

도로비점오염 저감시설의 유형선정방법 개발 및 적용

Decision Making Methods for Types of Roadside Non-point Pollution Reduction Facilities and Its Application

조혜진*

한국건설기술연구원 인프라안전연구본부 선임연구위원

Hye Jin Cho*

Senior Research Fellow, Highway and Transportation Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang 10223, Korea

Received 24 September 2020, revised 19 November 2020, accepted 19 November 2020, published online 31 December 2020

ABSTRACT: Roadside non-point pollution reduction facilities are classified as infiltration, vegetation, reservoir, and wetland types based on their respective pollution reduction mechanisms. However, without a detailed analysis of the road and traffic conditions it is very difficult for civil engineers to determine which category of pollution reduction facility is best suited to their planning requirements. To address this issue, we propose a new decision-making method for the selection of roadside non-point pollution reduction facilities. The principal factors informing the proposed decision-making methods are the road characteristics, including location, structure, number of lanes, and traffic volume. As a result of the study, a total of new pollution reduction plans were developed, with their selection conditions and the corresponding applicable facilities established. The effectiveness of the proposed pollution reduction schemes was demonstrated for roads in Kyonggi-do, providing a valuable basis for future pollution reduction plans.

KEYWORDS: Decision making methods, Pollution reduction facilities, Road characteristic, Road design, Road Non-point pollution

요약: 국내의 도로비점오염저감시설은 오염원을 저감시키는 성능에 근거해서 침투형, 식생형, 저류형, 인공습지 등과 같이 분류된다. 이 분류기법은 기법을 이해하기는 용이하나 도로교통과 관련된 요소가 고려되지 않아 실제 도로기술자가 계획이나 설계에 적용할 때 애로가 많았다. 본 연구에서는 도로비점오염저감시설을 설계에 적용할 때 시설의 종류를 결정할 수 있는 분류방법론을 개발하였다. 도로의 특성 (위치, 차선, 교통량), 시설여유, 도로의 구조물 등을 주요 결정인자로 도로비점저감 대책의 의사결정과정을 만들어 유형별로 시설을 선정할 수 있는 기법을 개발하였다. 각 유형별로 사이트의 조건과 적용이 가능한 시설 및 대책을 정리하여 현장에 적용할 수 있도록 하였다. 개발한 기법은 경기도 도로구역에 적용하여 보완하였고, 비점저감 계획에 사용할 수 있도록 하였다.

핵심어: 도로특성, 의사결정방법, 오염저감시설, 도로비점, 도로설계

1. 서론

비점오염원은 도시, 도로, 농지, 산지, 공사장 등 불

특정장소에서 불특정하게 수질오염물질을 배출하는 배출원을 의미한다. 2007년 물환경보전법이 개정되면서 비점오염처리 의무대상 시설에 도로가 포함되었고

*Corresponding author: hjcho@kict.re.kr, ORCID 0000-0003-2533-2872

© Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering. 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.

환경영향평가를 받는 모든 신규 도로에는 비점저감 시설을 반드시 설치하도록 되었다 (DOE 2016). 2013년에 그 설치대상이 현재 사용중인 도로까지 확대되면서 환경영향평가와 같은 절차를 거치지 않은 기존의 도로에 도로비점저감시설을 설치하게 되었다. 시설의 설치를 고려하지 않은 도로에 비점저감시설을 설치하는 과정에서 시설을 설치하지 못하는 현장의 문제점들이 발생했고, 토목분야의 도로기술자가 시설을 계획하고 설치하는데 제약이 많았다. 이중 가장 큰 문제는 시설의 설치 부지가 확보되지 않았다는 점과 또 기존의 많은 도로가 하천과 연결하여 건설되었다는 점이다. 이러한 현장의 여건에 제대로 반영되지 않고 설치 지침 등의 가이드라인만으로 시설을 선정하고 설치하는데 한계가 있었다. 특히, 도로의 현장에 대한 충분한 이해와 조사 없이 시설을 설치하는 과정에서 오염수의 월류와 역류 등 여러 가지 문제점이 발생하였다 (Cho 2016). 지금까지 도로비점저감시설의 종류는 오염물질저감 성능유형별로 침투형, 식생형, 저류형, 인공습지 등과 같이 분류되어 있다 (DOE and MLIT 2016). 도로의 특성, 설치 조건, 도로의 등급 및 교통량 특성 등 도로의 설계 및 운영에 관련된 요소가 전혀 고려되어 있지 않았다. 도로비점오염저감 시설의 설치가 도로의 계획 및 설계단계로 확대되면서 시설의 설계 및 유형선정 과정을 개선하는 것이 절실히 필요하게 되었다. 따라서 본 연구에서는 도로비점오염저감시설을 설계에 적용할 때 시설의 종류를 결정할 수 있는 분류방법론을 개발하고자 한다.

2. 연구방법론

본 연구에서는 기존 도로비점저감시설의 분류법의 문제를 파악하고 도로의 계획과 설계단계에서 시설을 분류하고 적용하기 위한 실용적인 의사결정방법을 개발하였다. 또한 도로의 유형을 고려한 도로차원의 시설

분류법과 적용이 가능한 구체적인 기법 등을 연계하여 새로운 도로비점저감시설의 유형을 정립하였다.

2.1 기존 분류방법론 검토

비점오염저감시설의 분류는 「비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼 (DOE 2016)」, 「수질오염 총량관리를 위한 개발사업 비점오염원 최적관리 (DOE 2017)」, 「건강한 물순환 체계 구축을 위한 저영향개발 (LID) 기술요소 가이드라인 (DOE 2013)」에 분류주제 및 시설 유형에 따라 다른 분류를 제시하고 있다. 이 중 도로에 적용이 가능한 시설만을 별도로 정리한 「도로비점오염저감시설 설치 및 관리지침 (DOE and MLIT 2016)」의 분류는 Table 1과 같다. 여기서는 시설 유형은 침투, 여과, 증발산, 저류 등 오염저감 기능별로 시설을 구분하고 그에 따른 종류를 제시하고 있다.

위의 시설의 유형 및 종류를 결정할 때 기능과 함께 지하수 함량, 서식처, 심미성 등의 요소별 도로적용성 평가 척도를 제시해서 시설을 선정하도록 하고 있었다 (DOE and MLIT 2016, DOE 2017). 각 유형별로 우수한 측면을 살펴보면, 침투시설의 침투도랑은 여과, 침투, 지하수함량, 심미성, 침투저류지는 저류, 침투, 지하수함량, 식생시설의 식생수로는 증발산과 심미성, 인공습지는 여과, 증발산, 생태서식처, 심미성이 우수하다.

2.2 시설 선정방법의 분석

기존의 도로비점시설의 분류는 비점저감방식에 따른 기능적 분류로 그에 따른 시설종류를 구분하고 있다. 따라서 설치되는 도로의 특성에 대한 고려가 전혀 없어 실제 설계자나 시공자가 기능을 이해하고 대상도로의 적합한 시설을 선정하는 것이 어려워 도로설계에 반영하거나 시공하는데 어려움이 많았다 (Cho and Park 2018). 도로비점저감시설의 설치가 의무화되고 급격

Table 1. Types and kinds of facilities based on functions

Types	Pollution reduction function	Kinds of facilities
Infiltration	Soil filtration and adsorption	Infiltration trench, Infiltration basin,
Vegetation	Soil filtration and adsorption Vegetation adsorption	Planter filter, Tree box filter, Bioretention, Vegetated swale, Vegetated filter strip, Rain garden
Pond	Storage and precipitation	Stormwater pond
Wetland	Storage, Vegetation and storage Microorganisms, Filter media	Stormwater wetland

하계 그 시설 설치 확대되고 있음에도 불구하고 현재 시설 설치 현황 등을 살펴보면 도로의 특성을 고려한 시설이 적절하게 선정되고 있지 못하고 있고 그로 인한 저감성능의 저하와 시설의 역류와 월류 등의 문제가 발생하고 있다(Cho 2016). 이는 대상도로의 특성을 고려한 구체적인 시설의 유형을 정하는 방법은 아직 정립되어 있지 않기 때문이다.

외국의 경우(Cho and Park 2017)도 국내의 분류와 유사하게 시설의 저감성능에 따른 분류방법을 사용하고 있다. 그러나 도로비점시설의 설계 및 설치는 도로, 환경, 조경, 공원, 경관 분야의 부서가 함께 설계 및 설치 운영을 하기 때문에 환경적인 요소와 시설설치에 따른 토목적인 요소가 함께 고려된다(Cho and Park 2018, CIRIA 2019). 영국의 경우 유일하게 도로비점 저감시설의 종류별로 적용대상 시설에 따른 교통량 기준을 제시하고 있으나 구체적인 시설의 선정방법은 제시하고 있지 않다(Cambridgeshire County Council 2012, Wimpey 2014, Cho 2016). 미국 포틀랜드의 경우, 도로비점시설의설치는 환경영향평가에서 결정되지만 설계단계에서는 도로교통부와 환경부의 담당자가 협업하도록 제도화되어 있다(Cho et al. 2010). 미국 메사추세츠의 경우 미국에서는 유일하게 시설선정을 위한 시설별 성능 특징과 함께 체크리스트를 제시해서 의사결정단계별 고려사항을 확인하게 도와주고 있다(MDOEP 2008a, 2008b). 하지만 한국의 경우는 도로비점시설의 설치는 계획 및 설치 운영관리는 도로담당 부서가 전담하고 분야별 업무분장이 엄격한 특성 때문

에 도로시설측면의 특성을 고려한 설계 및 분류 기준이 필요하다.

3. 저감시설의 의사결정 방법론 개발

본 연구에서는 도로비점저감시설을 설계할 때 시설을 선정하는 의사결정과정과 각 단계에서 필요한 요소를 도출해 도로교통의 특성을 고려한 도로비점오염저감시설의 유형을 선정하는 기법을 개발하고 기존의 비점시설의 기능별 분류가 아닌 도로의 환경과 부지 여건 등을 고려한 고려조건과 그에 따른 유형 분류를 정립하고자 한다.

시설의 유형선정을 위한 고려인자를 위해서 기존의 연구(Cho et al. 2013)에서 시범설치 사례 및 국내의 기존의 시설설치 유형에 대한 검토한 후 도로비점시설의 유형을 결정하는 요인으로 도로의 특성, 부지특성, 구조물 여부 및 유형 등을 정하였다. 외국의 경우 시설의 선정에 토양조건 및 투수율 등이 중요한 변수이나 국내의 경우 도로주변 토양여건과 투수율이 외국과 달리 지역별로 다양하지 않아 본 연구의 시설유형선정과정에서는 고려하지 않았다. 이는 실시설계단계에서 고려하는 것이 적절하다. 도로의 특성요인은 도로의 위치(도시부, 지방부), 차선수와 교통량, 시설의 여유부지를 포함하고 도로의 구조물특성은 교량여부와 연장을 고려하여 시설유형을 결정하도록 하였다. 또한, 도로비탈면을 통한 자연적인 정화과정을 고려하여 시설유형을 추가하였다. 시설의 유형을 결정하는 과정을 단계별로 나

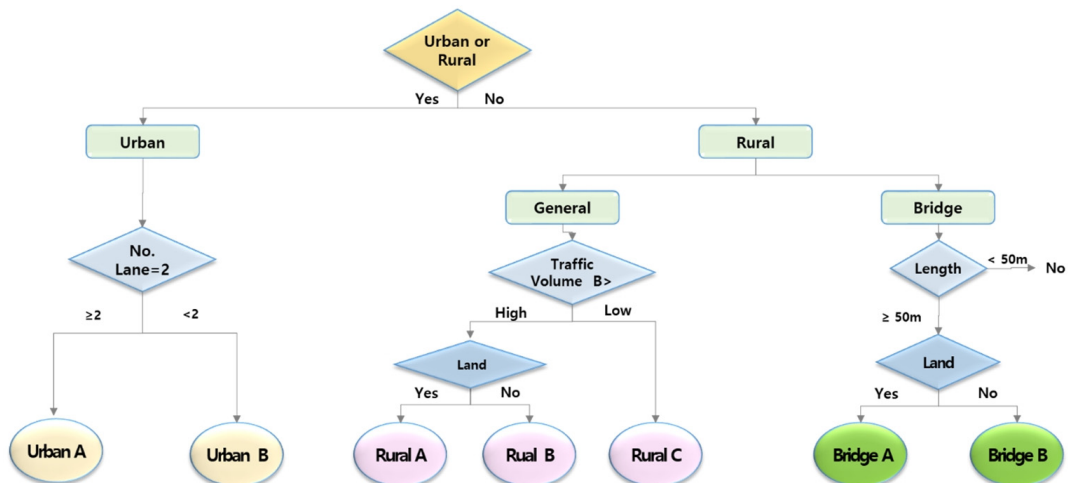


Fig. 1. Decision making procedure for roadside non-point pollution reduction.

누어서 조건을 제시하고 시설의 유형을 선정하는 기법을 제시하였다 (Fig. 1).

저감시설의 유형을 선정하는 절차는 먼저 대상 도로 구간을 도시부와 지방부 도로를 나누고 지방부 도로는 다시 일반도로와 특수 구조물인 교량으로 분류하였다. 도로설계기준에서 도시부와 지방부는 도로의 구성과 시설구조가 상이하여 설계기준이 다르다 (MLIT 2016). 시설유형의 분류는 시설설치는 A형, 도로청소는 B형, 시설 설치 면제는 C형으로 나누었다.

도시부는 차로수로 유형을 분리하였는데 도로의 차로수는 설계교통량, 서비스 수준, 지행과 기능 등을 모두 고려한 항목이고 2차선을 분류 기준으로 한 이유는 2차선 이상의 도로가 국도와 국지도의 대부분을 차지하고 있고 1차선도로와 비교할 때 도로횡단구성이 다르고 도로시설물의 설치가 가능하기 때문이다. 예를 들어 팔당 보호구역의 도로는 87%가 2차로로 구성되어 있다.

도시부 도로는 시설 설치부지 여건과 교통량, 도로 특성 등에 따라 설치부지의 확보가 가능한 경우 (도시부A), 도로폭이 좁거나 시설설치가 불가능한 경우 (도시부B) 중 선택 가능하다. 지방부 도로는 교통량과 부지 여건에 따라 일반도로 중 시설의 설치 가능한 경우 (지방부 도로A), 교통량이 적고 부지가 없어 청소로 대체하는 경우 (지방부 도로B), 자연정화기능으로 시설설치가 불필요한 경우 (지방부C) 중 선택한다. 지방부 도로의 교통량기준은 환경부에서 도로비점저감시설의 설치 우선순위를 결정할 때 적용하였던 교통량기준의 B등급을 적용하였다 (DOE 2015). 지방부의 도로 교량은 교량의 시설설치 여건 등을 고려하여 교량 연장에 따라 분류하여 자연형을 설치하는 교량A 유형과 장치형을 중심으로 설치하는 교량B 중 선택하여 적용할 수 있다.

4. 도로비점저감시설의 설계 유형 개발

4.1 설계유형의 정립

위에서 설명한 도로 특성, 교통량, 도로부지 및 주변 토지이용 특성 등을 종합적으로 고려해서 대상도로구간에 도로비점저감시설의 설치 유형을 선정하는 의사결정과정을 정립하였고, 도로교통특성에 근거한 도로비점저감시설의 유형을 개발하였다. 시설분류는 먼저 도로의 위치에 따라 도시부와 지방부로 분류하고 차로수와 보도폭원, 교통량 등을 고려해서 유형을 만들고












각각의 조건과 대상 도로구간의 특성을 고려한 위치조건과 시설의 종류를 분류하였다 (Table 2). 각 유형별로 제시한 도로비점저감시설의 종류는 기존의 국내 도로비점저감시설 설치 관련 문헌 (DOE 2013, 2016, 2017, SMRC 2013, DOE and MLIT 2016)의 자료를 참고하여 각 조건별 적정시설을 유형별로 제시하였다.

도시부 A형은 도시부 도로중 도로폭이 넓거나 기존 도로에 식수대나 중앙분리대 등이 설치되어 시설 설치 부지가 확보된 도로유형이다. 가용 설치공간에 따라 시설 종류가 다르게 적용되는데 일반도로부에서는 (A-1) 가로수나 식수대 설치 공간에는 나무여과상자, 가로수 및 초본식생이 설치된 공간에는 식생체류지나 식물재배화분, 도시부 교차로에서는 (A-2) 내 교통섬이나 주차장에는 식생체류지나 인공습지, 도시부 회전교차로에는 식생체류지나 레인가든을 설치할 수 있다. 도시부 B형은 도시부 구도로로 도로폭이 좁아 시설설치가 불가능해 비점저감 시설을 설치하지 않고 주기적인 도로 청소로 비점저감이 가능하다.

지방부 A형은 도로폭이 넓고 교통량이 많으며 통행 속도가 높은 도로구간으로 시설 설치 여유부지가 있는 일반도로구간 (A-1)이나 회전교차로, 교통섬이 있는 대형교차로 (A-2)가 있는 도로구간이다. 일반도로구간의 경우 토양침투율에 따라 13 mm/h 이상이면 침투도랑 및 침투저류지, 이하이면 식생수로나 식생여과대, 교통섬이나 회전교차로는 인공습지나 저류지를 적용할 수 있다. 지방부 B형은 도로폭원이 좁거나 편도 1차로의 교통량이 적은 구간 및 시설 설치 부지가 없는 지방부 도로구간으로 비점저감시설을 설치하지 않고 도로청소로 대체한다. 지방부 C형은 도로의 식생사면을 통해서 노면수의 자연적인 정화가 가능한 구간으로 추가적인 비점저감시설의 설치가 필요 없다.

교량은 국도와 지방도의 연장별 교량현황자료 (MLIT 2019)를 검토하여 전체 50% 이상의 교량개소수가 많은 100 m 미만의 교량중 저감시설의 설치 공간을 고려하여 그 기준을 50 m로 선정하였다. 교량 A형은 교량하부에 시설 설치여유부지가 있고 홍수나 강우 시 침수피해가 적은 구간으로 인공습지나 저류지를 설치할 수 있다. 교량 B형은 교량하부에 부지가 없거나 교량연장이 길어 교량하부 중배수관의 우수 이송이 곤란한 경우로 여과형 등 장치형 시설을 교량에 설치하거나 단부측을 육상부로 이송하여 인공습지나 저류지를 설치할 수 있다.

Table 2. The types of roads for roadside non-point pollution reduction

Type	A-1	A-2	B	C
Urban				
	Treebox filter, Planter filter	Rain garden Stormwater pond	Road cleaning	Natural purification
Rural				
	Infiltration filter, Infiltration trench, Vegetated swale, Vegetated filter strip	Rain garden, Bioretention Infiltration basin, Stormwater pond, Wetland	Road cleaning	Natural purification
Bridge				
	Wetland, Infiltration basin	Filters & Wetland	Road cleaning	

4.2 설계유형의 적용

위에서 정립한 시설의 설계 유형별로 적용가능한 대상지를 한강유역주변 도로에서 찾아서 사이트별로 적용성을 검토하였다. 각 시설유형별로 설치 가능한 시설 및 실제 적용이 가능한 도로의 특성사진을 정리하였다 (Table 2). 본 연구의 분류유형을 경기도의 팔당 상수원 내 도로구간 (약 680 km)에 적용한 결과, 도시부 도로의 경우 A형 (19%), B형 (81%), 지방부 도로의 경우 A형 (19%), B형 (60%), C형 (12%), 교량의 경우 A형 (14%), B형 (64%), C형 (17%)로 나타났다. 이는 대상 도로구간의 특성에 따라서 도로비점저감의 대책이 영향을 받는 것을 설명해 준다. 본 시설분류방법을 적용하지 않을 경우, 도시부의 경우 대상도로구간에는 식생형 시설이 지방부의 경우는 침투시설이 일괄로 적용되었으며, 주변토지이용 특성과 교통량을 고려한 시설의 면제 및 도로청소 등의 대체방안을 적용할 수 없다. 본 연구에서 개발한 시설의사결정방법론은 개별시설의 종류뿐만 아니라 전반적인 시설, 청소, 면제 등과 같이

대책의 유형분포와 그에 따른 전반적인 물량 산정에 도움이 될 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 기존의 도로비점저감시설의 성능기반 유형분류기법을 현장에 적용할 때 문제에 기반해서 도로계획과 설계에 현장에서 쉽게 적용할 수 있는 도로비점저감시설의 의사결정기법을 개발하였다. 이에 따라서 도로의 특성을 고려한 비점저감시설의 유형을 새롭게 개발하고 각각의 조건 및 특성에 고려한 적용방법을 정립하고 이를 도로현장에 적용해서 기법과 유형을 적용했을 때 도로비점저감의 효율적인 계획이 가능함을 입증하였다. 본 연구에서 개발한 도로비점저감시설의 유형은 시설 설치가 의무화되었고 설계와 설치가 도로분야에서 전담해야 하는 한국의 제도적인 특성 때문에 필요한 유일하고 독특한 결과이다. 본 연구를 통해 개발된 시설의 의사결정 기법이 현장에서 시설을 선정

하고 계획하는데 큰 도움이 될 것으로 기대된다. 현재 도로비점저감시설의 마스터 플랜을 수립해서 계획을 수립한 후 단계적으로 설치하도록 하고 있다 (DOE 2015). 따라서 본 연구에서 개발된 기법과 유형이 지방 자치체가 마스터플랜을 수립할 때 도로비점저감시설의 유형 및 설치를 결정하는데 적용되어 비점저감계획이 효율적이고 효과적으로 수립되는데 기여할 것으로 기대된다.

References

- Cambridgeshire County Council. 2012. Lamb drove residential sustainable drainage systems (SuDS) scheme monitoring project - Final Report.
- Cho, H.J. 2016. Improvement of infiltration trench function, Final research report, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technologies. (in Korean)
- Cho, H.J. and Park, S.Y. 2018. Non-overflowing modular infiltration trench development, Final Report. (in Korean)
- Cho, H.J., Lim, J.H., Yu, I.K., Lee, S.H., Do, H.K., and Shin, M.K. 2010. Development of green street systems Technologies in urban Sy, Final research report, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technologies. (in Korean)
- Cho, H.J., Noh, K.S., Lee, Y.S., Bak, J.D., Lee, S.H., Lim, J.H., Chung, K.H. 2013. Preparation of national guidelines for installation and management of roadside non-point pollution reduction facilities, Final reports, Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (in Korean)
- CIRIA. 2019. Guidelines for writing susdrain case studies, susdrain.
- Department of Environment (DOE). 2013. Guidelines for low-impact development (LID) technology elements for robust water circulation systems. (in Korean)
- Department of Environment (DOE). 2015. Preparation of national notice for mandatory roadside non-point pollution reduction facilities. (in Korean)
- Department of Environment (DOE). 2016. Manual of installation and management for non-point pollution facilities. (in Korean)
- Department of Environment (DOE). 2017. Manual of optimal management of non-point pollutants in development projects for total water pollution management. (in Korean)
- DOE and MLIT. 2016. National guideline of installation and management for roadside non-point pollution reduction facilities. (in Korean)
- Massachusetts Department of Environmental Protection (MDOEP). 2008a, Massachusetts stormwater handbook and stormwater standards, Volume 2: Technical Guide for Compliance with the Massachusetts Stormwater Management Standards.
- Massachusetts Department of Environmental Protection (MDOEP). 2008b, Checklist for stormwater report.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT). 2016. Road design standards. (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT). 2019. Bridge and tunnel status information system, <https://bti.kict.re.kr/bti/publicMain/main.do> (in Korean)
- Stormwater Management Research Center (SMRC), Stormwater design manual, 2013.
- Wimpey, P. 2014. Delivering SuDS at grangewood manor. Susdrain Presentation.