

팔당 상수원 보호구역내 도로비점오염의 특성 및 저감시설의 적용성 연구

Characteristics of Roadside Non-point Pollution and Applicability of Reduction Facilities in Paldang Water Source Protection Zone

조혜진^{1*} · 송미영²

¹한국건설기술연구원 인프라안전연구본부 선임연구위원, ²경기연구원 경영부원장 선임연구위원

Hye Jin Cho^{1*} and Meeyoung Song²

¹Senior Research Fellow, Highway and Transportation Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang 10223, Korea

²Senior Research Fellow, Vice President of Administration Affairs, Gyeonggi Research Institute, Suwon 16207, Korea

Received 21 September 2020, revised 19 November 2020, accepted 19 November 2020, published online 31 December 2020

ABSTRACT: Based on the combined results of field surveys and analyses of the road structure and traffic flow, we propose a new plan for reducing roadside non-point pollution in the Paldang Water Source Protection Zone. The results show that the soil surrounding the roads in Paldang is highly permeable, which mitigates the need for filtration facilities. Roads flanked by steep slopes are found to facilitate the reduction of non-point roadside pollution through vegetation and soils along road slopes without the need for pollution reduction facilities. These results highlight the need for a flexible roadside non-point pollution reduction plan for roadside non-point pollution, which can be tailored to compliment relevant regulations and design standards after analyzing the characteristics of the target road.

KEYWORDS: Facility design, Paldang water source zone, Road geometry, Road non-point pollution, Roadside pollution reduction facilities

요 약: 본 연구에서는 팔당 상수원 보호구역내 적정 도로비점오염 저감시설의 계획을 위해 대상 도로구간의 현장조사를 통해서 보호구역내 도로의 특성을 파악하고 이에 적용가능한 도로를 선정하고 시설을 시범적용하여 그 유효성을 검증하였다. 팔당 상수원 보호구역은 도로주변 토양의 배수등급이 높아 침투시설을 지양하고 도로사면을 통한 자연적인 오염원 저감방법을 적용하는 것이 적정하다. 앞으로 도로비점저감시설의 계획 및 설계에서 대상도로의 특성에 대한 분석 후 저감계획을 세우는 것이 적정하며 이는 관련 규정 및 설계 기준에도 반영되어야 할 것이다.

핵심어: 시설 설계, 팔당상수원, 도로기하구조, 도로비점, 도로비점저감시설

*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.

1. 서론

도로노면유출수로 인해 발생하는 도로비점오염을 저감시키기 위해 2007년부터 신규 도로는 도로비점오염 저감시설의 설치가 법적으로 의무화되었고 2013년 설치 대상이 운영중인 기존도로로 확대되었다 (DOE 2016). 신규 도로는 환경영향평가 단계에서 도로비점오염저감시설의 설치 위치와 개수 등 구체적인 계획이 수립된다. 환경부에서는 운영중인 기존의 도로에 대하여 설치 우선순위를 수립하여 대상도로의 목록을 고시하였고 구체적인 설치계획은 담당 부처와 지방자치단체에서 마스터 플랜을 마련해서 제출하도록 하였다 (DOE 2015). 기존의 도로는 환경영향평가와 같은 구체적인 절차가 없기 때문에 계획단계부터 도로비점저감시설을 고려하지 않고 설계하고 시공되었다. 또한 도로비점저감시설의 계획, 위치선정, 시설 유형의 선정에 대한 구체적인 가이드라인도 없고 관련 연구가 거의 수행되지 않았기 때문에 대상 도로에 대한 현장 조사 및 시설 특성을 고려해서 설치된 사례도 매우 적다 (Cho et al. 2013). 본 연구는 환경부 도로비점저감시설의 설치 대상 고시도로 중 도로비점오염의 영향을 크게 받는 팔당 상수원 보호구역내 도로비점저감을 시설설치 계획을 수립하기 위한 과정을 체계적으로 정립하고자 한다. 이를 위해 대상 도로구간의 특성과 도로비점저감시설의 적용가능성에 대해 분석하고 도로환경 및 기하구조 조건에 따라 적합한 시설의 설계 방향을 설정하고 이에 맞는 시설의 유형을 제시하고자 한다.

2. 자료 수집 및 분석

본 연구에서는 해당 도로에 대한 도로의 현황, 즉 도로의 기하구조, 교통량, 도로의 등급 및 위치와 같은 정보와 현장정보에 근거해서 상수원 영향권에 속한 대상 도로의 특성을 분석하여 도로비점오염저감을 위한 방법을 적용하는데 적합한 방법을 찾아보고자 한다. 본 연구의 분석대상도로는 경기도 팔당 상수원 보호구역에 속하는 팔당지역 9개 시·군, 22개 노선으로 연장은

약 692.6 km로 국지도와 지방도로 구성되어 있다. 대상 도로의 교통량 정보는 「도로 교통량 통계연보」의 자료를 활용해 2013 - 2018년 교통량정보를 수집하였다 (MLIT 2013-2018). 현장조사를 통해서 구조물 특성 및 도로시설 등을 확인하고 및 영상촬영을 통해 도로구간의 도로폭, 차로수, 측구, 길어깨, 주변 부지특성 등 시설특성 자료를 수집하고 CAD, GIS 전산화 작업을 통해 데이터를 분석하였다. 도로현장 조사를 통한 대상 도로구간의 특성분석과 그 결과에 근거한 시설유형의 설치가능 구간을 분석하고 효율적인 도로비점 저감시설의 계획과 효과적인 시설의 적용가능성을 제시하고자 한다.

3. 팔당상수원 보호구역의 도로 및 도로비점유출특성 분석

3.1 표토특성과 배수등급 분석

도로비점저감시설의 적용을 위해 도로주변 토양의 유형 및 배수등급을 분석하였다. 표토의 특성과 배수등급은 GIS를 활용하여 수치지도에서 대상 도로노선의 도로주변 버퍼를 생성하여 토양환경시스템상의 토양지도중 배수등급도와 표토토성도 (RDA and NAAS 2017)를 중첩하여 결과값을 도출하였다. 대상구간에 대한 표토토성을 검토한 결과 (Table 1), 사양토 42.8%, 양토 37.9%로 대부분 침투형 비점저감시설 설치가 가능한 것으로 나타났다. 대부분 도로가 사양토와 양토의 비중이 가장 큰 것으로 조사되었지만 지방도 352호선은 미사토, 식토, 식양토등 기타의 비중이 높게 나타났고 국지도 82호선의 경우 사양토가 100.0%로 높게 나타났다. 도로 비점저감시설 중 침투시설에 적합한 토양은 양토 (loam), 사질양토 (Sandy loam), 양질사토 (loamy sand)이다 (Cho et al. 2013).

각 해당 도로노선별 도로의 해당구간의 배수등급 (농촌진흥청 국립농업과학원 2017)을 비교분석하였다. 분석 결과 (Table 2)는 양호가 35.8%로 가장 높았고 매우양호 29.2%, 약간불량 10.9 등으로 나타났다. 따라

Table 1. Characteristics of roadside topsoil in Paldang zone

Topsoil type	Silty suffocation loam	Silty loam	Sandy loam	Fine soil	High quality sesato	High quality sato	Sato	Others	Total
%	1.4%	4.3%	42.8%	3.0%	0.4%	0.1%	37.9%	10.2%	100%

Table 2. Permeability of roadside topsoil in Paldang zone

Scale ²	Very good	Good	Slightly good	Slightly bad	Very bad	Other	Total
Permeable area ¹ (km ²)	19,537,769	23,913,352	6,512,754	7,274,199	2,505,169	7,128,954	66,872,196
Permeability (%)	29	36	10	11	4	10	100

¹Rural Development Administration, Soil Toram, Korean soil information system, <http://soil.rda.go.kr/eng/>.

²Rural Development Administration and National Academy of Agricultural Sciences (2017).



*right: map.naver.com

Fig. 1. Example of riverside road close to Han River in Paldang zone*.



Fig. 2. Examples of old roads penetrating old downtown in Paldang zone.

서 보호구역 대부분 침투형 비점저감시설 설치 가능한 도로로 나타났다. 도로비점저감시설 유형중 침투형 시설은 BOD, T-N, T-P의 저감효율이 가장 우수하고 (DOE 2017) 좁은 부지내 적용이 가능한 장점이 있지만 토양의 침투속도가 높은 구간에만 적용할 수 있다 (DOE 2016).

팔당 상수원 보호구역내 대상도로구간은 토양특성과 배수등급으로 침투시설의 설치를 우선적으로 고려할 수 있다. 그러나 현장조사 결과, 팔당상수원 보호구역에 포함된 대다수의 도로가 상수원 보호구역과 매우 근접해 있고 도로비점에 대한 이해가 없던 시기에 설계 및 시공된 도로라서 도로노면유출수가 바로 상수원 보호구역내로 유입되는 구조이다 (Fig. 1). 이런 조건일 때 침투형 저감시설을 설치하게 되면 농도가 높은 도로 오염물질이 토양으로 유입되고 투수율이 높은 토양을

통해 하천으로 직유입되기 때문에 오히려 비점을 가중시키는 문제가 발생할 수 있다. 따라서, 토양의 투수율이 양호함에도 팔당 상수원 구역내에서 하천과 인접한 도로의 경우 침투형 시설을 제외한 다른 유형의 시설이 적합한 것으로 판단된다.

3.2 구도심지를 관통하는 구도로의 특성 반영

현장조사 결과 팔당상수원 보호구역내 비점저감시설 설치 대상 도로의 상당구간이 오래전 자연적으로 생긴 구도로의 선형을 유지한 채 폭원만 확장하여 구도심을 통과하는 도로로 사용되고 있다 (Fig. 2). 이러한 도로는 차도와 보도의 폭원이 협소하고 보차도 혼용인 도로구간이 많아 시설의 설치가 어려운 구간이 다수 존재한다. 또 자연발생적인 도로의 선형으로 인해 도로점용



Fig. 3. Examples of typical old roads along Han River in Paldang zone.

구간이 도로와 연결하여 불규칙하게 존재하고 있고 측구가 설치되어 있지 않아 도로의 노면유출수를 시설로 유입시키기 어려운 구간이 다수 존재한다. 이런 도로구간은 시설설치 여유부지가 없고 노면유출수의 집수가 어려워 시설설치보다는 청소로 대체하는 것이 바람직하다.

3.3 교통량 특성 및 차선수, 폭원 고려

팔당 상수원 보호구역은 도로비점저감시설의 설치가 가장 우선시 되는 구간이다. 팔당 상수원 보호구역의 도로는 환경부의 도로비점저감시설의 설치를 위한 고시 구간선정연구에 따라서 상수원 보호구역의 중요도가 높아 시설설치 우선순위가 높은 도로구간이다 (DOE 2015). 그러나 도로의 교통량과 통행속도 등은 도로비점오염물질의 발생량에 크게 영향을 미친다 (Wang et al. 2013). 도로현장조사 결과, 보호구역내 지형특성상 산지부 도로, 교통량이 매우 적은 도로나 1차로 또는 편도 1차로 도로구간 등이 많다. 이러한 구간은 도로비점오염물질의 발생잠재력이 낮으므로 도로비점저감시설의 설치에서 제외하는 것이 적절하다.

3.4 도로사면을 이용한 자연정화 구간의 검토

기존의 연구 (Fennessy and Cronk 1997, LeFevre et al. 2015, Gavric et al. 2019)에 따르면 초본류나 나무 등 식생이 식재된 사면을 통해 도로비점오염 저감에 효과적으로 발생하고 저감정도는 식생유형, 사면의 경사 및 폭, 위치 및 토양 등의 영향을 받는다 (Bentrup 2008). 도로의 현장조사 결과, Fig. 3과 같이 하천에 인

접한 도로구간 또는 산지부를 통과하는 도로는 대부분 식생사면으로 연결되어있다. 강우유출수가 도로의 식생사면으로 유출되어 침투, 증발산 및 지하흐름을 통해 배출될 때 도로사면에서 노면유출수의 오염물질이 효율적으로 제거될 수 있다. 따라서 보호구역내 도로의 식생사면이 연속적으로 있는 경우 저감시설을 별도로 설치하지 않는 것이 바람직하다. 이는 도로비점저감시설의 설치지침에서 시설면제구간의 조건에 부합한다 (DOE 2015, DOE and MLIT 2016).

4. 도로의 특성을 고려한 도로비점저감시설의 적용 분석

도로의 특성분석결과에 근거해서 도로구간별 특징에 적합하게 비점저감시설 유형별로 현장에서 시범적으로 시설유형 및 설치 장소 등을 분석하여 적용가능성을 검토하였다. 대상 도로는 팔당 상수원 보호구역내 광주, 용인, 여주, 양평, 남양주에 속한 도로이다.

3.1에서 설명한 바와 같이 보호구역내 도로에서는 침투시설의 설치에 하천과의 근접성 및 토양투수율을 고려해서 매우 제한적으로 설치가 가능하여 침투시설의 적용이 가능한 몇 개의 대상도로 지점을 선정하여 분석하였다. Fig. 4에서 사례 (a)는 광주시 오폐읍 능평리 일원의 구간으로 도로주변 하천이격거리가 멀고 충분한 부지확보가 가능한 경우로 대상부지내 침투도랑의 설치가 가능하다. 사례 (b)는 광주시 오폐읍 능평리 일원의 회전교차로로 여유부지의 확보와 교차로내 도로의 배수여건 등을 고려하여 레인가든을 적용할 수 있다. 사례 (c)는 경기도 양평군 옥천면 신복리 일원으로 기존의 식수대 공간은 시설 설치를 위한 충분한 시설설치 부



Fig. 4. Examples of potential sites and types of roadside non-point pollution reduction facilities in Han River Paldang Zone. Dotted lines show potential location of suggested facilities.

지를 활용가능하고 기존의 배수시스템을 활용해서 노면유출수의 유입을 유도할 수 있어 식생여과대의 적용이 가능하다. 사례 (d)는 용인시 처인구 고림동의 도로로 도로와 식생사면간 도로를 따라 넓은 여유부지와 구간 연장이 길어 침투도랑의 설치가 가능하다. 사례 (e)는 경기도 용인시 처인구 양지면의 2차선 도로로 교통량이 많고 통행속도가 높으며 보도 외측으로 여유부지가 확보되고 측구가 있어 노면유출수의 처리가 용이하여 식생수로를 적용할 수 있다. 사례 (f)는 경기도 양수리 양수대교로 현재 교량하단에 장치형 비점저감시설

이 설치되어 있다. 하지만 교량하부 충분한 여유부지와 홍수수위를 고려해서 단부측을 교량하부로 연결해서 자연형 인공습지를 적용할 수 있다.

5. 결론

본 연구는 팔당 상수원 보호구역내 도로구간의 도로 비점오염저감시설의 적용을 위해서 상수원내 지방도와 국도를 대상으로 도로 및 교통특성, 도로비점 특성 등을 파악하고 대상구간의 특성을 반영한 저감시설의

설계 방향을 도출한 후 저감시설의 사례 분석을 통해서 시설의 적용성을 분석하였다. 지금까지 대부분의 연구 (Fennessy and Cronk 1997, Bentrup 2008, LeFevre et al. 2015, Gavrić et al. 2019)는 개별 시설의 저감효율을 분석하였으나 본 연구를 통해서 적용대상지의 특성을 충분히 파악하여 적절한 시설 설치와 효과적인 비점저감의 운영이 가능한 시설선정 방법론을 제시하였다. 기존 국내에서 적용된 도로비점저감시설은 미국 및 유럽에서 효과가 검증된 시설 유형별로 주로 도입이 되었는데 이 과정에서 국내의 도로의 특성이 간과되는 경우가 종종 있다 (Cho et al. 2013). 팔당상수원 보호구역은 수질보호의 중요성뿐만 아니라 구도시와 최근 택지개발 사업 등으로 다양한 형태의 도시와 도로가 공존하는 곳으로 도로에서 유발시키는 비점오염 특성도 다른 곳과 매우 다르다. 본 연구를 통해 분석한 보호구역내 도로 특성은 일반적인 시설설치기준 (DOE 2016, 2017) 과 일부 다르기 때문에 시설을 계획할 때 대상 도로구간의 특성에 대한 조사가 선행되어야 한다. 국내에서 침투형 시설을 우선적으로 설치하도록 권장하고 있으나 (DOE and MLIT 2016) 팔당 상수원 보호구역내에서는 토양의 투수율이 높고, 하천과 이격거리가 짧아 상당구간에서 침투형 시설의 설치를 지양해야 한다는 결과는 중요하다. 또한, 지형특성상 도로의 식생사면이 많아 식생 및 토양을 통한 오염물질 저감이 가능하기 때문에 팔당 상수원 보호구역내 도로의 상당구간에서 별도의 시설없이 비점저감이 가능하다. 이외에도 도심을 통과하는 구도로 구간에 대한 분석과 시설유형에 따른 설치 도로의 특성 등 사례분석을 통해 현장에서 시설 유형을 선정하고 고려하는 점을 제시하여 효율적인 시설의 설치가 가능하게 하였다. 추후 도로비점저감시설의 계획 및 설계할 때 대상 도로의 특성분석을 분석하여 적절한 저감기법 및 효율적으로 시설을 선정하도록 하는 절차가 필요할 것이며 이 과정을 환경부와 국토교통부의 관련 지침 및 설계 기준에 반영하는 것이 필요할 것이다.

감사의 글

본 연구는 경기도 ‘상수원 영향권 지방도 도로 비점오염저감시설 설치 마스터플랜 수립연구’ 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Bentrup, G. 2008. Conservation buffers: design guidelines for buffers, corridors, and greenways, General Technical Report, SRS-109. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. 110p.
- 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)
- Fennessy, M.S. and Cronk, J.K. 1997. The effectiveness and restoration potential of riparian ecotones for the management of nonpoint source pollution, particularly nitrate. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 27: 285-317.
- Gavrić, S., GüntherLeonhardt, G., Marsalek, J., and Viklander, M. 2019. Processes improving urban stormwater quality in grass swales and filter strips: A review of research findings, *Science of The Total Environment* 669: 431-447.
- 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)
- LeFevre, G., Kim, H., Natarajan, P., Gulliver, J., Novak, P., and Hozalski, R. 2015. Review of dissolved pollutants in urban storm water and their removal and fate in bioretention cells, Technical papers, *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 141(1).
- MLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport). 2013-2018. Statistical yearbook of road traffic. (in Korean)
- Rural Development Administration and National Academy of Agricultural Sciences (RDA and NAAS). 2017. Soil and nutrient management using Soil Toram, Human Culture Arirang, Korea. (in Korean)
- Wang, Y.J, Chen, C.F., and Lin, J.Y. 2013. The Measurement of dry deposition and surface runoff to quantify urban road pollution in Taipei, Taiwan, *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 10(10): 5130-5145.