

고속도로 비점오염저감시설의 효율적 적용 방안

이용복 · 최상일* · 정현규 · 배세달 · 정선국

광운대학교 환경공학과

Effective Application Method for Pollution Mitigation Facility of Highway Runoff

Yong Bok Lee, Sang Il Choi*, Hyun Gyu Jung, Sei Dal Bae, and Sun Kook Jung

Department of Environmental Engineering, Kwangwoon University

To build environmentally friendly highways, we testes suitability for unique characteristics of pollution mitigation facility around the highways by evaluating optimal selections and implementation methodologies to minimize loan of non-point pollution substances into water-ways. To do this we categorized EIA target highways into three types ; big drainage basin, small drainage basin, and bridge section as to minimize non-point pollution of highway runoff. The terms of selected facility test based on the Natural and Manufactured Treatment Device were removal efficiency of TSS, BOD, COD, T-N, T-P, compatibility of site selection, economic feasibility, maintenance convenience, and the final mitigation facility.

Key words: Non-point source pollution mitigation facility, Highway, Catchment basin area

서 언

본 연구의 목적은 고속도로 현장 특성별 비점오염저감시설의 적용시험을 통해 적정 저감시설 선정과 적용방안 제시로 노면유출수에 의한 비점오염저감물질을 최소화하여 고속도로 주변 토양오염과 수질오염을 예방하고 환경친화적인 고속도로 건설에 기여하는 것이다. 우리나라 고속도로의 길이는 2009년 12월 31일 기준으로 총 104,983 km로 이중 고속국도는 40개노선 3,776 km이며 일반국도는 13,819 km, 지방도는 18,138 km이다. 일일교통량은 고속국도 41,745대, 일반국도 11,146대, 지방도 5,809대로 고속국도가 총 길이는 작지만 상대적으로 교통량이 많음을 알 수 있다. 그만큼 고속도로에서 발생하는 비점오염물질에 대한 관심이 고조되고 있다 (Lee, 2007).

고속도로는 분명 대상 배수구역과 집수면적의 여건 등 여러 가지 환경특성에 의해 현장이 상이할 수 있으며, 세부적인 연구의 성과를 위해 현장별로 적용시험을 실시하였다. 고속도로의 현장분류는 비점오염원 최적관리지침에서 4 ha 이하의 소유역에 설치하는 식생여과대와 소규모습지의 설치기준을 적용하여 집수면적이 4 ha 이상인 지역은 집수면적

이 넓은 지역으로, 미만인 지역은 집수면적이 좁은 지역으로 하였으며, 교량지역을 포함하여 3개 현장으로 분류하여 고속도로 모든 구간에서 적용 할 수 있도록 하였다.

현장별 적용시험을 위한 저감시설은 시설의 장·단점과 국내·외의 적용사례를 분석하여 선정하였으며, 선정된 저감시설은 TSS, BOD, COD, T-N, T-P의 5개 분석항목의 제거효율과 부지선정의 적합성, 경제성, 유지관리의 용이성 등의 평가요소를 고려하여 최종저감시설을 선정하였다.

이에 전국토의 70%가 산지로 구성된 지형의 특성상 도로 건설로 인한 환경훼손의 문제점이 지속적으로 제기되어와 향후 환경과 조화된 도로건설을 위해 환경영향평가 대상으로 비점오염원 설치신고 대상사업인 고속도로 건설에 대해 비점오염저감시설의 적절한 선정 및 효율적인 적용방안을 마련 하고자 1단계로 적정처리용량을 설계 반영, 2단계는 여재교환시기의 결정, 그리고 3단계는 유지관리 시스템구축을 위한 기술적인 방안을 검토하여 고속도로 현장별로 최종 선정된 비점오염저감시설의 처리효율을 극대화하기 위해서 방안을 마련하고자 하였다 (MTLM, 2010).

재료 및 방법

유량측정 방법 비점오염저감시설의 배수구역으로부터 유입되는 오염물질부하량을 정확히 산출하고, 저감시설의 제거효율을 평가하기 위해서는, 비점오염저감시설로 유

접수 : 2011. 11. 20 수리 : 2011. 12. 8

*연락처 : Phone: +8229405183

E-mail: sichoi@kw.ac.kr

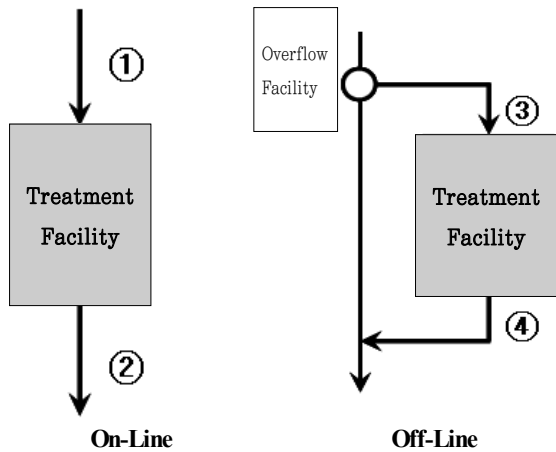


Fig. 1. Sampling and flow measured spot.

입되거나 비점오염저감시설에서 유출되는 유량을 정확하게 측정하여야 하므로, 유속계를 사용할 수 있는 수심이 확보된 경우 일반적인 유속계를 사용하고, 측정이 곤란한 지점 등에는 이동식 유량계, 봉부자법, 용기법을 병행하여 유량을 측정하였다 (Kim et al., 2004).

유량측정지점은 자연형시설의 경우 유입부와 유출부 2개소를 측정하고, 장치형시설은 유입부 1개소를 측정하였다. 비점오염 저감시설의 성능을 평가하기 위해서는 적절한 시료채수와 유량측정이 요구되며, Fig. 1은 성능평가를 위한 시료채수와 유량측정지점을 제시하였다. On-Line시설의 경우 유입부인 ①지점과 유출부인 ②지점에서 모니터링을 실시하였고, Off-Line시설의 경우 유입부인 ③지점과 유출부인 ④지점에서 모니터링을 실시하였다 (EX, 2008).

수질측정 방법 적용시험 시 선행건기일수는 강우유출수의 오염농도에 영향을 미치는 인자 중의 하나이다. 선행건기일수가 짧을수록 강우유출수의 오염농도는 낮아질 가능성이 높아진다. 또 배수구역의 투수특성에 따라 달라지지만 강우량이 적을 경우에는 실제 유출이 발생하지 않을 가능성이 있다. 따라서 최소 72시간 이상의 선행 건기일수를 확보할 수 있는 강우사상을 대상으로 10 mm 이상의 강우량을 가지는 강우를 대상으로 선정하도록 하였으며, 대상시설에 대한 객관적인 평가를 위한 시료채취빈도는 1회 강우 때마다 6회 이상 실시하였다.

오염물질별 처리효율 산정식 비점오염처리시설 처리효율을 객관적으로 평가하기 위해서는 통일된 적용시험 및 분석방법, 처리효율 산정방법의 채택이 필요하다. 비점오염저감시설 처리효율 산정방법은 크게 4가지가 적용되고 있으며 원리는 다음과 같다 (MOE, 2009).

제거효율법 (Efficiency Ration, ER)은 모니터링 강우별 유입 및 농도를 산술평균으로 처리하는 효율이며, 부하량합

산법 (Summation of Loads, SOR)은 모니터링 강우의 유입 및 유출 부하량 합에 대한 처리효율이다. 부하량 회귀식법 (Regression of Load, ROL)은 모니터링 강우별 유입/유출 부하량의 추세선 (기울기)을 통한 처리효율이며, 강우량 빈도법 (Rainfall of Frequency, ROFM)은 모니터링 강우별 유입 및 유출 부하량 처리효율에 강우량별 발생빈도 비율을 고려하여 처리효율을 산정하는 방법이다.

환경부에서 수행한 한강수계 비점오염저감시설 모니터링 결과에 의하면 ER은 과소값, ROFM과 ROL은 과대값이 많고 SOL은 중간 값이 많은 것으로 나타났다. 집수면적이 넓은 지역에서는 산정방법에 따른 저감효과 상호비교에 도움을 주고자 4가지 방법 모두를 접근하였으며, 집수면적이 좁은지역과 교량지역은 비점오염저감시설 처리효율 산정방법 중 대표 할 수 있는 부하량 합산법 (Summation of Loads, SOR)으로 유입수, 유출수의 유량 및 수질 분석결과를 활용하였다. 저감시설에서의 오염물질별 부하량 합산법의 처리효율 산정식 (1)은 다음과 같다.

$$\text{Removal Efficiency}(\%) = \frac{\sum_{t=1}^{t=T} C_i(t)Q_i(t) - \sum_{t=1}^{t=T} C_o(t)Q_o(t)}{\sum_{t=1}^{t=T} C_i(t)Q_i(t)} \times 100 \quad (1)$$

여기서, Removal Efficiency는 오염물질 제거효율이며, $C_i(t)$ 는 시간 t에서 시설내로 유입되는 오염물질의 농도, $Q_i(t)$ 는 시간 t에서 단위 시간당 시설내로 유입되는 유량, $C_o(t)$ 는 시간 t에서 시설에서 유출되는 오염물질의 농도, $Q_o(t)$ 는 시간 t에서 단위 시간당 시설에서 유출되는 유량, Total Runoff Duration은 시설내로 유입되는 총 강우지속 시간이다.

고속도로 현장분류 본 연구에서의 현장분류는 고속도로별로 분류하지 않고 대상 배수구역별 집수면적의 크기에 따라 현장분류를 하여 연구의 결과가 일률적으로 적용될 수 있도록 하였다. 대상배수구역은 강우시 고속도로에서 노면 유출수가 발생하는 지역이며, 집수지역은 대상구역에서 발생된 노면유출수가 집수되어 저감시설을 설치할 수 있는 가용한 부지로 해석하였다. 집수지역 크기의 기준은 「비점오염원 최적관리지침」 (MOE, 2010)에서 집수면적이 4 ha 이하의 소유역에 설치하는 식생여과대와 2~4 ha의 소규모 집수면적에 적용되는 소규모습지의 설치기준을 적용하여 Table 1과 같이 집수면적이 4 ha 이상인 지역은 집수면적이 넓은 지역으로, 미만인 지역은 집수면적이 좁은 지역으로 하였으며, 교량지역을 포함하여 3개 현장으로 분류하여 고속도로 모든 구간에서 적용할 수 있도록 하였다.

현장별 적용시험 시설 선정 국내의 비점오염저감시설의 종류에는 자연형시설 9개와 장치형시설 5개 등 총 13개 시설이 있으며, 본 연구에서 고속도로 현장별 적용시험을 위한 저감시설 선정은 저감시설의 고려요소의 평가로 선정된 결과와 국내·외 적용사례 분석 자료를 활용하여 선정하도록 하였다 (EX, 2008).

고려요소는 시설의 장·단점, 소요 부지면적, 설치비용, 안정성, 지역사회 적용성 등 5개의 요소로 평가하여 3개 이상의 좋은 평가를 받은 시설을 적용시험 시설로 선정하였으며, 적용사례는 한국환경공단에서 2006년 말 국내 처음으로 한강수계의 용인, 광주 및 이천 지역 등에 준공된 25개 시범시설에 대한 모니터링과 유지관리를 시행한 결과와 2008년 한국도로공사에서 고속도로에 설치한 저감시설 중 자연형 4개 시설, 장치형 9개 시설에 대한 모니터링 결과를 적용하였다. 외국의 사례는 미국을 중심으로 비점 오염저감

시설 설치 적용사례를 분석하여 고속도로에 적용할 수 있는 시설을 Table 2와 같이 선정하였다. 집수면적이 넓은 지역은 한강수계에서 모니터링한 7개 시설을 시험 적용 하였으며, 집수면적이 좁은 지역은 고속도로에서 적용 시험한 6개 시설을 적용하고, 교량지역 3개 시설은 한강수계 및 고속도로에 설치한 시설을 적용시험 하였다.

현장별 적용시험 시설현황 국내 고속도로는 주변의 부지면적이 충분하지 않고 배수유역으로부터의 침투율이 낮아 유출계수가 상당히 높으며, 유출수로부터 유출되는 비점오염물질의 양은 다른 토지이용에 비해 높은 특징을 가지고 있다 (Jang, 2009). 적용시험시설현황은 Table 3과 같으며 집수면적이 넓은 지역은 용인지역을 위주로 자연형시설 5개소, 장치형시설 2개소가 선정되었으며, 고속도로에 설치된 비점오염저감시설 중 집수면적이 넓은지역은 설치가 제

Table 1. Criteria for catchment area size.

| Classification | Standard for size | Site formation |
|--------------------------------|-------------------|--|
| Area with large drainage basin | 4ha ≤ | Open land, Forest land, Wet land, etc. |
| Area with small drainage basin | 4ha > | Mountain area, Slope, Farmland, etc. |

Table 2. Selected mitigation facilities for site application study.

| Mitigation facility | Area with large drainage basin (7 facilities) | Area with small drainage basin (6 facilities) | Bridge section (3 facilities) |
|------------------------------|--|--|----------------------------------|
| Artificial wetland | * | * | |
| Vegetated channel | * | * | |
| Vegetation filter strip | * | | * |
| Infiltration trench | * | * | |
| Infiltration-based retention | * | | * |
| Infiltration filter basin | | * | |
| Filtration-type | * | * | * |
| Turbulence-type | * | * | |

*Chosen mitigation facilities for each classified type.

Table 3. Total facilities for application study.

| Mitigation facility | Area with large drainage basin | | Area with small drainage basin | | Bridge section | |
|------------------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| | Catchment area | Location | Catchment area | Location | Catchment area | Location |
| | ha | | ha | | ha | |
| Artificial wetland | 6.25 | Youngin Samgae | 6.50 | Yeojoo JCT | | |
| Infiltration-based retention | 9.13 | Youngin IC | | | 9.62 | Youngin Chobu |
| Infiltration trench | 0.30 | Youngin Jeondae | 0.15 | Giheung IC | | |
| Infiltration filter basin | | | 0.24 | Singal JCT | | |
| Vegetation filter strip | 7.03 | Youngin Chobu | | | 2.53 | Youngin Haegok |
| Vegatated channel | 0.77 | Youngin Samgae | 0.42 | Buksuwon IC | | |
| Filtration-type facility | 2.74 | Youngin Samgae | 1.36 | Seoul Tollgate | 0.25 | Seoul Tollgate |
| Turbulence-type facility | 0.32 | Youngin Woonhak | 0.59 | Seoul Tollgate | | |

한되어 환경부에서 한강수계 비점오염저감시설 모니터링을 실시하기 위해 부지의 적합성을 검토하여 선정된 저감시설을 적용시험에 포함하였다.

집수면적이 좁은 지역은 인공습지의 경우 영동고속도로 강릉방향 여주 JCT 인근에 위치하고 있으며, 당초 폐도지역을 이용하여 인공습지로 조성하였으며, 식생수로는 영동고속도로 강릉방향 북수원 IC 인근에 위치하고 당초 U형 개거를 개선하여 조성하였다. 침투도랑은 경부고속도로로 서울방향 신갈JCT 영동고속도로 아래에 위치하고 있으며, 녹지지역을 조성하였다.

장치형시설은 경부고속도로 서울요금소 분당방면에 2개소를 선정하여 적용시험을 하였다. 교량개발사업 추진 시 별도의 비점오염저감계획을 수립하지 않는 경우 불투수면적 증가로 인해 약 0.68 kg BOD day⁻¹의 비점오염부하 증가가 예상된다. 교량개발사업의 예상지역에 포함된 도로 외의 부지에 대하여 개발사업 후 증가하는 비점오염부하는 약 0.0002 kg BOD day⁻¹로서 그 증가가 현저하지 않으므로 도로 노면에서 발생하는 비점오염에 대한 관리계획만을 수립하는 것으로 하였다 (MOE, 2010).

결과 및 고찰

현장별 저감시설 제거효율 종합 분석 고속도로에서 보다 효율적인 비점오염물질 저감을 위해 고속도로의 특성을 고려하여 집수면적이 넓은 지역과 집수면적이 좁은 지역,

교량지역으로 구분하여 적용시험을 하였으며, TSS, BOD, COD, T-N, T-P의 5개 분석항목으로 제거효율을 분석한 결과 Table 4와 같으며, 배수지역 면적현황, 설치위치, 강우량과 강우일수, 유입 및 유출량의 양과 성상, 설치용량, 유지관리, 토사유출 등에 의해 시설별 제거효율의 만족도가 상이하였다.

Table 5에서와 같이 집수면적이 넓은 지역의 경우는 자연형시설이 제거효율이 높게 나타났으며, 특히 침투저류지, 인공습지 등이 높게 분석된 것은 집수면적이 넓어 부지 활용이 가능 시에는 적극적인 시설설치가 필요하며 자연경관과 심미적인 안정성 등의 친환경적인 효과창출에도 기여할 수 있다. 집수면적이 좁은 지역은 인공습지나 침투저류지 등의 설치와 유지관리에도 제한이 되었으며 침투도랑이 제거효율성이 높게 나타났다. 교량지역은 집수면적이 좁아 부지선정이 제한될 경우는 여과형시설을 설치할 수 있으며 가용부지 면적이 넓어 적극적인 저감대책을 위해서는 침투저류지나 식생여과대 등을 설계에 반영할 수 있다.

저감시설의 경제성 분석 비점오염저감시설에 소요되는 비용은 시설설치비와 유지관리비로 구분되며, 자연형시설 45개소와 장치형시설 135개소 등 총 180개 시설에 대한 평균 수치로 경제성을 분석하였으며, 저감시설 1개소당 평균 배수유역면적은 자연형시설 5,231 m²이고, 장치형시설은 1,616 m²인 것으로 분석되었고, 저감시설 1개소당 평균 설치비는 자연형시설 28,175천원/1개소, 장치형시설 45,743천원/1개소

Table 4. Classification of removal efficiency for mitigation facility.

| Classification (%) | Natural-type facility | | | | | | Manufactured-type facility | | |
|--------------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|---------------------|------------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------|------|
| | Artificial wetland | Vegetated channel | Vegetation filter strip | Infiltration trench | Infiltration-based retention | Infiltration filter basin | Filtration-type | Turbulence-type | |
| Area with large drainage basin | TSS | 87.2 | 87.5 | 77.8 | 95.1 | 100.0 | - | 89.1 | 33.7 |
| | BOD | 88.5 | 82.4 | 88.5 | 90.4 | 100.0 | - | 63.4 | 29.8 |
| | COD | 84.7 | 82.5 | 75.1 | 85.5 | 100.0 | - | 60.7 | 29.1 |
| | T-N | 86.1 | 88.5 | 74.0 | 88.8 | 100.0 | - | 63.7 | 20.1 |
| | T-P | 90.0 | 77.4 | 79.3 | 90.2 | 100.0 | - | 79.6 | 25.1 |
| Area with small drainage basin | TSS | - | -25.0 | - | 95.9 | - | 49.8 | 22.5 | 10.3 |
| | BOD | - | 48.4 | - | 94.8 | - | 23.6 | 32.9 | 16.2 |
| | COD | - | 47.3 | - | 94.7 | - | 25.0 | 27.2 | 8.1 |
| | T-N | - | 42.9 | - | 87.1 | - | 48.7 | 21.1 | 39.5 |
| | T-P | - | 32.2 | - | 90.3 | - | 44.5 | 3.5 | 28.9 |
| Bridge section | TSS | - | - | 77.8 | - | 100.0 | - | 75.5 | - |
| | BOD | - | - | 37.2 | - | 100.0 | - | 51.8 | - |
| | COD | - | - | 34.2 | - | 100.0 | - | 57.9 | - |
| | T-N | - | - | 47.4 | - | 100.0 | - | 20.7 | - |
| | T-P | - | - | 79.3 | - | 100.0 | - | 54.3 | - |

로 분석되었다. 이는 동일 배수구역 (5,000 m²)에 저감시설을 설치할 경우 자연형시설의 설치비는 26,931천원, 장치형시설은 141,532천원이 소요될 것으로 분석하여, 자연형시설이 장치형시설에 비해 설치비가 적게 소요될 것으로 검토되었다 (EX, 2008).

시설의 유지관리비는 장치형시설은 년 1회 여재교환을 실시한다고 가정하여, 기 조사된 유사 시험 결과에 반영할 경우, 자연형시설의 1개소 당 유지관리비는 8,235천원/2년, 장치형시설의 1개소 당 8,226천원/2년으로 추정되었다. 자연형시설의 경우 식생활착 및 시설보수시기를 제외하고는 특별히 전문인력의 투입이 요구되지 않으며, 현재 고속도로 유지를 위한 조직이 구성되어 운영중이므로 유지관리시 인건비 부분의 비용절감이 기대된다. 따라서, 자연형시설 유지관리비는 인건비부분을 제외할 경우 1개소당 1,490천원/2년으로 산정되어, 장치형시설 유지관리비용의 약 18%수준일 것으로 예측되었다 (EX, 2008).

저감시설 선정을 위한 기술적 평가 최적의 저감시설을 선정하기 위한 조건으로 제거효율성이 매우 중요하지만

부지선정의 적합성, 경제성, 유지관리의 용이성, 국가관리정책 등 종합적인 평가요소를 고려하여 기술적 평가를 통해 선정된 시설이 최대의 비점오염물질 저감을 달성할 수 있다 (Cho, 2008). 환경이 상이한 고속도로 현장별로 최적의 저감시설을 선정하기 위해서는 현장별 제거효율이 높은 저감시설별로 선정된 부지의 적정성 평가와 설계요소 평가표에 의해 우선 결정하고, 자연형시설과 장치형시설의 경제성 분석과 유지관리의 용이성 등의 기술적 평가를 고려하여 최종 저감시설을 선정하도록 한다.

평가요소에 의한 시설별 기술적 평가절차를 Fig. 2와 같이 제시하였는데 평가방법 1은 현장별로 제거효율분석의 만족도가 높은 저감시설별로 3개의 평가요소인 부지선정적합성과 경제성 분석, 유지관리의 용이성 별로 평가하여 선정의 문제점이 없을 경우 최종선정 하는 방법이다.

평가방법 2는 4개의 평가요소별 세부검토항목에 가중치를 부여하여 가장 점수가 양호한 시설을 선택하는 방법으로 가중치 부여는 아래의 Table 6과 같이 고려할 수 있다.

Table 5. Rank in satisfaction level of removal efficiency for mitigation facility.

| Classification Ranking | Area with large drainage basin | Area with small drainage basin | Bridge section |
|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 1 | Infiltration-based retention | Infiltration trench | Infiltration-based water tank |
| 2 | Infiltration trench | Vegetated channel | Filtration-type facility |
| 3 | Artificial wetland | Infiltration basin | Vegetation filter strip |
| 4 | Vegetated channel | Filtration-type facility | |
| 5 | Vegetation filter strip | Turbulence-type facility | |
| 6 | Filtration-type facility | | |
| 7 | Turbulency-type facility | | |

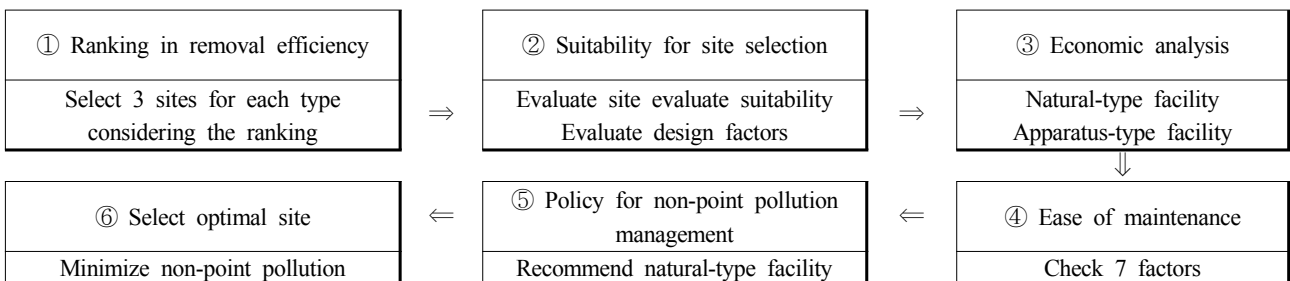


Fig. 2. Technical evaluation procedure for non-point pollution mitigation facility.

Table 6. Weighted evaluation method.

| Evaluation rate | Removal efficiency | Site selection suitability | Economic feasibility | Maintenance |
|-----------------------------------|---|---|--|---|
| Mitigation facility | (40%) | (20%) | (20%) | (20%) |
| Mitigation facility for each type | Convert score for facility with highly satisfactory water quality | Apply result of suitability evaluation and design factor evaluation | Natural-type facility is more economic than apparatus-type | Analyze sub-categories of ease of maintenance |

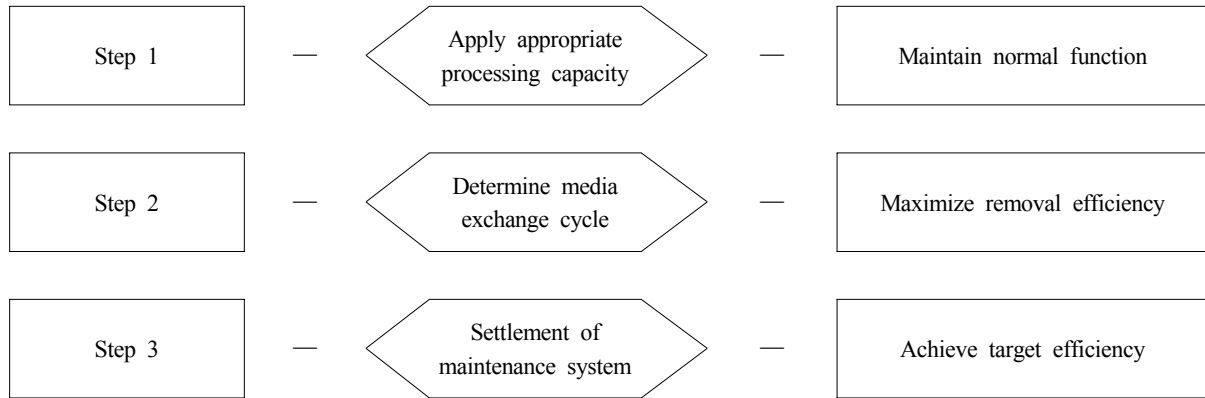


Fig. 3. Process for efficient application of selected reduction facility.

Table 7. Formula used for calculating processing capacity.

| Natural-type facility | Manufactured-type facility |
|---|---|
| $WQV = P \times A \div 1000$ | $Q = 1/360 \times C \times I \times A$ |
| WQV : Rainfall runoff (m ³) | Q : Planned rainfall runoff (m ³ sec ⁻¹) |
| P : 5 mm day ⁻¹ | C : Runoff coefficient |
| A : Drain area (m ²) | I : 5 mm hr ⁻¹ |
| 1000: Unit conversion factor | A : Drain area (ha) |

선정된 저감시설의 효율적 적용 방안 고속도로에서 현장별 선정된 비점오염저감시설의 처리효율을 극대화하기 위해서는 설계 및 유지관리 단계까지의 기술적 측면에 대한 것을 수립하여 수행하는 것이 중요하다 (Kwang et al., 2006). 본 장에서는 Fig. 3과 같이 1단계는 적정처리용량을 설계에 반영하여 정상적인 기능을 유지하고, 2단계는 여재 교환시기 결정으로 저감효율을 극대화하며, 3단계는 유지관리 시스템구축으로 목표효율의 달성을 이루도록 하였다.

선정된 시설의 적정 처리용량 설계반영 선정된 저감시설의 효율적 적용을 위한 1단계는 고속도로 비점오염저감시설 설치를 위해 대상유역을 선정하고 부지를 선정한 후에는 선정된 저감시설을 설치하여야 하는 데 이 과정에서 시설의 효율성을 위해서는 적정 처리용량을 결정하여 설계에 반영하여야 한다. 저감시설의 처리용량 결정 시 주요인자는 강우강도의 결정이다. 2008년 12월 환경부는 「비점오염저감시설의 설치 및 관리운영매뉴얼」에 초기강우량을 5 mm로 규정하고 있어, 본 연구에서는 초기강우량을 5 mm로 결정하였다. 결정된 강우강도는 처리용량 산정 시 중요한 변수로 사용된다. 처리용량 산정시 적용되는 공식은 Table 7과 같이 합리식이 적용되며, 이는 「비점오염원관리 업무편람, 2006, 환경부」에 제시되어, 수질오염총량관리를 시행하는 각 지방환경청에서 동일하게 적용되고 있다.

저감시설 여재교환 시기 결정 현재 우리나라에서 시행중인 제1단계 수질오염총량관리제는 BOD를 대상항목으

로 설정하여 관리하고 있고, 「환경친화적인 도로건설 지침」에서는 비점오염저감시설의 제거효율을 SS 60%, BOD 40~55%로 제시하고 있으므로, BOD 제거효율 40%이상을 상회하는 시설을 설치하는 것이 바람직하며, 설치 후 지속적인 유지관리 및 모니터링을 시행하여 저감효율의 극대화를 도모하는 것이 필요하다.

금번 적용시험 결과 Fig. 4와 같이 자연형시설 (침투형)의 경우 제거효율 하강 그래프가 완만한 경향을 보여 여재교환주기가 길 것으로 예상되며, 장치형시설 (필터형)의 경우 저감효율 변화가 급격하여 자연형시설 (침투형)에 비해 여재교환주기가 짧을 것으로 판단된다. 여재교환 시기는 저감시설 선정시 저감시설의 제거효율인 BOD 40%를 기준으로 그 이하일 경우를 여재교환시기로 선정함이 타당할 것으로 판단되며, 모니터링 시 Fig. 5와 같이 제거효율의 변동폭이 크므로, 부하량 기준의 BOD제거효율이 40%이하로 1회 조사되었을 경우 이후 6개월 이내에 재조사를 실시하여, 2회 연속으로 제거효율이 40%이하로 분석된 경우 여재교환을 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

저감시설 유지관리 시스템 정착 3단계는 저감시설 유지관리 시스템 정착으로 현장별로 배수유역특성에 맞는 시설을 선정하고 설계지침에 따른 설치를 시행하여도 저감시설의 특성상 지속적인 유지관리를 하여야 제거효율 기준을 충족할 수 있고 저감시설의 사용기간 증가 등을 기대할 수 있다 (MOE, 2005). 저감시설에 대한 관리책임자와 조사담당자를 지정하여 비강우시와 강우시를 구분하여 정기적인

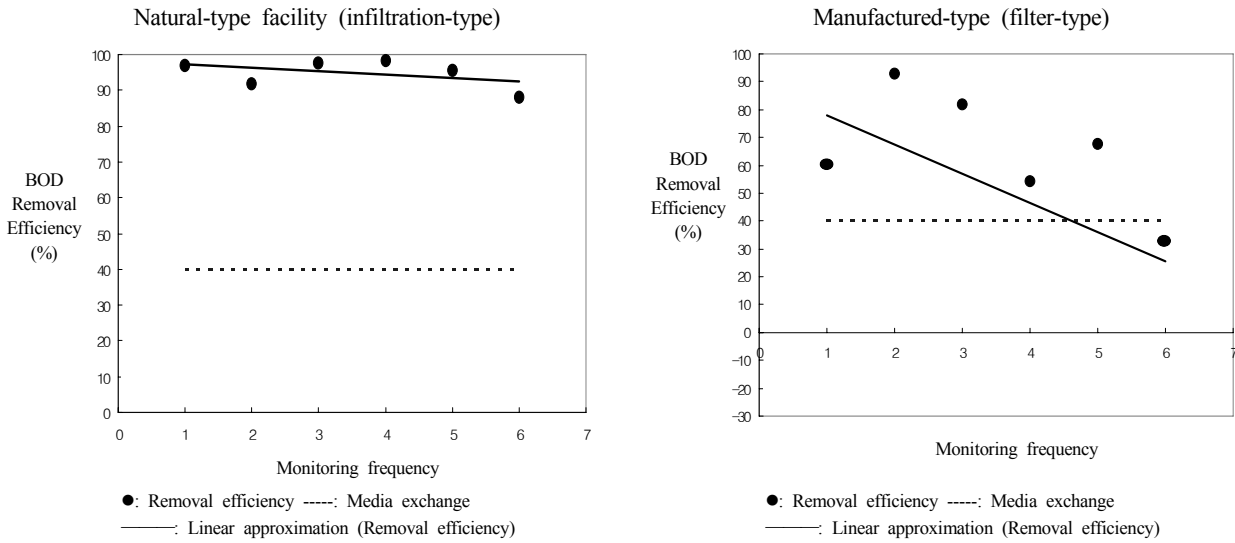


Fig. 4. Media exchange cycle for each facility type.

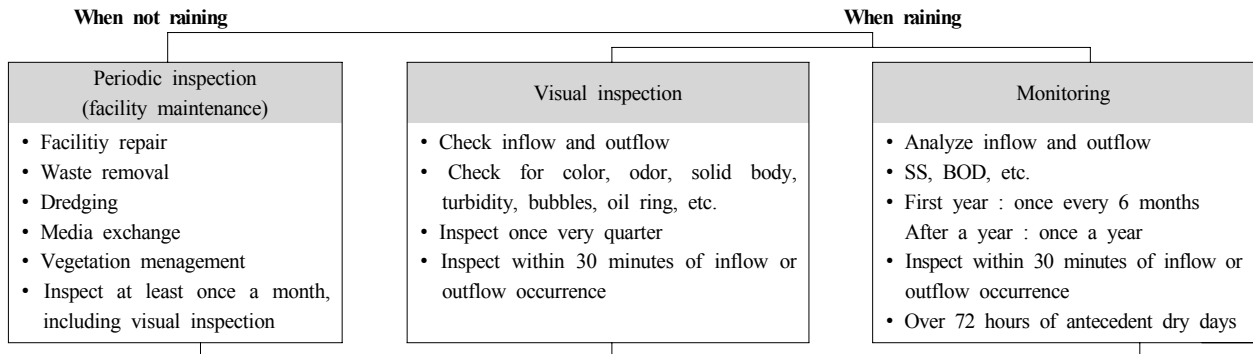


Fig. 5. Flowchart for maintenance of mitigation facility

검사를 시행하는 유지관리 시스템구축이 필요하다.

비점오염저감시설은 대상배수구역 특성에 맞는 시설의 선정, 설계지침에 따른 설치를 시행하여도 저감시설의 특성상 지속적인 유지관리를 시행하여야 목표효율의 달성 및 저감시설의 사용기간 증가 등을 기대할 수 있다. Fig. 5와 같이 비강우시에는 시설점검을 주목적으로 하여 시설보수, 협잡작물제거, 여재교환, 식생관리 등이 시행되어야 하고, 강우 시에는 원활한 유입·유출여부, 수질항목분석, 육안검사 등의 시행이 필요하다. 모니터링을 통한 유입수 및 유출수를 분석하되 초기 1년은 반기 1회, 1년 이후는 년 1회 실시하여 기록하여 보관한다. 비점오염저감시설의 선정 시 시설의 유지관리가 용이한지를 반드시 고려하여야 하며, 유지관리의 빈도, 막힘현상과 같은 장기적인 유지관리 문제, 기능상실을 고려하여 상대적인 유지관리 용이성을 평가하여 선정하여야 한다.

결론

환경영향평가 또는 재협의 대상인 고속도로 건설사업시 현장별로 효율적이면서 경제적인 적정의 저감시설을 선정하여 적용할 수 있는 방안을 제시하기 위한 연구의 결과는 다음과 같다. 침수면적이 넓은 지역에서의 TSS, BOD, COD, T-N, T-P의 5개 분석항목의 제거효율 분석결과 자연형시설이 장치형시설보다 높았으며, 모든 시설이 환경부 제거효율을 만족하였다. 저감시설별 제거효율 만족도는 침투저류지>침투도랑>인공습지>식생수로>식생여과대>여과형>와류형 순으로 나타났다. 설치 부지가 충분하다면 자연형시설 중 부지면적을 많이 차지하는 침투저류지, 인공습지 등의 설치도 효율적인 것으로 판단된다. 침수면적이 좁은 지역에서는 자연형시설이 장치형시설보다 제거효율이 높은 것으로 나타났지만, 분석항목 전체가 환경부 기준을 만족하는 시설은 침투도랑시설 뿐이며, 그 외의 시설은 부분적인 항목에 대해서만 만족되었다. 저감시설별 제거효율 우선순위는 침투도랑>식생수로>침투여과조>여과형시설>와류형시설

순이며, 부지면적을 크게 요구하는 인공습지, 침투저류지 등의 시설은 설치가 제한되었다. 교량지역 저감시설에 대한 제거효율 분석 결과, 침투저류지는 모든 항목을 만족하였으며, 여과형시설은 TSS, COD, T-N, 식생여과대는 TSS, T-N, T-P의 3개 항목을 만족하였다. 제거효율 만족도 우선 순위는 침투저류지>여과형시설>식생여과대 순이며, 교량지역은 대부분 하천과 근접해 있어 적극적인 비점오염 저감대책이 요구되었다. 선정된 저감시설의 효율적 적용을 위해 3단계 수행절차를 제시하였다. 1단계는 선정된 저감시설에 대해 적정 처리용량을 설계에 반영하여 정상적인 기능을 유지하고, 2단계는 여재교환 시기 결정으로 저감효율을 극대화 시키도록 하였으며, 3단계는 유지관리 시스템 구축으로 목표 효율의 달성을 이루도록 하였다. 이중 여재교환 시기 결정은 적용시험 결과 자연형의 경우 제거효율 하강 그래프가 완만한 경향을 보여 저감효율 변화가 급격한 장치형시설에 비해 여재교환 주기가 긴 것으로 분석되었으며, 부하량 기준의 BOD 제거효율이 40%이하로 2회 연속 분석된 경우 실시하는 것으로 판단하였다. X축을 시간으로 선정할 경우 강우 시 마다 강우빈도와 오염물질의 양과 성상이 다르고 강우 일수와 강우량이 지역별로 상이하여 모니터링 횟수로 여재교환 주기를 산정하였다.

사 사

본 연구는 2011년 광운대학교 연구비지원에 의하여 수행되었습니다 (This study was supported by grant of Kwangwoon University in 2011).

인 용 문 헌

- MTLM. 2010. Guideline for environmentally sound road construction. pp.41.
- Kim, L.H. and J.H Kang. 2004. Determination of Event Mean Concentrations and Pollutant Loadings in Highway Storm Runoff. KSWE. 20:631-640.
- Kim, L.H. and J.H Kang. 2004. Characteristics of First Flush in Highway Storm Runoff. KSWE. 20:641-646.
- Cho, S.J. 2008. Study on treatment system utilized for nonpoint source contamination in city. Ph. D thesis. Kumho Tech.
- EX. 2008. Monitoring of base facility for water treatment facility of express way.
- MOE. 2005. Effective management of major nonpoint source contamination. pp.5-40.
- MOE. 2006. Handbook of nonpoint source contamination. pp.121-122.
- MOE. 2008. Operation manual and facility establishment of nonpoint source contamination. pp.22.
- MOE. 2009. Monitoring results of nonpoint source contamination facility. pp.3-13.
- MOE. 2010. Effective management of major nonpoint source contamination for mass control of water quality. pp.76-100.
- Jang, D.C. 2009. Water quality characteristics of nonpoint pollutants based on the road type, Kwangwoon Univ. doctoral dissertation, pp.19-29, 91-941.
- Kwang, H.M., J.K. Lee, J.S. Shin, S.T. Kim, and D.K. Lee. 2006. Control strategy of nonpoint pollution by highway stormwater runoff, Expressway and transportation research institute, pp.91-93.
- Lee, J.K. 2007. A study on characteristics of nonpoint sources in highways and its treatment, Sangmyung Univ. doctoral dissertation, pp.34-36, 50-55, 65-68.