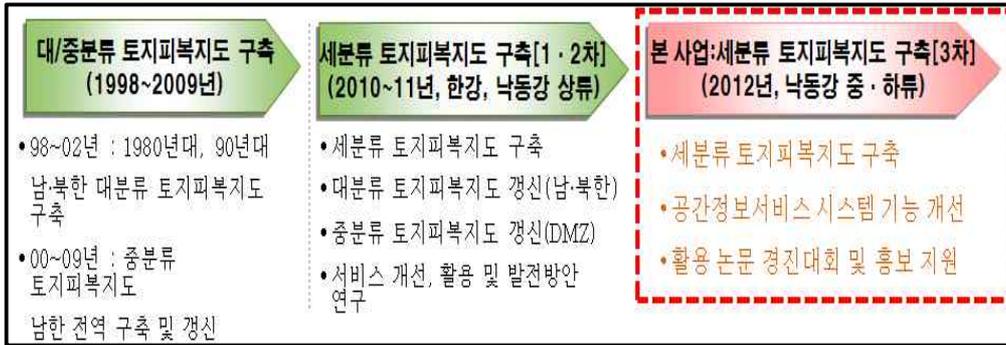
구분	지목	연도별 현황									연평균증감율 (%)	발생부하량 (kg/일)	
		2002 (기본계획)	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010		2003 (2004)	2010
낙동강수계	전	1,760.9	-	1,746.3	1,723.9	1,719.9	1,712.8	1,704.5	1,700.5	1,696.1	-0.48	2,776.6	2,696.8
	답	2,647.5	-	2,552.5	2,597.9	2,581.7	2,566.6	2,547.8	2,535.1	2,520.0	-0.21	5,870.8	5,796.0
	임야	16,537.7	-	15,669.8	16,308.1	16,305.2	16,282.5	16,275.7	16,270.1	16,260.8	0.62	14,572.9	15,122.5
	대지	1,085.0	-	1,102.7	1,142.8	1,170.1	1,188.7	1,226.9	1,246.9	1,274.0	2.44	94,721.9	109,436.6
	기타	1,746.1	-	2,417.1	1,760.0	1,760.9	1,774.5	1,784.3	1,788.3	1,788.5	-4.90	2,320.4	1,717.0
	계	23,777.2	-	23,488.5	23,532.5	23,537.4	23,525.0	23,539.6	23,541.8	23,536.3	0.03	120,262.6	134,768.9
영산·섬진강수계	전	600.6	1,271.1	680.6	638.7	632.8	631.5	630.4	627.0	625.8	0.52	2,021.0	995.0
	답	1,302.7	789.5	1,340.3	1,407.8	1,403.3	1,398.0	1,394.9	1,383.1	1,378.4	0.71	1,815.9	3,170.3
	임야	5,126.0	5,626.0	5,352.2	5,672.1	5,668.2	5,663.0	5,657.1	5,677.0	5,673.6	1.28	5,232.2	5,276.4
	대지	470.0	526.9	514.1	510.8	518.2	526.4	537.7	557.1	564.9	2.33	45,260.7	48,524.9
	기타	642.3	654.2	994.9	677.7	699.9	714.3	720.6	740.7	742.6	1.83	628.0	712.9
	계	8,141.6	8,867.7	8,882.1	8,907.1	8,922.3	8,933.2	8,940.8	8,985.0	8,985.3	1.24	54,957.8	58,679.6

2. 환경부 토지피복지도 구축 현황 분석

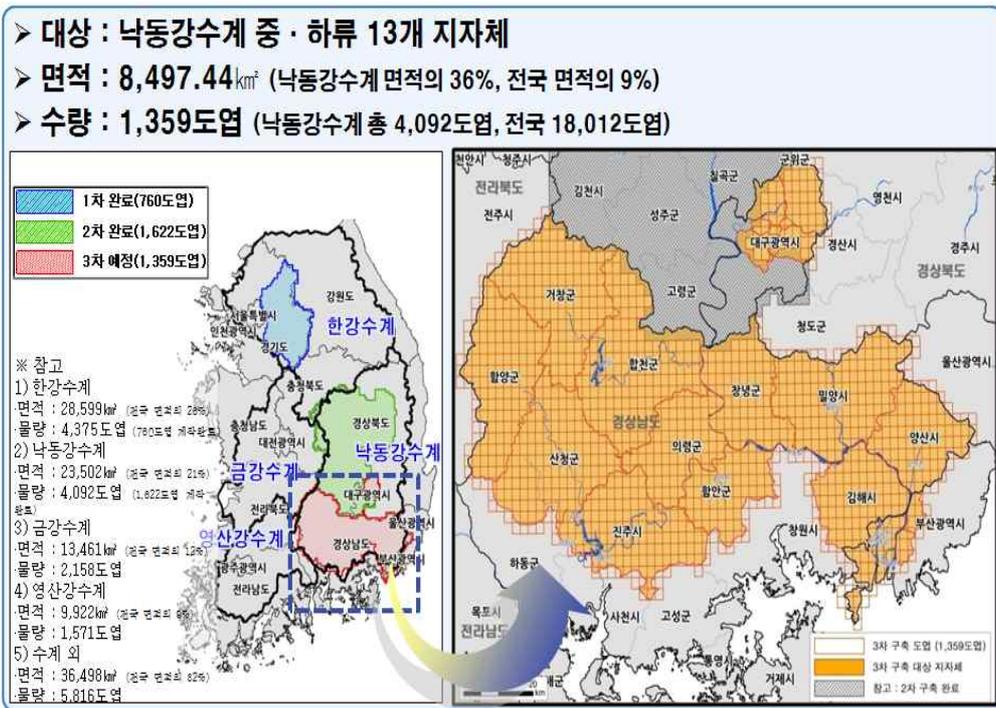
- <그림 1>에서와 같이 환경부는 '98년부터 '09년까지 대/중분류 토지피복지도 구축을 추진중에 있다.
- 또한 <그림 2>에서와 같이 '10년부터는 해상도 개선 및 활용도 향상을 위해 세분류 토지피복지도를 구축하고 있으며 '12년까지는 낙동강수계에 대하여 구축중에 있다.
- 세분류 토지피복지도 구축현황을 보면, '10년~'11년간 한강수계 일부 및

III. 연구결과 및 고찰

낙동강수계 상류지역에 대해 구축 완료 하고 '12년에 낙동강하류, '13년부터 금강 및 영산강에 대해 순차적으로 구축할 예정에 있다.



<그림 1> 환경부 토지피복지도 구축 체계도

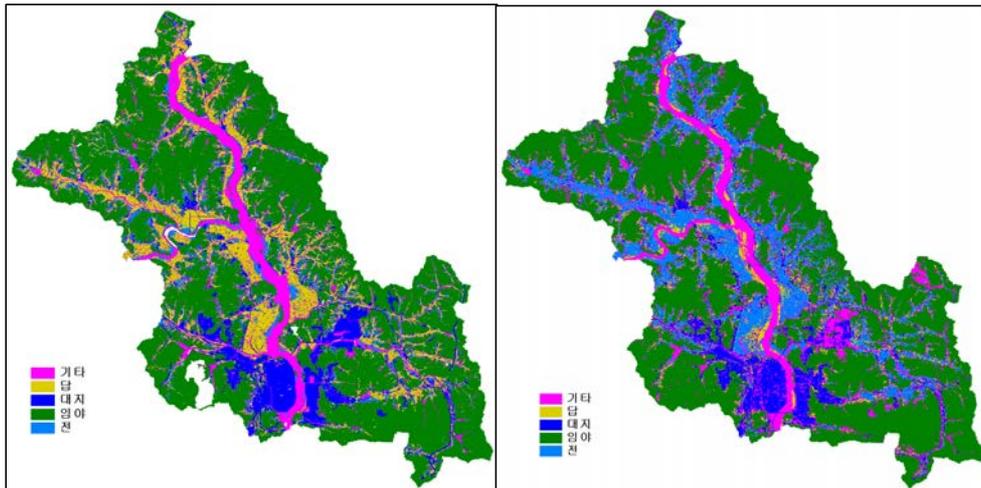


<그림 2> 환경부 세분류 토지피복지도 구축 현황

III. 연구결과 및 고찰

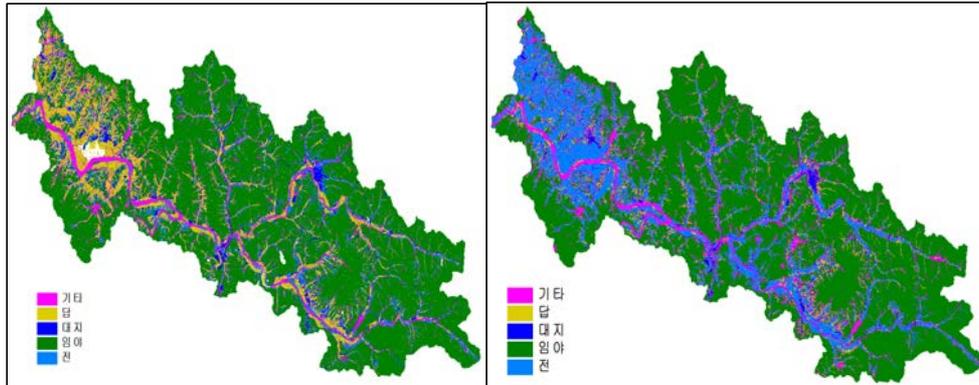
3. 연구대상지역 선정

- 본 연구에서는 환경부에서 현재 구축이 완료된 경상북도 일부 지역(낙본E, 위천B, 감천A)을 연구 대상지역으로 선정하였다.
- 토지이용별 부하량의 차이 및 원인분석을 위해 도시 대표지역(당초 대구광역시를 포함하려 했으나, 현재 구축중에 있어 경상북도에서 최대 도시지역인 구미시를 포함함), 시골 대표지역, 혼합 대표지역을 선정하였다.
- **낙본E**(도시 대표지역) : 대상지역 대부분이 임야로 구성되어 있으나 구미시를 포함한 도시지역이 하류에 위치하고 있어 대지에 의한 영향이 큰 지역<그림 3>
- **위천B**(시골 대표지역) : 의성군, 군위군 등 도시지역이 일부 포함되어 있으나 대상지역 대부분이 임야, 농지로 구성된 지역<그림 4>
- **감천A**(혼합 대표지역) : 김천시 도시지역 및 상류 시골지역이 적절히 분포되어 있는 지역<그림 5>

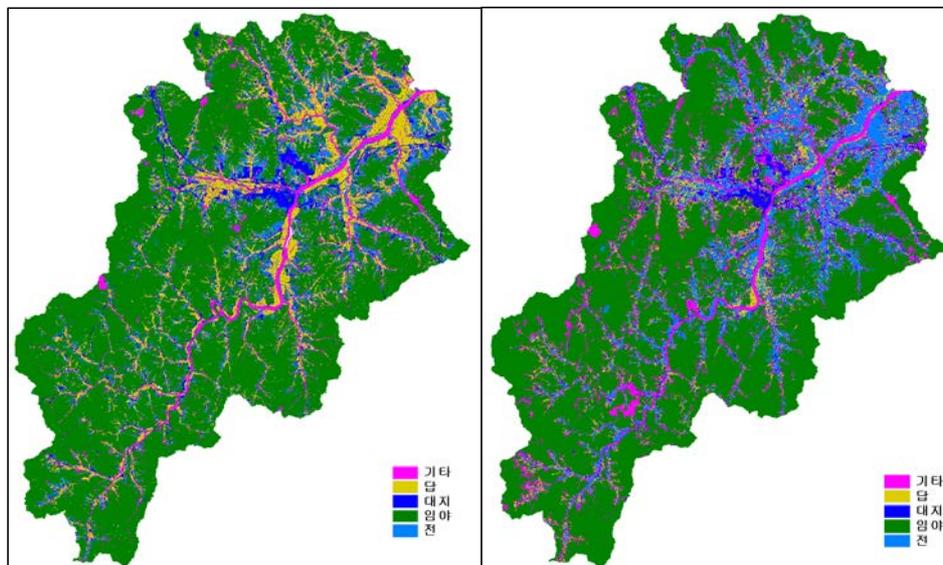


<그림 3> 공부상지적도와 토지피복지도에 따른 비교결과(낙본E)

### III. 연구결과 및 고찰



<그림 4> 공부상지적도와 토지피복지도에 따른 비교결과(위천B)



<그림 5> 공부상지적도와 토지피복지도에 따른 비교결과(감천A)

### 3. 공부상 지목과 세분류 토지피복지도 특성 비교 결과

- 현행 수질오염총량제에서 토지계 오염원 부하량 산정에 이용되고 있는 공부상 지목의 경우 장래 토지이용을 고려한 허가된 토지현황을 반영한 자료이다.

III. 연구결과 및 고찰

- 반면에 세분류 토지피복지도의 경우 현재의 토지상황을 대변하고 있어 지적공부상 대지인 경우에도 실제 녹지조성 지역은 기타지역으로 편성되는 차이가 있다.
- <그림 6>에서와 같이 학교용지의 경우 현행 규정상 대지로 인정되나 토지피복지도에 의한 분석시에는 기타와 대지로 분류된다.

**학교용지**

- 학교 내 교사와 이에 속한 부속 시설물 등이 위치한 지역은 시설지로 구분하여 도식하고 학교 운동장과 페타이어 집으로 포장된 지역은 나지로 분류하여 도식
- 학교 시설물 등을 제외한 지역은 영상판독을 통해 초지, 나지, 주차장, 도로 등으로 구분하여 도식하며, 각 폴리곤 내 10% 이하의 속성들은 따로 구분하여 도식하지 않음




<그림 6> 세분류 토지피복지도 구축사례(학교용지)

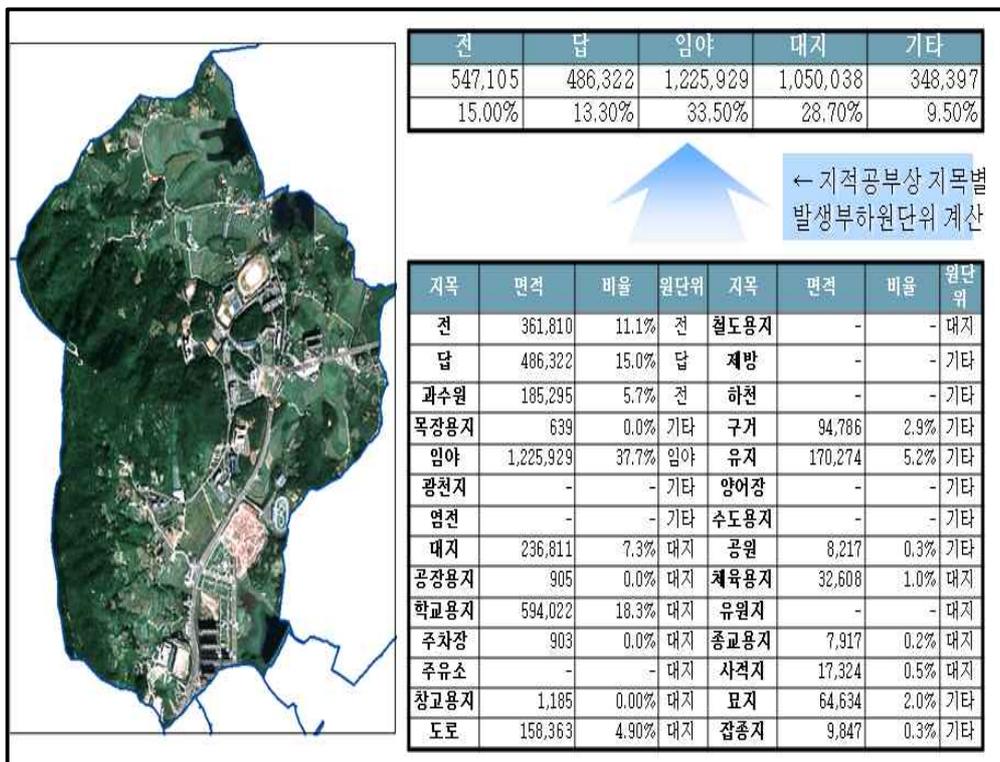
가. 공부상 지목과 세분류 토지피복지도에 의한 면적비교 방법

- 환경부에서 현재 구축이 완료된 세분류 토지피복지도와 공부상 지목에

III. 연구결과 및 고찰

대해 각각의 토지용도에 따라 분류되어 있는 세분류 지목을 “수질오염총량관리 기술지침”에서 제시하고 있는 5개 지목으로 재분류하여 면적을 비교하였으며 <그림 7>과 <그림 8>에 공부상 지목과 세분류 토지피복지도의 재분류 예시를 제시하였다.

- <그림 7>에서와 같이 특정지역에서 공부상 지목을 현재 수질오염총량제에서 제시한 5개 지목으로 재분류하여 합계를 도출한 결과, 임야가 33.5%, 대지 28.7%, 전 15.0%의 순으로 나타났다.

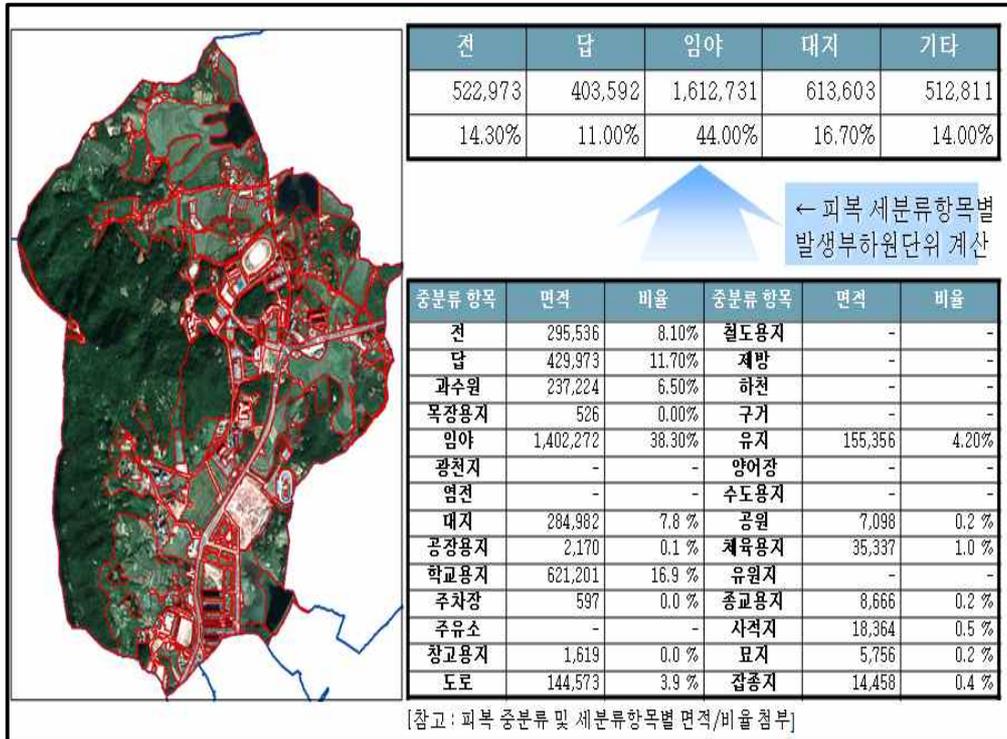


<그림 7> 공부상 지목에 의한 5개 지목 분류 결과 예시

- 그러나 <그림 8>과 같이 세분류 토지피복지도를 통한 재분류 결과, 임야가 44%, 대지 16.7%, 전 14.3%로 임야는 증가하고, 대지는 현격히 비율이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 공부상 지목에서 토지이용형태에 의

III. 연구결과 및 고찰

해 대지로 포함된 용지가 실제로는 대지의 다양한 지목으로(원형녹지, 녹지 등) 구성되어 있기 때문이며 이로 인해 향후 발생부하량 및 배출부하량에 큰 영향을 미칠 것으로 나타났다.



<그림 8> 세분류 토지피복지도에 의한 5개 지목 분류 결과 예시

나. 연구대상지역에서의 공부상 지목과 세분류 토지피복지도에 의한 면적 비교 결과

- 3개 구역의 공부상 지목과 토지피복지도에 의한 면적 비교 결과를 <표 2>에 제시하였다.
- 낙본E : 공부상 지목에서는 임야(84.4%)가 가장 높고 답, 전, 기타, 대지 순으로 면적이 분포하여 도시지역 특성을 보였으나 토지피복지도는 대

Ⅲ. 연구결과 및 고찰

지, 임야, 답이 감소하고 전과 기타가 증가하는 것으로 나타나 토지피복 지도에서 대지지역의 녹지 공간 존재, 전과 답의 혼용에 따른 구분이 명확함을 보여주고 있다.

<표 2> 3개 단위유역별 면적 비교 결과 (단위 : m<sup>2</sup>)

구 분		전	답	임야	대지	기타	합계
낙본E	공부상 지목	45.9 (8.9%)	101.8 (16.5%)	399.5 (77.3%)	71.6 (13.9%)	79.7 (11.4%)	517.0
	토지 피복도	103.8 (18.4%)	41.7 (6.9%)	399.9 (70.8%)	60.8 (10.8%)	99.7 (14.1%)	564.6
위천B	공부상 지목	60.4 (10.7%)	102.8 (15.4%)	477.8 (84.4%)	27.6 (4.9%)	54.4 (7.5%)	565.8
	토지 피복도	137.4 (22.4%)	41.4 (6.3%)	453.3 (73.9%)	22.6 (3.7%)	71.2 (9.8%)	613.3
감천A	공부상 지목	75.1 (8.6%)	111.5 (12.7%)	589.2 (67.3%)	41.5 (4.7%)	58.5 (6.7%)	875.8
	토지 피복도	112.4 (12.8%)	57.7 (6.6%)	574.8 (65.5%)	33.3 (3.8%)	99.3 (11.3%)	877.5

- 위천B : 공부상 지목에서는 임야(77.3%)가 가장 높고 답, 대지, 기타, 전의 순으로 면적이 분포하여 농촌지역 특성을 보이나, 토지피복지도에서는 대지, 임야, 답이 감소하고 전과 기타가 증가하였다. 이는 임야내 전 및 전과 답의 혼용에 따른 구분이 토지피복지도에서 명확하게 보여줌을 의미한다.
- 감천A : 낙본E와 위천B의 특성이 혼합된 특성을 보여주며 토지피복지도에서 대지지역의 녹지 공간 존재, 전과 답의 혼용에 따른 구분이 명확함을 보여주는 것으로 나타났다.
- 공부상 지목과 토지피복지도의 전체 면적이 일부 차이를 보이고 있으나

III. 연구결과 및 고찰

이는 GIS 작업상에 발생하는 오류로 판단되며 부하량 산정에 미치는 영향은 미미한 것으로 나타났다.

다. 공부상 지목과 세분류 토지피복지도 면적차이 원인분석

- 공부상 지목과 토지피복지도의 면적 차이는 각각의 사용목적이 다르기 때문에 필연적으로 발생한다.
- 또한 각각의 지목 특성에 따라 토지조성 및 이용방식이 다르기 때문에 일반화된 결론을 도출할 수 없으며 지역적 특성에 따라서도 다르게 나타날 수 있다.
- 단, 상기에서 언급한 바와 같이 대지지역의 녹지조성에 따른 기타면적 증가, 논과 밭의 혼용에 따른 구분이 토지피복지도에서 명확히 나타나는 것으로 나타났으며 <그림 9>와 <그림 10>에 그 사례를 제시하였다.



<그림 9> 공부상 지목과 세분류 토지피복지도 면적차이 원인 예시(학교용지)

III. 연구결과 및 고찰



<그림 10> 공부상 지목과 세분류 토지피복지도 면적차이 원인 예시(전, 답)

라. 연구대상지역에서의 공부상 지목과 세분류 토지피복지도에 의한 발생 및 배출부하량 비교 결과

- 지목별 발생/배출부하량 비교 및 수질영향분석을 위해 ‘09년 오염원 자료를 이용하여 분석하였다.
  - 발생/배출부하량은 수질오염총량관리 기술지침에 따라 산정하였다.
    - 배출부하량 산정시 토지계 배출부하량은 하수처리장 연계를 고려하였다.
    - 경우자료는 ‘09년 자료를 이용함에 따라 기존의 총량계획상(기준년도 경우자료 이용)의 배출부하량과 상이함을 알 수 있다.
- 3개 단위구역에서의 공부상 지목과 토지피복지도에 의한 발생 및 배출부하량 비교 결과를 <표 3>과 <그림 11>에 제시하였다.

Ⅲ. 연구결과 및 고찰

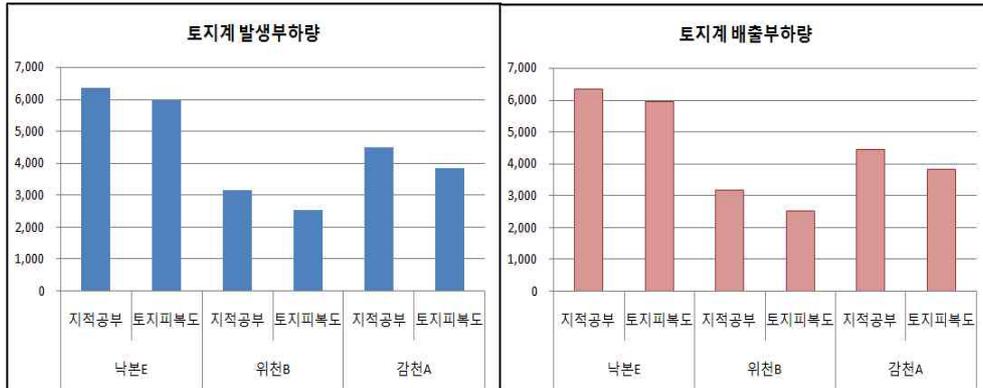
<표 3> 3개 단위유역별 발생/배출부하량(오염원별) 비교결과 (단위 : kg/일)

단위 유역	구분	발생부하량			배출부하량		
		계	토지계	기타오염원	계	토지계	기타오염원
낙분E	자적공부상	144,452.8	6,360.8 (4.4%)	138,092.0 (95.6%)	11,431.7	6,347.4 (55.5%)	5,084.3 (44.5%)
	토지피복도	144,044.3	5,952.3 (4.1%)	138,092.0 (95.9%)	11,029.6	5,945.3 (53.9%)	5,084.3 (46.1%)
위천B	자적공부상	32,605.0	3,163.2 (9.7%)	29,441.7 (90.3%)	6,970.0	3,162.3 (45.4%)	3,807.7 (54.6%)
	토지피복도	31,971.1	2,529.4 (7.9%)	29,441.7 (92.1%)	6,337.0	2,529.3 (39.9%)	3,807.7 (60.1%)
감천A	자적공부상	57,688.0	4,481.6 (7.8%)	53,206.5 (92.2%)	9,110.9	4,455.9 (48.9%)	4,655.0 (51.1%)
	토지피복도	57,044.3	3,837.8 (6.7%)	53,206.5 (93.3%)	8,469.6	3,814.6 (45.0%)	4,655.0 (55.0%)
계	자적공부상	234,745.8	14,005.6 (6.0%)	220,740.2 (94.0%)	27,512.6	13,965.6 (50.8%)	13,546.9 (49.2%)
	토지피복도	233,059.7	12,319.5 (5.3%)	220,740.2 (94.7%)	25,836.2	12,289.2 (47.6%)	13,546.9 (52.4%)

- 낙분E : 공부상 지목 이용시 발생 408kg/일, 배출 402kg/일이 토지피복 자료 이용 대비 높게 나타났으며, 전체 배출부하량의 4.6%, 토지계 배출부하량의 6.4% 차이를 보였다.
- 위천B : 공부상 지목 이용시 발생 634kg/일, 배출 633kg/일이 토지피복 자료 이용 대비 높게 나타났으며 전체 배출부하량의 9.1%, 토지계 배출부하량의 20.1% 차이를 보였다.
- 감천A : 공부상 지목 이용시 발생 644kg/일, 배출 641kg/일이 토지피복 자료 이용 대비 높게 나타났으며 전체 배출부하량의 7.1%, 토지계 배출부하량의 14.4% 차이를 보였다.

III. 연구결과 및 고찰

- 대지 면적 감소 및 기타 면적 증가에 따라 토지피복지도 적용시 배출부하량이 감소하였으나, 연구대상 지역의 용도지역에 따른 일관된 특성은 보이지 않았다.



<그림 11> 3개 단위유역별 발생/배출부하량(점/비점) 비교결과

5. 세분류 토지피복지도의 유역(수질) 평가·예측모델 적용

- 세분류 토지피복지도에 의해 실제 배출부하량이 수질에 미치는 영향을 분석하기 위해 3개 단위유역에 대해 유역모델(SWAT)을 수행하였다.

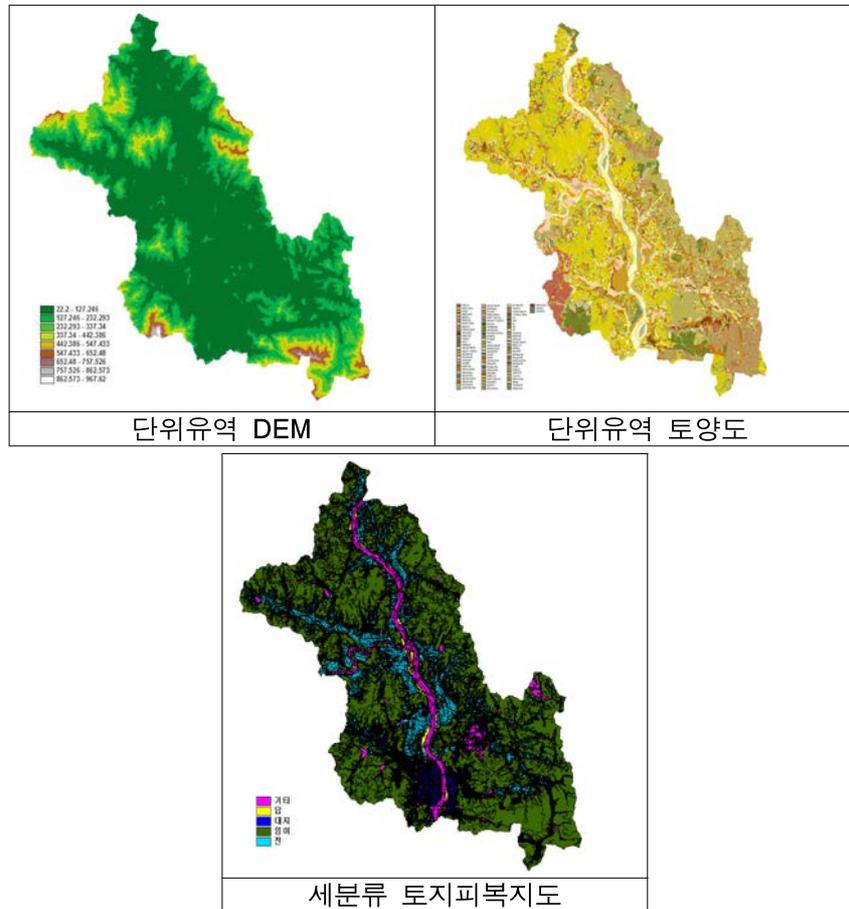
가. 낙본E 단위유역 모델 구축 및 보정 결과

- 모형입력자료 구축
  - 대상지역의 DEM, 토양도, 기상자료, 토지피복지도 등 입력자료를 구축하였다(그림 12).
- 단위유역 모의 개요 및 결과
  - 모의 기간은 2006년부터 2010년까지로 진행하였다.
  - 2006년과 2010년까지의 단위유역 말단의 8일 실측치를 이용하여 모형 보정을 수행하였다.
  - 세분류 토지피복지도의 영향을 파악하기 위해 SWAT DB상의 CN값을

III. 연구결과 및 고찰

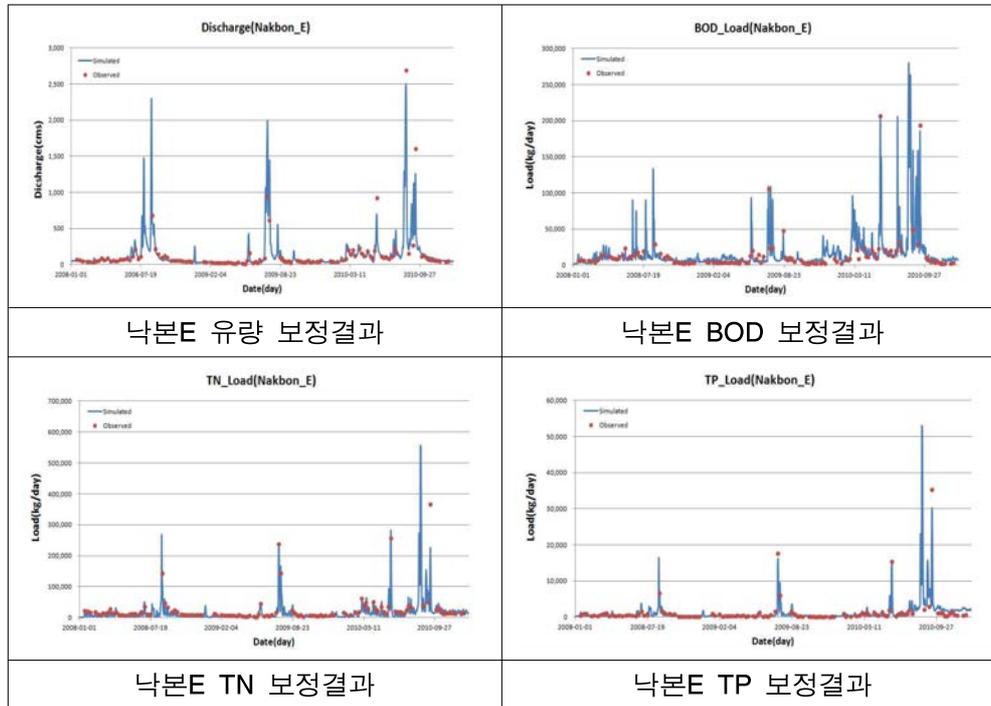
국내의 세분류 토지피복지도에 맞게 수정하여 모의하였다.

- 낙본E의 경우 상류 낙본D에서 유입되는 유량 및 수질의 영향이 큰 유역으로 낙본E와 낙본D의 유역경계를 inlet으로 처리하였으며 측방에서 유입되는 감천A의 유량 및 수질을 inlet으로 처리하였다.
- 유량은  $m^3/sec$ , BOD, TN, TP의 경우 부하량으로 산정하여 보정하였다.
- 모의 결과의 보정은 8일 실측치를 이용하였다. 이때 발생하는 문제로 유량의 경우 첨두값이 나타나는 기간의 실측치 결측이 발생하였으나, 갈수기의 유량은 전체적으로 실측치와 비슷한 추세를 보였다(그림 13).



<그림 12> 낙본E 단위유역 입력자료 구축

III. 연구결과 및 고찰



<그림 13> 낙본E 단위유역 보정결과

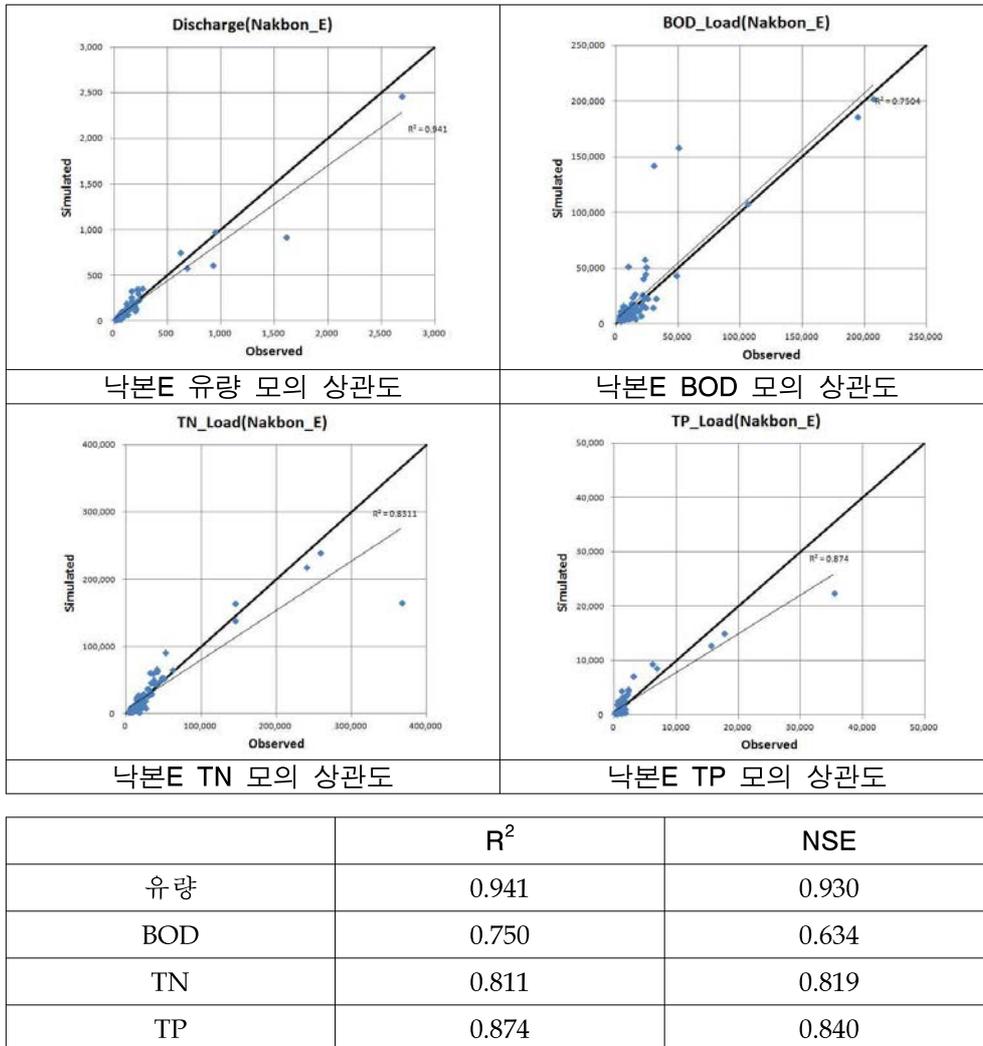
○ 모의결과 적합도 판정

- 상관도 그래프의 기울기가 0.5에 근접하여 침투값을 비교적 잘 표현하는 것으로 나타났다.
- NSE 값의 경우는 BOD를 제외한 나머지 값들이 0.8에서 0.9의 값을 나타내고 있고, BOD도 0.6이상을 나타내고 있으므로 모의의 적합도는 우수한 것으로 판단된다(표4, 그림 14).

<표 4> 목적함수 평가기준

구분	Very Good	Good	Fair	Poor
R <sup>2</sup>	>0.8	0.7~0.8	0.6~0.7	<0.6
NSE	>0.8	0.7~0.8	0.6~0.7	<0.6

III. 연구결과 및 고찰



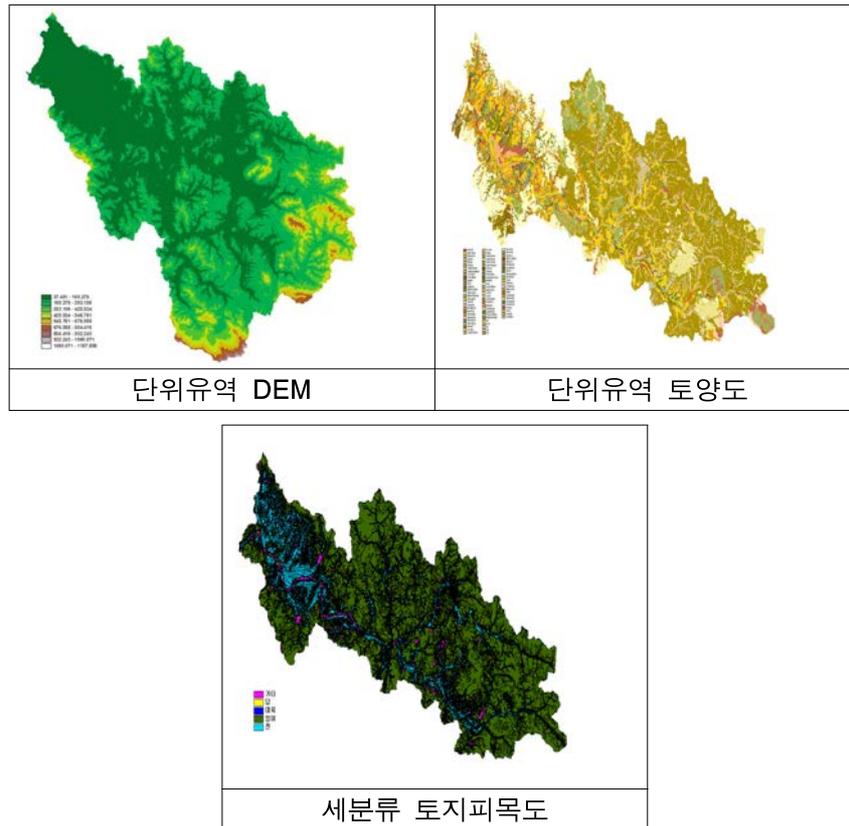
<그림 14> 낙본E 단위유역 모의결과 적합도 판정결과

나. 위천B 단위유역 모델 구축 및 보정 결과

○ 모형입력자료 구축

- 대상지역에 대해서 <그림 15>와 같이 DEM, 토양도, 기상자료, 토지피복지도 등의 입력자료를 구축하였다.

III. 연구결과 및 고찰

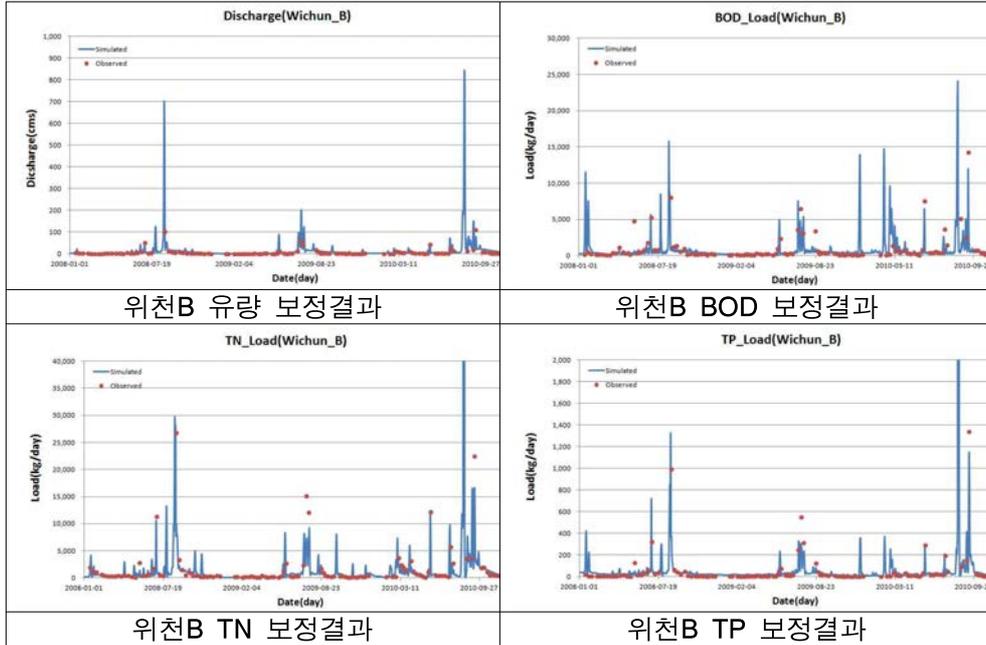


<그림 15> 위천B 단위유역 입력자료 구축

○ 단위유역 모의 개요 및 결과

- 모의 기간은 2006년부터 2010년까지 단위유역 말단의 8일 실측치를 이용하여 모형보정을 실시하였다.
- 세분류 토지피복지도의 영향을 파악하기 위해 SWAT DB상의 CN값을 국내의 세분류 토지피복지도에 맞게 수정하여 모의하였다.
- 2008년과 2010년에 다소 큰 유량이 발생함에 따라 부하량도 다소 크게 나타나고 있으나, 실측자료의 미존재로 적합성 판정에 무리가 있는 것으로 판단된다(그림 16).

III. 연구결과 및 고찰

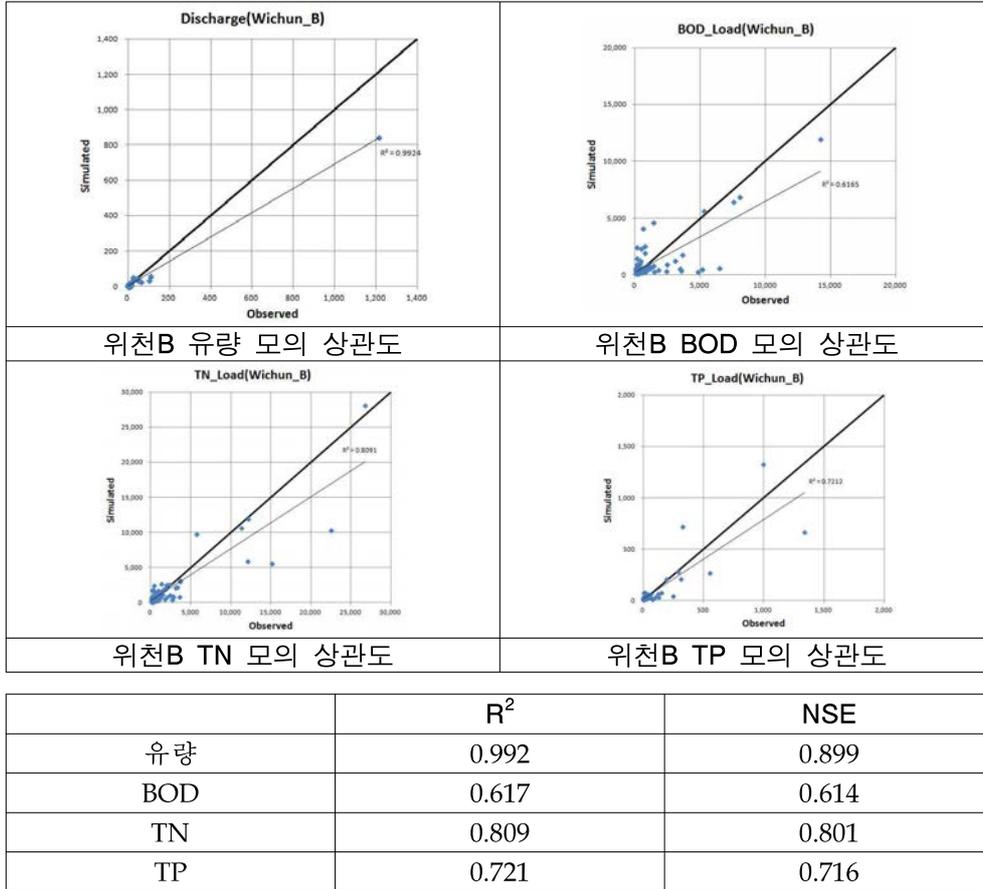


<그림 16> 위천B 단위유역 보정결과

○ 모의결과 적합도 판정

- 적합도 판정결과, 상관도 그래프의 기울기가 0.5에 비해 낮게 나타나고 있으나, 이는 2010년 특정 기간의 실측값을 반영하지 못하였기 때문으로 분석되었다.
- 이러한 경향으로 수질의 상관도 그래프의 기울기도 다소 낮게 나타났으나, NSE계수의 경우 BOD를 제외한 나머지 값들이 판정기준의 Good을 만족하고 있고, BOD도 Fair를 기록하고 있어 적합도에는 문제가 없는 것으로 판단된다(그림 17).

III. 연구결과 및 고찰



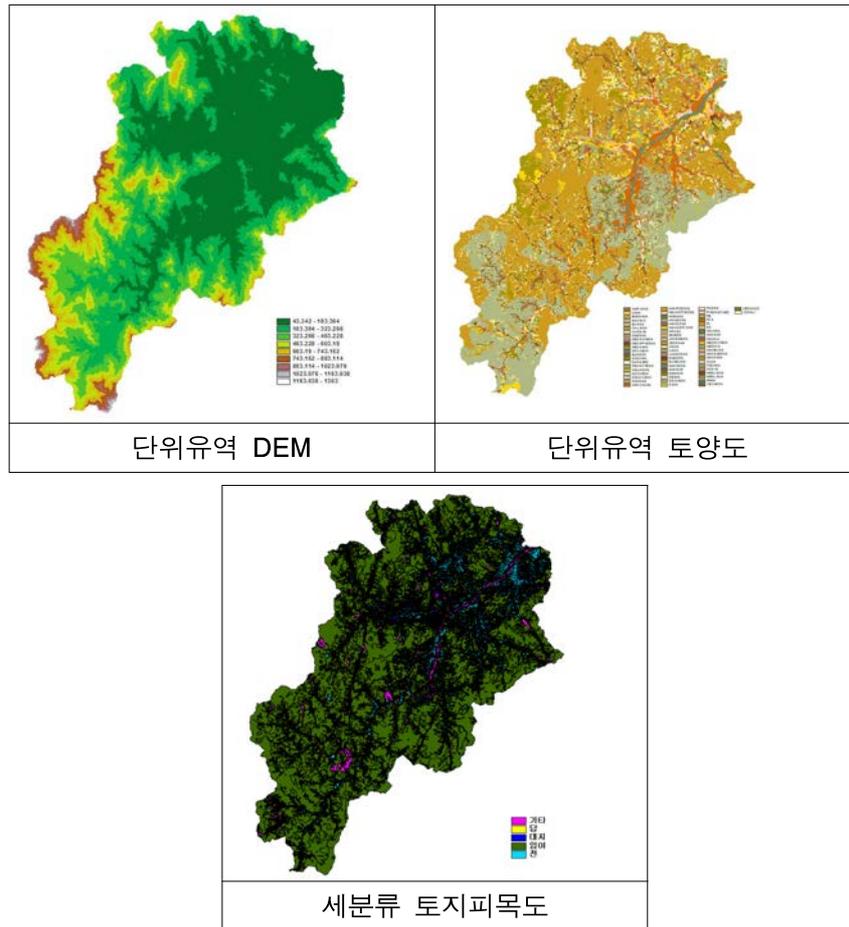
<그림 17> 위천B 단위유역 모의결과 적합도 판정결과

다. 감천A 단위유역 모델 구축 및 보정 결과

○ 모형입력자료 구축

- 대상지역에 대해서 <그림 18>과 같이 DEM, 토양도, 기상자료, 토지피복지도 등의 입력자료를 구축하였다.

III. 연구결과 및 고찰

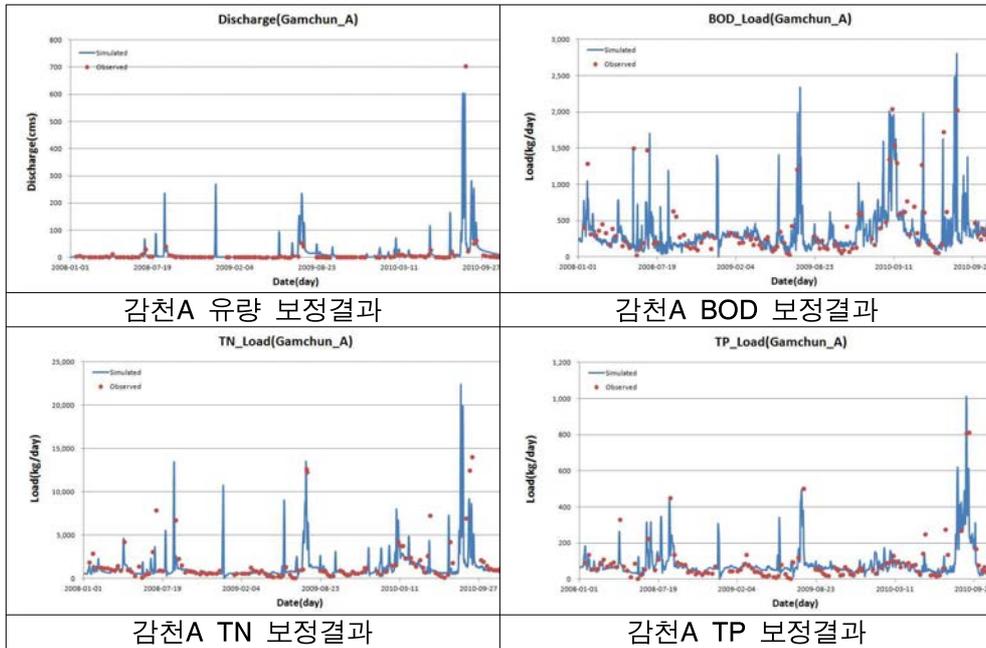


<그림 18> 감천A 단위유역 입력자료 구축

○ 단위유역 모의 개요 및 결과

- 모의 기간은 2006년부터 2010년까지 단위유역 말단의 8일 실측치를 이용하여 모형 보정을 실시하였다.
- 모의 결과의 보정은 8일 실측치를 이용하였는데, 이때 발생하는 문제로 유량의 경우 침투값이 나타나는 기간의 실측치의 결측이 발생하였으나, 갈수기의 유량은 전체적으로 실측치와 비슷한 추세를 나타내고 있다(그림 19).

III. 연구결과 및 고찰

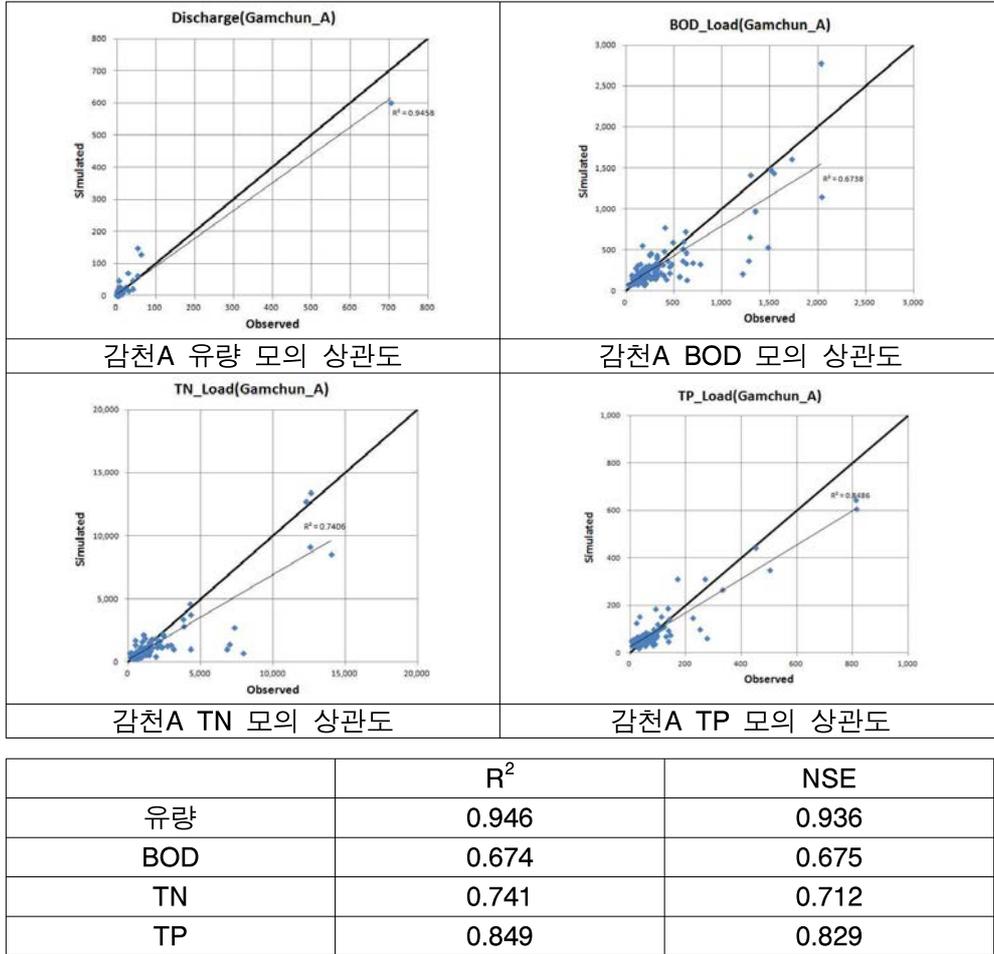


<그림 19> 감천A 단위유역 보정결과

○ 모의결과 적합도 판정

- 상관도 그래프에서 그래프가 실측치 쪽으로 치우친 것은 모의의 결과가 실측치의 침투값보다 다소 작게 나타나기 때문이나 특정 포인트에서 나타나는 현상으로 모의결과에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 판단된다.
- NSE 값이 0.6에서 0.9까지로 평가기준 Fair를 기록하고 있어 모의 적합도는 우수한 것으로 판단된다(그림 20).

III. 연구결과 및 고찰



<그림 20> 감천A 단위유역 모의결과 적합도 판정결과

6. 토지이용자료별 배출부하량 적용에 따른 실제수체 변화추이 분석

- 공부상 지목과 토지피복지도에 의한 배출부하량 차이는 총량계획 목표수질에 영향을 미친다.
- 각각의 토지이용도 적용에 따른 수질변화를 분석하기 위해 3가지 조건에 의해 실제 수체에 미치는 영향 분석하였다.
- **CASE 1** : 공부상 지목도에 의해 산정된 배출부하량에 따른 각 단위유

#### IV. 결 론

##### 역별 수질변화(거리별) 모의

- 2단계 총량기본계획에서 적용한 QUALKO2모델에 공부상 지목도를 통한 소유역별 '09년 배출부하량 및 환경기초시설 운영자료 입력 후 모의하였다.
  - **CASE 2** : 세분류 토지피복지도에 의해 산정된 배출부하량에 따른 각 단위유역별 수질변화 모의
    - 2단계 총량기본계획에서 적용한 QUALKO2모델에 세분류 토지피복지도를 통한 소유역별 '09년 배출부하량 및 환경기초시설 운영자료 입력 후 모의하였다.
  - **CASE 3** : 유역모델(SWAT)에 의해 구축된 입력자료 및 '09년 오염원 자료(환경기초시설 운영자료 등)를 통해 수질변화 모의
  - CASE 1, 2와 동일조건 비교를 위해 연중변화 자료를 일평균으로 전환하여 비교하였다
- 분석결과는 토지계 배출부하량 대비 타 오염원의 배출부하량 기여도가 높아 큰 영향을 보이지는 않는 것으로 나타났다. 그러나 지역별 부하량 증감에 따른 특정지역의 수질농도는 영향을 미칠 것으로 판단된다.

## IV. 결 론

본 연구를 통해 도출된 주요 결과 및 수질오염총량제에 토지피복지도를 적용하기 위해 선행되어야 할 사항 및 제도 개선 방안은 다음과 같다.

##### 가. 공부상 지목과 토지피복지도에 따른 지목별 면적 및 부하량 분석 결과

- 3대강수계 제1단계 총량관리기간('04~'10) 동안 토지계 5개 지목중 대지와 기타 면적이 지속적으로 증가하는 것으로 나타났다.
- 수질총량관리 기술지침상 토지계 대지 발생원단위가 85.9kg/일·km<sup>2</sup>로

IV. 결 론

타 지목대비 매우 높아 면적 증가에 따른 할당부하량 및 총량모델 적용시 영향을 크게 미치는 것으로 나타났다

- 충북 청원군의 사례에서 보면 제1단계 총량기간 동안 대지면적이 급격히 증가하였으며, 이는 할당부하량 초과에 영향을 미친것으로 판단된다.
- 청원군 미호B 구역의 경우 <표 5>에서와 같이 수질변화는 추세를 보이지는 않으나, 대지면적이 타 지목 대비 크게 증가하였으며(표 6) 그로 인해 토지계 배출부하량이 할당부하량 초과에 일부 기여한 것으로 판단된다(표 7).

<표 5> 청원군(미호B 구역) 년도별 수질변화 추이 (단위 : mg/L)

구분	연도별수질					평가수질		
	2007	2008	2009	2010	2011	07~09	08~10	09~11
BOD (mg/L)	4.3	5.4	5.0	4.6	4.2	4.2	5.0	4.6

<표 6> 청원군(미호B 구역) 년도별 토지지목별 면적변화 추이

오염원		2005년	2006년	2007년	2008년	2009년	2010년	년평균 증감(%)
토지 면적 (km)	전	40.9	39.8	38.9	38.3	37.9	37.7	-1.3
	답	69.5	67.1	66.7	65.1	64.5	64.1	-1.2
	임야	131.4	130.6	130.4	129.2	128.5	128.3	-0.4
	대지	33.2	35.7	36.4	40.0	41.7	42.5	3.6
	기타	38.2	40.3	40.4	41.0	41.0	41.0	1.4
	합계	313.3	313.6	312.9	313.6	313.6	313.6	-

IV. 결 론

<표 7> 청원군(미호B 구역) 년도별 배출부하량 변화 추이 (단위 : kg/일)

오염원	2005년	2006년	2007년	2008년	2009년	2010년	할당 부하량	할당 초과량
생활계	1,982.5	1,634.3	1,562.3	1,856.4	1,859.9	1,825.1	601.5	1,223.6
축산계	1,529.5	1,374.9	1,341.9	1,939.2	1,737.0	1,751.8	1,232.6	519.2
산업계	549.7	580.3	644.3	377.4	297.4	343.4	378.6	-35.2
토지계	3,216.4	3,407.5	3,471.3	3,767.0	3,913.9	3,980.6	3,761.8	218.8
양식계	14.8	14.6	14.7	78.4	12.5	12.5	78.8	-66.3
매립계	-	-	-	-	-	-	-	-
소 계	7,292.9	7,011.6	7,034.6	8,018.3	7,820.8	7,913.4	6,053.4	1,860.0

- 본 연구대상 3개 단위구역에서 공부상 지목과 토지피복지도에 의한 면적 분석 결과, 토지피복지도 자료에서 대지면적이 감소하고 기타지목이 증가하였다. 이는 세분류 토지피복지도에서 보다 정확한 대지내 녹지 조성 등의 특성을 보이는 것으로 판단된다.
- 공부상 지목 대비 토지피복지도에서 전과 답의 혼용에 따른 구분이 명확함을 보여, 전(1.59kg/일·km<sup>2</sup>)과 답(kg/일·km<sup>2</sup>)의 원단위 차이 및 실제 토지이용 변화에 따른 배출부하량 적용을 위해서는 토지피복지도에 의한 적용이 필요할 것으로 판단된다.
- 도시, 농촌, 혼합지역에 대한 면적 및 부하량 차이에 대한 비교 분석 결과는 일괄적인 경향을 보이지 않았다.
  - 이를 고려할 때, 3대강수계 전체 수계에 대한 분석 및 향후 연구 확대를 통해 상관(연계)성에 대한 분석이 필요할 것으로 판단된다.
- 3개 단위구역에서 공부상 지목 및 토지피복지도에서 산정된 배출부하량 비교 결과, 토지피복지도의 자료가 약 4.6~9.1% 감소하는 것으로 나타

IV. 결 론

났다(토지계 배출부하량은 6.4~20.1%).

- 이는 할당부하량 관리에도 영향을 미치는 것으로 지자체의 부하량 관리 측면에서도 토지피복지도 적용방안에 대한 고려가 필요함을 의미하는 것이다. 3개 단위유역에서 토지피복지도에 의해 감소된 부하량이 지역 개발부하량 및 할당부하량 대비 큰 비율을 차지하는 것으로 나타났다<표 8>.
- 지자체의 할당부하량 관리 및 실 수채 영향 고려를 위해서는 토지피복 자료를 통한 보다 정확한 토지계 배출부하량 관리가 필요할 것으로 판단된다.

<표 8> 3개 단위유역 할당부하량 현황 및 토지이용별 감소 부하량(단위 : kg/일)

단위 유역	1단계		2단계		토지피복도 적용시 감소 부하량
	할당부하량	지역개발부하량	할당부하량	지역개발부하량	
낙본E	17,382	1,633	13,672	1,458	402
위천B	6,797	58	6,389	112	633
감천A	17,596	490	10,415	468	641

나. 환경부 토지피복지도의 총량제 적용 가능 여부 검토

- 현재 환경부에서 진행하고 있는 세분류 토지피복지도 구축현황을 보면, '10년~'11년간 한강수계 일부 및 낙동강수계 상류지역에 대해 구축 완료하고 '12년에 낙동강하류, '13년부터 금강 및 영산강에 대해 구축 예정으로 전국 단위의 구축에는 상당한 시일이 소요될 것으로 판단된다.
- 지역적 형평성 및 총량계획에서 이행평가로의 연계성을 고려할 때 우선적으로는 전국 단위의 구축이 필요할 것으로 사료된다.
- 또한 현재까지 구축된 토지피복지도에 적용된 위성영상 자료도 '11년 구축자료는 '09년, '12년 구축자료는 '10년의 위성영상자료를 이용하였으며 영상자료 분석후 최종 확정까지 장시간 소요되며, 업데이트에도 추가 시

#### IV. 결 론

일이 필요할 것으로 판단된다.

- 수질오염총량관리 계획 및 이행평가지 적용되는 자료는 평가 및 계획수립 전년도 토지이용 현황자료를 사용하도록 기술지침에 명시되어 있다.
  - 해당연도 자료 미비시 공부상 지목 자료를 이용하게 함에 따라 현재 대부분의 지자체에서는 공부상 지적도를 이용하고 있다.
- 따라서 현재 구축된 자료만을 통한 이행평가의 직접 적용은 어려울 것으로 판단되며 적용을 위해서는 몇 가지 고려사항이 필요한 것으로 판단된다.

#### 다. 세분류 토지피복지도 총량제 적용방안 및 고려사항

- 수질오염총량제는 단위유역 목표수질을 만족하기 위한 조건에서 산정된 할당부하량을 준수하는 것이 제도 시행의 목적이다.
- 연구결과에서 제시한 바와 같이 토지계 오염부하량이 현재의 토지현황을 대변하지 못하기 때문에 보다 목표수질과 연계되는 발전적 총량제 시행을 위해서는 다음과 같은 개선방안의 모색이 필요하다.
  - 실제 수체에 미치는 영향을 대변할 수 있는 방법 강구
  - 총량제 관련규정에 만족되는 조건에서는 토지피복자료를 통한 배출부하량 산정 및 할당부하량 지정이 보다 바람직하다.
- 현행 총량관리 규정 및 기술지침상 계획수립 및 평가 전년도 토지피복자료가 구축되어 있을 경우 총량제에서의 적용이 가능하다.
  - 그러나 할당부하량이 결정되는 총량계획 수립과 이에 따른 할당부하량 준수여부를 평가하는 이행평가를 고려할 때 토지피복자료의 적용은 총량계획 수립 당시부터 적용하는 것이 바람직하다.
  - 또한 총량제 적용시에는 과거년도부터 지속적인 연도별 업데이트가 필요하다.
- 그러나 현재의 토지피복 구축 현황의 자료를 총량제에 직접 적용하는 데는 한계가 있어 이에 대한 보완사항 고려 필요하다.

참 고 문 헌

- 1) 기존의 토지피복지도와 연계하여 각 년도별 개발사업 협의 및 완료된 사업의 토지이용 변화를 반영하여야 한다.
    - 개발사업 협의내용에 대해 해당 지역의 토지이용계획 적용
  - 2) 자연증감 오염원에 의한 지목 변화는 총량계획에서 예측한 증감율을 고려하여 적용하여야 한다.
    - 현재 국립환경과학원에서 추진중인 소규모 및 개발사업에 따른 오염원 관리전산시스템에 의해 4대강수계에 적용될 경우 자동적 연계가 가능할 것으로 판단된다.
- ※ 관련연구 : “총량관리전산프로그램 활용을 통한 한강수계 총량제 합리적 관리방안 연구”, 국립환경과학원, 2012

## 참 고 문 헌

- 국립환경과학원(2012), 수질오염총량관리 기술지침.
- 국립환경과학원(2012),총량관리 전산프로그램 활용을 통한 한강수계 총량제 합리적 관리방안 연구.
- 김경순, 김계현, 권오준(2005), 토지이용의 공간적 다양성에 따른 GIS기반 오염부하 산정에 관한 연구-왕숙천 유역을 중심으로-, *환경영향평가*, 15(5), pp. 305-315.
- 김성수, 김종석, 방기연, 권은미, 정옥진(2002), 경안천 유역의 강우사상별 비점오염원 유출특성 및 원단위 조사, *대한환경공학회지*, 24(11), pp. 2019-2027.
- 낙동강수계관리위원회(2008), 낙동강수계 실제 토지이용에 따른 비점오염부하량 산정 및 할당편입예정 시설의 삭감부하량 산정방안.
- 박재홍, 이수웅, 박주현, 류덕희, 정동일, 최혜미, 전우송(2009), 고해상도 영상 자료를 이용한 실제 토지이용에 따른 지목면적 및 부하량 산정, *한국물환*

참 고 문 헌

- 경학회지*, 25(2), pp. 193-204.
- 영산강수계관리위원회(2008), 영산강수계 실제 토지이용에 따른 비점오염부하량 산정 및 할당편입예정 시설의 삭감부하량 산정방안.
- 이현동, 안재환, 김운지, 배철호(2001), 토지이용별 강우시 비점오염물질의 유출특성, *한국물환경학회지*, 17(2), pp. 147-156.
- 정광욱, 윤춘경, 장재호, 김형청(2006), 유역의 토지이용과 오염원 현황이 수질 특성에 미치는 영향 분석, *한국하천호소학회지*, 39(1), pp. 41-51.
- 정동환, 신동석, 류덕희, 정동일(2007), 도시지역 토지이용에 따른 비점원 오염물질 유출특성, *환경영향평가*, 16(6), pp. 525-532.
- 환경부(2010), 수질오염총량관리 기본방침
- 환경부(2012), 영상자료를 이용한 세분류 토지피복지도 구축(3차).
- Larry M. H., A. McFarland, A. Saleh(2003), Work Plan and Schedule for N North Bosque River TMDL Modeling System.