

연구논문

고속도로 청소폐수와 노면유출수의 수질특성 비교

이주광* · 이의상**

한국도로공사 도로교통기술원*, 상명대학교 토목환경공학부**

(2007년 2월 9일 접수, 2007년 4월 10일 승인)

Comparison of Water Characteristics of Cleaning Wastewater and Stormwater Runoff from Highways

Ju-Goang Lee* · Eui-Sang Lee**

Highway & Transportation Technology Institute, Korea Highway Corporation*

Division of Civil and Environmental Engineering, Sangmyung University**

(Manuscript received 9 February 2007; accepted 10 April 2007)

Abstract

The paved areas in nonpoint source are highly polluted landuses because of high imperviousness and pollutant mass emissions, such as sand, cereals, and dust from vehicle activities. Most of them in highways are collected by cleaning trucks or discharged to the adjacent soil and water system through the drain ditch in stormwater. Therefore, it is necessary to investigate the relationship between water concentration and total pollutant loadings from the paved areas.

From the experiment, COD_{Cr} concentration of the cleaning wastewater was 17 times greater than that of the stormwater runoff. Also, concentrations of heavy metals (Cu, Fe, Zn) were 1.3 to 1.5 times higher when compared to the stormwater runoff. While total discharged loadings was insignificant in the cleaning wastewater. In conclusion, these results provide some evidence that the stormwater runoff may be managed carefully to the aspect of total pollutant loadings and the cleaning wastewater may be handled cautiously with the pollutant concentrations in highways.

Key words : cleaning wastewater, stormwater runoff, highways, EMC, nonpoint source

1. 서론

고속도로에서 발생하는 비점오염원으로는 주로, 자동차로부터 버려진 쓰레기, 자동차 타이어와 브레이크 패드 마모에 의해 발생하는 미세분진, 겨울철 도로 결빙방지를 위해 살포되는 염화칼슘, 소금 등이 있으며, 중금속을 포함한 다양한 유해물질을 포함하고 있을 가능성이 있다. 고속도로 비점오염원은 휴게소 오수와 같이 일정 장소에서 주기적으로 발생하는 점오염원에 비해 발생량, 부하량 및 유해성에 대한 조사가 이루어지지 않아 비점오염원으로 인한 고속도로 주변 환경에 미치는 영향을 파악하기 어려운 실정이다. 고속도로에서 발생하는 비점오염원은 바람과 같은 기상조건에 의해 고속도로 주변 토양으로 일부 비산되는 것을 제외하면, 대부분 고속도로 청소차량에 의해 주기적인 노면 청소를 통해 수집되거나, 강우시 배수로를 통해 주변수계나 토양으로 이동하게 된다. 고속도로 청소폐수는 2002년 “폐기물관리법”에 침출수 보관에 규정이 생기면서 점차 청소폐수 관리에 대한 중요성이 부각되고 있으며, 노면에 물을 살포한 후 진공흡입장치를 이용하여 노면에 축적된 비점오염 물질을 대부분 흡입하는 습식 청소 방식을 사용하기 때문에 수거된 청소폐수의 유해물질 농도가 다른 비점오염원에 비해 높을 것으로 판단된다(환경부, 2005). 고속도로 청소폐수 수거량은 지사별로 청소기간이 차이가 있어 정확한 조사가 이루어지지 않고 있으나, 수도권 지역의 고속도로 구간은 겨울철을 제외하고는 지속적으로 이루어지고 있으며, 수도권 이외의 지역은 봄철과 가을철에 주로 이루어지고 있는 것으로 파악되었다. 고속도로 노면유출수에 대한 미국의 연구로는 1970년부터 점오염원을 중심으로 오염총량관리제를 실시하였으나 수계의 수질이 지속적으로 악화되자, 수질오염 원인이 비점오염물질이라고 판단하여 미국 EPA(U.S. Environmental Protection Agency)등에서 1990년대 중반부터 비점오염원에 대한 연구를 시행하였으며, 고속도로와 같이 콘크리트나 아스팔트로 포장된 지역에서는 토지와 같은 타 지역보다 비점오염물질의 표면유출이 크기 때문에 포장지역을 우선적

로 비점오염원 관리대상으로 분류하고 있다(EPA, 2005; Irish *et al.*, 1996; Kayhanian *et al.*, 2003; Legret *et al.*, 1999; Marsalek *et al.*, 1997; Shinya *et al.*, 2000; Wu *et al.*, 1998; Yu *et al.*, 1995). 국내의 경우, 4대강의 수질오염 부하량은 환경기초시설 확대로 점오염원에 의한 오염기여율은 감소하고 있지만 비점오염원에 의한 기여율이 점차 증가하고 있어 2004년부터 “4대강 비점오염원 관리 종합대책”을 시작으로 2005년에 강우유출수 관리에 대한 내용을 “수질환경보전법”에 추가하였으며, 2006년에 “환경친화적 도로유지 관리 지침”을 제정하여 점차 비점오염원 관리에 대한 관심을 높이고 있다(환경부, 2004; 건설교통부, 2006; 김이형 등, 2005). 비점오염원에 대한 국내연구는 주로 논, 밭, 산림, 도시지역을 대표할 수 있는 토지이용별 특성을 지닌 하천을 선정하여 오염부하량을 산출하는 것에 초점을 맞추고 있으나 포장지역과 같이 표면유출이 많은 지역에 대한 연구도 점차 증가하고 있다(김성수 등, 2002; 방기웅 등, 1997; 신은성 등, 2001; 이현동 등, 2001; 최상일 등, 2003a; 김이형 등, 2005; Kim, 2003). 고속도로는 호수나 하천을 지나면서 비점오염물질을 직접적으로 호수나 하천에 방류하기 때문에 비점오염원 관리 중 노면유출에 의한 비점오염물질 관리가 수계오염방지를 위한 중요한 요인으로 간주되고 있다.

따라서 본 연구에서는 고속도로 비점오염원에 대한 종합적인 관리를 위해 수거된 청소폐수의 수거량, 수질특성을 조사하고, 노면유출수의 EMC(Event Mean Concentration) 및 유출특성을 도출하고자 한다. 또한 각 비점오염원의 수질특성을 비교하여 고속도로 비점오염원 관리의 주요 영향인자를 도출하여 오염물질 처리·저감을 위한 대처 방안 연구에 활용될 수 있을 것이다.

II. 연구방법

1. 청소폐수 대상지역 및 실험방법

‘05년 3월부터 전국 40개 지사를 대상으로 현장

조사와 지사별 청소차량 운행일자를 조사하였다. 이 중 청소차량 운행일자가 많은 중부지역 5개 지사와 상대적으로 청소차량 운행일자가 적은 타 지역의 3개 지사를 선정하여 폐기물관리법상의 침출수 배출 허용기준에 해당하는 28개 항목에 대해 수질오염공정시험법에 준하여 실험하였다. 차량당 평균 청소폐수 수거량 산정을 위해 중부지역 관내 2개 지사를 대상으로 부피가 0.62m³인 플라스틱 용기에 의한 측정방법을 사용하였다. 지사별 청소폐수 수거량 산정은 식(1)에 나타내었다.

$$B = D \times R \times G \quad (\text{식 1})$$

B : 지사별 청소폐수 수거량(m³/year)
 D : 지사별 연간 청소차 운행 일자 (day/year)
 R : 일간 평균 청소차 운행회수 (회/day)
 G : 차량당 평균 청소폐수 수거량 (m³/회)

2. 노면유출수 대상지역 및 실험방법

국내 고속도로의 다양한 지역특성에 따른 노면유출수의 자료를 얻기 위하여 경부고속도로, 영동고속도로 및 호남고속도로에 5개 지점을 선정하였다 (Table 1). 현장에서 강우량과 유출량을 1분단위로 측정하기 위하여 자동유량측정장치(Automatic flow meter, Sigma 950)와 자동강우계(Automatic Rainfall Gauge)를 설치하였다. 시료채취는 강우 시작된 직후 첫 번째 수질샘플이 채취되었으며, 15분까지 5분 간격으로, 30분까지는 15분단위로, 1시간까지는 30분 간격으로 채취하였으며, 1시간 이후에는 강우 유출이 끝날때까지 1시간 간격으로 수질 모니터링이 수행되었다. 채취된 시료는 입자상 물질, 유기물질, Oil & Grease, 영양염류 및 중금속에 대하여 수질오염공정시험법과 미국 수질시험에 사용되고 있는 Standard methods (AWWA, 1992)

에 준하여 실험하였다.

노면유출수의 EMC는 모니터링 계획에 따라 수집된 자료를 이용하여 1분당 유량과 오염물질의 농도를 고려한 평균농도로 다음 식(2)에 의해서 산정되었다. 식의아래부분은 측정된 총 유량이며, 위 부분은 1분당 유량과 오염물질의 농도에 따른 총 오염물질량을 나타낸다.

$$EMC(mg/L) = \frac{\sum_{t=0}^{t=T} C(t) q_{run}(t)}{\sum_{t=0}^{t=T} q_{run}(t)} \quad (\text{식 2})$$

이러한 EMC 값은 대상지역으로부터 유출되는 비점오염물질의 부하량 산정에 긴요하게 사용된다. 여기서 $q_{run}(t)$ 와 $C(t)$ 는 t시간에서의 유출율과 오염물질의 유출 농도를 나타내고 있다.

III. 결과 및 고찰

1. 청소폐수 수거량

고속도로 청소 차량이 하루에 운행되는 횟수는 고속도로 노면에 노면퇴적물이 많이 쌓일 경우에는 청소차량 1대가 하루에 2회 정도의 청소작업을 하며, 평상시에는 하루 1회 정도의 청소작업을 하는 것으로 조사되어 청소차량이 하루 동안 운행되는 횟수는 일정하지 않은 것으로 나타났다. 따라서, 청소차량의 일간 운행회수는 각 지사별 차량운행일지를 바탕으로 조사하였으며, 일간 평균 청소차 운행횟수는 1.5회로 나타났다. 차량당 평균 청소폐수 수거량은 0.4m³/회로 조사되었다. 청소폐수 수거량은 각 지사별 청소차량 운행일수에 따라 변동 폭이 크게 나타나 청소폐수 발생량의 차가 큰 것으로 조사되었다. Table 2는 각 지사별 년 간 청소폐수 수거량을

Table 1. Monitoring sites

Site	Locations	Area (m ²)	Pavement Type	Runoff Coeff.
1	Honam Expressway (Daejeon daedeok-gu)	1,170	Asphalt	0.79
2	Honam Expressway (Daejeon yuseong-gu)	936	Asphalt	0.80
3	Gyeongby Expressway (Yongin shingal)	1,950	Asphalt	0.84
4	Yeongdong Expressway (Swoun dongswoun)	1,570	Asphalt	0.86
5	Gyeongby Expressway (Swoun swoun tollgate)	859	Asphalt	0.81

Table 2. Collected volume of cleaning wastewater

Monitoring site	Branch office	Operation (day/year)	Collected volume (m ³ /year)
A	dong seoul	180	108
B	incheon	323	193.8
C	suwon	105	63
D	qunpo	135	81
E	jeonju	98	58.8
F	gumi	118	70.8
G	daegu	72	43.2
H	kyoungan	200	120

나타내었다. 8개 지사의 청소폐수 수거량 범위는 43.2~193.8m³/year로 나타났으며, 청소폐수 수거량이 가장 많은 B 지사는 수거량이 가장 적은 G 지사에 비해 4.5배 정도 많이 청소폐수를 수거하는 것으로 나타났다. 수도권 고속도로를 관리하는 중부지역본부 산하의 A, B, C, D, H 지사의 청소폐수 수거량이 지방에 위치한 E, F, G 지사에 비해 상대적으로 높게 나타나는 것은 중부지역본부 관할 지사는 청소차량에 의한 고속도로 청소작업을 연중 실시하는 반면, 중부지역본부를 제외한 다른 지역본부 관할 지사는 주로 봄과 가을 4~5달 동안만 고속도로 청소작업을 시행하고 있기 때문이다.

조사된 8개 지사의 총 청소폐수 수거량은 738.6m³/year으로 조사되었으며, 각 지사별 평균 청소폐수 수거량은 92.3m³/year로 나타났다.

2. 청소폐수 수질특성

고속도로 청소폐수를 처리하기 위해서는 먼저 청소폐수의 수질특성에 대한 조사가 필요하다. 침출수 배출허용기준에 있는 28개 항목에 대해 수질 분석 결과, 폐수처리가 필요하다고 판단되는 BOD를 포함한 11개 주요항목을 유기물류, 중금속류, 영양염류로 구분하여 Fig. 1~3에 나타내었다. Fig. 1는 BOD, CODcr, 색도, TSS의 청소폐수 수질특성을 나타내고 있다. 조사된 8개 지사의 BOD, CODcr, 색도, TSS 값의 범위는 각각 1,220~3,121mg/L, 1,990~3,693mg/L, 360~2,606도, 109~312mg/L로 나타났으며, BOD, CODcr, 색도, TSS의 평균값

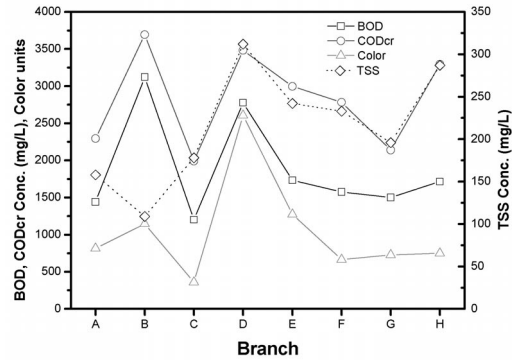


Fig. 1. Water characteristics of BOD, CODcr, Color, TSS from cleaning wastewater

은 각각 $1,882 \pm 685$ mg/L, $2,834 \pm 642$ mg/L, $1,043 \pm 692$ 도, 214 ± 67 mg/L로 조사되어 각각의 항목 평균값에 대한 지사별 측정값 분포가 색도, BOD, TSS, CODcr 순으로 크게 나타났다(유의확률: 7.8×10^{-7}). BOD, CODcr는 B, D지사의 농도가 높은 것으로 조사되었으며 C지사의 농도가 가장 낮게 나타났다. CODcr 평균 농도는 BOD에 비해 1.5배 정도 높은 값을 나타내고 있으며, BOD와 CODcr의 지사별 농도 분포는 유사한 것으로 보이고 있다. 색도의 경우도 BOD와 CODcr의 지사별 농도 분포 경향과 비슷하게 나타났으나, B지사의 색도 측정값이 BOD와 CODcr에 비해 상대적으로 낮게 측정되었다. TSS는 B지사의 농도가 가장 낮게 측정되었으나, 이를 제외하면 BOD와 CODcr의 지사별 농도 분포 경향과 유사한 형태를 나타냈다. 일반적으로 동일 시료에 대한 BOD, CODcr, TSS 농도 분포는 일정한 값을 나타내는 경우가 많으므로, B지사와 같이 특정한 값을 나타내는 경우에는 실험과정이나 전처리과정에서 문제가 발생하거나 측정이 1회에 한정하여 실시되었으므로 측정할 날의 시료에 TSS 성분이 적게 포함되었기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 2는 중금속류의 청소폐수 수질특성을 보여주고 있다. 지사별 Fe, Zn, Cu, Mn 농도 범위는 각각 0.561~32mg/L, 0.216~3.012mg/L, 0.051~1.003mg/L, 0.261~6.620mg/L로 나타났으며, 평균 농도는 각각 8.71 ± 12.910 mg/L, 1.82 ± 1.237 mg/L, 0.48 ± 0.342 mg/L, 2.30 ± 2.399 mg/L로 조사되었

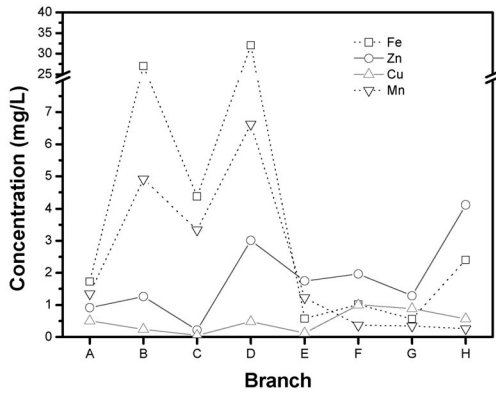


Fig. 2. Water characteristics of heavy metals from cleaning wastewater

다. 4개 항목의 중금속은 Fe, Mn, Zn, Cu 순으로 평균농도가 높게 조사되었으며, 각각의 중금속 항목 평균농도에 대한 지사별 측정농도 분포는 Fe, Mn, Cu, Zn 순으로 크게 나타났다. Fe과 Mn의 농도는 B, D지사에서 높은 농도를 보이고 있으며, Zn은 D지사와 H지사, Cu는 F지사와 G지사에서 높은 값을 나타내고 있어 중금속류의 지사간 농도 분포는 특정 경향을 나타내지는 않고 있다. 특히 지사별로 4개 중금속의 농도 순위가 바뀌는 곳이 4곳이나 되어 각각의 중금속 평균값 비교도 신뢰도가 많이 떨어질 것으로 판단된다(유의확률: 0.08).

Fig. 3은 수질의 부영양화를 촉진시키는 암모니아성 질소, 무기성 질소, 총인의 청소폐수 수질농도 특성을 나타내고 있다.

8개 지사의 $\text{NH}_3\text{-N}$, T-N(inorganic), T-P 수질 농도 범위는 각각 13.9~115mg/L, 30.55~117.46mg/L, 1.38~19.2mg/L로 나타났으며, 평균 농도는 각각 49.3 ± 32.26 mg/L, 52.2 ± 31.16 mg/L, 9.7 ± 9.72 mg/L로 조사되어 각각의 항목 평균농도에 대한 지사별 측정농도 분포가 T-P, $\text{NH}_3\text{-N}$, T-N(inorganic) 순으로 크게 조사되었다(유의확률: 0.007). B지사에서 $\text{NH}_3\text{-N}$ 와 T-N(inorganic) 농도가 가장 높게 나타났으며, 두 항목간의 지사별 농도분포가 아주 유사한 형태를 취하고 있어 두 항목간의 상관관계가 아주 높을 것으로 보인다. T-N(inorganic)는 $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ 로 구분

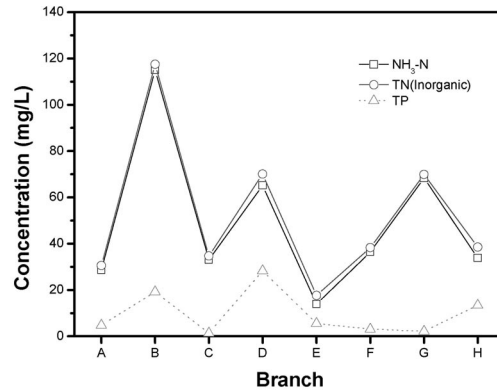


Fig. 3. Water characteristics of nutrients from cleaning wastewater

할 수 있는데, T-N(inorganic)의 94%가 $\text{NH}_3\text{-N}$ 로 구성되어 있는 것으로 나타나 청소폐수중의 T-N(inorganic)의 대부분이 $\text{NH}_3\text{-N}$ 로 구성되어 있는 것을 알 수 있다. 이는 청소폐수 시료채취를 청소작업이 끝난 직후에 바로 시행하여 대부분의 T-N(inorganic) 성분이 $\text{NH}_3\text{-N}$ 형태로 존재하기 때문으로 판단된다. T-P은 D지사에서 가장 높은 농도를 보이고 있으며, 질소 성분의 지사별 농도분포와는 차이를 나타내고 있다. 질소와 인 성분의 농도가 동시에 높은 지점은 B지사와 D지사로 나타났는데 이는 B지사와 D지사가 관할하는 도로가 타지역에 비해 상대적으로 질소, 인 성분을 포함한 유기물이 많이 버려지기 때문으로 보이며, Fig. 1에서도 B지사와 D지사의 유기물 농도가 높게 나타나 이를 반증하는 것으로 판단된다.

3. 노면유출수 EMC와 수질특성

Fig. 4는 입자상 물질, 유기물질과 중금속에 대한 EMC 결과를 정리한 것이다. TSS EMC의 범위는 20.66~284.76mg/L로 나타났고, COD EMC의 범위는 29.69~159.66mg/L 범위로, Oil & Grease의 EMC는 0.74~9.68mg/L, T-N과 T-P의 EMC는 각각 1.17~10.04mg/L, 0.10~0.76mg/L의 범위로 산정되었다. 중금속 EMC의 경우, 비교적 높은 농도로 유출되는 Total Cu는 58.06~928.16 $\mu\text{g/L}$, Total Fe는 23.78~343.76 $\mu\text{g/L}$, Total Zn은

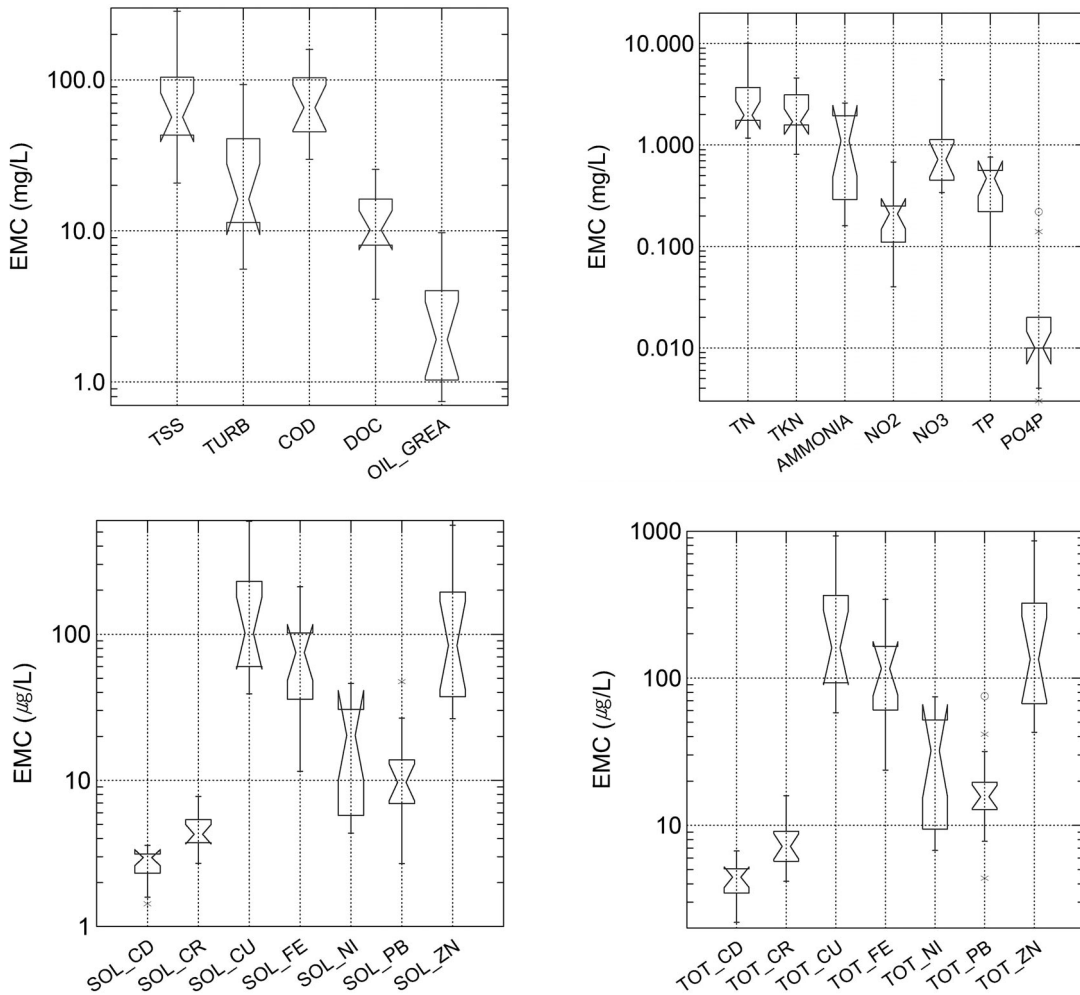


Fig. 4. Statistical EMCs in highway stormwater runoff

42.74~858.55 $\mu\text{g/L}$ 의 범위로 산정되었다. 유출되는 비점오염물질의 EMC에 대한 95% 신뢰구간을 살펴보면, TSS가 45.52~125.76mg/L, COD가 52.04~95.48mg/L, Oil & Grease는 1.41~4.50mg/L의 범위로 산정되었다. 영양물질인 T-N과 T-P는 각각 1.77~4.48mg/L와 0.29~0.54mg/L의 범위로 나타났다. 중금속 중에서 Total Cu는 120.08~422.10 $\mu\text{g/L}$, Total Fe는 74.75~186.80 $\mu\text{g/L}$, Total Zn은 94.91~403.69 $\mu\text{g/L}$ 의 범위로 나타났다.

4. 청소폐수와 노면유출수의 수질특성 비교

고속도로에서 발생하는 비점오염원 물질의 총괄

적 수질특성 평가를 위해서는 청소폐수와 노면유출수의 관계를 비교할 필요가 있다. 고속도로변 기상 변화에 따라 고속도로 주변으로 비산되는 비점오염물질을 제외하면, 대부분의 비점오염물질은 청소폐수와 노면유출수로 형태로 고속도로 주변에 배출된다고 볼수 있다. Table 3는 청소폐수 평균농도와 노면유출수의 EMCs 평균농도를 나타내고 있다.

총 부유물질량은 노면유출수와 청소폐수가 유사한 것으로 조사되었으며, 유기물량을 대표할 수 있는 CODcr 값은 청소폐수가 노면유출수에 비해 17배 높게 나타났다. 일반적으로 호소의 부영양화를 유발시키는 영양염류인, T-N, T-P는 청소폐수가

Table 3. Comparison of mean concentrations between stormwater runoff and cleaning wastewater

Parameters	Stormwater runoff (mg/L)	Cleaning wastewater(mg/L)
TSS	206	214
CODcr	168	2,834
T-N (Inorganic)	4.76	52.2
NH ₃ -N	1.8	49.3
T-P	2.8	9.7
Fe	3.20	8.71
Zn	0.51	1.82
Cu	0.36	0.48

노면유출수에 비해 각각 11배, 3배 높은 것으로 조사되었으며, 특히, 암모니아성 질소는 청소폐수가 노면유출수에 비해 27배 높은 것으로 조사되어 무기성 총질소중 암모니아성 질소 비율이 노면유출수에 비해 청소폐수가 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 중금속류중 상대적으로 다른 중금속에 비해 농도가 높은 구리, 철, 아연의 평균농도를 비교해도 청소폐수가 노면유출수에 비해 1.3~3.5배 정도 높은 값을 나타냈다. 이처럼 전반적으로 청소폐수의 수질 농도가 노면유출수에 비해 상대적으로 높은 것은 청소폐수 수거시 사용되는 물의 양이 배수로를 통해 유출되는 노면유출수의 유량에 비해 상대적으로 적기 때문인 것으로 판단된다. 고속도로에서 발생하는 노면유출수 비점오염 물질의 부하량 산정방식은 식 (3)에 표시하였다.

$$SL = \frac{C_1(\text{mg/L}) \times TR_1(\text{m}^3/\text{year}) \times 0.82 \times 10^3}{TA_1(\text{m}^2)} \quad (\text{식 } 3)$$

SL (mg/m²-year): 단위면적당 년 간 노면유출수 총 부하량

C₁: 오염물질별 노면유출수 평균 EMCs 농도

TR₁: 조사지점의 년간 총 강우량

TA₁: 조사지점의 총 유역면적

0.82: 조사지점의 평균 유출계수

TSS, COD_{cr}, T-N, NH₃-N, T-P, Fe, Zn, Cu의 단위면적당 년 간 노면유출수 총 부하량(mg/m²-year)을 산출하면 각각 253,684, 206,888, 5,861, 2,216, 3,448, 3,940, 620, 443로 산출되었다. 관리적인 측면에서, 청소폐수는 대부분 수거되어 처리

되기 때문에 노면유출수에 비해 상대적으로 오염농도가 높은 청소폐수의 처리에 주의를 기울여야 하며, 단위면적당 년 간 총 부하량이 큰 노면유출수는 총량적인 측면에서 관리할 필요가 있을 것으로 보인다. 각 유출 형태별 고속도로 비점오염 물질의 부하량을 조사함으로써 고속도로 비점오염원 형태별로 환경에 미치는 영향을 간접적으로 알 수 있으며, 앞으로 우선적으로 처리되어야 할 비점오염원 형태를 파악 할 수 있을 것으로 판단된다.

IV. 결론

고속도로 노면유출수와 청소폐수의 발생량과 오염물질 농도를 조사하여 각각의 비점오염원에 대한 수질특성을 살펴보았으며, 각 비점오염원간의 오염물질 농도와 총부하량을 비교하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1) 고속도로 청소폐수 수거량은 지사별로 평균 92m³/year 수거되어 수거량은 많지 않으나, BOD, CODcr, 질소, 인, 중금속류의 농도가 매립지 침출수와 유사할 정도로 높게 나타나고 있어 자가처리를 할 경우에는 매립지 침출수 처리에 사용되는 처리방법을 응용할 수 있으며, 청소폐수 평균 수거량과 항목별 수질농도를 처리시설의 설계인자로 활용 할 수 있을 것으로 보인다.

2) 청소폐수의 무기성 질소중 94%가 암모니아성 질소로 구성되어 있으며 각 지사별 무기성 질소와 암모니아성 질소 비율이 일정하게 나타나고 있어 청소폐수 수질항목 조사 시 암모니아성 질소 항목은 제외가 가능할 것으로 판단된다.

3) 본 연구에서 조사된 노면유출수의 주요 수질항목별 EMCs 농도와 총 부하량은 고속도로 노면유출수 처리방법을 선정하는데 기초자료로 활용 할 수 있으며, 또한 선정된 처리장치의 기초 설계인자로 사용될 수 있을 것으로 보인다.

4) 단위면적당 년 간 총 부하량이 크게 나타나는 노면유출수는 청소폐수와 같이 수거되지 않고 고속도로 주변 토양 및 수계로 직접 유출되기 때문에 고

속도로 비점오염원중 주변 환경에 미치는 영향이 가장 클 것으로 판단되며, 도로 주변 지형/지질 및 노면유출수 유출 특성을 고려한 저류형, 침투형, 식생형, 장치형 등의 비점오염원 저감시설을 설치할 필요가 있을 것으로 보인다

참고문헌

- 건설교통부, 2006, “환경친화적 도로유지관리 잠정 지침”, 11-1500000-001851-01, 46-67.
- 김성수, 김종석, 방기연, 권은미, 정옥진, 2002, 경안천 유역의 강우사상별 비점오염원 유출특성 및 원단위 조사, 대한환경공학회지, 24(11), 2019-2027.
- 김이형, 이선하, 2005, 강우시 주차장 및 교량에서 유출되는 비점오염물질의 특성 비교 및 동적 EMCs, 한국물환경학회지, 21(4), 248-255.
- 방기웅, 이준호, 유명진, 1997, 도시소유역에서의 비점오염원 유출특성에 관한 연구, 한국수질보전학회지, 13(1), 79-99.
- 신은성, 최지용, 이동훈, 2001, 농업지역의 비점오염물질 유출특성에 관한 연구, 한국물환경학회지, 17(3), 299-311.
- 이현동, 안재환, 배철호, 김운지, 2001, 강우시 유출 부하량을 이용한 팔당상수원 유역의 비점오염원 원단위와 발생량 추정, 한국물환경학회지, 17(3), 313-326.
- 최상일, 박준형, 조장환, 2003, 포장면 유출 빗물의 특성 변화, 한국물환경학회지, 19(1), 83-90.
- 환경부, 2004, 관계부처합동 [물관리 종합대책]의 추진 강화를 위한 4대강 비점오염원관리 종합대책.
- 환경부, 2005, 폐기물관리법.
- EPA, 1995, Economic Benefits of Runoff Controls, U.S. EPA, Report 841-S-95-002, USA.
- Irish, L. B., Lesso, W. G., Barrett, M. E., and Malina, J. F., 1996, Evaluation of the Factors Affecting the Quality of Highway Runoff in the Austin, Texas Area, FHWA, 1943-5.
- Kayhanian, M., Singh, M., Suverkropp, C., and Borroum., S., 2003, Impact of Annual Average Daily Traffic on Highway Runoff Pollutant Concentrations, Journal of Environmental Engineering, 129(11), 975-990.
- Kim, L. H., 2003, Determination of Event Mean Concentrations and First Flush Criteria in Urban Runoff, Environmental Engineering Research, 8(4), 163-176.
- Legret, M. and Pagotto, C., 1999, Evaluation of Pollutant Loadings in the Runoff Waters from a Major Rural Highway, The Science of the Total Environment, 235, 143-150.
- Marsalek, J., Brownlee, B., Mayer, T., Lawal, S., and Larkin, G. A., 1997, Heavy Metals and PAHs in Stormwater Runoff from the Skyway Bridge, Burlington, Ontario, Water Quality Research Journal of Canada, 32(4), 815-827.
- Shinya, M., Tsuchinaga, T., Kitano, M., Yamada, Y., and Ishikawa, M., 2000, Characterization of Heavy Metals and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Urban Highway Runoff, Water Science and Technology, 42(7), 201-208.
- Yu, S. L., Kaighn, R. J., and Liao, S. L., 1995, Testing of Best Management Practices for Controlling Highway Runoff, FHWA, VTRC 94-R21.
- Wu, J. S., Allan, C. J., Saunders, W. L., and Evett, J. B., 1998, Characterization and Pollutant Loading Estimation for Highway Runoff, Journal of Environmental Engineering, 124(7), 584-591.