

# 경안천 유역 지적공부에 나타난 특정지목의 토지이용 특성 세분화를 통한 비점오염 부하량 산정 개선방안

이범연 · 이창희<sup>†</sup> · 하도\* · 이수웅\*\*

명지대학교 환경생명공학과

(주)젠이십일

\*\*국립환경과학원 수질총량연구과

## Unit-load Method for the Estimation of Non-point Pollution Loads by Subcategorizing the Land-use Category Reflected in the National Land Register Data : A Case Study of Kyeongan Watershed in South Korea

Bum-Yeon Lee · Chang-Hee Lee<sup>†</sup> · Do Ha\* · Su-Woong Lee\*\*

Department of Environmental Engineering and Biotechnology, Myong-Ji University

\*Gen21, Inc.

\*\*Water Pollution Cap System Research Division, National Institute of Environmental Research

(Received 22 January 2010, Revised 7 May 2010, Accepted 11 May 2010)

### Abstract

One of constraints in the application of unit-load method to estimate non-point pollution loads in the total water pollutant load management system (TWPLMS) is the limited numbers of applicable unit-loads. Since only 7 unit-loads are currently available for total 28 land-use categories in the national land register data, each unit-loads inevitably have to represent several land-use categories regardless of their actual land coverage characteristics. As a way to minimize the problem, this study suggested a nested application of the available unit-loads based on the analysis of high resolution aerial images taken in the Kyeongan watershed. Statistical analysis of three selected land-use categories such as school, apartment complex, and golf course showed that there exist significant (95% confidence level) relationships between the registered land-uses and actual land coverages. The school and apartment complex currently considered as 100% ground have only 65% and 80% of ground characteristics, respectively. Golf course, which is considered as 100% pasture, has about 5% of ground area. This indicates that the unit-load method using in TWPLMS can give over estimated non-point pollutant loads for the school and apartment complex (19.8~54.4%) but under estimation for the golf course (80.9%).

**keywords** : High resolution aerial image, Land use, Nonpoint pollutant load, Total water pollutant load management system (TWPLMS), Unit loads

## 1. 서론

강우 시 토지로부터 유출되는 비점오염 형태의 오염물질은 현재 대부분 관리되지 않고 하천, 호소 및 연안 등 공공수계로 유입되고 있다. 이는 비점오염물질의 유출이 기본적으로 강우특성에 의해 좌우되기 때문에 시간적으로 배출량 변화가 매우 크며 유역의 기상, 지질 및 지형 등 자연조건에 따라 결정되기 때문에 유출을 제어할 수 있는 수단에 한계가 있기 때문이다(최지용과 신창민, 2002). 더욱이 비점오염물질은 유역개발 및 이용에 따른 토지이용의 형태 및 토지피복의 상태에 따라 배출되는 물질 및 부하량에 차이가 매우 크기 때문에 비점오염원 관리를 위해 기본적인

로 요구되는 오염부하량 산정마저도 기술적으로 적지 않은 어려움을 겪고 있는 실정이다(고성훈 등, 2009; 김중은 등, 2003; 신은성 등, 2001). 이 같은 이유로 우리나라 수질오염총량관리(이하 총량관리)와 유사한 제도인 미국의 Total Maximum Daily Load (TMDL)의 경우에도 대상 오염물질의 종류, 지역, 가용한 자료의 수준에 따라 직접측정에 의한 오염부하곡선, 유역모델, 통계분석 및 원단위 등의 매우 다양한 비점오염부하량 추정방법이 사용되고 있다(USEPA, 2008; WERF, 2003). 원단위 경우 토지이용 특성을 고려한 지역 원단위를 적용하고 있으며, 그 예로서 플로리다 주는 Low density residential, Multi-family, Commercial, Highway, Industrial, Open land, Wetlands, Pasture, Agriculture 및 Woodland 등을 사용하고 있다(USEPA, 1994).

국내의 경우에는 총량관리기술지침에서 비점오염부하량(토지계 부하량)의 산정을 위해 유량과 수질을 연속 측정하

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
changhee@mju.ac.kr

여 수문곡선(hydrograph)과 오염부하곡선(pollutograph)을 도출하고 이로부터 부하량을 추정하도록 권고하고 있다(국립환경과학원, 2008). 그러나 신뢰성 있는 오염부하곡선의 개발을 위해서는 장기간의 실측이 요구되나 현 단계에서는 이러한 자료가 가용하지 않은 상태이기 때문에 논, 밭, 산림, 대지, 골프장 및 기타 등의 지목별 원단위, 지목별 면적, 및 강우 배출비를 전국에 동일하게 적용하여 비점부하량을 산정하는 원단위법이 그 대안으로 사용되고 있다.

원단위법은 지금까지 수립된 모든 수질오염총량관리계획에서 사용된 사실에서 볼 수 있듯이 그 적용이 간단하며 쉽게 이해할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 부하량 추정에 사용되는 원단위가 7개(한강수계, 2009년 개정 이전) 지적공부 상의 토지이용 목적(이하 지목)에 대해서만 설정되어 있어 실제의 다양한 토지이용별 유출특성을 추정하는데 한계가 있으며, 비록 동일한 지목으로 분류된다고 하여도 실제 그 내부에는 다양한 토지이용이 혼재하기 때문에 단순히 지목상의 면적을 이용하여 부하량을 추정하는 경우 적지 않은 오류가 발생된다는 문제가 있다. 예를 들어, Table 1에 제시된 바와 같이 지목이 학교인 경우 부하량 산정을 위해 전체 면적을 대지로 보아 원단위를 적용하지만 그 내부에는 운동장, 화단, 녹지 등 대지로 보기 어려운 면적이 상당 부분 차지하므로 부하량이 과대추정 될 수 있다. 반대로 골프장의 경우 클럽하우스, 카트 도로 등 대지의 특성을 가지는 면적이 있어 전체 면적을 골프장으로 보아 원단위를 적용하면 부하량이 과소추정될 수 있다.

이러한 원단위법의 한계를 극복하기 위해 환경부는 환경기초조사사업을 통해 다양한 토지이용 특성을 반영할 수 있도록 기존 7개의 원단위 이외에 더욱 세분화된 지목별 원단위를 개발하기 위한 조사·연구를 진행하고 있다(한강수계관리위원회, 2007). 이와 더불어 기존에 설정된 7개의 원단위를 가능하면 실제의 토지피복 상태에 따라 적용할 수 있도록 고해상도 영상자료를 통해 지적공부의 각 지목별 면적을 원단위가 설정된 지목별로 세분화하여 추정하는 방안이

추진되고 있다(이범연 등, 2009). 본 연구는 경안천 유역을 사례지역으로 삼아 두 번째 접근 방법에 기초하여 비점부하량 산정 시 이미 설정된 원단위를 사용하되, 전체 지적지목에 대해 읍·면·동 단위의 평균적인 통계적 연관성을 토대로 산정하는 기존연구와 달리 학교, 대학교, 아파트 및 골프장 등의 특정지목에 대해 원단위 적용을 위한 토지면적을 구하는데 있어 지적공부 자료와 고해상도 영상자료를 사용했을 때 차이를 밝히고 비점부하량 산정의 불확실성을 개선하기 위한 고해상도 영상자료의 활용 가능성을 검토하였다.

## 2. 연구방법

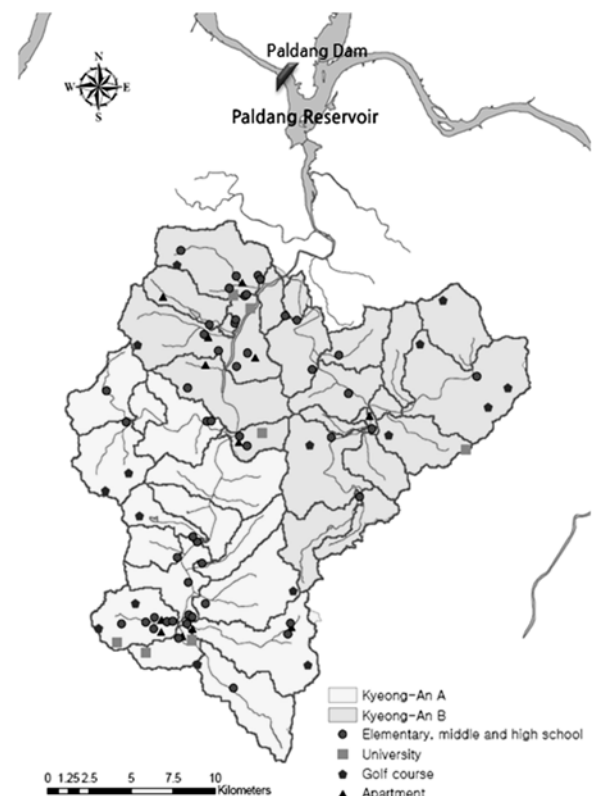
본 연구는 경기도 광주시 및 용인시에 위치한 경안천 유역 중에 한강수계 수질오염총량 단위유역 경안A(198.5 km<sup>2</sup>)와 경안B(249 km<sup>2</sup>)를 대상으로 하였다(Fig. 1).

분석대상이 되는 지목은 통계분석이 가능한 자료를 확보할 수 있고 총량관리계획 수립과정에서 전체 면적을 대지로 볼 경우 부하량이 과대 추정될 수 있다고 지적되었던 학교용지 및 아파트(지적지목상 대지)와 반대로 전체면적을 골프장으로 볼 경우 부하량이 과소 추정될 수 있는 골프장으로 한정하였다. 이때 학교용지의 경우 초·중·고등학교와 대학교의 토지피복 특성이 차이가 있을 것으로 판단되어 대상지역 내 49개 초·중·고등학교와 7개의 대학교를 구분하여 분석하였다. 골프장은 대상 지역 내 15개, 아파트는 12개 단지를 대상으로 하였다(Fig. 1).

**Table 1.** Applicable unit loads for the specific land-use categories (Han River basin)

Land use	BOD (kg/km <sup>2</sup> /d)	TN (kg/km <sup>2</sup> /d)	TP (kg/km <sup>2</sup> /d)
Rice paddy	2.30 (2.30)*	6.56 (6.56)	0.61 (0.61)
Dry paddy	1.59 (1.60)	9.44 (9.44)	0.24 (0.24)
Forestry	0.93 (1.0)	2.20 (2.20)	0.14 (0.14)
Ground	85.90 (85.90)	13.69 (13.69)	2.10 (2.10)
Others	0.960 (1.0)	0.759 (0.06)	0.027 (0.03)
Pasture	- (35.1)	- (5.37)	- (1.72)
Golf course	- (1.0)	- (3.56)	- (2.76)

- Notes 1) Dry paddy includes the dry paddy and orchard.  
 2) Ground includes the ground, factory, school, road(except the road slope), railroad (except railroad line), physical exercise(except golf course and skiing ground), recreation ground, religious site, historical site, parking lot, gas station site and warehouse site.  
 3) Others includes the mineral spring, salt marsh, embankment, ditch, pond, water supply site, park, burial ground, miscellaneous land, river, fish farm, railroad line and road slope.  
 4) Unit loads for golf course and skiing ground depend on the actual land use characteristics.  
 \*( ) : Previous unit loads (before 2009)



**Fig. 1.** Study area and analyzed specific land-use sites.

고해상도 영상자료(2007년 경기도 항공영상, 해상도 0.4 m)를 활용하여 지적지목 내 토지이용을 원단위지목으로 분류를 실시한 결과, Fig. 2에서와 같이 학교지목 내에는 원단위 지목 대지, 기타 등으로 구성되어 있었으며 대학교, 아파트, 골프장 지적지목의 경우에도 단일 원단위가 아닌 여러 가지 원단위 지목으로 구성되어 있었다.

따라서 적절한 비점오염 부하량 산정을 위해서는 고해상도 영상을 활용하여 지목별 면적을 토지피복특성에 맞게 산정하는 것이 적절할 것으로 판단되나 시기 및 목적에 맞는 영상을 확보하는데 어려움이 있어 적용에는 무리가 있다. 이러한 영상자료의 어려움을 극복하기 위해 지적 지목내 원단위 항목에 대한 면적을 일반화시켜 적용하는 방안을 검토하여 보았다. 이를 위해 경안천 유역의 대상 지적지목의 여러 사례에

대해 피복분류를 실시하였으며 이러한 사례들을 일반화하여 적용방안을 알아보기 위해 통계적 유의성 분석을 실시하였다.

통계적 유의성 분석은 수질, 강우량, 설문조사, 실험결과 등의 분포를 파악하여 통계적 추론을 하는 데에 이용되고 있는 정규분포 분석을 실시하였다(과학기술부, 2004; 영산강·섬진강 수계관리위원회, 2008). 정규분포는 연속확률변수  $X$ 의 확률밀도함수  $f(x)$ 가

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \tag{1}$$

(단,  $-\infty < x < \infty$ ,  $m$ : 평균,  $\sigma$ : 표준편차)

의 형태로 주어질 때 정규분포를 따른다고 말한다. 정규분

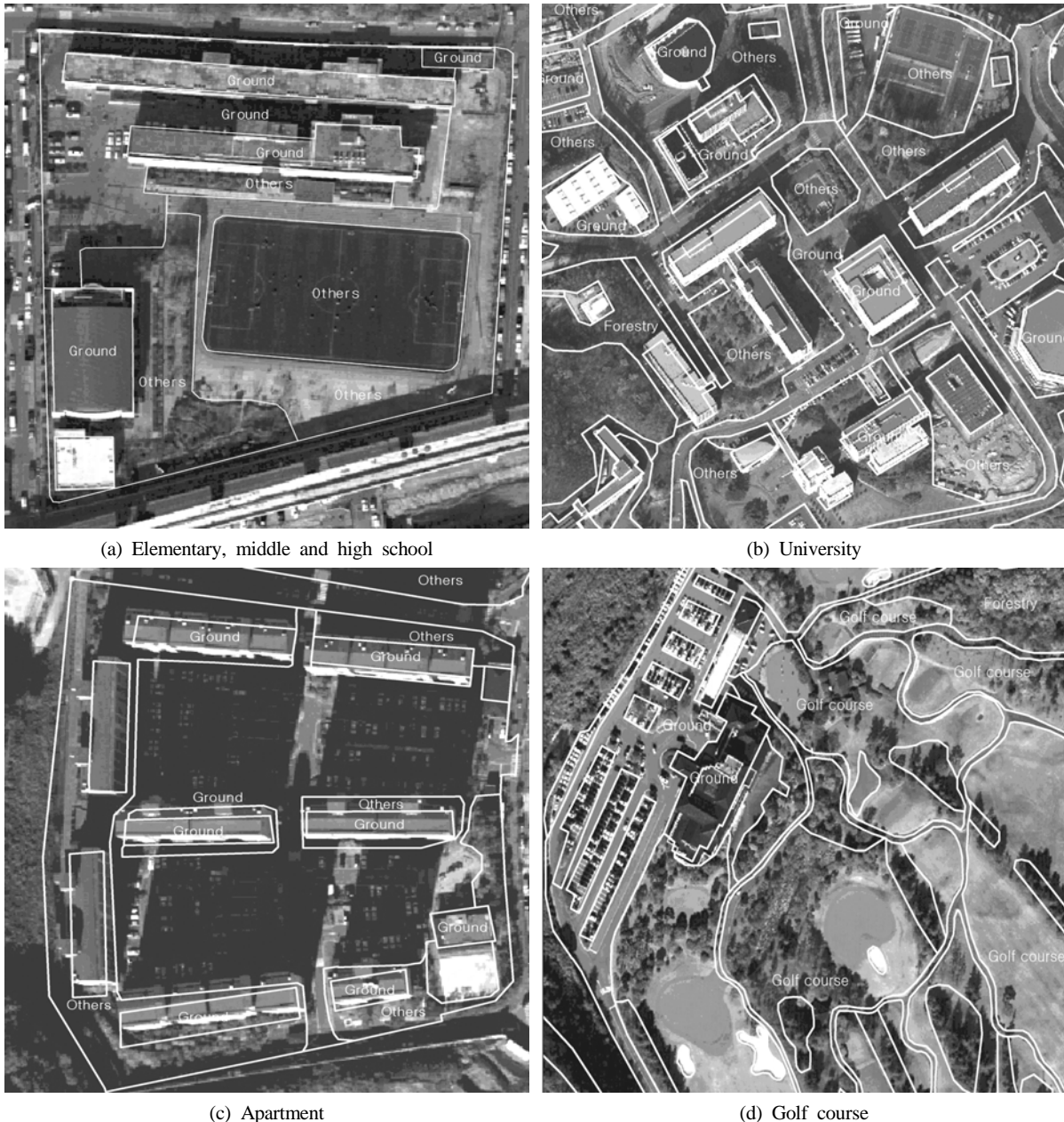


Fig. 2. Example of classification of unit load categories.

포검정 분석은 검정에 자주 사용되고 있는 Kolmogorov-Smirnov의 검정법, Shapiro-Wilk 검정법 및 Q-Q(Quantile-Quantile) plot을 사용하였다. 정규분포 검정의 귀무가설은 “변수의 모집단 확률분포가 정규분포를 따른다.”로, 유의확률이 0.05보다 크면 귀무가설이 채택되고 정규분포를 따른다고 결론 내린다. Q-Q plot은 변수의(모집단) 분포가 정규분포를 따른다는 가정하에서 얻은 백분위 값(expected value)과 변수의 데이터로부터 얻은 백분위 값(observed value)을 산점도에 그려 넣은 것으로 직선상에 놓이면 정규분포에 따르는 것으로 분석한다(강병서, 2005).

정규분포의 검정은 통계 분석 프로그램인 SPSS 17.0 (Statistical Package for the Social Sciences)을 통해 각각의 대상지목에 대해 적용 원단위별 차지하는 면적을 산정한 후, 지적지목 내에 존재하는 원단위 지목의 면적 비율에 대해 실시하였다. 그리고 정규분포 검정결과 정규분포를 따르는 것으로 분석된 특정지목의 경우 오차를 고려하여 95%가 속하는 값(5%가 기각되는 값)이 포함되는 범위를 비점오염원 각 원단위가 차지하는 비율로 판단하여 개선방안을 검토하여 보았다.

이때, 5%를 기각하는 값(95%가 포함되는 값)은 표준정규 분포와의 편차를 구하는 다음의 식을 통해서 구할 수 있다 (z값은 표준정규 분포표에서 확률이 95%인 값).

$$Z = \frac{X - m}{\sigma} = 1.645 \tag{2}$$

$$\therefore X_{95\%} = Z\sigma + m = 1.645\sigma + m \tag{3}$$

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 특정지목별 토지피복 특성 분석결과

##### 3.1.1. 초·중·고등학교

기존 오염부하량 산정시 한강수계 오염총량관리계획수립 지침(환경부, 2006; 이하 ‘한강수계지침’)상 원단위 지목 대지로 100%로 산정되었던 총 49개의 초·중·고등학교를 각 원단위 항목으로 분석한 결과 전체 학교 용지 중 ‘대지’의 면적은 약 10~80%, 기타의 면적은 약 20~90%를 보이는 것으로 나타났다(Table 2, Fig. 3). 주목할 것은 초·중·고등학교 용지 내에는 체육장과 이밖에 화단 등으로 인해 대지 이외의 지목이 적어도 20% 이상 포함된다는 것이다. 이는 고등학교 이하 학교 설립을 위해서는 학생 수에 따라 배수가 잘되거나 배수시설을 갖춘 일정 면적 이상의 체육장을 설치하도록 규정한 「고등학교 이하 각급 학교 설립·운영규정」(이하 학교설립·운영규정)이 반영된 되었기 때문으로 판단된다.

**Table 2.** Estimated portions of applicable unit load categories in the elementary, middle and high school sites based on the high resolution aerial images

	Ground		Forestry		Others			Ground		Forestry		Others	
	Area (m <sup>2</sup> )	%	Area (m <sup>2</sup> )	%	Area (m <sup>2</sup> )	%		Area (m <sup>2</sup> )	%	Area (m <sup>2</sup> )	%	Area (m <sup>2</sup> )	%
S1	407.19	8.40	1,562.48	32.24	2,876.57	59.36	S26	4,240.16	36.93	1,899.36	16.54	5,341.27	46.52
S2	1,245.69	11.11	2,981.45	26.59	6,985.74	62.30	S27	7,563.24	37.89	0.00	0.00	12,395.67	62.11
S3	1,188.10	12.50	0.00	0.00	8,319.51	87.50	S28	6,724.53	39.15	0.00	0.00	10,452.16	60.85
S4	2,382.26	14.27	4,271.41	25.59	10,040.38	60.14	S29	7,829.57	39.33	0.00	0.00	12,075.82	60.67
S5	2,048.83	15.19	1,526.91	11.32	9,912.06	73.49	S30	4,070.16	39.38	0.00	0.00	6,266.00	60.62
S6	2,333.97	15.39	0.00	0.00	12,832.27	84.61	S31	8,383.04	40.63	0.00	0.00	12,251.84	59.37
S7	3,647.79	16.71	6,421.60	29.41	11,764.07	53.88	S32	8,717.28	42.37	0.00	0.00	11,858.79	57.63
S8	3,828.44	17.20	6,889.32	30.96	11,534.82	51.84	S33	6,471.49	42.62	652.62	4.30	8,060.97	53.08
S9	3,150.85	18.58	2,501.77	14.75	11,306.34	66.67	S34	7,634.43	42.71	0.00	0.00	10,241.72	57.29
S10	12,839.88	18.63	0.00	0.00	56,084.07	81.37	S35	7,383.35	43.07	0.00	0.00	9,757.78	56.93
S11	2,592.15	19.72	0.00	0.00	10,554.23	80.28	S36	9,961.83	44.12	0.00	0.00	12,615.76	55.88
S12	2,282.78	20.34	0.00	0.00	8,939.63	79.66	S37	6,214.65	45.08	0.00	0.00	7,570.69	54.92
S13	13,750.77	21.94	15,579.39	24.85	33,354.85	53.21	S38	7,812.26	46.92	1,362.21	8.18	7,476.03	44.90
S14	3,272.74	23.86	0.00	0.00	10,442.61	76.14	S39	5,723.49	47.24	1,077.15	8.89	5,314.34	43.87
S15	4,124.14	25.39	313.85	1.93	11,804.76	72.68	S40	5,076.30	48.05	0.00	0.00	5,488.93	51.95
S16	3,001.93	26.08	0.00	0.00	8,509.82	73.92	S41	5,046.76	49.29	0.00	0.00	5,191.81	50.71
S17	2,139.98	27.42	982.57	12.59	4,682.90	60.00	S42	9,662.38	49.53	0.00	0.00	9,846.57	50.47
S18	2,671.35	28.12	681.83	7.18	6,145.04	64.70	S43	5,530.84	50.92	0.00	0.00	5,331.57	49.08
S19	6,913.40	28.87	0.00	0.00	17,030.44	71.13	S44	13,469.28	52.18	0.00	0.00	12,343.97	47.82
S20	7,004.70	30.60	2,739.94	11.97	13,149.24	57.44	S45	15,896.95	53.65	750.75	2.53	12,983.45	43.82
S21	3,126.10	32.02	0.00	0.00	6,635.90	67.98	S46	7,910.98	62.81	0.00	0.00	4,684.65	37.19
S22	6,941.05	32.57	0.00	0.00	14,367.22	67.43	S47	6,711.08	65.26	0.00	0.00	3,572.83	34.74
S23	4,999.86	34.43	0.00	0.00	9,523.24	65.57	S48	8,699.82	67.30	0.00	0.00	4,226.87	32.70
S24	3,562.53	35.43	0.00	0.00	6,492.03	64.57	S49	8,114.05	76.60	0.00	0.00	2,478.34	23.40
S25	6,014.10	35.51	0.00	0.00	10,920.54	64.49							

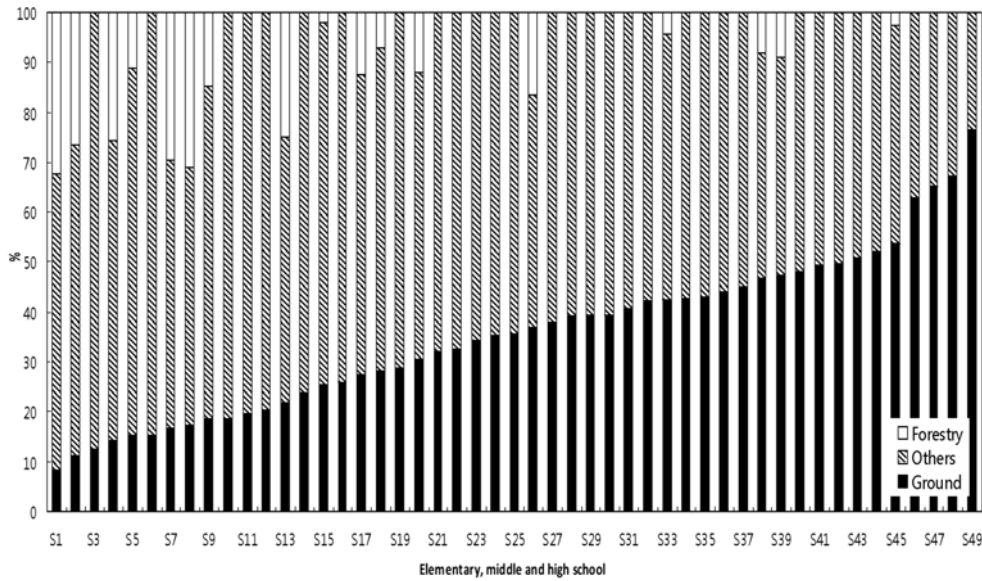


Fig. 3. Relative portions of applicable unit load categories area in the elementary, middle and high school sites.

Table 3. Estimated portions of applicable unit load categories in the university sites based on the high resolution aerial images

	Ground		Forestry		Others	
	Area (m <sup>2</sup> )	%	Area (m <sup>2</sup> )	%	Area (m <sup>2</sup> )	%
U1	9,144.30	16.11	9,152.37	16.12	38,478.09	67.77
U2	31,118.22	31.86	29,266.38	29.97	37,279.64	38.17
U3	108,700.84	38.92	20,870.22	7.47	149,746.85	53.61
U4	26,260.11	39.18	0.00	0.00	40,771.95	60.82
U5	174,625.98	40.18	21,678.00	4.99	238,282.92	54.83
U6	54,721.79	41.73	10,536.88	8.03	65,882.67	50.24
U7	85,023.80	42.63	48,812.13	24.48	65,599.14	32.89

3.1.2. 대학교

경안천 수계에 위치하는 7개 대학교의 경우 학교별로 다소 차이는 있으나 한강수계지침상 원단위 지목 ‘대지’의 면적은 전체 대학교 면적 중에 16.11~42.63%에 지나지 않고 기타 면적이 32.89~67.77%, 임야가 4.99~29.97%를 차지하는 것으로 나타났다(Table 3, Fig. 4). 대학교의 경우에도 초·중·고등학교와 같이 용지 내에 체육장, 화단, 광장 및 산림 등이 포함되어 전체 학교용지 중 실제 대지가 차지하는 비율이 일부 학교를 제외하면 40% 내외를 보이고 있다.

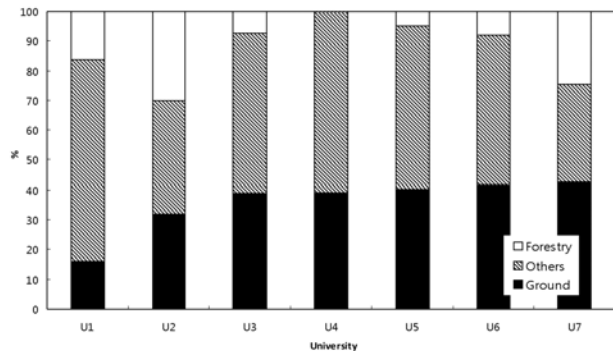


Fig. 4. Relative portions of applicable unit load categories area in the university sites.

3.1.3. 아파트

기존 토지계 오염부하량 산정시 대지 100%로 산정되고 있는 경안천 수계의 12개 아파트 단지를 분석한 결과, 실제 대지 특성을 보이는 면적은 51.20~80.50%이고 기타가 18.18~48.80%를 차지하고 있는 것으로 나타났다(Table 4, Fig. 5). 「주택건설기준 등에 관한 규정」(이하 주택건설기준)에 의하면 공동주택의 경우 100분의 30에 해당하는 면적의 녹지를 확보하게 되어 있어 아파트 단지의 경우 실제 대지 면적이 70%를 초과할 수 없다. 그러나 일부 아파트 단지의 경우 대지 면적이 70%를 초과하고 있는데 이는 영상판독이 가능한 면적보다 작은 면적(10 m×10 m)에 대한 계산 오류 또는 건설허가 이후의 용도변경 등으로 인한 것으로 추측된다.

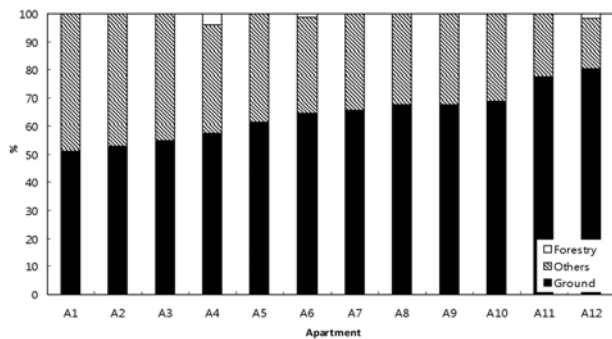
3.1.4. 골프장

기존 한강수계지침에서는 골프장 면적 전체를 골프장으로 보아 골프장 원단위 100%로 적용하여 부하량을 산정하도록 하고 있다.1) 경안천 수계에 위치하는 15개의 골프장에 대해 토지피복 특성을 분석한 결과 원단위 지목 골프장

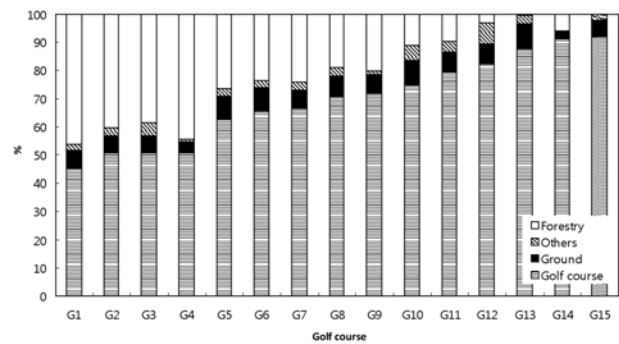
1) 2009년 개정된 한강수계 오염총량관리계획 수립지침에서는 골프장의 경우 골프장 원단위를 사용하는 대신 실제 토지이용형태에 따라 해당 지목에 산입함

**Table 4.** Estimated portions of applicable unit load categories in the apartment sites based on the high resolution aerial images

	Ground		Forestry		Others	
	Area (m <sup>2</sup> )	%	Area (m <sup>2</sup> )	%	Area (m <sup>2</sup> )	%
A1	15,738.10	51.20	0.00	0.00	15,016.30	48.80
A2	16,044.20	53.00	0.00	0.00	14,252.40	47.00
A3	4,091.00	54.80	0.00	0.00	3,373.10	45.20
A4	9,165.90	57.40	658.2	4.10	6,140.40	38.50
A5	6,905.90	61.40	0.00	0.00	4,350.10	38.60
A6	6,636.40	64.50	113.3	1.10	3,543.00	34.40
A7	6,858.40	65.80	0.00	0.00	3,561.50	34.20
A8	4,345.50	67.60	0.00	0.00	2,086.50	32.40
A9	13,475.40	67.60	0.00	0.00	6,456.10	32.40
A10	23,123.50	68.80	0.00	0.00	10,474.90	31.20
A11	18,402.40	77.70	0.00	0.00	5,247.00	22.30
A12	16,402.40	80.50	281.8	1.40	3,692.20	18.10



**Fig. 5.** Relative portions of applicable unit load categories area in the apartment sites.



**Fig. 6.** Relative portions of applicable unit load categories area in the golf course sites.

에 해당하는 면적은 전체의 45.15~91.88%를 나타내었으며 ‘대지’가 3.84~8.83% 정도를 차지하고 있는 것으로 나타났다(Table 5, Fig. 6). 이는 골프장 내에 존재하는 클럽하우스, 주차장, 관리사무소 및 카드 도로 등이 대지 특성을 보이기 때문이다.

이와 같이 초·중·고등학교, 대학교, 아파트 및 골프장을

원단위 지목별로 고해상도 영상을 활용하여 토지피복 특성을 분석한 결과 원단위 지목 대지 100%를 적용하는 초·중·고등학교, 대학교, 아파트의 경우 대지성분으로만 구성되어 있는 것이 아니라 일정 비율 이상의 다른 원단위 지목(임야, 기타)이 존재하기 때문에 부하량이 과대 추정됨을 볼 수 있다. 반면, 골프장의 경우 일정비율 이상의 대지를

**Table 5.** Estimated portions of applicable unit load categories in the golf course sites based on the high resolution aerial images

	Golf course		Ground		Forestry		Others	
	Area (m <sup>2</sup> )	%	Area (m <sup>2</sup> )	%	Area (m <sup>2</sup> )	%	Area (m <sup>2</sup> )	%
G1	381,332.98	45.14	53,784.77	6.37	390,013.02	46.17	19,624.95	2.32
G2	504,402.58	50.55	61,589.23	6.17	404,068.30	40.49	27,789.56	2.78
G3	1,399,499.77	50.73	172,027.24	6.24	1,062,205.18	38.51	124,788.34	4.52
G4	866,013.02	50.77	65,559.05	3.84	755,836.08	44.31	18,432.32	1.08
G5	480,698.30	62.86	61,499.42	8.04	201,960.42	26.41	20,517.68	2.68
G6	437,032.96	65.47	56,115.85	8.41	157,182.98	23.55	17,159.73	2.57
G7	482,793.07	66.44	47,905.75	6.59	175,253.26	24.12	20,668.51	2.84
G8	1,010,700.65	70.62	106,078.86	7.41	272,615.12	19.05	41,786.69	2.92
G9	651,153.97	71.73	61,433.90	6.77	184,455.25	20.32	10,800.19	1.19
G10	457,222.18	74.82	53,940.61	8.83	67,768.25	11.09	32,137.27	5.26
G11	799,958.64	79.36	72,177.86	7.16	98,569.33	9.78	37,291.22	3.70
G12	302,479.79	84.32	26,124.17	7.11	11,976.29	3.26	26,847.77	7.31
G13	667,110.50	87.72	66,633.73	8.76	1,515.95	0.20	25,243.96	3.32
G14	171,129.01	91.23	4,771.89	2.54	11,216.10	5.98	455.98	0.24
G15	280,576.86	91.88	17,852.87	5.85	0.00	0.00	6,927.00	2.27

**Table 6.** Statistical verification of normal distribution

	Kolmogorov-Smirnov method		Shapiro-Wilk method	
	Statistic	Sig.	Statistic	Sig.
Elementary, middle and high school	.074	.200*	.973	.311
University	.345	.012	.738	.010
Apartment	.142	.200*	.951	.655
Golf course	.154	.200*	.941	.399

\*. This is a lower bound of the true significance.

포함하고 있어 단순히 골프장 원단위를 사용하는 경우 부하량이 과소 추정될 수 있음이 확인되었다. 따라서 보다 정확한 토지계 비점오염 부하량을 산정하기 위해서는 고해상도 영상을 사용하여 실제 토지피복 특성을 세분하고 이에 따라 적절한 원단위를 적용하는 것이 바람직하다고 판단된다.

**3.2. 특정지목 내 존재하는 지목간의 통계분석**

**3.2.1. 정규성 검토**

특정 지목 내 존재하는 지목간의 통계적 관계를 파악하기 위해 통계 분석프로그램인 SPSS 17.0을 사용하여 초·중·고등학교, 대학교, 아파트의 원단위 대지와 골프장의 원단위 골프장에 대하여 Kolmogorov-Smirnov의 검정법, Shapiro-Wilk 검정법 및 Normal Q-Q plot을 이용하여 정규분포를 검증해보았다.

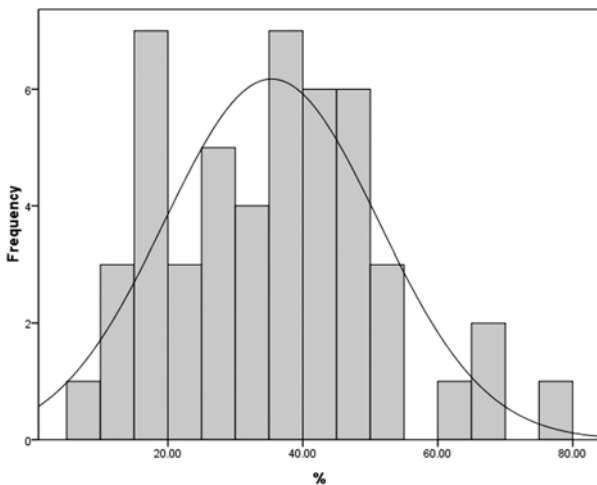
검증 결과 초·중·고등학교, 골프장 및 아파트의 경우 Kolmogorov-Smirnov의 검정법 및 Shapiro-Wilk 검정법에서 모두 유의도가 0.05 이상의 값을 나타내었으며, Q-Q plot 분석에서도 정규분포를 따른다는 가정하에 얻은 백분위 값(expected value)과 변수의 데이터로부터 얻은 백분위 값(observed value)의 분포가 직선의 값을 나타내는 것으로 보아 이러한 지목들은 정규분포를 따르는 것으로 판단된다(Table 6, Fig. 7~10). 그러나 대학교의 경우 샘플의 수가 적고 분포가 크게 왜곡되어 정규분포를 따르지 않는 것으로 분석되었다.

**3.2.2. 정규분포를 보이는 지목간의 연관성**

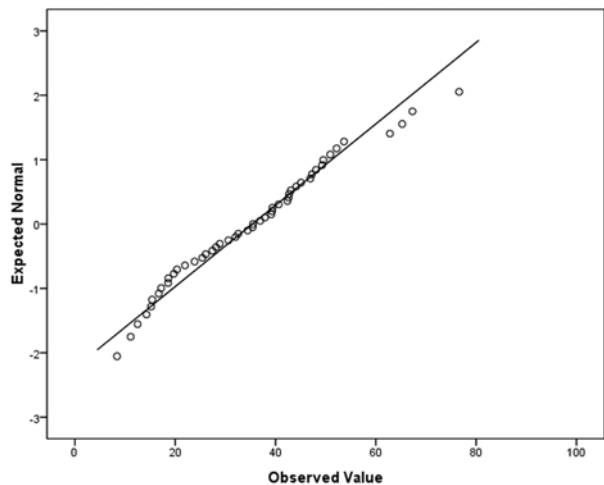
일반적인 통계 분석결과 및 정규분포 검정 결과 정규분포를 나타내고 있는 초·중·고등학교, 골프장, 아파트에 대한 5%가 기각되는 값(95%가 포함되는 값)의 산정 결과는 Table 7과 같다.

정규분포를 따르는 것으로 분석된 초·중·고등학교 원단위 대지지목의 경우 평균 35.37%, 표준편차 15.83으로 나타났으며 5% 기각 값은 61.41%인 것으로 분석되었다. 학교 설립·운영규정에 따라 대지 이외의 지목이 일정 면적이상 포함되는 점과 본 연구의 분석결과를 종합하여 볼 때 원단위 지목의 적용의 개선이 필요한 것으로 판단된다. 따라서 초·중·고등학교 지목의 경우 개선 방안으로 연구 결과로부터 5% 기각 값이 포함되는 대지 60~70%(65%), 기타 30~40%(35%)로 적용하여 부하량을 산정하는 방안을 고려해 볼 수 있다.

아파트의 경우 SPSS 분석 결과 원단위 대지지목 면적이 평균 64.19%, 표준편차 9.20으로 나타났으며, 5% 기각 값은 79.33%로 분석되었다. 주택건설기준에 의해 일정 면적 이상의 녹지를 확보하여야 점을 고려하여 볼 때 아파트 등과 같은 공동주택의 경우 원단위 적용에 대한 재검토가 필요하다. 주택건설기준을 적용하여 개선방안을 도출하면 기타 면적을 30% 정도 적용하는 것이 타당한 것으로 보이나 설계시 미세한 면적까지 포함되는 점과 완화에 따른 위험성 및 본 연구 결과를 종합적으로 검토하여 볼 때 아파트의 경우 대지 75~85%(80%), 기타 15~25%(20%)를 적용하여 부하량을 산정하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

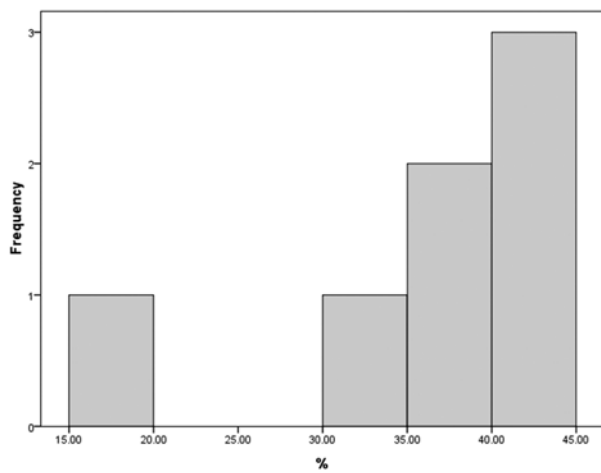


(a) Histogram

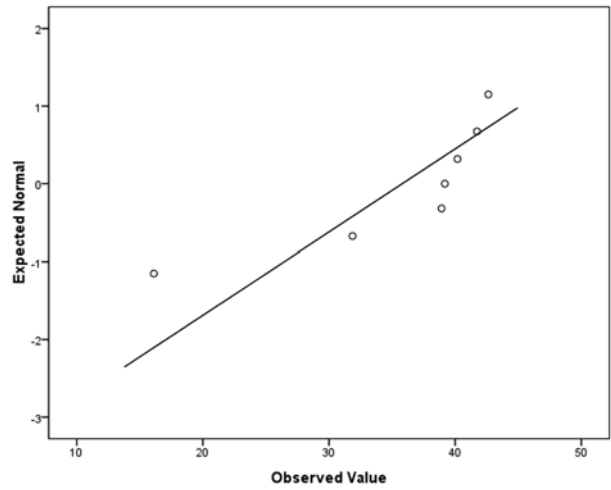


(b) Normal Q-Q plot

**Fig. 7.** Histogram and normal Q-Q plot of elementary, middle and high school.

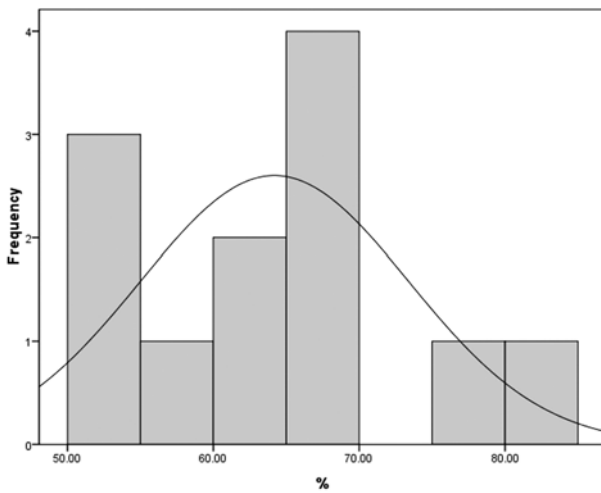


(a) Histogram

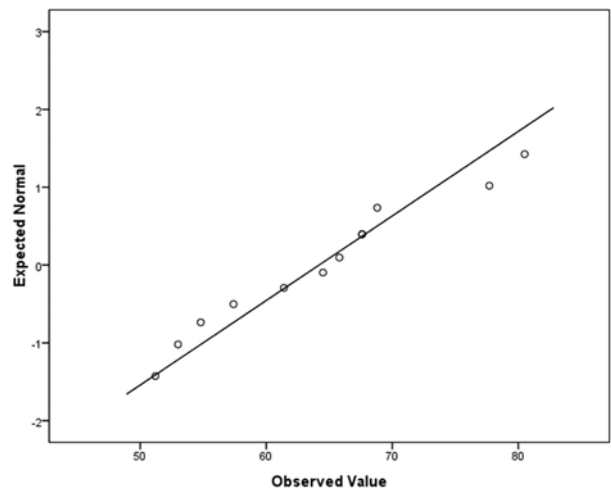


(b) Normal Q-Q plot

Fig. 8. Histogram and normal Q-Q plot of university.

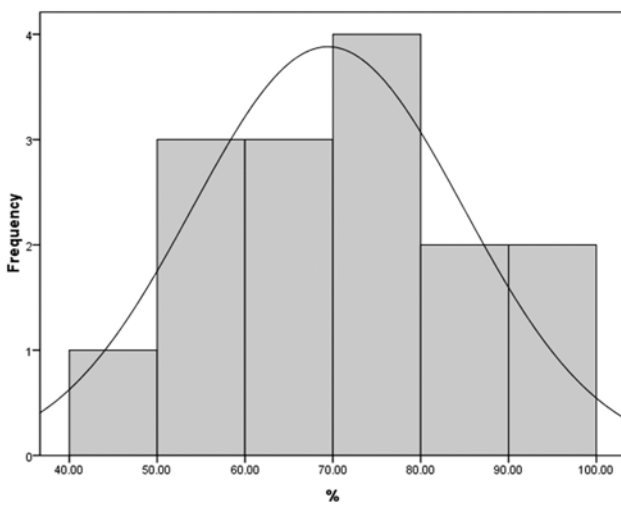


(a) Histogram

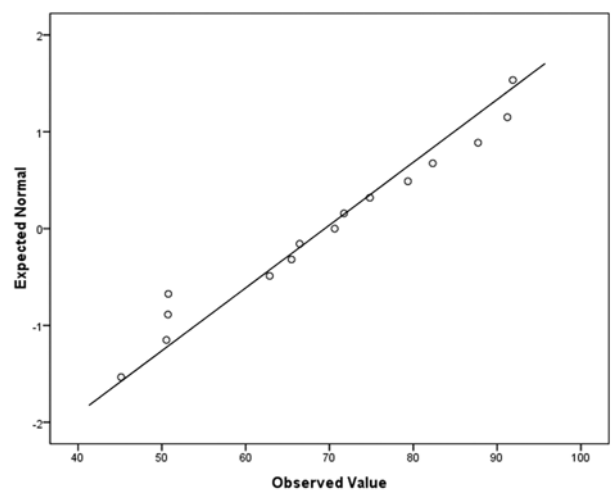


(b) Normal Q-Q plot

Fig. 9. Histogram and normal Q-Q plot of apartment.



(a) Histogram



(b) Normal Q-Q plot

Fig. 10. Histogram and normal Q-Q plot of golf course



**Table 7.** Result of statistical analysis

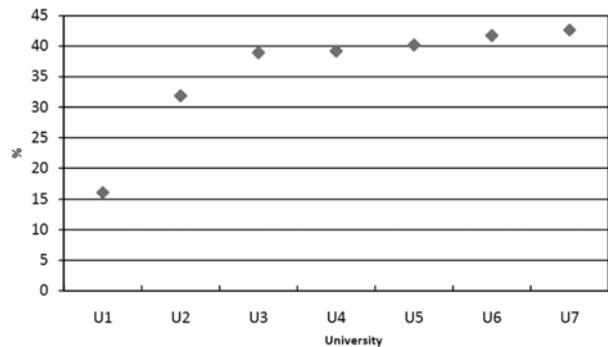
	Elementary, middle and high school	University	Apartment	Golf course
Mean	35.37	35.80	64.19	69.44
Median	35.51	39.18	65.15	70.62
Variance	250.48	87.56	84.70	237.60
Std. Deviation	15.83	9.36	9.20	15.41
Minimum	8.40	16.11	51.20	45.14
Maximum	76.60	42.63	80.50	91.88
Skewness	.390	-1.998	.311	-.079
Kurtosis	-.202	4.009	-.543	-1.139
5% rejection value	61.41% (ground)	-	79.33% (ground)	94.80% (golf course)

골프장의 경우 분석 결과 원단위 골프장의 면적이 평균 69.44%, 표준편차 15.41로 나타났으며 5% 기각 값은 94.80% 이었다. 골프장의 경우 용지사용에 대한 규정은 없지만 일반적으로 골프하우스, 주차장 및 관리시설이 필요하기 때문에 원단위 적용 시 골프장 90~100%(95%) 및 대지 0~10% (5%)로 적용하는 것이 타당하다고 사료된다.

**3.2.3. 비정규분포를 보이는 지목간의 연관성**

대학의 경우 데이터의 수가 7개로 적어 분포를 통계화하기 어려움이 있어 개선방안 값을 통계적 분석을 통해 산정하는 데에는 무리가 있는 것으로 판단된다. 그러나 대학의 대지 비율을 기준으로 크기순으로 나열하여 분석한 결과, 그래프가 비교적 일정한 값(약 45%)에 수렴하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 데이터의 수가 적어 오차가 있을 수는 있으나 그래프의 양상을 볼 때 대학의 경우 대지 40~50% (45%) 및 기타 50~60%(55%)로 원단위를 적용하여 부하량을 산정하는 것이 바람직한 것으로 보인다.

현재 원단위법에서 정확한 원단위 면적을 산정하지 못하는 점을 개선하기 위한 방법으로 고해상도 영상을 활용해 지목별 면적을 산정하여 통계분석을 실시한 결과를 종합하여 볼 때 원단위법의 개선방안으로 100% 대지 원단위가 적용되는 초·중·고등학교의 경우 대지 원단위는 약 65%, 그리고 나머지는 기타 원단위(35%)를 적용하는 것이 타당한 것으로 판단된다. 대학교의 경우에는 기존의 대지 원단위 100%에서 대지 원단위 45%, 기타 원단위 55%로 산정하는 것이 바람직해 보인다. 또한 아파트의 경우 대지 원단위



**Fig. 11.** Ground category ratio in the university.

80%, 기타 원단위 20%를 적용하고, 골프장의 경우 기존의 방법에서 100% 골프장 원단위가 적용되고 있으나 분석결과 골프장 원단위는 95%, 그리고 나머지는 대지 원단위 (5%)를 적용하는 것이 타당한 것으로 분석되었다.

발생부하량 측면에서 기존 방법과 본 연구의 개선방안을 비교하여 보면 기존의 산정방법에서 대지 100%로 계산되었던 초·중·고등학교, 대학교, 아파트의 경우 각각 34.6%, 54.4% 및 19.8% 정도가 개선방안에 비해 과대평가되고 있는 것으로 분석되었다. 반면에 기존 방법에서 골프장 100%로 산정되었던 골프장의 경우 기존방법의 부하량이 개선방안의 부하량에 약 19.1% 정도로 부하량이 크게 과소평가되고 있는 것으로 나타났다. 대지 원단위 적용 면적이 5%로 비교적 적지만 부하량의 차이가 매우 크게 나타난 것은 대지의 원단위 값이 85.9 kg/km<sup>2</sup>·day로 골프장 원단위(1.0 kg/km<sup>2</sup>·day) 값에 비해 매우 높은 값을 가지고 있기 때문인 것으로 판단된다(Table 8).

**Table 8.** Differences of applied unit loads and estimated nonpoint pollution loads

	Present method		Recommended method	
	Applied loads	Total loads	Applied loads	Total loads
Elementary, middle and high school	Ground 100%	73.56 kg/d	Ground 60~70% (65%) Others 30~40% (35%)	48.11 kg/d
University	Ground 100%	108.75 kg/d	Ground 40~50% (45%) Others 50~60% (55%)	49.63 kg/d
Apartment	Ground 100%	18.92 kg/d	Ground 75~85% (80%) Others 15~25% (20%)	15.18 kg/d
Golf course	Golf course 100%	14.07 kg/d	Golf course 90~100% (95%) Ground 0~10% (5%)	73.80 kg/d

대학교와 골프장의 경우 발생부하량이 50 kg/d 이상 차이가 나는 것으로 분석되었는데 발생부하량 50 kg/d 정도의 차이는 가정인구 약 1,000명 정도의 발생부하량(시가지역 가정인구 발생부하량단위 50.7 g/인/일)과 비슷한 수준이다. 이는 지적지목에 따라 약 250가구(4인 1가구 기준) 정도의 개발이 좌우되는 큰 차이이므로 정확한 부하량 산정을 위해 현재의 원단위법에 대한 개선이 반드시 필요함을 반영한다.

그러나 본 연구결과는 일부 지적지목의 경우 도시나 농촌 등의 지역별로 편차가 있다는 점을 고려하면 대상이 되는 경안천 유역에만 제한적으로 적용될 수 있으며, 일반화를 위해서는 보다 광범위한 지역에 대한 연구와 대상지목 모두에 대한 조사가 선행되어야 할 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서 제안한 방법은 현재의 원단위를 사용하여 비점부하량을 산정할 경우 적용될 수 있는 개선방안이지만 비점부하량 산정 시 실제적인 유출특성을 반영할 수 있는 방법은 아니라는 한계가 있다.

#### 4. 결론

본 연구는 경안천 유역을 대상으로 고해상도 영상자료를 이용하여 특정 지적 지목내 토지이용이 비슷해 피복면적을 일반화 시킬 수 있을 것으로 판단되는 학교용지, 아파트, 골프장 등의 특정지목에 대하여 토지피복 경향을 분석하여 실제의 토지이용을 반영하지 못하고 있는 현재의 비점오염 부하량 산정방안에 대하여 개선방안을 검토하여 보았다.

토지지목별 면적을 산정해본 결과 토지계 비점오염 부하량을 산정하는데 사용하고 있는 지적공부가 실제의 토지피복을 반영하지 못하고 있는 것으로 분석되었으며 예상대로 초·중·고등학교, 대학교, 아파트의 경우 부하량이 과도하게 산정되는 반면 골프장은 과소 추정되는 것으로 나타나 부하량 산정방안에 대한 개선이 필요한 것으로 판단된다.

이러한 현재의 토지계 부하량 산정의 문제를 개선하기 위한 방안으로 본 연구의 결과와 같이 토지피복결과 원단위 지목의 비율이 지적지목별로 일정한 범위를 나타내는 지목의 경우 이러한 일정한 비율을 적용하여 부하량을 산정하는 것이 보다 정확할 것으로 판단된다. 그리고 원단위 지목이 일정한 비율의 범위를 나타내고 있지는 않지만 그 값이 정규분포를 나타내고 있는 경우에는 일정비율이 포함

되는 값(또는 기각되는 값)을 선정하여 지적지목의 면적을 원단위 지목 면적으로 환산하여 적용하는 것이 현재의 산정방법 보다 정확한 부하량을 산정할 수 있을 것으로 사료된다.

## 사 사

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

## 참고문헌

- 강병서(2005). SPSS를 활용한 다변량 통계학, 한경사.
- 고성훈, 쉬라즈 아메드 메몬, 이창희(2009). 경안천지역의 도로 및 주차장에 대한 강우유출수의 특성분석과 원단위 산정. *수질보전 한국물환경학회지*, 25(5), pp. 689-696.
- 과학기술부(2004). 실시간 물 관리 운영 시스템 구축 기술 개발.
- 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), pp. 203-216.
- 신은성, 최지용, 이동훈(2001). 토지용도와 유역특성을 고려한 비점오염물질 원단위 선정에 관한 연구. *수질보전 한국물환경학회지*, 17(2), pp. 137-146.
- 영산강·섬진강 수계관리위원회(2008). 주요 비점오염원 유출 장기모니터링 및 저감기법 연구(2년차 보고서).
- 이법연, 이창희, 이수용, 하도(2009). 원단위법에 의한 비점오염부하량 산정 시 토지피복 특성을 반영하는 고해상도 항공영상의 활용방안. *환경영향평가학회지*, 18(5), pp. 281-291.
- 최지용, 신창민(2002). 비점오염원 유출저감을 위한 우수 유출수 관리방안. 한국환경정책·평가연구원, KEI-2002-RE-03.
- 한강수계관리위원회(2007). 주요 비점오염원 유출 장기모니터링 및 저감기법 연구.
- 환경부(2006). 한강수계 오염총량관리계획수립지침.
- US Environmental Protection Agency(1994). *Nonpoint Sources Pollution Control Program*. USA.
- US Environmental Protection Agency(2008). *Handbook for Developing Watershed TMDLs*. USA.
- Water Environment Research Foundation(2003). *Navigating the TMDL Process: Evaluation and Improvements*. USA.