

연구논문

고속도로 현장별 비점오염 저감시설 선정방안 연구

이용복 · 최상일 · 박계수 · 성일종 · 정선국

광운대학교 환경공학과

(2011년 7월 18일 접수, 2011년 11월 26일 승인)

A Study for selecting the Highway Sites' Best Management Practice for Nonpoint Source Pollution

Yong-Bok Lee · Sang-II Choi · Kye-Su Park · Il-Jong Seong · Sun-Kook Jung

Department of Environmental Engineering, Kwangwoon University

(Manuscript received 18 July 2011; accepted 26 November 2011)

Abstract

This research categorized EIA target highways into following three types in order to minimize non-point source pollution from highway runoff. 1. Big drainage basin. 2. Small drainage basin. 3. Bridge section. The Natural, Filter and Swirl-Type devices were evaluated in terms of removal efficiency of TSS, BOD, COD, T-N, T-P, compatibility of site selection, economic feasibility, and maintenance convenience through which the final BMP was selected. According to the removal efficiency result, the area of Big and Small Drainage basin and bridge section had higher removal efficiency with natural facility than that of the Filter or Swirl-Type device. To make appropriate selection of highways' BMP for non-point source pollution, this study will aim to contribute to building more environmentally friendly highways by proposing the selection process that is made of 5 stages. 1. Selecting the target drainage basin. 2. Selecting the land for the mitigation facility. 3. Analysing the ease of maintenance. 4. Technically evaluating each installation. 5. Evaluating the effective implementation methods.

Keywords : Non-Point Source pollution, Highway, Catchment Basin Area, Natural Type Facility, Filter-Type Device, Swirl-Type Device

I. 서론

우리나라의 도로는 지난 몇 십년간 지속적인 투자를 통해 상당한 인프라를 구축해 왔으며, 경제발전의 선도적인 역할을 수행해 왔다. 그러나 전 국토의 70%가 산지로 구성된 지형의 특성상 도로건설로 인한 환경훼손의 문제점이 지속적으로 제기되어 왔고, 환경과 조화된 도로건설의 필요성이 점차 커지고 있다.(국토해양부·환경부, 2010)

우리나라의 도로는 크게 고속국도, 일반국도, 특별·광역시도, 지방도, 시도, 군도, 구도로 구분하고 있으며, 고속국도란 자동차교통망의 중추부분을 이루는 중요한 도시를 연락하는 자동차전용의 고속교통에 속하는 도로로서 고속국도법 제3조의 규정에 의거 노선이 지정되며, 한국도로공사 및 민자고속국도법인에서 건설, 관리하는 도로를 말한다. 도로의 길이는 2009년 12월 31일 기준으로 총 104,983km로 이중 고속국도는 40개노선 3,776km이며 일반국도는 13,819km, 지방도는 18,138km이다.

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.

현행 법령에서 환경영향평가 또는 환경영향평가 재협의 대상인 고속도로건설사업은 비점오염원 저감시설 설치신고 대상사업으로 포함되어 있으며, 고속도로는 호수나 하천주변을 지나면서 비점오염물질을 직접적으로 방류할 수 있기 때문에 고속도로 노면 유출에 의한 비점오염물질 관리가 수계오염방지를 위한 중요한 요인으로 간주되고 있다.(이주광, 2007)

본 연구에서는 고속도로 노면 유입 및 유출수로 한정하여 비점오염원에 대한 저감을 최소화하기 위해 고속도로 현장의 특성별로 적용시험을 통해 효율성이 높은 저감시설을 선정하는 방안을 제시하고자 한다.

적용시험 분석항목은 TSS, BOD, COD, T-N, T-P 등의 항목을 적용하고 선행건기 2일 이상의

유입수 및 유출수이며 총 6회의 강우분석으로 1회 강우시 시료채취는 12회 이상 실시하도록 하여 제거 효율을 분석하였으며, 적용시험 결과를 통해 현장별로 제거효율과 경제성, 유지관리 용이성 등을 고려하여 효율성이 큰 저감시설을 선정하도록 하였다.

II. 연구내용

1. 고속도로 현장분류

본 연구에서의 현장분류는 고속도로별로 분류하지 않고 대상 배수유역별 집수면적의 크기에 따라 현장분류를 하여 연구의 결과가 일률적으로 적용될 수 있도록 하였다. 대상배수유역은 강우시 고속도로에서 노면유출수가 발생하는 지역이며, 집수지역은 대상유역에서 발생한 노면유출수가 집수되어 저감시설을 설치할 수 있는 가용한 부지로 해석하였다. 집수지역 크기의 기준은「비점오염원 최적관리 지침」(국립환경과학원, 환경부, 2010)에서 집수면적이 4ha이하의 소유역에 설치하는 식생여과대와 2~4ha의 소규모 집수면적에 적용되는 소규모습지의 설치기준을 적용하여 집수면적이 4ha 이상인 지역은 집수면적이 넓은지역으로, 미만인 지역은 집수면적이 좁은지역으로 하였으며, 교량지역을 포함하여 3개 현장으로 분류하여 고속도로 모든 구간에서 적용할 수 있도록 하였다.

2. 현장별 적용시험 시설선정

본 연구에서 고속도로 현장별 적용시험을 위한 저감시설 선정은 고려요소의 평가로 선정한 결과와 국내·외 적용사례 분석 자료를 활용하여 선정하도록 하였다.

고려요소는 시설의 장·단점, 소요 부지면적, 설치비용, 안정성, 지역사회 적용성 등 5개의 요소로 평가하여 3개 이상의 좋은 평가를 받은 시설을 적용시험 시설로 선정하였다. 국내의 적용사례는 한국환경공단에서 2006년 말 국내 처음으로 한강수계의 용인, 광주 및 이천 지역 등에 준공된 25개 시범시설에 대한 모니터링과 유지관리를 시행한 결과와

표 1. 현장별 적용시험 저감시설 선정 현황

| 저감시설 | 현장별 | 집수면적 넓은지역 (7개시설) | 집수면적 좁은지역 (6개시설) | 교량지역 (3개시설) |
|-------|-----|------------------|------------------|-------------|
| 인공습지 | | 선정 | 선정 | |
| 식생수로 | | 선정 | 선정 | |
| 식생여과대 | | 선정 | | 선정 |
| 침투도랑 | | 선정 | 선정 | |
| 침투저류지 | | 선정 | | 선정 |
| 침투여과조 | | | 선정 | |
| 여과형 | | 선정 | 선정 | 선정 |
| 와류형 | | 선정 | 선정 | |

2008년 한국도로공사에서 고속도로에 설치한 저감 시설 중 자연형 4개 시설, 장치형 9개 시설을 대상으로 적용하였으며, 외국의 사례는 미국을 중심으로 비점 오염저감시설 설치 적용사례를 분석하여 고속도로에 적용할 수 있는 적용시험 저감시설을 표 1과 같이 선정하였다.

집수면적이 넓은지역은 한강수계에서 모니터링 한 7개 시설을 시험 적용 하였으며, 집수면적이 좁은지역은 고속도로에서 적용시험한 6개시설을 적용 하고, 교량지역 3개 시설은 한강수계 및 고속도로에 설치한 시설을 적용시험 하였다.

3. 배수유역내 강우사상

적용시험에 의하면 최대의 강우강도가 지난 후 오염물질의 유출량이 증가되었는데, 시간별 강우강도는 오염물질 유출시 오염물질 유출량과 더불어 유출량의 설계시 중요한 요인이 된다. 본 연구에서는 대상유역의 10년간 누적강수량을 제시하였는데 이러한 실측 강우자료는 월 평균 강우량과 연간 누적강수량을 예측해준다. 또한 도로에서의 비점오염 원 최적처리관리방안(BMP)은 설계시 포함해야 할 필수적인 내용이다. 월별 평균 강우량은 직접 설계 시 처리장의 규모에 영향을 주게 되며 장래 강우량 예측까지 가능하기 때문이다(한국도로공사, 2008).

각 시설에서 가까운 지점의 기상관측지점은 그림 1과 같이 성남 자동기상관측지점(AWS, Automatic Weather System), 수원기상대, 여주AWS가 있

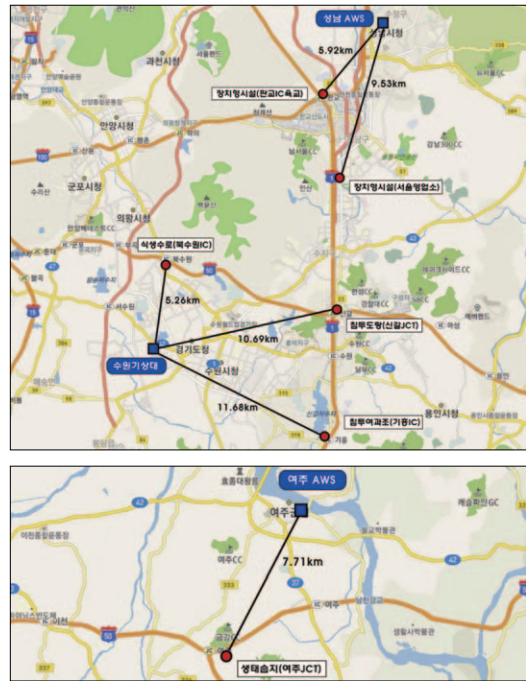


그림 1. 저감시설 인접 기상관측지점 위치

며, 이격거리는 5.92~11.68km로 나타났다. 관측 지점 3지점에서의 최근 10년간(1998~2007년) 월 별 누적 강수량은 다음과 같다.

3지점에서의 최근 10년간 월별 누적 강수량을 분석한 결과, 먼저 3지점 모두 여름인 6~8월의 강수량이 연강수량의 60~70%를 차지해 우리나라의 강우특성을 잘 나타내는 특징을 나타냈다. 3지점간 강수량을 비교해 보면, 여주AWS의 최근 10년간 연평균 강수량은 1,428mm로 수원기상대와 성남AWS보다 약 60~80mm 많은 강수량을 나타냈으며, 수원기상대는 1,365mm로 성남AWS보다 16mm 많은 강수량을 나타냈다. 월별 누적 강수량의 차이에서는 6월에 여주AWS의 평균 강수량이 190mm로 수원기상대와 성남AWS보다 약 60mm 많은 강수량으로 가장 큰 차이를 나타내었으나, 6월을 제외한다면 달에는 평균 약 10mm차이로 큰 차이를 나타내지 않았다.

4. 대상유역 및 적용시험 시설현황

집수면적이 넓은지역의 대상유역은 용인지역을

표 2. 현장별 적용시험시설 현황 총괄

| 저감시설 | 구 분 | 집수면적이 넓은지역 | | 집수면적이 좁은지역 | | 교량지역 | |
|-------|-----|------------|-------|------------|--------|----------|-------|
| | | 집수면적(ha) | 위치 | 집수면적(ha) | 위치 | 집수면적(ha) | 위치 |
| 인공습지 | | 6.25 | 용인 삼계 | 6.50 | 여주 JCT | | |
| 침투저류지 | | 9.13 | 용인 IC | | | 9.62 | 용인 초부 |
| 침투도랑 | | 0.30 | 용인 전대 | 0.15 | 기흥 IC | | |
| 침투여과조 | | | | 0.24 | 신갈 JCT | | |
| 식생여과대 | | 7.03 | 용인 초부 | | | 2.53 | 용인 해곡 |
| 식생수로 | | 0.77 | 용인 삼계 | 0.42 | 복수원 IC | | |
| 여과형시설 | | 2.74 | 용인 삼계 | 1.36 | 서울요금소 | 0.25 | 서울요금소 |
| 와류형시설 | | 0.32 | 용인 운학 | 0.59 | 서울요금소 | | |

위주로 선정하였으며 용인은 경부고속도로와 영동고속도로, 45번국도 등 도로망이 잘 발달되어 있고 자연형시설의 대부분은 개활지와 도농복합지역이며 장치형시설은 도로와 도시지역 위주로 경인천과 한강수계로 인접해 있는 특성을 갖고 있다(환경부, 2009).

고속도로에 설치된 비점오염저감시설 중 집수면적이 넓은 지역은 적용시설 설치가 제한되어 환경부에서 한강수계 비점오염저감시설 모니터링 및 유지관리를 실시하기 위해 부지의 적합성을 검토하여 선정한 고속도로를 포함하여 주변지역 중 집수면적이 넓은 지역에 설치된 저감시설을 적용시험에 포함하였다.

집수면적이 좁은지역은 유역 이용자체가 도로라는 단일목적으로 이용되기 때문에 강우자료와 합리식을 이용해서 발생 가능한 유출수의 양을 결정할 수 있다. 적용시험 대상유역은 인공습지의 경우 영동고속도로 강릉방향 여주 JCT인근에 위치하고 있으며, 당초 폐도지역을 이용하여 인공습지로 조성하였으며, 식생수로는 영동고속도로 강릉방향 복수원 IC 인근에 위치하고 당초 U형 개거를 개선하여 조성하였다. 침투도랑은 경부고속도로로 서울방향 신갈JCT 영동고속도로 아래에 위치하고 있으며, 녹지지역을 조성하였다. 침투여과조는 경부고속도로 부산방향 기흥IC 인근에 위치하고 있으며, U형개거지역을 개선하여 조성하였다. 장치형시설은 경부고속도로 서울요금소 분당방면에 2개소를 선정하여 적용시험을 하였다.

교량개발사업 추진시 별도의 비점오염저감계획을

수립하지 않는 경우 불투수면적 증가로 인해 약 0.68kgBOD/day의 비점오염부하 증가가 예상된다.

교량개발사업의 예상지역에 포함된 도로 외의 부지에 대하여 개발사업 후 증가하는 비점오염부하는 약 0.0002kgBOD/day로서 그 증가가 현저하지 않으므로 도로 노면에서 발생하는 비점오염에 대한 관리계획만을 수립하는 것으로 하였다.(개발사업 비점오염원 최적관리 지침, 2010)

본 연구에서는 침투저류지와 식생여과대 외에 여과형 장치시설 1개소를 선정하였으며, 침투저류지와 식생여과대는 고속도로에서 시험 설치자료가 제한되어 한강수계 모니터링 자료를 활용하였다. 현장별 적용시험시설 현황은 표 2와 같다.

III. 결과 및 고찰

1. 현장별 저감시설 제거효율 종합 분석

오염물질 제거효율 분석은 적용시험시 현장여건을 고려하여 유량측정이 불가능한 경우, 비정상적인 농도증가가 발생한 경우, 시설내 침전물이 재부상된 결과를 제외하고 오염물질 제거효율분석을 실시하였다. 고속도로에서 보다 효율적인 비점오염물질 저감을 위해 고속도로의 특성을 고려하여 집수면적이 넓은지역과 집수면적이 좁은지역, 교량지역으로 구분하여 적용시험을 하였으며, TSS, BOD, COD, T-N, T-P의 5개 분석항목으로 제거효율을 분석한 결과 표 3과 같다(한국도로공사, 2008).

표 3. 저감시설별 제거효율 종합현황

| 구분(단위:%) | | 자연형시설 | | | | | | 장치형시설 | |
|----------|-----|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|
| | | 인공습지 | 식생수로 | 식생여과대 | 침투도랑 | 침투저류지 | 침투여과조 | 여과형 | 와류형 |
| 넓은 지역 | 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 |
| 좁은 지역 | 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 |
| 교량 지역 | 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 | - |

표 4. 현장별 저감시설 제거효율 만족도 순위

| 구분 우선순위 | 집수면적이 넓은지역 | 집수면적이 좁은지역 | 교량 지역 |
|------------|---------------|---------------|-------|
| 1 | 침투저류지 | 침투도랑 | 침투저류조 |
| 2 | 침투도랑 | 식생수로 | 여과형시설 |
| 3 | 인공습지 | 침투여과조 | 식생여과대 |
| 4 | 식생수로 | 여과형시설 | |
| 5 | 식생여과대 | 와류형시설 | |
| 6 | 여과형시설 | | |
| 7 | 와류형시설 | | |

표 4에서와 같이 집수면적이 넓은 지역의 경우는 자연형시설이 제거효율이 높게 나타났으며, 특히 침투저류지, 인공습지 등이 높게 분석된 것은 집수면적이 넓어 부지 활용이 가능시에는 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 가용부지면적이 넓어 적극적인 저감대책을 위해서는 침투저

류지나 식생여과대 등을 설계에 반영할 수 있다.

전체적인 분석은 집수면적이 넓은지역과 좁은지역은 자연형시설의 제거효율이 우수하였으며, 집수면적이 넓은지역은 자연형시설 중 침투저류지, 인공습지 등 가용부지가 많이 소요되는 시설의 제거효율이 높았으며, 집수면적이 좁은지역은 침투도랑, 식생수로, 침투여과조 등의 제거효율이 높게 나타났다. 교량지역은 침투저류조, 여과형시설, 식생여과대 순이며, 침투도랑은 부지면적이 넓은지역이나 좁은지역에서도 제거효율이 높게 나타나 가장 다양하게 설계에 반영하여 적용할 수 있는 시설로 확인되었다.

고속도로의 비점오염물질 저감을 효율적으로 추진하기 위해서는 저감시설의 제거효율성과 경제성, 안전성도 함께 고려되어야 한다.

본 연구에서 제시한 바와 같이 제거효율과 경제성 분석을 고려한다면 현장별로 가장 효율적인 저감시설을 선정하여 적용할 수 있을 것이다.

집수면적이 좁은지역의 고속도로 비점오염저감 시설 설치 적용시험에서 보면 일부시설의 경우 환경부에서 제시된 저감시설별 처리효율을 만족하였으나 대부분 시설은 만족하지 못하였다. 측정항목

이 모두 만족한 것은 자연형시설인 침투도랑 1개소이며, 그 외 시설의 경우 일부 항목을 만족하는 것으로 분석되었다.

현장별로 저감시설 제거효율이 높은 우선순위가 선정되었지만 보다 효율적인 적용을 위해서는 고속도로 환경과 토지이용의 특성등을 고려하여 자연형시설과 자연형시설, 자연형시설과 장치형시설, 장치형시설과 장치형시설을 병합하여 설치·운영할 수 있으며 이러한 효율성 검증의 연구결과가 이루어져 현장별 적용이 될 경우 제거효율을 높일 수 있다.

2. 저감시설의 경제성 분석

1) 저감시설의 경제성 분석

자연형시설의 총 배수유역면적은 235,403m², 총 설치비는 1,267,872천원이었고, 장치형시설의 총 배수유역면적은 218,211m², 총 설치비는 6,175,274천원으로, 배수유역 단위면적당 설치비는 자연형시설 5.4천원/m², 장치형시설 28.3천원/m²인 것으로 예측되었다. 저감시설 1개소당 평균 배수유역면적은 자연형시설 5,231m²이고, 장치형시설은 1,616m²인 것으로 분석되었고, 저감시설 1개소당 평균 설치비는 자연형시설 28,175천원/1개소, 장치형시설 45,743천원/1개소로 분석되었다. 이는 동일 배수유역(5,000m²)에 저감시설을 설치할 경우 자연형시설의 설치비는 26,931천원, 장치형시설은 141,532천원이 소요될 것으로 분석되며, 자연형시설이 장치형시설에 비해 설치비가 적게 소요될 것으로 검토되었다.

금번 적용시험시에는 장치형시설 시공업체에서 유지관리를 하여 유지관리비에 객관성이 부족하고,

유사 시험 결과는 2년간 수차례 현장정리 및 보수 등을 시행한 결과로, 두 결과의 연계성을 논하기에는 부족한 것으로 판단되나, 표 5에서와 같이 장치형시설은 년 1회 여재교환을 실시한다고 가정하여, 기 조사된 유사 시험 결과에 반영할 경우, 자연형시설의 1개소 당 유지관리비는 8,235천원/2년, 장치형시설의 1개소 당 유지관리비는 8,226천원/2년으로 추정되었다.

자연형시설의 경우 식생확장 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.(한국도로공사, 2008)

장치형시설의 경우 시설내부 폐기물 관리, 여재교환, 시설보수 등의 전문인력의 투입이 지속적으로 요구되어, 현장에 설치시 유지관리비용의 감소요인은 존재치 않을 것으로 판단된다.

3. 비점오염저감시설 선정절차

「환경친화적인 도로건설 지침」(국토해양부, 환경부, 2010)에서는 저감시설의 제거효율은 비점오염 저감시설의 방류수가 수체의 수질에 영향을 미칠 우려가 있는 관리지역의 경우 SS 60%, BOD 55%, 그 외 지역은 SS 60%, BOD 40%로 설정할 것을 제안하고 있으므로 저감시설 선정시 제거효율은 SS 60%, BOD 40%이상으로 선정하는 것이 바람직하다.

이러한 제거효율을 만족하기 위해 현장별 가장 적합한 저감시설을 선정하기 위해서는 그림 2와 같이

표 5. 비점오염저감시설 유지관리비 비교

| 구분 | 1개소당 유지관리비 (천원/2년) | | | | | 비고 |
|--------|--------------------|--------|-------|--------|---------|----------------------|
| | 소계 | 여재 교환비 | 인건비 | 장비 투입비 | 폐기물 처리비 | |
| 자연형 시설 | 8,235 | - | 6,745 | 848 | 642 | |
| | 1,490 | - | - | 848 | 642 | 자체인력 운영으로 인건비 제외할 경우 |
| 장치형 시설 | 8,226 | 926 | 4,211 | 484 | 2,605 | 여재 교환비용 고려할 경우 |

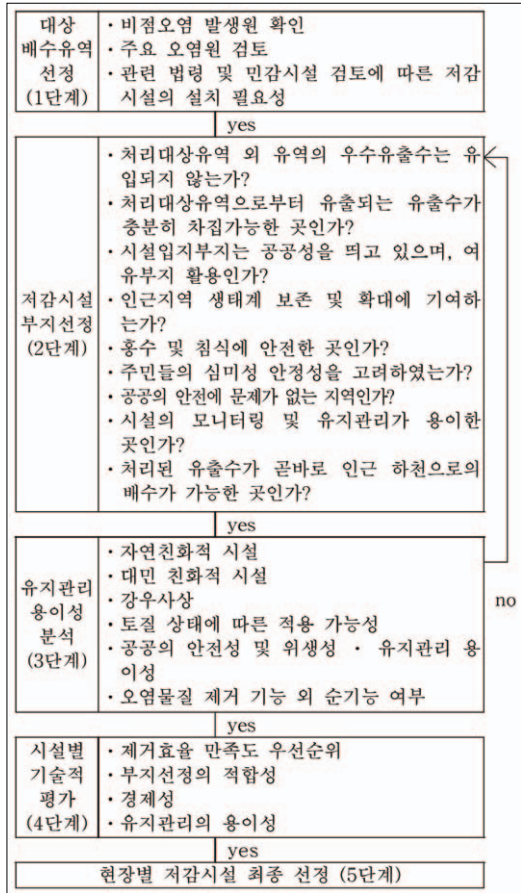


그림 2. 저감시설 선정평가 흐름도

5단계의 선정단계로 접근하는 방안을 제시하였다.

1) 대상배수구역 선정

1단계로 접근해야 하는 것은 대상배수구역의 선정이다.

우선 먼저 대상배수구역 선정시 공통적으로 고려할 사항은 첫째, 고속도로 이외의 지역에서 발생되는 강우유출수의 유입을 최대한 배제하여야 한다. 과도한 배수구역 선정은 설치부지의 추가확보, 설계용량의 과대평가, 설치비의 증가, 유지관리비의 증가 등 이후 절차의 전반적인 과대설계 등을 야기할 수 있다.

둘째, 안전성 확보가 가능한 배수구역으로 선정하여야 한다. 고속도로는 폭이 좁고 연장이 긴 배수구역으로 구분되므로, 배수구역이 너무 길면 유입

수로의 길이가 길어지고, 자연유하를 위한 경사확보가 필요하며, 말단부는 강우유출수량 증가에 따른 수로폭 증가가 불가피하다. 이는 공사비 증가 및 홍수시 배수문제를 야기할 우려가 있으므로, 안전성이 확보되는 배수구역의 구분이 필요하다.

위의 그림 2. 1단계에서 제시한 세부적인 선정기준과 분석항목을 설명하면, 대상배수구역 선정시 우선 비점오염원 발생원을 확인하며 주요처리대상의 물질을 추정하여 저감대책을 수립해야 하는데 이는 주요통행차량, 이용객의 폐기물 투기, 차량사고의 빈도 등으로 확인될 수 있다.

주요 오염원의 확인은 저감시설 선정시 중요한 기준이 되므로 거대폐기물, 낙엽류, 토사류, 타이어분진, 오일 등의 성상을 정확하게 확인한다.

위의 과정을 통해 대상배수구역에 대한 저감시설 설치의 필요성을 결정하게 되는데 이 시기에 관계배경과 인근지역 수질오염 처리시설, 주민민원 등에 대해서 세부적인 확인이 병행되도록 한다.

2) 비점오염 저감시설 부지선정

2단계는 배수구역이 선정되면 저감시설에 대한 집수구역 부지선정을 하는 것이 중요하다. 집수지역 부지 선정시에는 부지선정 적정성 고려사항과 설치지역 토질분석을 통한 투수율 산정결과 및 지하수위 조사결과는 반영되어야 할 사항으로 부지선정시 이에 대한 조사를 병행 실시한다.

부지선정 적정성 고려사항은 9개의 부지선정 평가항목에 가중치를 부여하고 현장의 부지를 실시하여 항목별 평가결과를 점수화하여 적합성을 판단한 뒤 설계요소 평가를 실시한 뒤 최종 결정하도록 한다. 이와같이 적합한 부지선정을 하고 최적의 저감시설을 설치하는 것은 비점오염물질의 적극적인 저감대책의 중요한 요인이다.

3) 저감시설 유지관리 용이성 분석

3단계는 대상배수구역과 적합한 부지선정을 한 후에는 최적의 저감시설 선정 및 유지관리 용이성을 신중하게 분석해야 한다.

고속도로 주변 토양오염을 예방한 수질오염을 예

방하고 환경친화적인 고속도로를 건설하기 위해서는 자연친화적인 시설을 설치하여 생태계 보전 및 복원을 유도하고, 강우사상을 분석하여 저감시설을 선정함으로써 집중호우에 따른 파손을 방지하고 강우빈도에 따른 유지관리가 고려되어야 한다.

특히 대민친화적인 시설로 주민의 민원을 사전에 예방하고 주변 환경과의 친화력을 유지하도록 한다.

토질상태에 따른 적용 가능성을 분석하여 지하수 및 토양오염을 방지하고 공공의 안정성 및 위생성으로 안전사고를 사전에 방지하고 해충 등의 발생을 사전에 차단하도록 한다.

4) 평가요소에 의한 시설별 기술적 평가

4단계는 평가요소에 의한 시설별 기술적 평가 단계로 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. 최적의 저감시설 선정을 위해서는 현장별 제거효율이 높은 저감시설별로 선정된 부지의 적정성 평가와 설계요소 평가표에 의해 결정하고, 자연형시설과 장치형시설의 경제성 분석과 유지관리의 용이성 등의 기술적 평가를 고려하여 최종 저감시설을 선정하도록 한다.

평가요소에 의한 시설별 기술적 평가절차를 그림 3과 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 표 6과 같이 고려할

수 있다.

5) 저감시설 최종선정

지금까지 고속도로의 비점오염물질저감을 위해 가장 적합한 저감시설 선정방안을 제시하여 5단계에서는 현장별 저감시설을 최종 선정하도록 하였다. 현장별 여건과 환경특성에 따라 앞에서 단계별로 제시한 선정절차를 준수하고 시설을 평가할 경우 가장 적합한 최종저감시설이 선택될 수 있다. 국내에서는 비점오염저감시설은 제거효율안정성, 경제성, 유지관리의 용이성, 친 환경성, 대민 친화성 등을 고려하여 자연형시설을 권고하고 있다.

IV. 결론

환경영향평가 또는 재협의 대상인 고속도로 건설 사업시 현장별로 효율적이면서 경제적인 적정의 저감시설을 선정할 수 있는 방안을 제시하기 위한 연구의 결과는 다음과 같다.

집수면적이 넓은지역에서의 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.

집수면적이 좁은지역에서는 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>여과형 시설>와류형시설 순이며, 부지면적을 크게 요구하

표 6. 가중치를 부여한 평가방법

| 저감시설 | 평가비율 | 제거효율(40%) | 부지선정 적합(20%) | 경제성(20%) | 유지관리(20%) |
|---------|------|----------------------|-----------------------|--------------------------|------------------|
| 현장별저감시설 | | 만족도 높은 시설수에 대한 점수 환산 | 적정성 평가와 설계요소 평가 결과 반영 | 자연형 시설이 장치형 시설 보다 경제성 좋음 | 유지관리 용이성 세부항목 분석 |

는 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 우선순위는 침투저류조>여과형시설>식생여과대 순이며, 교량지역은 대부분 하천과 근접해 있어 적극적인 비점오염 저감대책이 요구되었다.

저감시설에 대한 경제성 분석은 저감시설 1개소 당 평균설치비는 자연형시설 28,175천원, 장치형시설 45,743천원으로 확인되었다. 이는 동일 배수구역(5,000m²)에 저감시설을 설치할 경우 자연형시설의 설치비는 26,931천원, 장치형시설은 141,532천원이 소요될 것으로 분석되어, 자연형시설이 장치형시설에 비해 설치비가 적게 되는 것으로 추정되었다.

저감시설의 유지관리비용은 저감시설 1개소 당 2년간의 유지관리비용을 분석하여 연간 평균비용으로 산출한 결과 자연형시설의 1개소 당 유지관리비는 4,117천원, 장치형시설은 4,113천원으로 확인되었으며, 도로공사에서 운영하고 있는 도로변 녹지관리조직 운영에 따른 인건비 절감을 고려할 경우, 자연형시설의 유지관리비는 1개소 당 745천원으로 산정되어, 장치형시설 유지관리비용의 약 18%수준으로 분석되었다.

현장별 적합한 저감시설 선정을 위해 5단계 평가 절차를 적용하였다. 1단계 대상배수구역 선정 평가방법, 2단계 저감시설 부지선정 평가방법, 3단계 유지관리 용이성 평가 방법, 4단계 시설별 기술적 평가방법을 제시하였고, 5단계에서 저감시설을 최종 선정하여 모든 고속도로 현장에서 적용 될 수 있도록 하였다.

이 중 시설별 기술적 평가방법 1은 현장별 제거효율 만족도가 높은 시설별로 부지선정 적합성과 경제성, 유지관리 용이성 순으로 평가하여 문제점이 없을 경우 최종선정하는 방법이며, 평가방법2는 4개의 평가요소별 가중치를 부여하여 가장 점수가

양호한 시설을 선택하는 방법이다.

본 연구는 고속도로에서 발생하는 비점오염원 중 노면유출수 처리를 위해, 어느 고속도로 현장에서든 부지면적에 따라 적정 저감시설을 선정하는 방안을 제시하였는데, 현장별 제거효율 만족도 및 경제성 분석 연구내용 등과 함께 효율적으로 적용할 경우 환경 친화적인 고속도로 건설에 크게 기여할 것으로 기대한다.

사 사

본 연구는 2011년 광운대학교 연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌

- 건설교통부, 2007, 국토시설관련 비점오염원의 최적관리방안 연구.
- 국토해양부 · 환경부, 2010, 환경 친화적인 도로건설 지침.
- 김이형, 강주현, 2004, 고속도로 강우 유출수내 오염물질의 EMC 및 부하량 원단위 산정, 한국물환경학회지 20(6), pp.631-640.
- 김이형, 강주현, 2004, 강우시 발생하는 고속도로 유출수의 초기우수 특성 및 기준, 한국물환경학회지, 20(6), pp.641-646.
- 이주광, 2007, 고속도로 비점오염원 특성과 적정처리 방안에 관한 연구, 상명대학교 박사학위논문, pp34-36, 50-55, 65-68.
- 장대창, 2009, 도로 유형별 비점오염원의 수질 특성, 광운대학교 박사학위논문, pp19-29, 91-94,
- 한국도로공사, 2008, 고속도로 수질오염처리 시범 시설 모니터링 용역.
- 한국환경정책평가연구원, 2002, 비점오염원 유출 저감을 위한 우수 유출수 관리방안.
- 환경부, 2004, 관계부처합동 물 관리 종합대책의 추진강화를 위한 4대강 비점오염원관리 중

- 합대책.
- 환경부, 2005, 주요비점오염원에 대한 효과적인 관리방안, pp.5-40.
- 환경부, 2006, 비점오염원관리 업무편람.
- 환경부, 2008, 비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼.
- 환경부, 2009, 비점오염저감시설 모니터링 결과.
- 환경부·국립환경과학원, 2010, 수질오염총량관리를 위한 개발사업 비점오염원 최적관리지침.
- ALASKA Department Environmental Conservation, 2007, Alaska's Nonpoint Source Water Pollution Control Strategy.
- CALTRANS, 2008, Treatment BMP Technology Report.
- Darren, D., Rodger, T and W.Philip, 2000, Pollutant concentrations in road runoff ; Southeast queensland case study", J. of Environ. Eng., Vol. 131, No.2, pp.232-241.
- IWA, 2009, DIPCON 2009 BOOK OF WORKSHOP.

최종원고채택 11. 11. 29