

ORIGINAL ARTICLE

토지피복지도를 활용한 농업비점오염원 오염부하량 산정에 관한 연구

유지은 · 김윤지 · 성현찬¹⁾ · 이경일 · 최지용²⁾ · 전성우*

고려대학교 환경생태공학과, ¹⁾고려대학교 리질리언스연구원, ²⁾서울대학교 그린바이오 과학기술원

Method for Calculating the Pollution Load Amount of Agricultural Non-Point Sources Using Land Cover Map

Yu Jieun, Kim Yoonji, Sung Hyun-Chan¹⁾, Lee Kyung-il, Choi Ji-yong²⁾, Jeon Seung-woo*

Department of Environmental Science & Ecological Engineering, Korea University, Seoul 02841, Korea

¹⁾Ojeong Resilience Institute, Korea University, Seoul 02841, Korea

²⁾Institute of Green-Bio Science and Technology, Seoul National University, Pyeongchang 25354, Korea

Abstract

Non-point source pollutants have characteristics that render them difficult to manage owing to the uncertainty of flow paths. As agricultural non-point sources account for more than 57% of non-point source pollutants, the necessity for management is increasing. This study examines the possibility of utilizing land cover maps to suggest a more appropriate method of setting management priority for agricultural non-point sources in the Daecheong Lake area and draws implications by comparing the results derived using the cadastral map, as mentioned in the TMDL Basic Policy. To define the prioritized areas for management, the pollution load was calculated for each subbasin using the formula from the TMDL technical guidelines. As a result, the difference in the average pollution load between the land cover map and cadastral map ranged from 11.6% to 21% among the subbasins. In almost all subbasins, there were differences in the ranking of management priorities depending on the land information that was used. In addition, it was found that it was reasonable to use the level 3 land cover map to calculate the load generated by the land system for examining the implementation goals and methods of each data and comparing them with satellite images.

Key words : Land cover map, Pollution load amount, Daecheong lake area, Agricultural non-point source

1. 서론

하천으로 유입되는 오염물질은 발생원에 따라 크게 점오염원과 비점오염원으로 구분할 수 있다. 점오염원은 가정하수 등과 같이 일정한 지점에서 일정한 양이 발생

되어 강우에 따라 배출량이 큰 변동이 없는 오염원이다. 반면, 비점오염원은 강우 시 지표면 유출수와 함께 유출되는 오염물질로 정량화가 어렵고 일간, 계절 간 배출량 변화가 큰 특징을 가지고 있다(Choi and Shin, 2002). 제2차 비점오염원 종합대책에 의하면 전체 오염원 중

Received 22 September, 2020; Revised 23 November, 2020;

Accepted 23 November, 2020

*Corresponding author: Seong-woo Jeon, Department of Environmental Science & Ecological Engineering, Korea University, Seoul 02841, Korea

Phone : +82-2-3290-3043

E-mail : cepps_korea@korea.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

비점오염원은 약 58.9%에서 68.3%를 차지하며, 토지계 오염원은 전체 비점오염원의 약 57.5%에서 63.5%를 차지하고 있어 발생원에 대한 관리가 시급한 것으로 확인되었다(OPM et al., 2012).

우리나라는 종합적 수질 관리를 위해 수질오염총량제를 도입하였으며, 현재 수질오염총량제에서는 토지계 오염원 관리를 위해 지적법에 근거한 면적과 발생원단위를 이용하고 있다(NIER, 2019). 하지만, Kim and Kwon (2011)의 연구에 따르면 우리나라 지목은 일필일목의 원칙을 적용한다. 따라서 현재 지적도에는 실제 토지이용과 관계없이 필지 내에서 주된 지목을 전체 필지의 지목으로 표시하고 있으며 지적도 현황에 대한 문제점을 제기하였다. 이를 해결하기 위해 Lee et al.(2003)은 위성 영상을 이용해 23가지 특성을 나타내는 중분류 토지피복 지도를 작성하고 이를 이용한 비점오염원 부하량을 산정하였다. 또한, Lee et al.(2012)는 영상 판독을 통해 대분류 토지피복지도에서 농경지에 해당하는 지역을 논과 밭으로 구분하여 수질을 모의 할 경우 그 정확도가 더 높은 것을 확인하였다. Kwak et al.(2014)는 오염총량제에서 토지피복지도 활용 제고를 위해 중분류 토지피복지도의 현행화 방법을 제시하였으며, Kwon et al.(2016)은 대분류 항목과 중분류 항목을 비교하여 토지피복 분류 체계에 따른 비점오염원의 부하량을 비교하였다. 앞선 연구들은 대분류 혹은 중분류 토지피복지도를 기준으로 사용하였으며, 고해상도 영상을 이용하여 토지피복과 지적의 차이를 확인하는 시도가 있었으나 영상 구축의 한계 및 영상의 정확도 등 오염총량제에 이용하기 위해 전국단위로 확대하기에는 한계가 있음을 확인하였다(Lee et al., 2009; Park et al., 2009).

지만, 환경부는 2020년부터 전국단위로 해상도 1 m 인 세분류 토지피복지도를 제공하고 있으며, 매년 변경사항을 갱신하여 제공할 계획이다. 또한, 배포 전 품질검사를 통해 높은 정확도로 제작된 지도를 제공한다(MOE, 2018(b)). 따라서, 세분류 토지피복지도 이용 시, 기존 연구에서 가진 한계를 해결할 수 있을 것으로 예상된다. 본 연구는 세분류 토지피복지도를 이용하여 농업비점오염원에 대한 오염부하량 산정을 위한 개선된 방안을 제안하였으며 비점오염원 관리 측면에서 세분류 토지피복 지도가 갖는 시사점을 도출하였다.

2. 연구 방법

2.1. 연구 대상지

본 연구의 대상지인 대청호 유역은 용담댐 하류부터 대청댐 유역까지 약 3,200 km² 지역으로 행정구역으로는 대전광역시 일부와 충청북도 옥천군, 보은군, 영동군, 충청남도 금산군 등을 포함하며 전라북도 무주군과 경상북도 상주시의 일부 지역을 포함한다. 유역 내 농업지역은 약 235 km²로 전체 면적의 약 7.36%를 차지하고 있으며, 평균 경사도는 약 12.8%이다(Appendix 1). 대청호 유역은 2017년 가장 높은 조류 발생 수치를 기록하는 등(MOE, 2018(a)) 지속적인 수질 문제가 제기되고 있는 지역이다. 수질 오염의 주요 원인으로 상류 지역에서 배출되는 비점오염원에 의한 부영양화 발생이 지목되고 있으며 이에 대한 관리 필요성이 제기되고 있다(Kwon et al., 2002).

본 연구에서는 수질오염총량제와 연계를 위해 수질오염총량제 단위유역과 소유역을 분석 단위로 사용하였다. 분석 대상 유역은 수질오염총량제의 금본 C(금본 C01~18), 금본 D(금본 D01~12), 금본 E(금본 E01~09), 금본 F(금본 F01~32), 보청 A(보청 A02~13), 초강 A(초강 A01~14)로 총 6개의 단위유역과 97개의 소유역을 포함한다(Fig. 1).

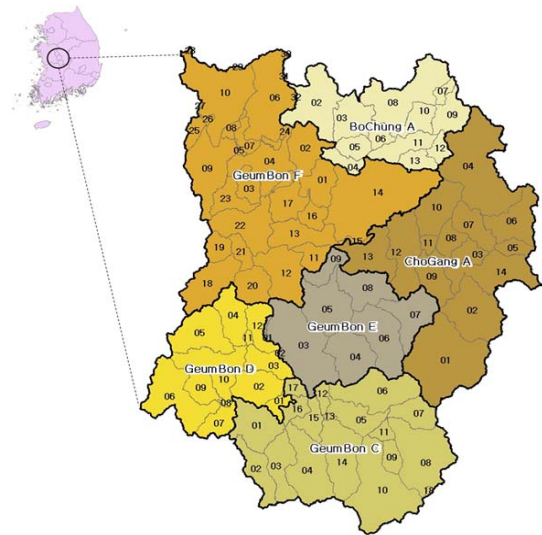


Fig. 1. Study area.

2.2. 연구의 흐름

본 연구는 대상지 내 97개의 소유역에 대해 지적도와 세분류 토지피복지도를 이용한 각각의 발생부하량을 산정하고, 소유역별 경사도를 기중치로 적용한 오염부하량을 산정하였다. 이를 통해 각각의 비점오염원 관리우선순위를 산정하고 두 결과의 비교를 통해 시사점을 도출하였다(Fig. 2).

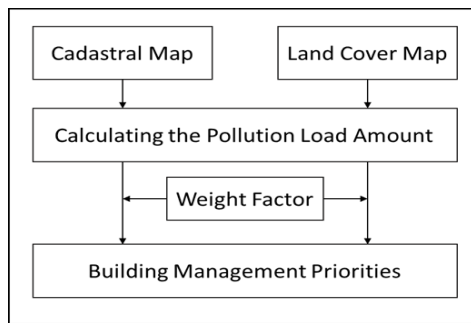


Fig. 2. Study flow.

소유역별 발생부하량을 산정하기 위해 국토교통부에서 제작하는 연속지적도와 환경부에서 제작하는 토지피복지도를 이용하였다(Fig. 3,4). 연속지적도와 세분류 토

지피복지도 모두 2017년에 제작된 지도를 사용하였으며, 지도 제작기간 중에는 토지이용의 변화가 없다고 가정하였다. 경사도 산정을 위해 국토지리정보원에서 제공하는 수치지도를 바탕으로 30 m 해상도의 수치표고모델(Digital Elevation Model, DEM) 자료를 구축하여 사용하였으며, ArcGIS를 이용하여 평균 경사도를 분석하여 이용하였다(Fig. 5).

2.3. 지적도 및 토지피복지도를 이용한 농업비점오염원 발생부하량 산정

본 연구에서는 농업비점오염원의 범위를 지적도의 지목 중 전(밭), 답(논), 과수원에 해당하는 지역에서 발생하는 오염물질로 정의하였다. 토지피복지도에서는 대부분류 중 농업지역에 포함되는 세분류 항목에 해당하는 지역에서 발생하는 물질을 농업지역으로 정의하였다. 다만, 세분류 항목 중 목장 항목의 경우 축산과 낙농을 위해 사용하는 시설을 의미하며(MOE, 2018(b)), 축사로부터 처리 또는 미처리되어 공공수역으로 배출되는 폐수의 경우 오염원 정의에 따르면 점오염원에 해당하기 때문에(NIER, 2019) 본 연구에서는 농업비점오염원의 범위에서 제외하였다.

농업비점오염원의 오염부하량은 발생부하량을 기준으로 하였으며, 발생부하량은 오염총량제의 관리 목표인

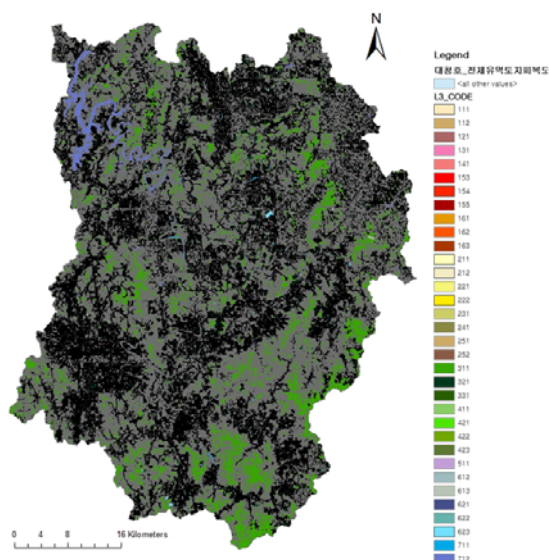


Fig. 3. Land cover map (Lv.3).

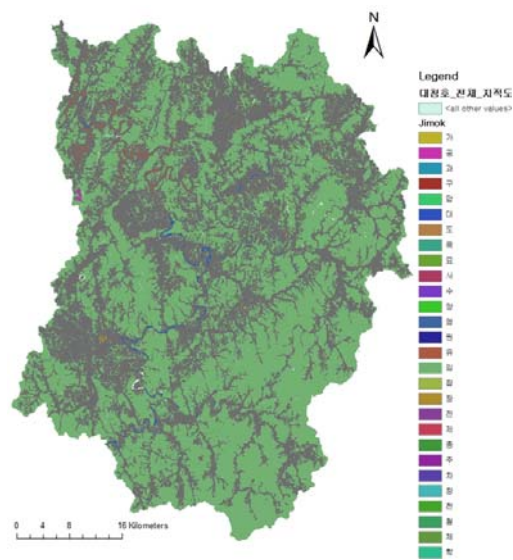


Fig. 4. Cadastral map.

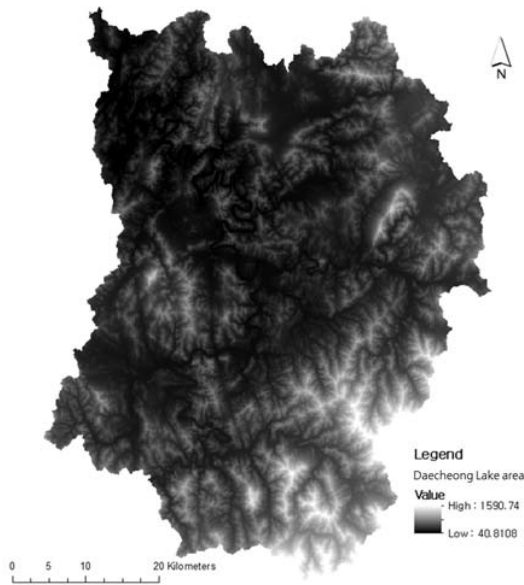


Fig. 5. The DEM of Daecheong lake area.

BOD와 T-P를 대상으로 아래 식과 같이 오염총량관리 기술지침(NIER, 2019)에 제시된 토지계 오염원 발생부하량 산정방법을 이용하였다(Equation 1).

$$\begin{aligned} & \text{토지계 발생부하량} \\ & = \sum(\text{지목별 면적} \times \text{지목별 연평균 발생원단위}) \end{aligned} \quad \text{(Equation 1)}$$

오염총량관리 기술지침(NIER, 2019) 내 발생원단위는 지목을 기준으로 제시되어 있으며, 지목에 없는 세분류 항목인 시설재배지와 기타재배지에 대한 발생원단위를 추가적으로 고려하기 위해 각 항목에 포함되는 지역을 확인하였다. 토지피복지도 작성 지침(MOE, 2018(b))에 따르면, 시설재배지는 비닐, 유리 등 인공적 시설로 된

하우스재배지를 말하며 기타재배지는 정원수 및 가로수 등의 시설 식재를 위한 토지를 의미한다. 이는 지목 중 전(밭)의 정의인 물을 상시적으로 이용하지 않고 곡물·원예작물(과수류 제외)·약초·팽나무·닥나무·묘목·관상수 등의 식물을 주로 재배하는 토지와 식용으로 죽순을 재배하는 토지(MOLIT, 2019)에 포함된다. 따라서, 본 연구에서는 시설재배지와 기타재배지에 대한 발생원단위는 전(밭)과 동일한 값을 사용하였다(Table 1).

2.4. 비점오염원 오염부하량의 가중치 산정

농업비점오염원에서 발생하는 오염물질은 일반적으로 강우 시 토사와 함께 유출되며, 이 경우 강우강도 및 강우지속시간, 경사도 등이 유출량에 영향을 미친다(Choi and Shin, 2002). 이 중 유역별 토지 피복과 관련한 특징을 반영할 수 있는 경사도를 이용하여 가중치를 산정하였다.

경사도에 따른 가중치 산정을 위해, DEM을 이용하여 각 소유역별 평균 경사도를 계산하였다. 이후, 경사도에 따른 토양유실량의 관계를 확인하기 위해 Choi et al. (2009)의 연구 결과로 확인된 관계식을 이용하였다(Fig. 6). 해당 연구는 토양유실량 모의를 위해 WEPP 모형을 사용하였으며, 연구 결과 토양유실량 예측에 대한 결정계수와 유효지수는 각각 0.95과 0.91로 경사도에 따른 토양유실량을 정확하게 예측할 수 있음을 확인하였다.

가중치는 유역 전체 평균 경사도인 12.8%를 기준으로 사용하였다. 평균 경사도에서 토양유실량은 3562.52 ton으로 산정되었으며, 각 소유역의 평균 경사도를 이용하여 동일한 방식으로 소유역별 토양유실량을 산정하였다. 이후, 각 소유역의 토양유실량을 기준값인 3562.52 ton과 비교하고 이때 나타내는 비율을 가중치로 산정하였다. 소유역에 해당하는 가중치를 발생부하량에 곱한 값을 기준으로 최종 관리 우선순위를 산정하였다(Appendix 1).

Table 1. Non-point pollutant unit load of agricultural area (NIER, 2019) (Unit: kg/km²·day)

Cadastral Map	Land Cover Map LV3 (Code)	BOD	T-N	T-P
Paddy	Paddy (211, 212)	4.38	3.41	1.40
	Dry Field (221, 222)			
Dry field	Green House (231)	4.24	2.92	0.47
	Other Cultivation (252)			
Orchard	Orchard (241)	2.69	1.56	0.63

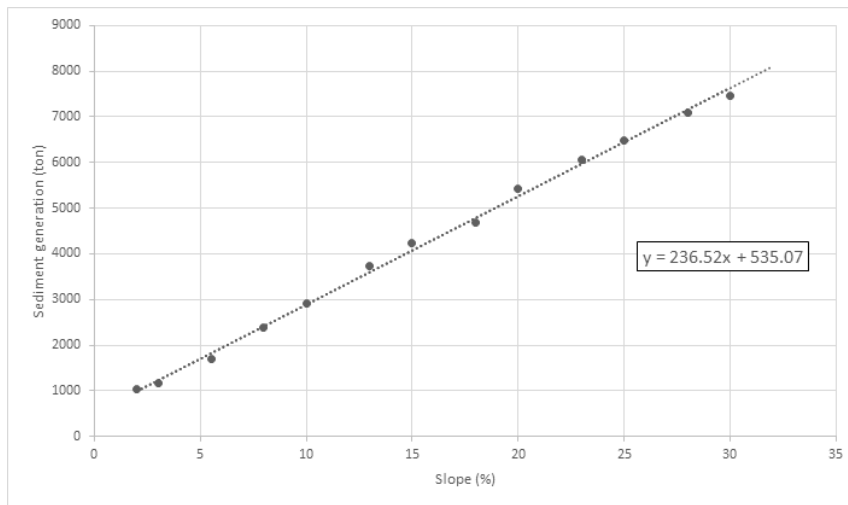


Fig. 6. The relationship between slope and sediment generation (Choi et al., 2009).

Table 2. The area of agricultural region in Daechong lake area

(Unit: km²)

Agricultural region	Land Cover Map LV3	Cadastral Map
Paddy	144.01	248.12
Dry Field	220.78	237.44
Orchard	88.34	17.18
Green House	15.53	-
Other Cultivation	5.11	-
Total	473.79	502.74

3. 연구 결과

3.1. 지적도와 토지피복지도를 이용한 발생부하량 산정 결과

분석 결과, 지적도 내 전체 농업지역의 면적은 약 502.74 km², 토지피복지도 내 전체 농업지역의 면적 약 473.79 km²로 산출되어 지적도와 토지피복지도 간 면적 차이가 발생하는 것으로 확인되었다. 특히, 지적도 상 논이 밭보다 많은 면적을 나타내지만, 토지피복지도 상 논이 밭보다 더 작은 면적으로 분포하는 것을 확인하였다. 또한, 지적도 상 과수원의 면적보다 토지피복지도 상 과수원의 면적이 5배 이상 넓은 것으로 나타나 두 지도에 따른 농업지역의 면적에 차이가 있는 것을 확인하였다(Table 2).

지적도와 토지피복지도에서 면적의 차이가 발생하는

이유는 각 지도를 작성하는 목적과 방법이 다르기 때문이다. 지적도는 토지의 종류를 구분하여 지적공부에 등록된 지목을 표현한다. 따라서 현재 토지이용 현황과 차이가 발생할 수 있다(Hwang et al., 2018). 환경부 세분류 토지피복지도는 총 41개의 항목을 기준으로 해상도 1M급 영상자료를 기반으로 토지피복 현황을 판독 및 분류한다. 육안으로 판독이 불가능한 지역에 대해서는 현장 조사를 실시하여 토지이용의 현황을 나타낸다(MOE, 2018(b)).

아래 Fig. 7의 예시와 같이 지적도와 토지피복지도에서 나타나는 농업지역을 2020년 현재를 반영하는 위성 영상과 비교하였다. 위성영상은 Daum에서 제공하는 위성사진을 ArcGIS를 이용하여 비교하였다. 육안으로 판독한 결과 역시 지적도와 토지피복지도 면적의 차이를 확인할 수 있다.

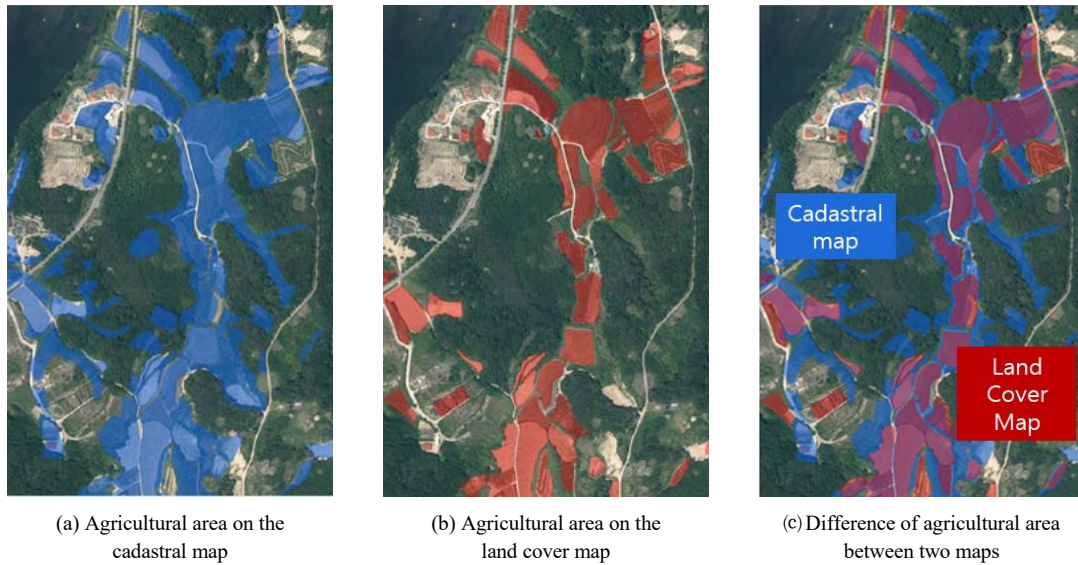


Fig. 7. Example of agricultural area difference between cadastral map and land cover map.

Table 3. Non-point source pollutant load amount (BOD)

(Unit: kg/day)

Rank	Cadastral Map		Land Cover Map	
	Subbasin	Pollutant Load Amount	Subbasin	Pollutant Load Amount
Total	-	2139.73	-	1906.70
1	ChoGang A04	154.35	ChoGang A04	152.91
2	GeumBon F14	127.27	GeumBon F14	113.04
3	GeumBon D05	81.55	GeumBon D05	69.17
4	GeumBon D10	70.55	GeumBon D10	61.67
5	GeumBon E03	65.36	BoCheong A02	60.19
6	BoCheong A02	61.49	BoCheong A03	55.42
7	BoCheong A03	57.28	BoCheong A08	54.39
8	GeumBon F06	54.35	GeumBon E03	48.78
9	GeumBon F22	52.78	ChoGang A12	47.91
10	BoCheong A08	51.89	GeumBon F22	46.53

소유역별 농업비점오염원 BOD 및 T-P 발생부하량을 산정한 결과 및 발생부하량이 큰 상위 10개의 소유역은 다음과 같다(Appendix 2, 3, Table 3, 4). 전체 유역의 발생부하량은 지적도를 기준으로 산정할 경우 BOD 2139.73 kg/day, T-P 469.79 kg/day이며 토지피복지도를 기준으로 산정할 경우 BOD 1906.70 kg/day, T-P 373.01 kg/day로 나타났다. 토지피복지도를 이용할 경우가 기존 지적도를 사용할 경우보다 발생부하량이 BOD

기준 약 10.9% 감소, T-P 기준 약 20.6% 감소한 것으로 확인되었다. 소유역별 발생부하량을 확인한 결과, 대부분의 소유역에서 토지피복지도를 사용할 경우 발생부하량이 지적도를 사용한 경우보다 감소하는 경향을 나타냈다. 소유역에 따라 감소하는 비율은 지적도 발생부하량 기준 1%에서 80%까지 다양한 것으로 확인되었다. 이는 기존 소유역 단위의 연구들에서 소유역별 오염부하량의 범위가 넓게 나온 바와 같이 유역별 농업지역 분포 특성이

Table 4. Non-point source pollutant load amount (T-P)

(Unit: kg/day)

Rank	Cadastral Map		Land Cover Map	
	Subbasin	Pollutant Load Amount	Subbasin	Pollutant Load Amount
Total	-	469.79	-	373.01
1	ChoGang A04	37.53	ChoGang A04	37.47
2	GeumBon F14	26.21	GeumBon F14	23.05
3	BoCheong A03	19.01	GeumBon D05	13.92
4	BoCheong A08	16.63	GeumBon D10	12.92
5	BoCheong A02	15.14	BoCheong A03	12.22
6	GeumBon D05	14.41	GeumBon E03	11.94
7	GeumBon D10	13.64	BoCheong A02	10.62
8	BoCheong A05	13.10	BoCheong A08	10.08
9	ChoGang A12	11.60	GeumBon F22	9.31
10	GeumBon E03	11.51	ChoGang A02	8.84

Table 5. Non-point source weighted pollutant load amount (BOD)

(Unit: kg/day)

Rank	Cadastral Map		Land Cover Map	
	Subbasin	Weighted Pollutant Load Amount	Subbasin	Weighted Pollutant Load Amount
1	GeumBon F14	127.12	GeumBon F14	112.91
2	ChoGang A04	102.92	ChoGang A04	101.96
3	GeumBon E03	66.37	BoCheong A08	60.48
4	GeumBon F06	62.11	GeumBon E03	49.54
5	BoCheong A08	57.69	BoCheong A02	48.80
6	GeumBon C08	55.33	GeumBon C08	48.66
7	BoCheong A02	49.85	GeumBon D05	41.07
8	GeumBon D05	48.42	GeumBon D10	40.69
9	ChoGang A02	47.64	ChoGang A02	39.74
10	GeumBon D10	46.54	GeumBon F06	38.94

다양하기 때문으로 추정된다(Park et al., 1997).

3.2. 가중치를 반영한 오염부하량 산정 결과

앞에서 산정한 가중치에 발생부하량을 곱한 값이 큰 순서대로 상위 10개의 소유역을 선정하였다(Table 5, 6). 발생부하량 기준으로 오염원 관리가 가장 필요한 소유역(Table 3, 4)은 두 지도를 사용하였을 때 모두 초강 A04 소유역으로 확인되었다. 하지만, 가중치를 적용한 후에는 BOD 기준으로 금본F14 소유역이 가장 높은 우선순위를 나타냈다. 이는 초강A04의 BOD 발생량은 금

본F14보다 많지만, 경사도가 전체 유역 중 하위 10%로, 유역 내에서 발생한 비점오염물질이 하천까지 유출되는 비율이 상대적으로 적은 것을 의미한다. T-P의 경우 역시 초강A04에서 발생하는 오염물질이 가장 많은 것으로 나타났다. 가중치를 적용하면 지적도를 이용한 경우 유출 비율이 상대적으로 적은 초강A14보다 금본F14의 우선순위가 높은 것으로 나타났다. 하지만, 토지피복지도를 이용하여 발생부하량을 산정한 경우 금본F14의 발생부하량이 상대적으로 작게 산정되어 가중치를 적용하여도 초강A04가 가장 우선순위가 높은 것으로 나타났다. 즉,

Table 6. Non-point source weighted pollutant load amount (T-P)

(Unit: kg/day)

Rank	Cadastral Map		Land Cover Map	
	Subbasin	Weighted Pollutant Load Amount	Subbasin	Weighted Pollutant Load Amount
1	GeumBon F14	26.18	ChoGang A04	24.99
2	ChoGang A04	25.02	GeumBon F14	23.02
3	GeumBon E03	14.63	BoCheong A08	14.36
4	BoCheong A08	14.57	BoCheong A02	9.91
5	ChoGang A02	11.98	GeumBon E03	8.98
6	GeumBon C08	11.41	GeumBon C08	8.33
7	GeumBon D05	11.29	ChoGang A02	7.82
8	BoCheong A02	11.06	ChoGang A12	7.24
9	GeumBon D10	10.97	GeumBon D05	7.09
10	GeumBon F06	10.50	GeumBon F06	7.05

발생부하량의 산정이 관리 우선순위 선정을 위한 이후 단계의 결과에도 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론 및 고찰

본 연구는 세분류 토지피복지도를 이용하여 농업비점 오염원에 대한 오염부하량과 관리 우선순위를 선정하였으며, 기존에 사용하던 지적도를 이용한 결과와 비교하여 세분류 토지피복지도의 활용이 갖는 시사점을 도출하였다. 연구 결과, 전체 대상지에서 평균 발생부하량의 BOD 10.9%, T-P 20.6%를 차지하는 차이를 확인하였다. 각 소유역별 유출 특성을 반영하기 위한 가중치로 DEM에서 추출한 평균 경사도를 이용하였으며, 그 결과 발생부하량의 차이가 관리 우선순위 선정에 영향을 미치는 것을 확인하였다. 두 지도의 이용에 따라 차이가 발생하는 원인을 이용 데이터 구축 목적 및 과정에서 확인하였다. 지적도는 토지이용에 관련 없이 한 필지의 주된 목적을 나타내는 반면, 토지피복지도는 영상자료를 근거로 현재 토지의 피복 상태를 반영하는 지도이다. 더욱이 세분류 토지피복지도는 정확도 95%를 기준으로 판독되며 판독이 불가능한 지역에 대해 현장조사를 실시하여 지적도보다 토지이용 현황을 정확히 반영한다. 따라서 토지계 비점오염원 부하량 산정을 위해서는 지적도가 아닌 세분류 토지피복지도를 이용하는 것이 정확한 발생부하량 산정에 적합한 것으로 보인다.

2020년부터 환경부에서 제공하는 세분류 토지피복지

도 이용 시, 기존 5 m 해상도의 중분류 토지피복지도보다 높은 해상도인 1 m 해상도로 확인된 토지 피복 현황을 반영할 수 있다는 이점을 가진다. 또한, 목장 및 양식장은 중분류 항목에서는 기타재배지로 포함되는 지역이므로 비점오염원으로 분류되고 부하량 산정 시 포함된다. 하지만, 목장 지역은 오염원의 정의에서 점오염원으로 분류되며, 세분류 토지피복지도 이용 시 해당 지역의 면적을 따로 산정할 수 있어 비점오염원 부하량 산정 시 제외할 수 있다. 따라서, 발생부하량 및 오염부하량을 산정할 때 기존 방법보다 높은 정확도의 결과를 얻을 수 있으며, 본 연구에서 제시한 바와 같이 경사도 등의 가중치를 이용한다면 비점오염원의 우선 관리가 필요한 지역을 더욱 효율적으로 선정할 수 있을 것이다.

다만, 본 연구에서 사용한 발생원단위는 지목을 기준으로 제시되어 환경부 세분류 토지피복지도 항목에 정확히 부합하는 발생원단위를 사용하지 못한 한계를 가지고 있다. 따라서, 향후 정확한 발생부하량을 위해 세분류 토지피복지도 항목에 따른 발생원단위에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다.

감사의 글

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 ICT기반 환경영향평가 의사결정 지원 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(No. 2020002990009).

REFERENCES

- Cho, W. H., Yum, K. T., Kim, J. S., Ban, Y. J., Chung, S. W., 2012, Study on algae occurrence in Daecheong reservoir, *J. Environ. Impact Assess.*, 21(3), 367-380.
- Choi, J. W., Hyun, G. W., Lee, J. W., Shin, D. S., Kim, K. S., Park, Y. S., Kim, J. G., Lim, K. J., 2009, Evaluation of sediment yield prediction and estimation of sediment yield under various slope scenarios at Jawoon-ri using WEPP watershed model, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 25(3), 441-451.
- Choi, J. Y., Shin, C. M., 2002, Management of Nonpoint pollution by reducing storm runoff, RE03, Korea Environment Institute, Sejong, Korea.
- Hwang, J. H., Jang, R. I., Jeon, S. W., 2018, Analysis of spatial information characteristics for establishing land use, land-use change and forestry matrix, *Journal Korean Association of Geographic Information Studies*, 21(2), 44-55.
- Kim, J. H., Kwon, K. W., 2011, The subdivision method of land category for the efficient registration of land use in building site, *Journal of the Korean Society of Cadastre*, 6(1), 65-79.
- Kwak, G. H., Kim, K. H., Lee, C. Y., Oh, S. K., 2014, A Study on a GIS based updating methodology of land cover map for the enhancement of utilization in the total maximum daily loads, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 30(3), 340-350.
- Kwon, H. G., Kim, K. H., Na, S. M., Yoon, H. J., Shin, D. S., Im, T. H., 2016, Analysis of nonpoint source pollutant load according to the land cover classification system, *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, 16(6), 411-419.
- Kwon, Y. H., Han, S. I., Lee, J. B., 2002, Pollution loadings in Daechungho watershed, *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, 16(5), 581-595.
- Lee, B. Y., Lee, C. H., Lee, S. Y., Ha, D., 2009, Application of the high resolution aerial images to estimate nonpoint pollution loads in the unit load approach, *J. Environ. Impact Assess.*, 18(5), 281-291.
- Lee, G. S., Park, J. H., Choi, Y. W., 2012, The comparison of water quality of Daecheong-Dam basin according to the data sources of land cover map, *Journal of Korea Spatial Information Society*, 20(5), 25-35.
- Lee, S. K., Lee, J. S., Choi, Y. S., 2003, Mapping the distribution of non-point source of pollution using satellite image dataset and the analysis of the pollution load estimation results, *Journal of the Korean Society of civil engineers*, 23(5D), 719-726.
- Ministry of Environment (MOE), 2018(a), Annual report on the occurrence of algae (green algae) and response (2017), 11-1480000-001363-10, Sejong, Korea.
- Ministry of Environment (MOE), 2018(b), Guideline for constructing land cover map, Sejong, Korea.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), 2019, Enforcement decree of the act on the establishment, management, etc. of spatial data, Sejong, Korea.
- National Institute of Environmental Research (NIER), 2019, Technical guideline for TMDLs in Korea, NIER-GP2019-010, Incheon, Korea.
- OPM, MAFRA, MOTIE, MOE, MOLIT, NFA, RDA, KFS, 2012, Comprehensive method for management of nonpoint sources(12'-20'), 11-1480000-001222-01, Sejong, Korea.
- Park, J. H., Lee, S. W., Park, J. H., Rhew, D. H., Jung, D. I., Choi, H. M., Jeon, W. S., 2009, Calculation of land category area and pollution loads according to real land usage using high resolution satellite image, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 25(2), 193-204.
- Park, S. W., Yoo, S. H., Kang, M. S., 1997, Nonpoint source pollution loadings from land uses on small watersheds, *J. Korean Soc. of Agric. Eng.*, 39(3), 115-127.
-
- Master's course. Ji-Eun Yu
Environmental Science & Ecological Engineering, Korea University
yu940530@gmail.com
 - Doctor's course. Yoon-Ji Kim
Environmental Science & Ecological Engineering, Korea University
yoonjik605@gmail.com
 - Research professor. Hyun-Chan Sung
Ojeong Resilience Institute, Korea University
wona2015@naver.com
 - Doctor's course. Kyung-Il Lee
Environmental Science & Ecological Engineering, Korea University
leedake@korea.ac.kr
 - Professor. Ji-Yong Choi
Institute of Green-Bio Science and Technology, Seoul National University
cgy2053@snu.ac.kr
 - Professor. Seung-Woo Jeon
Environmental Science & Ecological Engineering, Korea University
cepps_korea@korea.ac.kr

Appendix 1. The result of mean slope and weight factor by each subbasin

Subbasin	Mean Slope	Weight Factor	Subbasin	Mean Slope	Weight Factor	Subbasin	Mean Slope	Weight Factor
GeumBon C01	14.2	1.09	GeumBon E04	13.7	1.06	GeumBon F28	4.8	0.47
GeumBon C02	17.0	1.28	GeumBon E05	12.1	0.95	GeumBon F29	5.8	0.54
GeumBon C03	16.6	1.25	GeumBon E06	12.8	1.00	GeumBon F30	15.9	1.21
GeumBon C04	14.9	1.14	GeumBon E07	13.5	1.04	GeumBon F31	10.0	0.82
GeumBon C05	13.8	1.06	GeumBon E08	9.0	0.75	GeumBon F32	12.4	0.98
GeumBon C06	17.3	1.30	GeumBon E09	11.2	0.90	BoChung A02	10.0	0.81
GeumBon C07	17.4	1.30	GeumBon F01	13.5	1.04	BoChung A03	5.2	0.50
GeumBon C08	14.5	1.11	GeumBon F02	14.9	1.14	BoChung A04	11.4	0.90
GeumBon C09	18.8	1.40	GeumBon F03	13.8	1.06	BoChung A05	6.7	0.60
GeumBon C10	17.8	1.33	GeumBon F04	13.7	1.06	BoChung A06	7.4	0.64
GeumBon C11	15.3	1.16	GeumBon F05	14.1	1.08	BoChung A07	16.5	1.25
GeumBon C12	14.7	1.12	GeumBon F06	15.0	1.14	BoChung A08	14.5	1.11
GeumBon C13	13.0	1.01	GeumBon F07	13.8	1.06	BoChung A09	15.4	1.17
GeumBon C14	18.2	1.36	GeumBon F08	8.4	0.71	BoChung A10	14.0	1.08
GeumBon C15	12.7	0.99	GeumBon F09	9.6	0.79	BoChung A11	15.1	1.15
GeumBon C16	12.3	0.97	GeumBon F10	11.2	0.90	BoChung A12	13.5	1.04
GeumBon C17	13.8	1.06	GeumBon F11	10.3	0.84	BoChung A13	11.8	0.93
GeumBon C18	11.4	0.91	GeumBon F12	12.2	0.96	ChoGang A01	18.1	1.35
GeumBon D01	16.0	1.21	GeumBon F13	11.3	0.90	ChoGang A02	13.4	1.04
GeumBon D02	10.6	0.85	GeumBon F14	12.8	1.00	ChoGang A03	13.8	1.06
GeumBon D03	10.8	0.87	GeumBon F15	16.5	1.25	ChoGang A04	7.8	0.67
GeumBon D04	11.5	0.91	GeumBon F16	17.1	1.29	ChoGang A05	15.3	1.16
GeumBon D05	6.7	0.59	GeumBon F17	12.7	1.00	ChoGang A06	12.5	0.98
GeumBon D06	14.5	1.11	GeumBon F18	12.3	0.96	ChoGang A07	15.9	1.20
GeumBon D07	12.7	0.99	GeumBon F19	13.1	1.02	ChoGang A08	19.5	1.45
GeumBon D08	10.9	0.87	GeumBon F20	16.5	1.24	ChoGang A09	11.9	0.94
GeumBon D09	12.3	0.97	GeumBon F21	18.5	1.37	ChoGang A10	13.0	1.02
GeumBon D10	7.7	0.66	GeumBon F22	9.1	0.75	ChoGang A11	11.4	0.91
GeumBon D11	7.6	0.65	GeumBon F23	12.0	0.94	ChoGang A12	9.5	0.78
GeumBon D12	15.8	1.20	GeumBon F24	14.1	1.08	ChoGang A13	11.8	0.93
GeumBon E01	17.9	1.34	GeumBon F25	9.1	0.75	ChoGang A14	12.4	0.98
GeumBon E02	15.9	1.21	GeumBon F26	4.5	0.45	Average	12.8	1
GeumBon E03	13.0	1.02	GeumBon F27	6.1	0.55			

Appendix 2. The result of calculating pollution load based on the cadastral map

Subbasin	BOD (kg/day)	T-P (kg/day)	Subbasin	BOD (kg/day)	T-P (kg/day)	Subbasin	BOD (kg/day)	T-P (kg/day)
GeumBon C01	22.56	4.10	GeumBon E04	23.75	5.32	GeumBon F28	0.74	0.18
GeumBon C02	13.66	2.85	GeumBon E05	29.72	6.71	GeumBon F29	0.32	0.05
GeumBon C03	13.81	2.75	GeumBon E06	29.60	6.20	GeumBon F30	0.03	0.00
GeumBon C04	25.87	5.36	GeumBon E07	17.49	3.90	GeumBon F31	0.19	0.04
GeumBon C05	19.48	4.27	GeumBon E08	26.20	5.36	GeumBon F32	0.00	0.00
GeumBon C06	19.98	3.94	GeumBon E09	13.37	2.66	BoChung A02	61.49	13.64
GeumBon C07	8.82	1.76	GeumBon F01	32.54	6.01	BoChung A03	57.28	15.14
GeumBon C08	49.65	10.24	GeumBon F02	28.43	5.33	BoChung A04	19.06	3.94
GeumBon C09	2.31	0.53	GeumBon F03	6.18	1.18	BoChung A05	35.44	8.76
GeumBon C10	15.84	2.80	GeumBon F04	16.66	2.84	BoChung A06	21.74	5.79
GeumBon C11	4.86	1.10	GeumBon F05	0.16	0.03	BoChung A07	1.72	0.26
GeumBon C12	1.71	0.28	GeumBon F06	54.35	9.19	BoChung A08	51.89	13.10
GeumBon C13	0.75	0.12	GeumBon F07	2.34	0.32	BoChung A09	14.21	2.96
GeumBon C14	16.25	3.30	GeumBon F08	1.64	0.26	BoChung A10	17.79	4.39
GeumBon C15	11.53	2.29	GeumBon F09	21.16	4.37	BoChung A11	16.28	3.45
GeumBon C16	8.38	1.45	GeumBon F10	46.33	9.64	BoChung A12	5.31	1.11
GeumBon C17	4.78	0.90	GeumBon F11	17.57	4.02	BoChung A13	14.98	3.26
GeumBon C18	0.00	0.00	GeumBon F12	42.29	9.60	ChoGang A01	31.52	6.55
GeumBon D01	1.92	0.36	GeumBon F13	37.87	7.78	ChoGang A02	45.78	11.51
GeumBon D02	29.97	6.82	GeumBon F14	127.27	26.21	ChoGang A03	9.95	1.99
GeumBon D03	20.39	4.67	GeumBon F15	2.02	0.32	ChoGang A04	154.35	37.53
GeumBon D04	32.71	7.55	GeumBon F16	8.80	1.33	ChoGang A05	7.39	1.65
GeumBon D05	81.55	19.01	GeumBon F17	15.19	2.95	ChoGang A06	25.55	6.28
GeumBon D06	32.74	7.27	GeumBon F18	40.70	8.39	ChoGang A07	16.81	4.07
GeumBon D07	11.47	2.90	GeumBon F19	12.47	2.85	ChoGang A08	4.00	0.80
GeumBon D08	2.08	0.59	GeumBon F20	12.99	2.78	ChoGang A09	19.60	4.18
GeumBon D09	17.87	4.33	GeumBon F21	4.01	0.91	ChoGang A10	22.96	5.22
GeumBon D10	70.55	16.63	GeumBon F22	52.78	11.60	ChoGang A11	4.15	0.97
GeumBon D11	2.87	0.75	GeumBon F23	15.11	2.86	ChoGang A12	46.16	10.00
GeumBon D12	8.20	1.80	GeumBon F24	1.35	0.28	ChoGang A13	32.39	6.59
GeumBon E01	0.36	0.07	GeumBon F25	3.68	0.65	ChoGang A14	38.31	9.29
GeumBon E02	0.02	0.01	GeumBon F26	0.00	0.00			
GeumBon E03	65.36	14.41	GeumBon F27	0.00	0.00			

Appendix 3. The result of calculating pollution load based on the land cover map

Subbasin	BOD (kg/day)	T-P (kg/day)	Subbasin	BOD (kg/day)	T-P (kg/day)	Subbasin	BOD (kg/day)	T-P (kg/day)
GeumBon C01	15.53	2.37	GeumBon E04	16.88	3.09	GeumBon F28	0.43	0.09
GeumBon C02	10.15	1.56	GeumBon E05	22.68	4.39	GeumBon F29	0.47	0.11
GeumBon C03	8.41	1.33	GeumBon E06	22.17	4.28	GeumBon F30	0.05	0.01
GeumBon C04	21.88	3.79	GeumBon E07	15.04	2.39	GeumBon F31	0.19	0.04
GeumBon C05	14.87	2.76	GeumBon E08	21.15	3.71	GeumBon F32	0.00	0.00
GeumBon C06	13.65	2.15	GeumBon E09	14.21	2.43	BoChung A02	60.19	12.22
GeumBon C07	3.60	0.59	GeumBon F01	26.69	4.70	BoChung A03	55.42	13.92
GeumBon C08	43.66	7.47	GeumBon F02	29.02	5.25	BoChung A04	29.97	6.08
GeumBon C09	15.53	2.37	GeumBon F03	3.89	0.61	BoChung A05	42.65	10.08
GeumBon C10	11.06	1.35	GeumBon F04	12.90	2.02	BoChung A06	23.21	5.78
GeumBon C11	4.38	0.68	GeumBon F05	0.00	0.00	BoChung A07	0.85	0.13
GeumBon C12	1.04	0.14	GeumBon F06	34.08	6.17	BoChung A08	54.39	12.92
GeumBon C13	1.37	0.32	GeumBon F07	1.53	0.27	BoChung A09	13.93	2.91
GeumBon C14	11.81	1.91	GeumBon F08	1.85	0.35	BoChung A10	16.34	3.98
GeumBon C15	8.28	1.43	GeumBon F09	18.56	3.13	BoChung A11	16.13	3.48
GeumBon C16	6.09	1.13	GeumBon F10	34.69	7.37	BoChung A12	4.51	0.90
GeumBon C17	3.37	0.54	GeumBon F11	26.74	5.28	BoChung A13	22.72	5.03
GeumBon C18	2.95	0.44	GeumBon F12	39.47	6.64	ChoGang A01	16.48	2.99
GeumBon D01	1.13	0.20	GeumBon F13	30.37	5.59	ChoGang A02	38.18	7.51
GeumBon D02	23.72	3.93	GeumBon F14	113.04	23.05	ChoGang A03	9.13	1.78
GeumBon D03	15.66	2.57	GeumBon F15	1.77	0.28	ChoGang A04	152.91	37.47
GeumBon D04	25.75	4.45	GeumBon F16	2.82	0.39	ChoGang A05	12.60	2.66
GeumBon D05	69.17	11.94	GeumBon F17	9.88	1.84	ChoGang A06	28.67	6.89
GeumBon D06	24.76	4.16	GeumBon F18	39.70	6.36	ChoGang A07	17.71	4.19
GeumBon D07	10.60	1.69	GeumBon F19	10.56	1.73	ChoGang A08	4.28	0.93
GeumBon D08	2.64	0.51	GeumBon F20	9.56	1.53	ChoGang A09	17.55	3.34
GeumBon D09	16.05	2.88	GeumBon F21	3.75	0.59	ChoGang A10	20.78	4.55
GeumBon D10	61.67	10.62	GeumBon F22	46.53	8.60	ChoGang A11	7.50	1.78
GeumBon D11	3.00	0.58	GeumBon F23	10.66	1.59	ChoGang A12	47.91	9.31
GeumBon D12	5.80	0.84	GeumBon F24	1.93	0.35	ChoGang A13	29.80	5.59
GeumBon E01	0.06	0.01	GeumBon F25	3.05	0.55	ChoGang A14	30.15	6.24
GeumBon E02	0.00	0.00	GeumBon F26	0.00	0.00			
GeumBon E03	48.78	8.84	GeumBon F27	0.00	0.00			