

연구논문

## 원단위법에 의한 비점오염부하량 산정 시 토지피복 특성을 반영하는 고해상도 항공영상의 활용방안

이범연\* · 이창희\* · 이수웅\*\* · 하 도\*\*\*

명지대학교 환경생명공학과\*, 국립환경과학원 수질총량연구과\*\*, (주)젠이십일\*\*\*  
(2009년 8월 27일 접수, 2009년 10월 9일 승인)

### Application of the High Resolution Aerial Images to Estimate Nonpoint Pollution Loads in the Unit Load Approach

Bum-Yeon Lee\* · Chang-Hee Lee\* · Su-Woong Lee\*\* · Do Ha\*\*\*

Department of Environmental Engineering and Biotechnology, Myong-Ji University\*  
Water Pollution Cap System Research Division, National Institute of Environmental Research\*\*  
Gen21. Inc.\*\*\*

(Manuscript received 27 August 2009; accepted 9 October 2009)

### Abstract

In Total Water Pollutant Load Management System of Korea, unit load approach based on land register data is currently used for the estimation of non-point pollutant load. However, a problem raised that land register data could not always reflect the actual land surface coverages which determine runoff characteristics of non-point pollution sources. As a way to overcome this, we tried to establish quantitative relationships between the aerial images (0.4m resolution) which reflect actual land surface coverages and the land registration maps according to the 19 major designated land-use categories in Kyeongan watershed. Analyses showed different relationships according to the land-use categories. Only a few land-use categories including forestry, road and river showed essentially identical and some categories such as orchard, parking lot and sport utility site showed no relationships at all between image data and land register data. Except for the two cases, all the other categories showed statistically significant linear relationships between image data and land register data. The analyses indicate that using high resolution aerial maps is a better way to estimate non-point pollutant load. If the aerial maps are not available, application of the linear relationships as conversion factors of land register data to image data could be an possible option to estimate non-point pollutant loads for the specific land-use categories in Kyeongan watershed.

Keywords : Aerial image data, Land register map, Nonpoint source loading, Pearson's Correlation, TWPLMS, Kyeongan Stream Watershed

## I. 서론

비점오염물질은 강우 시 우수와 함께 유출되어 일간·계절 간 배출량 변화가 크기 때문에 정량적인 실측이 쉽지 않고, 기상, 지질 및 지형 등 유출을 결정하는 자연조건을 현실적으로 제어할 수 없다는 근본적인 특성을 가지고 있다(최지용·신창민, 2002). 이러한 특성으로 인해 다양하게 이용되는 토지로부터 강우 시 유출되는 비점오염 형태의 오염물질은 현재 대부분 처리되지 않고 하천, 호소 및 연안 등 공공수계로 유입되고 있다. 더욱이 비점오염물질은 유역개발 및 이용에 따른 토지이용의 형태 및 토지피복의 상태에 따라 배출되는 물질 및 부하량에 차이가 매우 크기 때문에 비점오염원 관리를 위해 기본적으로 요구되는 부하량 산정마저도 기술적으로 적지 않은 어려움을 겪고 있는 실정이다(김중은 등, 2003; 신은성 등, 2001).

이러한 비점오염부하량 산정의 어려움은 획기적인 수질개선을 위해 도입된 수질오염총량관리((Total Water Pollution Load Management System, TWPLMS) 시행과정에서 이해당사자 간의 갈등을 유발하는 원인 중의 하나로 지적되고 있다. 수질오염총량관리 기술지침에서는 비점오염부하량(토지계 부하량)의 산정을 위해 유량과 수질을 연속 측정하여 수문곡선(hydrograph)과 오염부하곡선(pollutograph)을 도출하고 이로부터 부하량을 추정하도록 하되, 현실적으로 실측이 어려울 경우 각 지목별 면적과 지목별 연평균 발생부하원단위 및 강우 배출비를 적용하여 토지계 부하량을 추정하는 원단위법을 사용할 수 있도록 규정하고 있다(국립환경과학원, 2008). 이러한 원단위법 사용 시 문제는 토지계 발생부하량은 원단위가 설정된 지목의 토지면적에 비례하여 계산되기 때문에 토지이용형태별 원단위 설정 및 원단위가 설정된 지목에 대한 정확한 면적산정이 관건이다. 그러나 현재 원단위가 설정된 지목이 적어 전체 토지이용형태를

반영하지 못하고 있을 뿐만 아니라 지목별 면적산정의 근거로 사용되는 지적공부 자료가 행정적으로 개략적인 토지이용만을 반영하고 있어 실제의 비점오염부하의 유출특성을 결정하는 토지피복의 상태를 반영하는데 한계가 있다는 점이다.

이러한 한계를 극복하는 방안으로 현재 설정되어 있는 원단위를 추가적으로 세분하여 실측을 통해 별도의 원단위를 설정하는 방법이 있다(한강수계관리위원회, 2007). 이와는 별도로 최근 지적공부 대신 실제 토지의 피복 상태를 반영하는 고해상도 영상자료를 통해 원단위가 설정된 지목별 면적을 정확히 산출하여 비점오염부하량을 추정하는 방안이 대안의 하나로 고려되고 있다. 본 연구는 후자의 접근방법에 따른 연구의 일환으로 경안천 유역을 대상으로 토지피복 상태를 반영하는 고해상도 영상자료와 지적공부의 통계를 반영하는 지적도의 면적을 지목별로 비교하여 실제 얼마나 차이가 있는가를 살펴보고자 하였다. 또한 고해상도 영상자료 사용 시 문제로 지적되었던 총량관리 기준년도의 고해상도 영상의 확보 및 이를 분석하기 위한 시간 및 경비를 최소화하는 관점에서 지적공부 자료와 고해상도 항공영상자료 간의 통계적 연계성을 이용하여 비점오염부하량을 추정하는 방법의 활용성을 검토하였다.

## II. 연구범위 및 방법

### 1. 연구지역 및 범위

본 연구는 한강유역 중에 수질오염총량관리를 시행하고 있으며 개발압력이 심해 토지이용변화가 심한 지역으로 판단되는 경기도 광주시 및 용인시에 위치한 경안천 유역 중 한강수계 수질오염총량 단위유역 경안A(198.5 km<sup>2</sup>)와 경안B(249 km<sup>2</sup>) 유역 내 전체 30개 읍·면·동(7개 읍·면 및 23개 동)을 대상으로 실시하였다(Figure 1). 지적지목 면적을 분석해 본 결과 대상지역 내에 광천지와 염전 지목

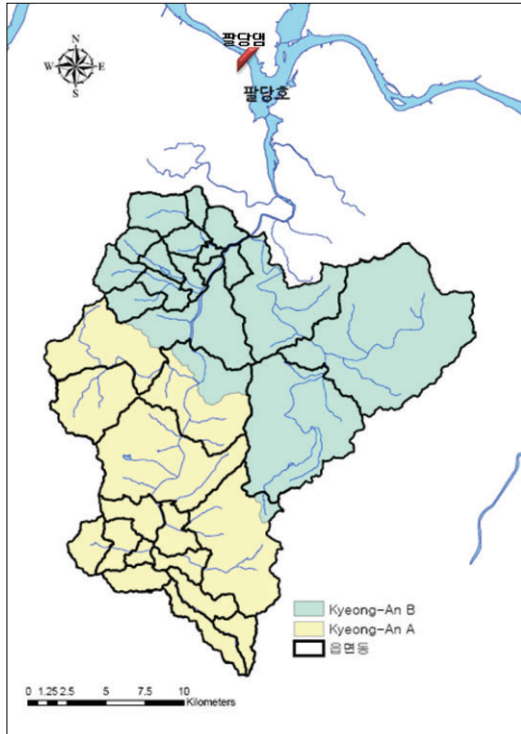


Figure 1. 연구 대상지역

을 제외한 26개 지목이 존재하고 있었으며, 또한 상당수의 읍·면·동에서 철도용지, 유원지, 사적지, 제방, 양어장, 수도용지, 공원 등의 지목의 경우 이용이 없는 것으로 나타나 이러한 9개 지목을 제외한 19개 지목을 대상으로 영상자료와 지적도 간의 비교분석을 실시하였다.

## 2. 영상자료의 지목분류

2007년도에 구축된 KLIS 지적도에 나타난 지목별 면적과 동일시기에 촬영된 경기도 항공영상(해상도 0.4m)으로부터 추출된 지목별 면적을 비교하기 위해서는 영상자료에 반영된 토지피복 특성을 지목으로 전환하는 작업이 요구된다. 이를 위해 우선 영상자료를 지적도와 중첩하여 지적 상 28개의 지목과 체육용지에 포함되어 있는 골프장을 별도로 구분하여 총 29개 지목으로 분류하였다.

그러나 Figure 2의 예와 같이 지적도에 나타난 중분류에서의 공장용지(07\_)는 실제 영상자료에 근거하여 보면 공장 시설지(073), 산림(074), 초지

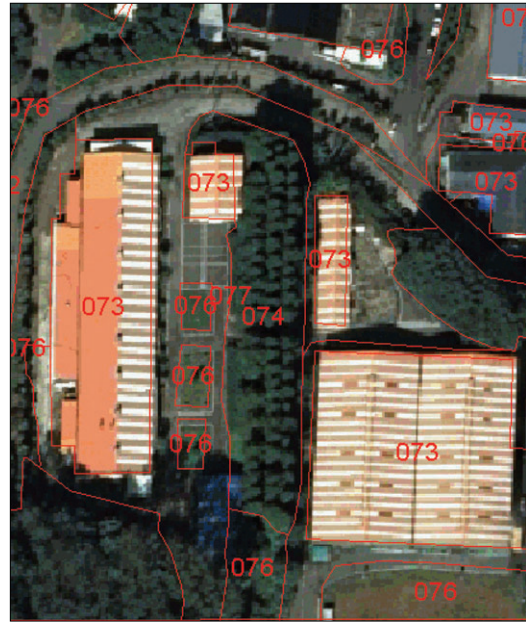


Figure 2. 토지피복 분류(예시)

(076), 나지(077) 등으로 세분될 수 있음을 볼 수 있다. 따라서 이러한 실제의 토지피복 형태를 나타내기 위해 영상의 중분류 항목을 다시 시설지, 초지, 나지, 주차장, 도로, 산림, 수역 등의 7-10개 항목으로 세분하여 총 218개로 구분하였다(이하 토지피복지도). 이때의 분류코드는 총 3자리의 숫자를 사용하였으며 앞의 2자리는 29개 중분류 항목을, 셋째 자리 수는 세분류 항목을 나타낸다(Table 1, Figure 2). 이렇게 토지피복 특성을 고려하여 세분된 218개의 항목을 다시 28개의 지적지목 항목으로 재분류하여 지목별 면적을 구하였다.

Table 1. 토지피복 분류 예시

지적지목 및 영상 중분류	영상 세분류	지적지목으로 재분류	
		지목	원단위
공장용지 (07_)	공장 시설지(073)	공장용지	대지
	산림(074)	임야	임야
	수역(075)	유지	기타
	초지(076)	잡종지	기타
	나지(077)	잡종지	기타
	주차장(078)	주차장	대지
	도로(079)	도로	대지

### 3. 토지피복지도 정확도 검증

영상에 근거한 분류작업은 어느 정도의 불확실성을 내포하기 때문에 분류의 정확도를 가능한 높이기 위해 영상자료 이외에 가용한 수치지형도, 편집/연속지적도 및 환경부 중분류 토지피복도를 추가적으로 참고하였다. 영상에 근거한 토지피복지도의 정확도는 Acceptable Quality Level(AQL) 방법에 따라 도엽단위로 각 지목별 속성에 맞는 표본의 개수를 정한 후 무작위 표본추출법에 따라 총 1,402개의 검수할 샘플을 추출하였다. 정확도 검증조사를 위한 샘플은 정사 보정된 항공영상자료를 기본하고 그 위에 토지피복지도를 중첩한 후 추출된 조사항목에 대해서 별도의 표시를 하여 현지조사를 통해 확인하는 방법으로 실시하였다.

### 4. 상관관계 분석

지적도와 토지피복지도로부터 추정된 지목별 면적 간의 통계적 유의성을 알아보기 위해 변수간의 관련성을 요약된 지수로 계산하여 관련성의 정도를 계량화하는 상관분석기법 중 보편적으로 자주 이용되는 피어슨의 상관계수(Pearson's Correlation coefficient;  $r$ )를 사용하였다. 또한 두 개 이상의 변수들 간의 관계를 규명하고, 이 관계를 수학적인 함수의 형태로 나타내기 위해 회귀분석(Regression) 기법을 적용하였다.

Pearson 상관계수는 측정에 사용된 척도가 등간, 혹은 비율 척도일 때 하나의 변수와 다른 변수와의 관련성을 분석하는 것으로, 변수 X와 Y의 각각에 대한 표준편차를 곱하고 변수 X와 Y의 두변수가 동시에 변하는 정도인 공분산(covariance)으로 나누는 것으로 다음 식과 같이 계산된다.

$$r_{xy} = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum(y_i - \bar{y})^2}}$$

$x_i, y_i$ 는 변수 X, Y의 대상 피처이며  $\bar{x}, \bar{y}$ 는 변수 X, Y의 전체 평균이며 두 함수간의 상관계수는 -1.0~+1.0의 범위에 분포하며 음의 값을 가지는 경우 두 함수간의 관계가 반대로 변하는 특성임을

의미하며 양의 값일 경우 비례하여 증가하는 경향을 나타낸다. 이러한 상관계수는 |1.0|에 가까울수록 높은 상관관계가 있는 것으로 해석된다. 회귀분석은 독립변수와 종속변수 간의 인과관계를 규명하여 수학적인 함수식의 형태로 나타내기 위해 선형 회귀분석( $y = ax + b$ )방법을 사용하였다. 실제 통계 분석은 SPSS 17.0 프로그램을 이용하였다.

상관관계 분석에 있어 대상지역의 총 면적이 영상자료 약 447.5km<sup>2</sup>, 지적자료 약 455.8km<sup>2</sup> 정도로 영상과 지적의 면적이 약 8.3km<sup>2</sup> 차이가 나는 것으로 나타났다. 따라서 통계분석 시 지목별 면적을 직접 이용하기에는 무리가 있을 것으로 판단되어 지목별 면적이 비교단위(읍·면·동) 전체 면적에서 차지하는 비율(%)을 사용하여 분석을 실시하였다. 이러한 면적의 차이는 지적도가 현재 토지의 물리적 상태를 반영하지 않고 있으며 토지피복지도와 지적도의 경계도 일치하지 않기 때문이다. 또한 연속지적도를 제작하는 과정에서 나타난 원점 및 축적 등의 오류, 도엽 간 불일치 등 지적도 자체의 오차 등으로 인한 것으로 사료된다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 정확도 검증 및 지목별 면적 산정

고해상도영상을 이용한 토지피복지도의 검증결과 정확도는 평균 92%로 높은 것으로 나타났다. 지목별 오차율 분석을 실시한 결과, 각 지목별 정확도는 57%~100%로 편차를 보이는데 특히 주차장과 양어장의 정확도가 가장 낮은 것으로 나타났다(Table 2). 주차장의 경우 자갈로 피복된 주차장은 영상에서 콘크리트로 포장된 주차장과 거의 구별되지 않아 영상을 이용하여 분류할 시 정확도가 떨어지는 것으로 나타났으며, 양어장의 경우에는 지적 상에는 양어장으로 나타나고 있으나 실재는 양어장이 아닌 다른 용도로 사용되는 경우가 대부분이었기 때문이다.

경안천 유역에 대하여 고해상도 영상과 지적과의 관계 분석을 위하여 면적을 산정해 보았다. 산정 결과 28개 지적지목 중 분석에 사용한 19개 지목은 영상

Table 2. 토지피복지도 정확도 검증 결과

분류항목	일치(개)	불일치(개)	합계(개)	정확도
전	106	18	124	85%
과수원	6	2	8	75%
답	63	17	80	79%
목장	45	6	51	88%
임야	77	3	80	96%
대지	180	18	198	91%
공장	121	5	126	96%
학교	30	2	32	94%
주차장	4	3	7	57%
주유소	14	0	14	100%
창고	76	5	81	94%
도로	45	4	49	92%
철도	5	0	5	100%
체육용지	10	3	13	77%
유원지	19	0	19	100%
종교용지	46	4	50	92%
사적지	5	1	6	83%
제방	5	0	5	100%
하천	80	1	81	99%
구거	43	7	50	86%
유지	11	1	12	92%
양어장	4	3	7	57%
수도용지	8	0	8	100%
공원	11	2	13	85%
묘지	122	0	122	100%
잡종지	77	4	81	95%
골프장	80	0	80	100%
합 계	1,293	109	1,402	평균: 92%

(99.9%)과 지적(99.6%) 모두에서 99% 이상으로 대부분을 차지하고 있는 것으로 나타났으며 영상이 지적에 비해 근소하게 높은 비율을 차지하였다(Table 3).

각 지목별로 전체 대상구역에서 차지하는 상대적 비율을 비교해 본 결과 주차장, 유지, 묘지 및 잡종지의 경우 영상으로부터 분류한 토지피복도의 면적이 차지하는 비율이 지적에서의 비율보다 높은 값을 나타내었다(Figure 3). 반면 임야, 도로 및 하천의 경우에는 약간의 차이는 보이지만 그 값이  $y=x$  그래프에 근접하는 값을 나타내었다. 이 밖의 12개 지목(전, 과수원, 답, 목장용지, 대지, 공장용지, 학교용지, 주유소용지, 창고용지, 구거, 체육용지, 종교용지)의 경우에는 지적의 면적비율이 영상으로부터 분류한 토지피복도 보다 더 큰 값을 나타내는 것으로 분석되었다.

지적도와 토지피복지도의 면적비율에 차이가 나는 이유는 영상자료의 경우 현재의 피복 상태를 고려하여 자세하게 분류한 결과 지목 내에서 다른 지목의 성격을 나타내고 있는 토지피복(시설지, 주차장, 도로, 수역, 초지, 나지 등)이 재분류되어 지목별 면적에 증·감이 일어난 결과이다. 이렇듯 영상을 통해 토지이용을 분석해 본 결과 대부분의 지목에서 현재 사용하고 있는 실제의 토지이용(영상)과 행정적인 토지이용(지적) 간에 상당한 차이가 있었으며 이는 현재 부하량 산정에 사용하고 있는 지적도가 실제의 토지이용을 반영하지 못하고 있는 것을 의미한다.

Table 3. 지목별 면적 및 면적비율

지 목	영상(km <sup>2</sup> )	지적도(km <sup>2</sup> )	지 목	영상(km <sup>2</sup> )	지적도(km <sup>2</sup> )
전	27,264(6.09) <sup>a)</sup>	35,838(7.86)	창고용지	1,287(0.29)	3,063(0.67)
과수원	0.145(0.03)	0.443(0.10)	도 로	14,675(3.28)	12,279(2.69)
답	22,675(5.07)	40,087(8.80)	하 천	9,201(2.06)	12,527(2.75)
목장용지	0.784(0.18)	1.656(0.36)	구 거	1,773(0.40)	5,252(1.15)
임 야	273,466(61.11)	286,987(62.97)	유 지	1,426(0.32)	0,546(0.12)
대 지	9,260(2.07)	19,015(4.17)	체 육 용 지	0.157(0.04)	14,391(3.16)
공장용지	4,755(1.06)	9,476(2.08)	종 교 용 지	0.145(0.03)	0,564(0.12)
학교용지	0.331(0.07)	1,689(0.37)	묘 지	10,149(2.27)	2,664(0.58)
주 차 장	17,297(3.87)	0,069(0.02)	잡 종 지	52,138(11.65)	7,322(1.61)
주 유 소 용 지	0.035(0.01)	0,103(0.02)	기 타 <sup>b)</sup>	0,508(0.10)	1,813(0.40)
총 면적				447,471	455,785

a) ( ) : 면적비율(%), b) 기타 : 분석에서 제외한 9개 지목 면적

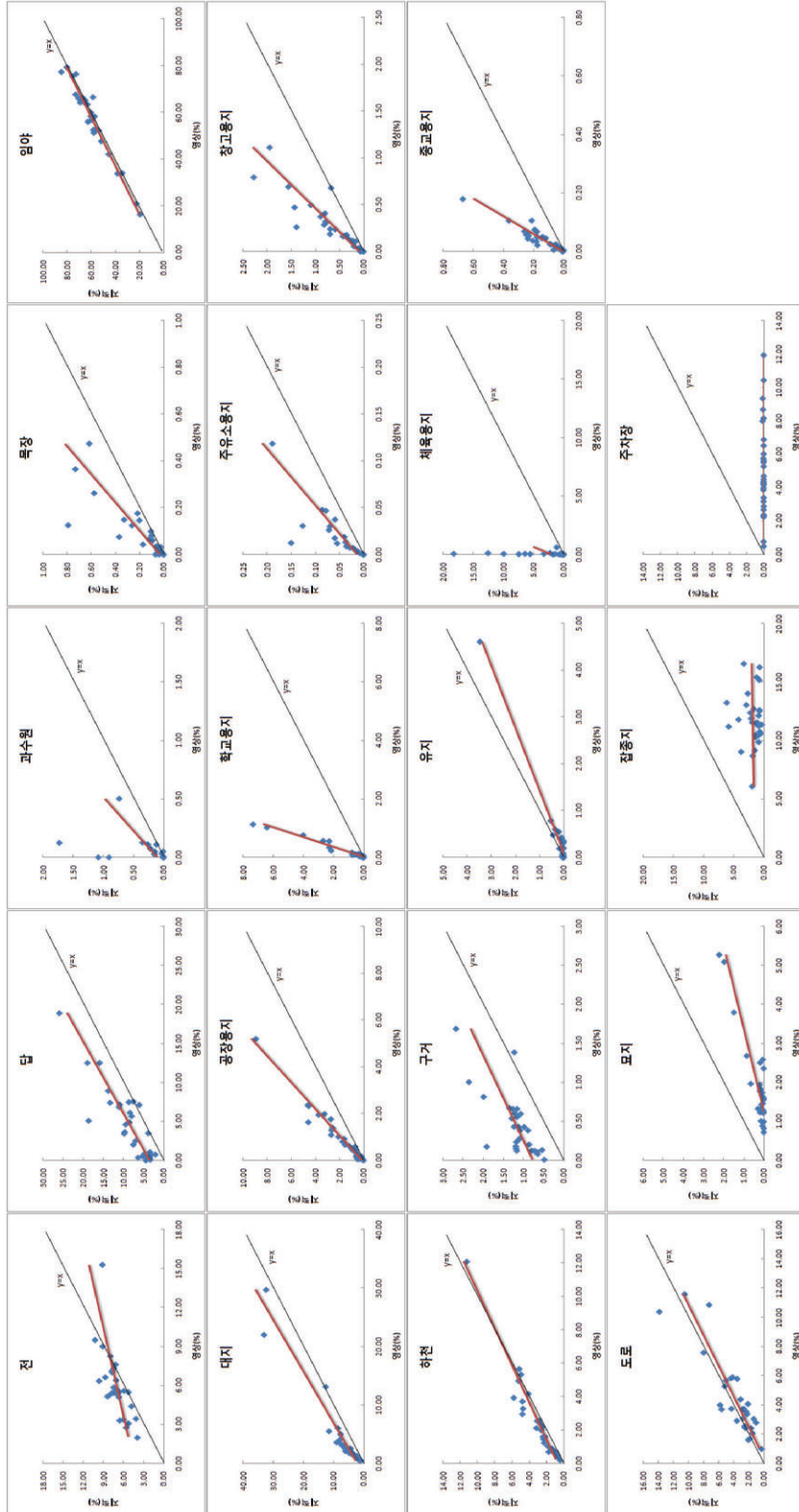


Figure 3. 지목별 지적과 영상 비교

2. 통계분석

전체 30개 읍·면·동에 관해 지적도와 영상 면적의 Pearson 상관관계분석 결과 유지에서 Pearson

상관계수(r) 값이 0.987 로 가장 높은 상관관계를 나타내었으며 학교용지(0.983), 공장용지(0.980), 임야(0.976) 순으로 분석되었다. 그리고 분석을 실시한

Table 4. 지적도와 영상 관계분석 결과

지 목	r (r <sup>2</sup> )	y = ax + b (%)	지 목	r (r <sup>2</sup> )	y = ax + b (%)
전	0.718**(0.516)	y=0.4339x+4.5257	창고용지	0.890**(0.792)	y=1.9833x+0.1083
과수원	0.412*(0.170)	y=1.7292x+0.1222	도로	0.881**(0.776)	y=0.9577x-0.2835
답	0.873**(0.762)	y=1.0781x+3.7165	하천	0.968**(0.937)	y=0.8975x+0.7985
목장용지	0.828**(0.686)	y=1.6645x+0.0355	구거	0.727**(0.526)	y=0.9146x+0.782
임야	0.976**(0.953)	y=0.9586x+4.995	유지	0.987**(0.974)	y=0.7486x-0.0598
대지	0.966**(0.933)	y=1.1349x+2.2933	체육용지	0.125(0.016)	y=4.9296x+2.1679
공장용지	0.980**(0.960)	y=1.7748x+0.1765	종교용지	0.929**(0.863)	y=3.3058x+0.0105
학교용지	0.983**(0.966)	y=5.9971x-0.0864	묘지	0.913**(0.834)	y=0.477x-0.5796
주차장	0.353(0.125)	y=0.0046x-0.0005	잡종지	0.047(0.002)	y=0.0313x+1.5101
주유소용지	0.829**(0.687)	y=1.6559x+0.0142			

\*\* : Correlation is significant at the 0.01 level.

\* : Correlation is significant at the 0.05 level.

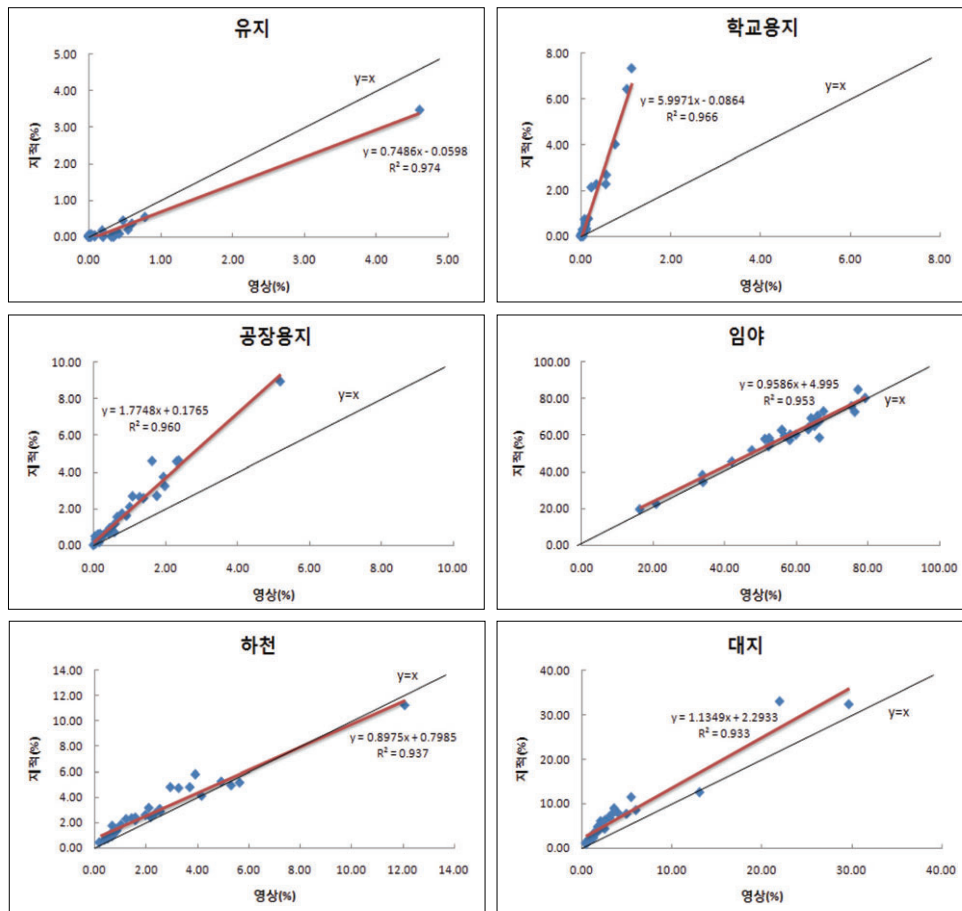


Figure 4. 지적과 영상의 관계 그래프(r<sup>2</sup>≥0.9)

19개 지목 중 과수원, 주차장, 체육용지, 잡종지를 제외한 15개 지목에서 0.01 수준의 유의도 내에서 양의 상관관계를 보여 이러한 지목의 경우 지적과 영상 간에 일정한 관계가 있는 것으로 판단된다. 특히, 유지, 학교용지, 공장용지, 임야, 하천, 대지 지목의 경우에는  $r^2$ 값이 0.9 이상의 값으로 높은 상관관계가 있는 것으로 분석되었다. 이때의 지목과 영상의 선형관계식은 다음의 표와 같다.

행정구역 단위별로 지적과 영상의 관계를 알아보

기 위해 7개 읍·면과 23개 동별로 Pearson 상관관계를 분석해 본 결과 읍·면의 경우 참고용지가 0.997로 상관계수( $r$ ) 값이 가장 높았으며 묘지(0.995), 대지(0.994), 공장용지(0.976) 순으로 높은 값을 나타내었다. 참고용지, 묘지, 대지, 공장용지, 주유소용지, 하천, 임야의 7개 지목에서는 유의도 0.01 미만에서 양의 상관관계를 나타내었으나 그 외 12개 지목에서는 유의도 0.01 이상을 나타내어 지적과 영상 간에 일정한 관계를 나타내고 있지

Table 5. 읍·면별 지적과 영상 관계분석

지 목	$r$ ( $r^2$ )	$y = ax + b$ (%)	지 목	$r$ ( $r^2$ )	$y = ax + b$ (%)
전	0.022(0.0005)	$y=0.0145x+8.163$	참고용지	0.997**(0.994)	$y=2.2804x-0.0037$
과 수 원	0.670(0.449)	$y=2.2171x+0.0061$	도 로	-0.214(0.046)	$y=-0.2455x+3.2201$
답	0.292(0.085)	$y=0.2101x+7.9049$	하 천	0.935**(0.874)	$y=1.2889x+0.1172$
목장용지	0.480(0.230)	$y=0.7704x+0.2872$	구 거	0.113(0.013)	$y=0.0578x+1.1398$
임 야	0.908**(0.824)	$y=0.926x+3.6915$	유 지	0.868*(0.753)	$y=0.493x-0.0553$
대 지	0.994**(0.988)	$y=2.1348x-0.0153$	체육용지	0.665(0.442)	$y=95.802x+0.5179$
공장용지	0.976**(0.953)	$y=1.6134x+0.321$	종교용지	0.791*(0.626)	$y=3.0984x+0.021$
학교용지	0.676(0.457)	$y=1.9082x+0.069$	묘 지	0.995**(0.990)	$y=0.5052x-0.5068$
주 차 장	0.101(0.010)	$y=0.0009x+0.0117$	잡 종 지	-0.286(0.082)	$y=-0.6446x+9.0914$
주유소용지	0.973**(0.947)	$y=3.2328x+0.0017$			

\*\* : Correlation is significant at the 0.01 level. \* : Correlation is significant at the 0.05 level.

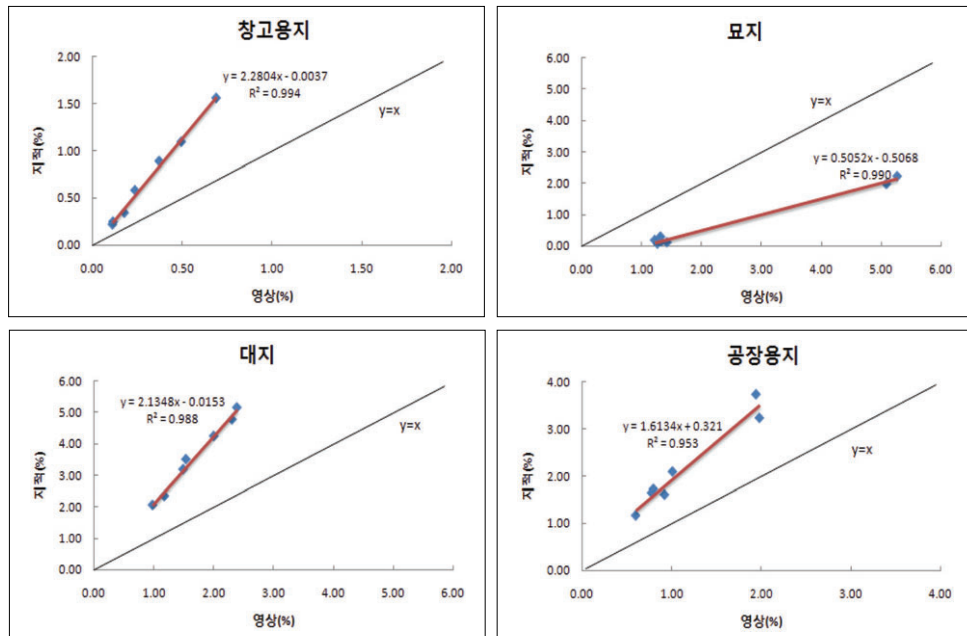


Figure 5. 읍·면별 지적과 영상의 관계 그래프 ( $r^2 \geq 0.95$ )



않거나 낮은 상관관계를 가지고 있는 것으로 분석 되었다. 그러나 읍·면의 경우 대상지역내에 7개 밖에 존재하지 않아 좀 더 많은 지역을 대상으로 적용

이 필요하다.

동별 분석의 경우 유지(0.991)가 가장 높은 r값을 보였으며 학교용지(0.982), 공장용지(0.980), 임야

Table 6. 동별 지적과 영상 관계분석

지 목	r (r <sup>2</sup> )	y = ax + b (%)	지 목	r (r <sup>2</sup> )	y = ax + b (%)
전	0.800** (0.640)	y = 0.4333x + 4.2247	창고용지	0.872** (0.760)	y = 1.9381x + 0.1259
과수원	0.409 (0.167)	y = 1.6989x + 0.1538	도로	0.884** (0.781)	y = 0.9579x - 0.2206
답	0.890** (0.792)	y = 1.1131x + 3.6242	하천	0.976** (0.953)	y = 0.8864x + 0.7752
목장용지	0.975** (0.951)	y = 1.1892x - 0.0032	구거	0.741** (0.549)	y = 0.9499x + 0.7569
임야	0.978** (0.956)	y = 0.9653x + 4.9436	유지	0.991** (0.982)	y = 0.7524x - 0.037
대지	0.965** (0.931)	y = 1.1202x + 2.5554	체육용지	0.122 (0.015)	y = 4.5896x + 1.9419
공장용지	0.980** (0.960)	y = 1.7873x + 0.1778	종교용지	0.935** (0.874)	y = 3.3269x + 0.0083
학교용지	0.982** (0.964)	y = 6.0161x - 0.0954	묘지	0.746** (0.557)	y = 0.3635x - 0.4289
주차장	0.341 (0.116)	y = 0.0047x - 0.0006	잡종지	0.088 (0.008)	y = 0.0484x + 1.379
주유소용지	0.816** (0.666)	y = 1.617x + 0.0166			

\*\* : Correlation is significant at the 0.01 level. \* : Correlation is significant at the 0.05 level.

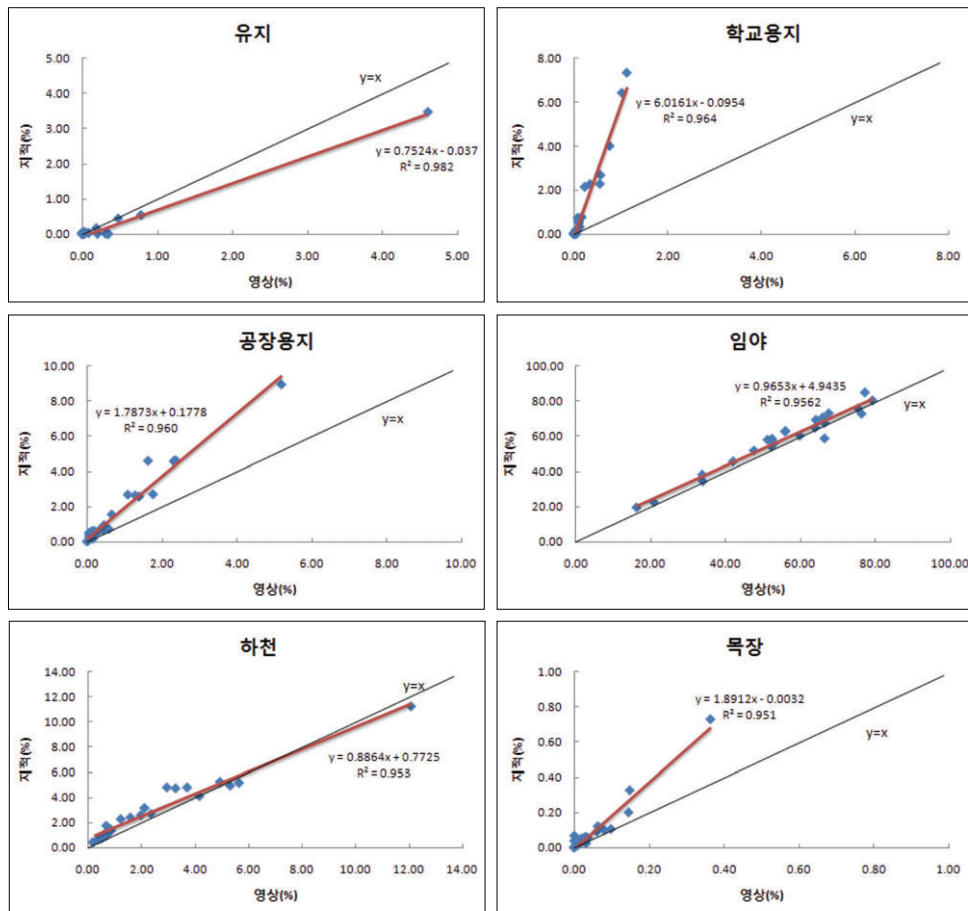


Figure 6. 동별 지적과 영상의 관계 그래프 (r<sup>2</sup> ≥ 0.95)

(0.978), 하천용지(0.976), 목장(0.975) 순으로 높은 상관관계를 가지고 있는 것으로 분석되었다. 그리고 분석을 실시한 19개 지목 중 과수원, 주차장, 체육용지, 잡종지를 제외한 15개 지목에서 0.01 수준의 유의도 내에서 양의 상관관계를 나타내어 일정한 관계가 있는 것으로 분석되었다.

지적과 영상의 상관관계 분석 결과 전체, 읍·면 및 동별에서 공장용지, 대지의 경우 모든 분석에서  $r^2$ 이 0.9 이상으로 높은 상관관계를 가지고 있었으며 또한, 임야, 주유소용지, 창고용지, 하천, 모지의 경우에도 Pearson 상관계수가 0.01 수준의 유의도 내에서 양의 상관관계를 나타내었다. 이러한 지목의 경우 행정구역에 관계없이 지적과 영상 간에 일정한 관계가 있는 것으로 판단된다. 그러나 상관계수 값 및 관계식이 행정구역(읍·면, 동)에 따라 차이가 있는 것으로 보여 지역의 개발 정도, 크기 등의 여러 가지 인자에 의해 상관관계가 영향을 받는 것으로 사료된다.

#### IV. 결론

본 연구는 경안천 유역을 대상으로 고해상도 영상자료를 기반으로 제작된 토지피복지도와 지적도의 토지지목별 상관관계를 분석하여 실제의 토지이용을 반영하지 못하고 있는 현재의 비점부하량 산정방안에 대한 개선방안을 검토해 보았다. 비점오염 부하량 산정 시 현재 사용하고 있는 지적공부와 실제의 토지이용을 나타내는 피복과는 상당한 차이가 있는 것으로 분석되었으며 이는 지적공부(지적도)가 실제의 토지이용을 반영하지 못하고 있는 것을 의미한다. 따라서 보다 정확한 비점(토지계) 부하량을 산정하기 위해서는 고해상도 영상을 사용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

그러나 목적에 맞는 영상 확보(시기, 지역 등)의 어려움과 토지피복 분류에 드는 시간 및 비용 등을 고려할 때 비점오염부하량의 산정을 위해 수질오염 총량관리 전 대상지역에 걸쳐 고해상도 영상자료를 사용하기는 현실적으로 어려울 것으로 보인다. 이

런 관점에서 본 연구결과는 다음과 같은 시사점을 제공한다. 첫째, 도로 및 하천 등과 같이 지적과 영상(토지피복)의 면적차이가 크게 나지 않는 경우에는 현재 사용하고 있는 지적을 사용하여 부하량을 산정해도 큰 차이는 없으리라 판단된다. 둘째, 지적과 영상면적의 차이는 있으나 그 사이에 일정한 연관성을 지니고 있는 지목의 경우에는 이러한 연관성을 사용하여 지적의 면적을 영상면적으로 변환하여 적용하면 현재의 산정방법 보다 정확한 비점오염부하량을 산정할 수 있을 것으로 사료된다. 이 때 행정구역별(동 및 읍·면)로 지목의 상관계수 값 및 관계식의 차이가 있는 점을 고려하여 관계식은 행정구역단위로 적용하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

물론 지적과 영상자료 간의 관계는 지역별 편차가 있기 때문에 되는 본 연구 결과는 경안천 유역에만 제한적으로 적용될 수 있으며 이러한 방법의 일반적인 타당성을 검토하기 위해서는 보다 광범위한 지역에 대한 조사연구가 요구된다.

#### 사 사

본 연구는 국립환경과학원의 “한강수계 고해상도 영상자료를 이용한 부하량 변동 산정방안 시범사업”을 통해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- 관계부처합동, 2004, 4대강 비점오염원관리 종합대책, 관계부처합동.
- 국립환경과학원, 2008, 수질오염총량관리 기술지침.
- 김중은, 안건혁, 이창무, 2003, 하천유역 토지이용과 비점오염물질 발생강도간의 상관관계분석(도로와 건물의 비율 및 공간적 분포를 중심으로), 대한국토·도시계획학회지, 국토계획, 38(2).
- 신은성, 최지용, 이동훈, 2001, 토지이용도와 유역특성을 고려한 비점오염물질 원단위 선정에 관한 연구, 한국물환경학회지, 17(2).

최지용, 신창민, 2002, 비점오염원 유출저감을 위한 우수 유출수 관리방안, 한국환경정책·평가연구원.

한강수계관리위원회, 2007, 주요 비점오염원 유출 장기모니터링 및 저감기법 연구.

환경부, 2006, 물환경관리기본계획.

환경부, 2006, 수질 및 수생태계 보전을 위한 법률.

최종원고채택 09. 10. 20