



청양-홍성간 도로에서의 강우 시 비점오염 유출특성 및 오염부하량 분석

Runoff Characteristics and Non-point Source Pollution Loads from Cheongyang-Hongseong Road

이춘원^{1*} · 강선홍¹ · 안태웅² · 양주경¹

Chun Won Lee^{1*} · Seon-Hong Kang¹ · Tae-Woong Ahn² · Joo Kyung Yang¹

1 광운대학교 환경공학과, 2 경희대학교 대학원 환경응용과학과

(2011년 3월 8일 접수 ; 2011년 4월 12일 수정 ; 2011년 4월 14일 채택)

Abstract

Nowadays, the importance of non-point source pollution treatment is being emphasized. Especially, the easy runoff characteristic of highly concentrated pollutants in the roads makes the circumstance more complicated due to impermeability of roads. When the pollutants flow into stream it could make water quality in stream worse and it also causes a bad influence in the aquatic ecosystem because the effluents of rainfall-runoff may contain indecomposable materials like oil and heavy metals. Therefore, we tried to figure out the property of non-point source pollution when it is raining and carried out an assessment for the property of runoff for non-point source pollution and EMC (Event Mean Concentrations) of the essential pollutants during this study. As the result of the study, the EMC was BOD 5.2~21.7 mg/L, COD 7.5~35.4 mg/L, TSS 71.5~466.1 mg/L, T-N 0.682~1.789 mg/L and T-P 0.174~0.378 mg/L, respectively. The decreasing rate of non-point pollutant in Chungyang-Hongsung road indicates the maximum decrease of 80% until 5 mm of rainfall based on SS concentration; by the rainy time within 20~30 minutes, the decreasing rate of SS concentration was shown as 88.0~97.6%. Therefore it was concluded that it seems to be possibly control non-point pollutants if we install equipments to treat non-point pollutants with holding capacity of 30 min. It is supposed that the result of this study could be used for non-point pollutants treatment of roads in Chungyang-Hongsung area. We also want to systematically study and consistently prepare the efficient management of runoff from non-point source pollution and pollutant loading because the characteristics of non-point source pollution runoff changes depending on different characteristics and situations of roads and rainfall.

Key words : non-point source pollution, EMC(Event Mean Concentrations), effluents of Rainfall-Runoff, sediments of roads, characteristics of rainfall, pollutant loading

주제어 : 비점오염원, EMC(Event Mean Concentrations), 강우유출수, 도로퇴적물, 강우사상, 오염부하량

1. 서론

우리나라는 몬순기후의 특징상 여름철에 강우가 집중되고 있으며, 최근 그 강도가 더욱 강해지고 있고, 국지적인 형태를 띠고 있다. 이와 같은 강우의 집중화로 인해 청정하천으로 여겨지던 한강상류 유역은 탁수 발생으로 인해 수질이 악화되고 있으며(정 외 2007), 하천과 호수로 유입이 된 오염물질은 수생 생태계에 심각한 영향을 주고 있다. 비점오염원은 점오염원과 달리 주로 강우에 의해 유출되고 비점오염원의 유출은 계절적, 지역적 편차가 크게 나타나기 때문에 오염물질의 발생량 및 부하량의 관리가 힘들다. 또한 비점오염원 유출은 지리적 조건과 토지이용형태에도 큰 영향을 받는다.

도시지역의 경우 도시생활 활동과 공업지역의 산업 활동이 활발하여 다양한 오염물질의 발생원으로서 주요한 비점오염원이며, 농업지역과는 비점오염원 배출특성이 대별된다. 도시지역의 경우 청천 시 노면 퇴적량, 강우빈도, 지속시간에 따라 상이하나 초기 강우 시 우수관거에서 공공수역에 유출되는 오염물질 농도는 중금속을 포함한 유기오염물질 농도가 매우 높다. 도시노면은 동선을 따라 노면에 축적된 대기 중 건성 침착물, 타이어 마모, 노면 차선의 마찰에 의한 탈색과 구조물의 침 등으로 인하여 오염물질이 발생하며, 공업지역은 불투성 지역에 축적된 유해화학물질과 원료 및 제품의 저장시설, 생산시설 및 운반 시 노면낙하물질 등으로 인해 강우 시 다양한 오염원으로서 작용한다(이 외 2006). 비점오염원 중에서 도시지역의 도로에서는 다량의 중금속과 탄화수소, 연료 첨가제 등이 차량연료, 브레이크 패드나 타이어의 마모에 의하여 발생되고 강우 시 유출계수가 큰 표면에서의 유출수에 포함되어 하천을 오염시킨다(Furumai 2002).

도로지역에서 발생되어 강우 시 유출되는 비점오염물질은 좁은 면적에 비해 고농도의 입자상 물질과 중금속을 함유하고 있는 것으로 알려져 있으며, 강우초기 고농도의 오염물질이 유출되는 전형적인 초기 강우현상을 나타낸다. 초기강우현상을 반영하듯 도로지역으로부터 발생하는 비점오염물질을 관리하고자 비점오염저감시설의 설치시에는 시설의 규모를 최소기준으로 누적강우량 5 mm(환경부, 2008) 또는 7.5 mm(국토해양부, 2006)를 고려하도록 하고 있다.

많은 연구자들에 의해 도로노면을 비롯한 비점오염원에서 발생하는 오염물질이 계속해서 증가하고 있는 것으로 조사되고 있다. 도시지역에서 발생하는 오염물질은 도시지역의 불투수성에 기인하는 것으로 개발이 확대됨에 따라 비례적으로 증가한다. 특히 도시 내 도로노면 유출수의 경우, 차

량 등의 이동으로 오염물질의 농도가 높은 것으로 알려져 있어, 초기 유출 부하량이 수계 및 하수처리시설에 미치는 영향은 큰 것으로 판단된다. 불투수층이 증가함에 따라 도로노면에 축적된 오염물질은 강우 시작과 동시에 유출되는 현상이 나타나며, 이것은 오염물질 부하량을 집중시키는 효과를 발생시키므로 초기유출에 대한 대비책 마련이 무엇보다 중요하다.

강우 시 도로에서의 초기유출에 대한 효과적인 제어를 위해 현재까지 비점오염물질에 대한 조사는 꾸준히 진행되어 왔다. 그러나 비점오염물질의 특성상 발생지역, 발생상황 등 많은 요인에 따라 유출 현상이 달라지므로 지속적인 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다. 또한 오염물질의 유출에 영향을 미치는 인자들을 적절하게 선택할 수 있는 기초연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 청양-홍성간 도로에서 강우 시 발생하는 비점오염물질의 유출특성을 파악하고, 가장 필수적으로 요구되는 오염물질의 EMC(Event Mean Concentrations) 및 유출부하량을 산정하여 도로노면에서 발생하는 비점오염 저감대책수립 시 기초자료로 활용될 수 있도록 연구를 수행하였다.

2. 연구 방법

2.1 조사 지점 및 방법

강우 및 유출특성에 의하여 오염물질 유출이 발생하는 비점오염원 연구에 있어서 모니터링은 가장 중요한 부분이다(국토해양부 2006). 강우 시작 전부터 현장에 대기하면서 모니터링 준비를 완료하였으며, 수질 및 유량 측정에 있어서 불확실성을 최소화하기 위해 강우량 및 유출량을 1분 단위로 측정하였다. 또한 강우유출수의 초기 강우현상을 조사하기 위하여 강우 시작 후 유출이 발생하는 시점을 초기 강우로 하고 5분 간격으로 10회 조사하고 그 이후부터는 15분, 30분, 1시간 간격으로 유출이 끝날 때까지 1시간 간격으로 모니터링을 수행하였다. 채취된 시료는 즉시 4℃로 유지하여 곧바로 실험실로 운반되어 입자상 물질, 유기물질, 중금속 등의 실험이 수행되었다.

본 연구에서는 금강유역의 청양~홍성 간 조성되는 국도변을 중심으로 도로 주변 토지이용 및 비점오염발생특성에 따라 구분하여 연구 대상 지역을 선정하였으며, w-1 지점은 오르막 도로를 선정한 이유는 주행속도가 높고 유하거리가 짧아 일시에 다량의 오염물질이 배출되는 특성이 있고 w-2 지점은 일반 도로로 상시 오염물질 배출량을 조사하기 위해서 선정하였다. 또한 w-3 지점은 주변에 점오염원(주유소)이 인접한 도로의 오염 특성을 파악하기 위한 것이다. 이에 대한 분석 및 평가를 실시하였으며, 비점오염원 유출

지점 선정은 다음과 같다.

- 선정된 도로변에서 강우 시 우수가 유출되어 집결되는 지점 선정
- 도로의 형태와 강우유출특성이 고려된 대표지점 선정
- 대상지역 내에 하폐수 등 대규모의 점오염원이 없는 지점
- 현 토지이용 현황이 원단위 및 유역을 대표할 수 있는 지점
- 단기간 내에 비점오염원 현황을 비교적 뚜렷이 파악할 수 있는 지점

2.2 분석항목 및 방법

본 연구의 수질조사는 도로의 비점오염물질 및 하천 수질 조사는 각 조사 지점별로 수온, pH, EC, DO, SS, BOD, COD, T-N, T-P에 대하여 수질분석을 실시하였다. 그리고 수질 채수는 강우 10 mm 이상 시 샘플링을 실시하였다. 모든 시료는 수질오염공정시험법에 준하여 보존하고 실험하였고 시료는 최대보존기간 이내에 모든 분석을 완료하

록 하였으며, 현장에서 채취된 시료는 실험실에 도착하기 전까지 별도의 ICE BOX 용기에서 4℃로 유지하였다.

2.3 연구대상지역의 강우특성 조사

최근 10년간 청양-홍성간 강우일수를 조사한 결과, 10년 평균 강우일수는 105일로 조사되었으며, 가장 많은 강우는 124일로 2010년도로 나타났고 가장 적은 강우는 92일로 2006년도로 조사되었다. 대부분 7월과 8월에 집중적으로 비가 내리는 특징이 있었으며, 연구대상지역에서의 3일 이상 무강우일수 후 강우횟수를 조사한 결과, 평균 3일 이상 무강우일수 후 강우횟수는 30회로 조사되었으며, 최고 37회로 나타난 2009년과 최소 23회로 나타난 해는 2006년으로 조사되었다. 또한 강우빈도를 조사한 결과, 5 mm 이하의 강우가 가장 많았으며, 30 mm 이상의 강우도 많은 것으로 조사되었다. 특히 10년 전인 2001년보다 2010년에는 강우량도 많았고, 강우일수도 높게 나타나는 경향을 보였다. 그리고 시간당 강우 최고, 최저, 평균치를 조사한 결과, 시간당 강우 최고치는 69.0 mm, 최저치는

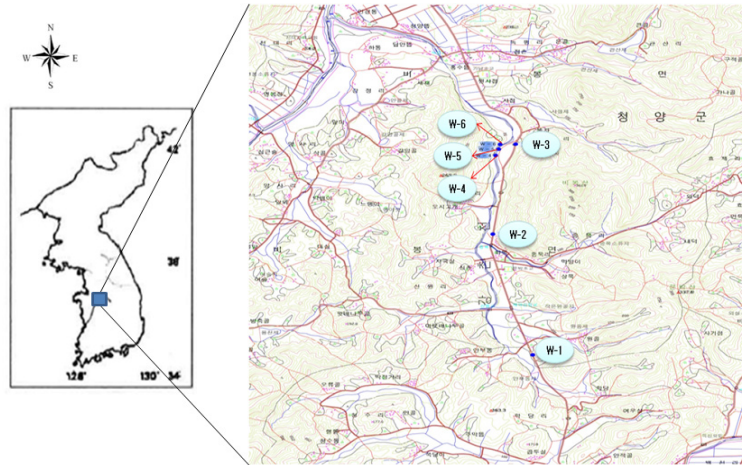


Fig. 1. 연구대상지역

Table 1. 분석항목 및 방법

항 목	분석기기	분석방법
pH	pH METER(pH-12P)	전 극 법
DO	DO METER(AQUA-DO2)	전 극 법
BOD	BOD INCUBATOR	배 양 법
SS	Chemical balance SS filter unit	유리섬유 거름종이법
COD	Water bath	산성 KMnO ₄
T-N	Optizen 2120UV	흡광광도법
T-P	Optizen 2120UV	흡광광도법(아스코르빈산환원법)

0.1 mm로 나타났으며, 월평균 강수량의 범위는 67.8~145.3 mm로 조사되었다.

청양-홍성간 도로에서 강우에 의한 총 유출량을 산정하기 위해서는 전체 면적이 우선적으로 산정되어야 할 것으로 판단되어 조사한 결과, 청양-홍성간 국도의 총거리는 22.25 km이고 총면적은 178,000 m²로 조사되었다. 강우 시 청양-홍성간 도로의 총유출량 산정을 위해 도로의 면적과 강우량 자료를 활용하여 산정한 결과, 30 mm 강우유출량은 5,340 m³으로 나타났으며, 시간최대 강우유출량은 12,282 m³로 조사되었다.

3. 연구 결과

본 연구에서는 청양-홍성간 도로의 3개 지점에서 강우 시 유출되는 비점오염물질의 강우특성, 강우유출량, 초기강우 현상, 오염물질별 EMC 등을 연구하였다.

3.1 강우사상 개요

Table 2는 청양-홍성간 도로의 강우사상에 따른 모니터링 수행결과이며, 날짜(Date), 건기일수(Antecedent Dry Days, ADD), 총강우량(Precipitation), 강우지속시간(Runoff duration), 평균 강우강도(Average rainfall intensity) 등을 나타내었다. 각 Event의 건기일수는 4~16일이며, 총강우량은 6.5~29.0 mm, 강우강도의 범위는 4.83~6.50 mm/hr의 범위로 각각 나타났다.

3.2 도로노면 강우유출수의 수질 특성 분석

비점오염원의 배출 특성은 강우 강도에 의해 일정하게 발생하지 않는 경향이 있기 때문에 시간 및 강우 강도에 따른

오염 물질 배출 패턴을 함수로 표현하기에는 다소 어려움이 있다. 따라서 시간과 유출 유량의 개념을 모두 감안하여 유출되는 유량을 기준으로 비점오염 물질의 유출 특성을 파악하기 위해, 일반적으로 사용되는 유량가중평균농도(EMC, 식1)를 산정할 필요가 있다.

청양-홍성간 도로의 비점오염원의 배출 특성은 도로의 노면의 상태, 강우강도에 의해 영향을 받게 된다. 따라서 다음과 같이 지점별 평균 수질 농도(EMC, mg/L)를 조사하여, 국내·외 연구 결과와 비교·검토하고자 한다. 또한 강우유출수에 의한 비점오염 물질의 부하량 분석을 통해 청양-홍성간 도로의 비점오염원의 오염 영향을 알아보고자 한다.

도로로부터 유출되는 비점오염물질의 부하량 산정은 모니터링을 수행하여 획득된 유출 오염물질의 농도와 강우 유출량을 이용하여 산정할 수 있다. 강우에 의해서 유출되는 오염물질의 부하량 산정 시 이용되는 오염물질의 농도는 유량가중평균농도, 즉 EMC로 불리우며, 식 1과 같이 모니터링 결과를 이용하여 산정된다. EMC는 전체 강우지속시간 T시간 동안 유출된 전체 누적 오염물질의 양을 전체 누적 유출량으로 나누어 계산할 수 있으며, 비점오염원에서의 평균 농도 산정 시 중용하게 이용되고 있다. 여기서 C(t)와 Qtru(t)는 강우 지속시간 t에 대한 오염물질의 농도와 유출을 의미한다.

$$EMC = \frac{\text{Discharged mass during an event}}{\text{Discharged volume}} = \frac{\int_0^T C(t) \cdot Q_{TRu(t)} dt}{\int_0^T Q_{TRu(t)} dt} \dots \dots \dots (\text{식 1})$$

Table 2. 강우사상에 따른 조사지점별 모니터링 결과

Site	Event	Date	Area (m ²)	ADD (days)	Precipitation (mm)	Runoff duration (hr)	Avg. rainfall intensity (mm/hr)
W1	E-1	10/07/02	961.5	5	6.5	1	6.50
	E-2	10/07/16	961.5	4	29.0	5	5.80
	E-3	10/08/10	961.5	16	14.5	3	4.83
W2	E-4	10/07/02	1,287.0	5	6.5	1	6.50
	E-5	10/07/16	1,287.0	4	29.0	5	5.80
	E-6	10/08/10	1,287.0	16	14.5	3	4.83
W3	E-7	10/07/02	520.0	5	6.5	1	6.50
	E-8	10/07/16	520.0	4	29.0	5	5.80
	E-9	10/08/10	520.0	16	14.5	3	4.83

Table 3. 청양-홍성간 도로의 유량가중평균농도

Site	Event	Date	TSS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
W1	E-1	10/07/02	245.8	17.1	25.7	1.408	0.031
	E-2	10/07/16	210.8	8.8	12.6	1.246	0.304
	E-3	10/08/10	217.0	12.1	16.0	1.824	0.378
	평균		224.5	12.7	18.1	1.493	0.238
W2	E-4	10/07/02	466.1	17.3	26.7	1.789	0.293
	E-5	10/07/16	89.5	9.4	12.3	1.377	0.359
	E-6	10/08/10	107.9	10.0	14.2	1.689	0.338
	평균		221.2	12.2	17.7	1.618	0.330
W3	E-7	10/07/02	114.0	21.7	35.4	1.517	0.385
	E-8	10/07/16	93.6	5.2	7.5	1.525	0.174
	E-9	10/08/10	106.7	10.9	18.8	1.682	0.367
	평균		104.8	12.6	20.6	1.575	0.309

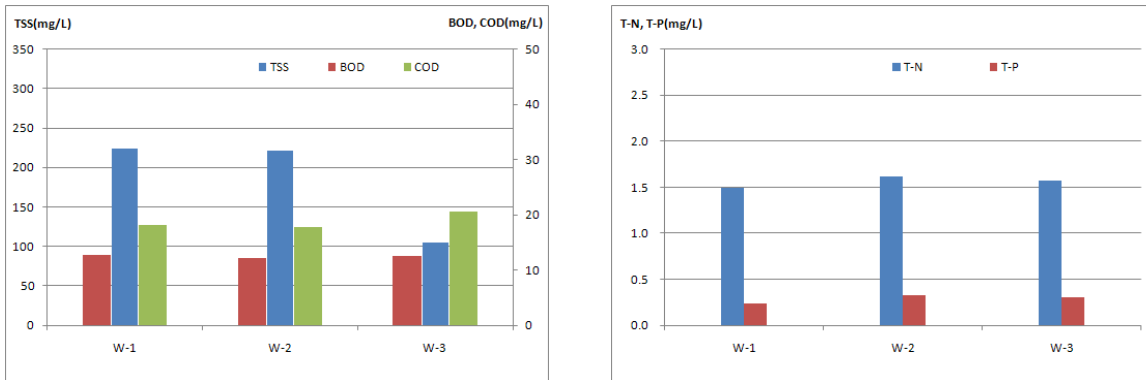


Fig. 2. 조사지점별 유량가중평균농도별 비교

오염물 항목별로 유량가중평균농도(Event Mean Concentrations, EMC) 값들을 Table 3에 나타내었다. BOD의 EMC 값은 5.2~21.7 mg/L의 범위를 나타내었고, COD는 7.5~35.4 mg/L, TSS는 71.5~466.1 mg/L의 범위로 나타났다. 또한 T-N과 T-P의 경우에는 각각 0.682~1.789 mg/L과 0.174~0.378 mg/L의 범위를 나타내고 있었다. 전체적으로 도로에서의 오염물 EMC 값은 타 연구(Lee et al. 2008)와 유사한 값을 나타내고 있다. 일반적으로 EMC 값은 광범위한 값을 나타내고 있으며, 주로 희석효과에 큰 영향을 주는 강우강도에 좌우되는 경우가 많다. 대개 큰 강우강도나 짧은 선행건기일수인 경우 낮은 EMC 값을 보이는 경향을 보인다.

국내의 경우 국외에 비하여 조금 늦은 2000년도 초반부터 도로 발생 비점오염원 관련 연구가 시작되어, 국내 연

구진들에 의하여 수행된 비점오염원 관련 기초연구 결과에 따르면 대략적인 도로 노면 유출수 내 비점오염원 배출범위는 SS는 45~931 mg/L, COD는 40~931 mg/L, BOD는 48.6~153.4 mg/L, T-N은 0.1~19.6 mg/L, T-P는 0.2~25.1 mg/L 내외인 것으로 나타났다(이 외 2005, 김 외 2005, 노 외 2004).

3.3 강우유출수의 부하량 산정 결과

비점오염물질의 유출은 주로 강우에 의하여 유출되는 특성을 보이기 때문에 강우지속시간에 따른 오염물질 부하량 산정도 매우 중요하다. 강우는 연간 다양하게 발생되는데, 강우 사상별 인근 수계 환경에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 판단을 하기 위해서는 다양한 강우 사상별 부하량 산정이 필요하다고 판단된다.

Table 4. 국외 도로 발생 비점오염원의 배출 EMCs

(단위 : mg/L)

Reference	COD	SS	T-N	T-P
(NCHRP 2001)	114	142	1.83	0.40
(Wu et. al. 1998)	70	283	2.25	0.43
(Legret 1999)	103	71	2.30	-
(Barrett et. al. 1995)	126	131	1.03	0.33

$$\text{Pollutant Loading Per Watersshed Area}(\text{mg}/\text{m}^2) = \frac{\text{EMC}(\text{mg}/\text{L}) \times Q(\text{m}^3)}{\text{Area}(\text{m}^2)} \dots \dots \dots (\text{식 } 2)$$

식 2는 유역면적 대비 오염물질 부하량을 나타내고 있으며, 식 1에서 획득된 EMC에 지점별 전체 유출량에 곱한 후 유역면적으로 나누어 산정된다. 이러한 부하량은 도로 비점오염물질에 의해서 인근 수계 환경에 연간 어느 정도 영향을 끼칠 것인가에 대한 판단의 자료로 활용할 수 있다.

$$\text{Pollutant Loading Per RDT}(\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}) = \frac{\text{EMC}(\text{mg}/\text{L}) \times Q(\text{m}^3)}{\text{Area}(\text{m}^2) \cdot \text{RDT}(\text{hr})} \dots \dots \dots (\text{식 } 3)$$

식 3은 강우사상별 부하량 산정식을 나타내었으며, EMC와 유출량 및 도로면적과 강우지속시간을 고려하여 산정된다. 여기서 PDT(hr)는 강우지속시간을 의미한다. 따라서 본 연구에서는 청양-홍성간 도로에서 유출되는 오염물질의 부하량을 면적당 오염물질 부하량과 강우지속시간당 오

염물질부하량에 대해서 산출하였다.

유역면적 대비 오염물질 부하량 산정 결과를 Table 5에 나타내었으며, 강우사상별 오염물질 부하량 산정결과를 Table 6에 나타내었다. 조사지점의 도로면적 대비 오염 부하량 조사결과, TSS가 568.7~1,740.3 mg/m², COD의 경우 59.4~301.3 mg/m²로 나타났으며, 강우사상별 오염 부하량은 SS가 318.0~751.8 mg/m², COD의 경우 25.6~171.4 mg/m²로 나타났다.

3.5 청양-홍성간 도로의 비점오염 처리를 위한 유출 특성 평가

강우 시 도로오염의 특성상 비강우시에 도로에 집적되어 있던 오염물질이 초기 강우에 의해 높은 농도로 유출되기 특성을 나타내기 때문에 초기 강우에 대한 오염물질 저감이 필요하다. 청양-홍성간 강우 특성을 조사한 결과, 대부분 7월과 8월에 집중적으로 강우가 이어지고 있었으며, 강우 빈도는 5 mm 이하의 강우가 가장 많았으며, 30 mm 이상의 강우도 많았다. 특히 10년 전인 2001년보다 2010년에

Table 5. 조사대상지점의 면적 대비 오염물질 부하량 산정

Site	Event	Date	TSS (mg/m ²)	BOD (mg/m ²)	COD (mg/m ²)	T-N (mg/m ²)	T-P (mg/m ²)
W1	E-1	10/07/02	524.1	36.4	54.7	3.00	0.07
	E-2	10/07/16	833.2	34.5	49.7	4.93	1.20
	E-3	10/08/10	1,042.5	58.3	76.7	8.77	1.82
	평균		799.9	35.5	60.4	5.57	1.03
W2	E-4	10/07/02	662.8	24.6	38.0	2.54	0.42
	E-5	10/07/16	424.0	44.8	58.5	6.53	1.70
	E-6	10/08/10	619.4	57.3	81.7	9.70	1.94
	평균		568.7	42.2	59.4	6.26	1.35
W3	E-7	10/07/02	1,118.3	213.3	347.2	14.88	3.77
	E-8	10/07/16	1,727.2	96.2	138.4	28.16	3.21
	E-9	10/08/10	2,375.4	243.2	418.2	37.46	8.18
	평균		1,740.3	184.2	301.3	26.83	5.05

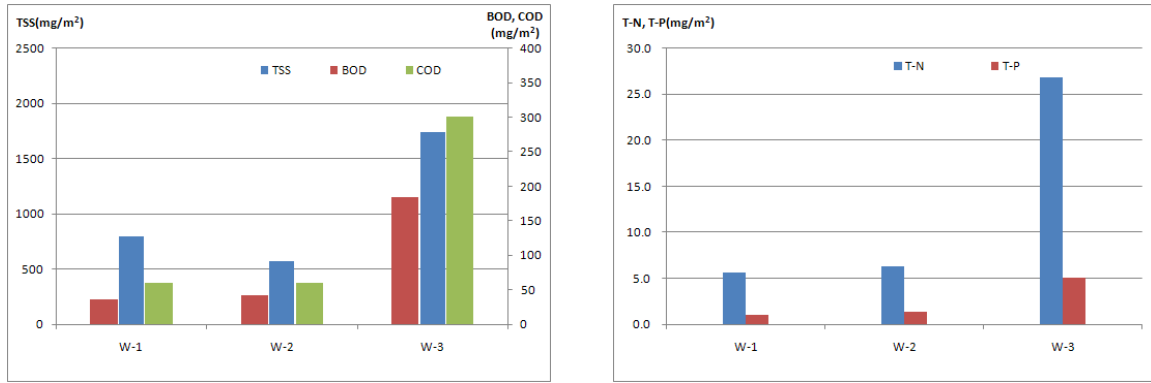


Fig. 3. 조사지점별 면적 대비 오염물질 부하량 비교

Table 6. 강우사상별 오염물질 부하량 산정

Site	Event	Date	TSS (mg/m ² ·hr)	BOD (mg/m ²)	COD (mg/m ²)	T-N (mg/m ²)	T-P (mg/m ²)
W1	E-1	10/07/02	524.1	36.4	54.7	3.00	0.07
	E-2	10/07/16	166.6	6.9	9.9	0.99	0.24
	E-3	10/08/10	347.5	19.4	25.6	2.92	0.61
	평균		346.1	20.9	30.1	2.30	0.31
W2	E-4	10/07/02	662.8	24.6	38.0	2.54	0.42
	E-5	10/07/16	84.8	9.0	11.7	1.31	0.34
	E-6	10/08/10	206.5	19.1	27.2	3.23	0.65
	평균		318.0	17.6	25.6	2.36	0.47
W3	E-7	10/07/02	1,118.3	213.3	347.2	14.88	3.77
	E-8	10/07/16	345.4	19.2	27.7	5.63	0.64
	E-9	10/08/10	791.8	81.1	139.4	12.49	2.73
	평균		751.8	104.5	171.4	11.00	2.38

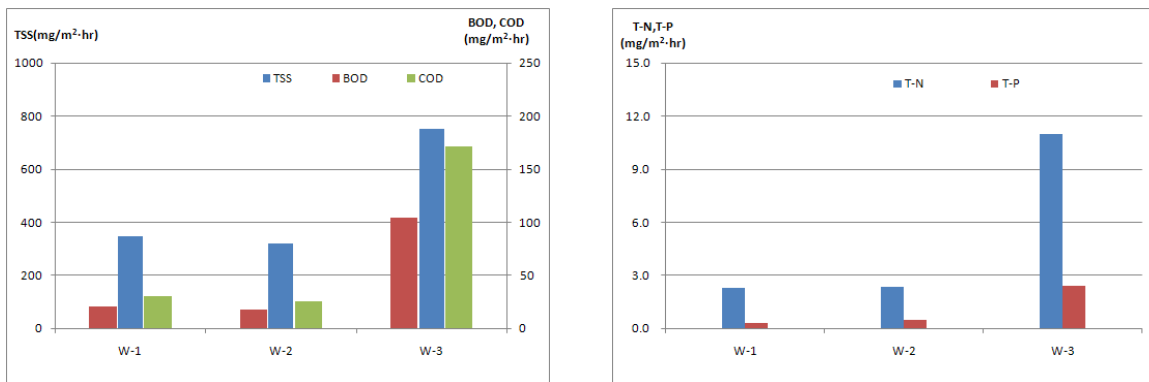


Fig. 4. 조사지점에 따른 강우사상별 오염물질 부하량 비교

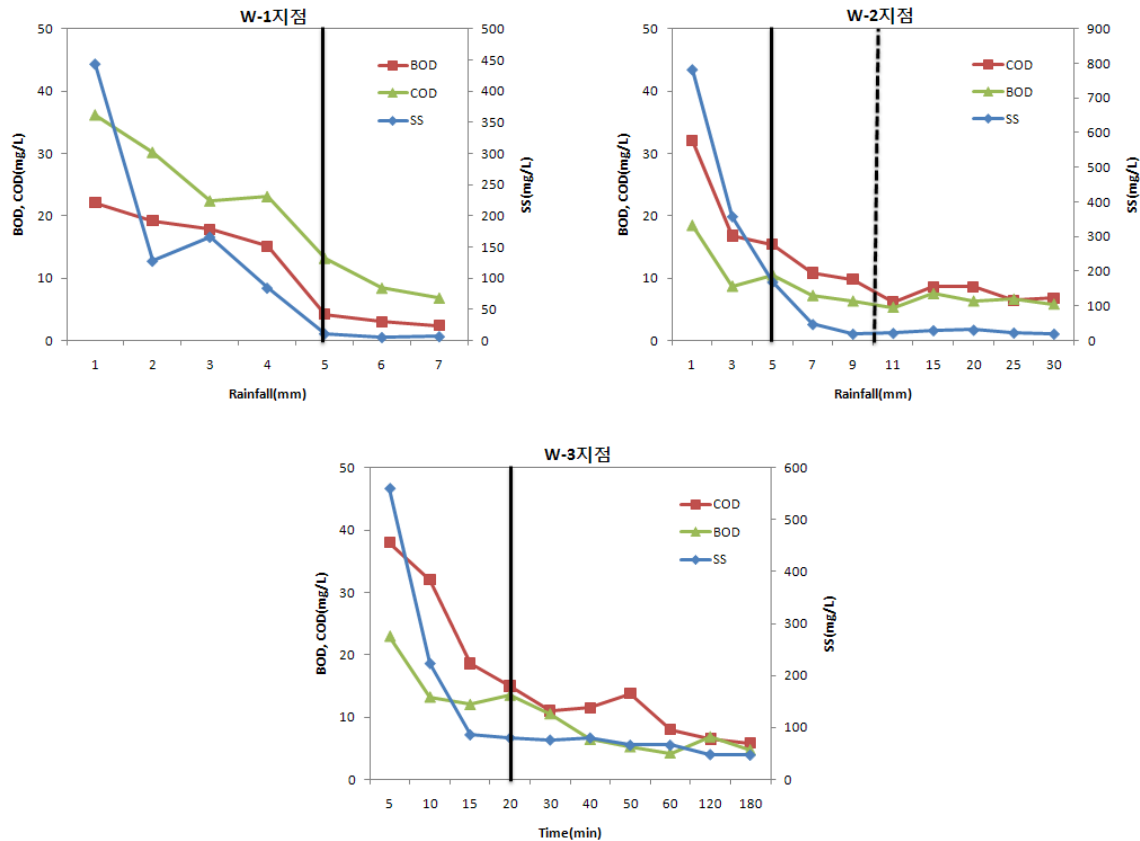


Fig. 5. 강우량에 따른 도로 비점오염물질 농도의 변화

는 강우량도 많았고, 강우일수도 높게 나타나는 경향을 보였다.

청양-홍성간 도로의 강우 시 현장조사 결과, 지점 및 조사 시기별 강우량에 따른 비점오염물질에 대한 농도의 변화를 Fig. 5에 나타내었다. 청양-홍성간 도로에서의 5 mm 강우량에 대한 감소율 결과, W-1지점의 SS 농도가 97.6%, W-2지점 82.2%, W-3지점 88.0% 이상의 감소율을 나타내고 있는 특징을 보였다. 또한 10 mm 강우량에 대한 유출 특성은 W-2지점 97.6%, W-3지점 89.4% 이상의 감소율을 나타내고 있는 것으로 조사되었다. 이러한 유출특성은 강우 시 도로에서의 강우유출수에 대한 처리시설의 용량 산정 시 기초자료로 활용 가능할 것으로 사료된다.

따라서 청양-홍성간 도로에서의 비점오염물질은 5 mm 강우 때까지 SS를 기준으로 최대 80% 이상의 높은 감소율을 나타내고 있으며, 5 mm에 대한 처리방안을 마련한다면 비점오염물질에 대한 제어가 가능할 것으로 판단된다. 또한 청양-홍성간 도로 전체의 총면적이 178,000 m²이기 때문에 5 mm, 10 mm를 처리할 목적으로 처리용량을 결정할

경우에는 5 mm는 890 m³을 처리하면 될 것으로 나타났으며, 안정하게 처리함을 고려하여 10 mm 강우를 처리할 경우에는 1,780 m³을 처리하면 될 것으로 조사되었다.

청양-홍성간 도로의 강우 시 현장조사 결과, 지점 및 조사 시기별 강우시간에 따른 비점오염물질에 대한 농도의 변화를 Fig. 6에 나타내었다. 청양-홍성간 도로에서의 W-1지점의 경우, 30분 내에 SS 농도가 97.6% 이상의 감소율을 나타내고 있고 W-2지점은 20분 내에 SS 농도가 94.3% 이상의 감소율을 나타내고 있으며, W-3지점은 20분 내에 SS 농도가 87.5% 이상의 감소율을 나타내고 있다.

따라서 80% 이상의 비점오염물질의 감소가 일어나기 때문에 청양-홍성간 도로에서는 30분 내에 처리 가능한 비점오염 처리시설에 대한 용량을 산정하여 설치한다면 비점오염물질에 대한 제어가 가능할 것으로 판단된다. 또한, 처리용량이 산정되면, 도로에서의 입자에 대한 입경범위도 매우 중요한 요소이다. 장치형 시설의 경우, 입경 사이즈는 최대 50 μm 이하로 처리해야 할 것으로 판단되며, 안정하게 처리하기 위해서는 20~30 μm의 공극을 가진 여과기를 이용하

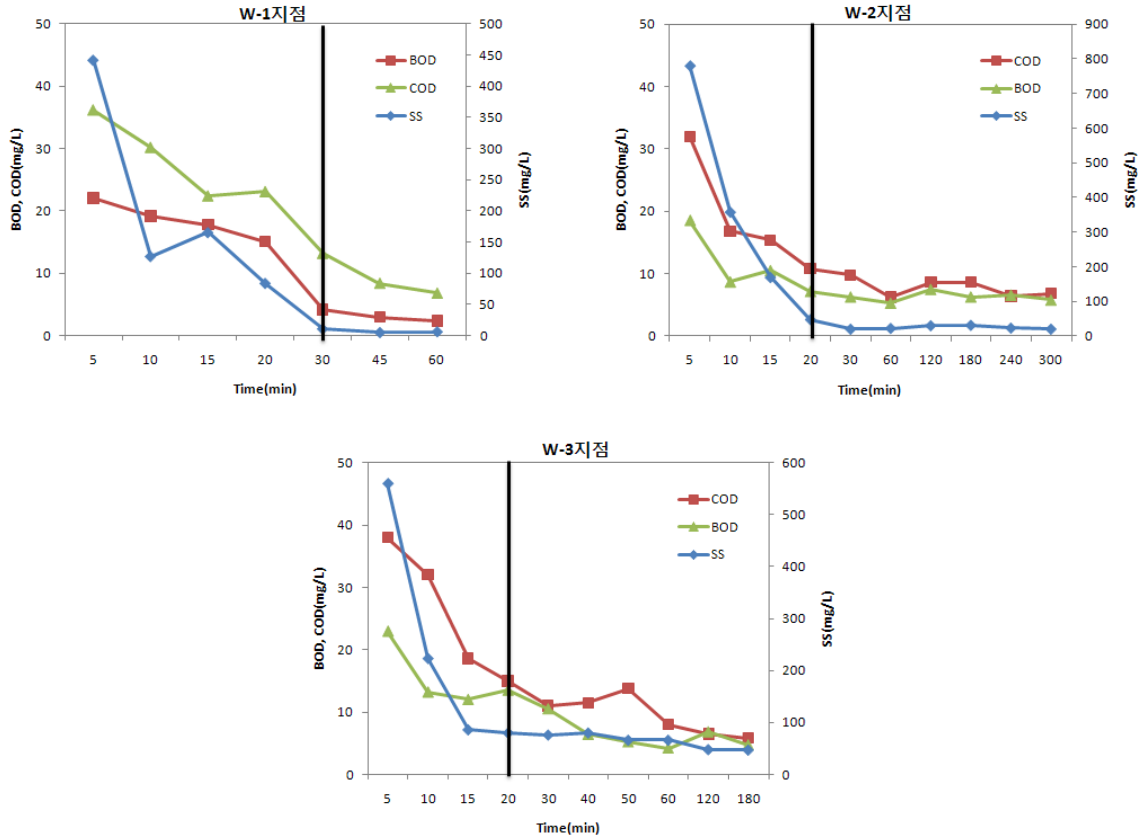


Fig. 6. 강우시간에 따른 도로 비점오염물질 농도의 변화

여 수처리를 해야만 비점오염 부하를 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 도로유출수 입경은 50 μm 이하의 입경범위를 가진 미세입자들로써 중금속, 기름성분들을 쉽게 흡착 또는 부착하여 유사거동을 하는 것으로 알려져 있다(이 외, 2005).

4. 결론

본 연구에서는 청양-홍성간 도로 3개 지점에서 강우 시 유출되는 비점오염물질의 강우특성, 강우유출량, 초기강우 현상, 오염물질별 EMC 및 부하량 산정을 연구하였다. 또한 도로의 강우유출수에 의한 하천에 대한 기여율을 산정하였으며, 강우량 및 강우시간에 따른 비점오염물질에 대한 경향도 조사하였다. 따라서 청양-홍성간 도로의 강우 시 비점오염 모니터링에 따른 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 본 연구에서 EMC 산정결과, BOD는 5.2~21.7 mg/L, COD는 7.5~35.4 mg/L, TSS 71.5~466.1 mg/L의 범위로 나타났다. 또한 T-N과 T-P의 경우에는 각각

0.682~1.789 mg/L과 0.174~0.378 mg/L의 범위를 나타내고 있었다. 따라서 이러한 EMC 값은 향후 도로 비점오염물질을 저감하기 위한 시설의 설계나 설치 시 중요한 기초자료로 활용 가능할 수 있을 것으로 사료된다.

2) 도로 강우유출수에 환경적 영향을 고려하기 위해 부하량을 산정한 결과, TSS 568.7~1,740.3 mg/m², COD 59.4~301.3 mg/m²로 나타났으며, 강우사상별 오염부하량은 SS가 318.0~751.8 mg/m², COD의 경우 25.6~171.4 mg/m²로 조사되었으며, SS의 경우 면적당 오염부하가 크기 때문에 이에 대한 대책이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

3) 청양-홍성간 도로에서의 5 mm 강우량에 대한 감소율 결과, W-1지점의 SS 농도가 97.6%, W-2지점 82.2%, W-3지점 88.0% 이상의 감소율을 나타내고 있는 특징을 보였으며, 10 mm 강우량에 대한 유출특성은 W-2지점 97.6%, W-3지점 89.4% 이상의 감소율을 나타내고 있는 것으로 조사되었다. 이러한 유출특성은

강우 시 도로에서의 강우유출수에 대한 처리시설의 용량 산정 시 기초자료로 활용 가능할 것으로 사료된다.

4) 청양-홍성간 도로에서의 강우시간에 따른 SS 농도는 W-1지점의 경우, 30분 내에 SS 농도가 97.6% 이상의 감소율을 나타내고 있고 W-2지점은 20분 내에 SS 농도가 94.3% 이상의 감소율을 나타내고 있으며, W-3지점은 20분 내에 SS 농도가 87.5% 이상의 감소율을 나타내고 있다. 따라서 80% 이상의 비점오염물질의 감소가 일어나기 때문에 청양-홍성간 도로에서는 30분 내에 처리 가능한 비점오염 처리시설에 대한 용량을 산정하여 설치한다면 비점오염물질에 대한 제어가 가능할 것으로 판단된다.

본 연구를 통해 청양-홍성간 국도의 도로 비점오염원을 제어하기 위해서는 비점오염 처리시설의 신규 설치가 필요할 것으로 판단되며, 도로면 유출 오염물질의 효과적인 제어를 위해서는 유출 오염물 중 SS의 적절한 제어가 필요할 것으로 판단된다. 특히 입자와 관련된 추가적인 연구가 선행된 후 입자사이즈에 따른 비점오염물질에 대한 영향 평가 등이 향후에 연구되어야 할 것으로 판단된다. 또한 비점오염원 관리 시 초기 유출수의 관리가 매우 중요할 것으로 판단되며, 이러한 비점오염원의 유출특성은 도로 특성 및 강우사상에 따라 매우 달라지므로 체계적이고 지속적인 연구를 통하여 기초자료를 확보하고 효율적인 관리방안을 마련해야 할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 환경부의 “토양지하수복원관리 환경기술교육혁신지원사업단”의 지원을 받은 과제입니다.

참고문헌

국토해양부, *환경친화적 도로유지관리지침*, 2006.

권순국, 1998, 우리나라 비점원 수질오염 관리의 문제점과 개선방안, *대한환경공학회지*, **20**(11), pp.1497~1590.

김부길, 이병철, 2006, 노면 퇴적 물의입자크기에 따른 중금속 오염에 관한 연구, *한국환경과학회지*, **15**(2), pp.1171~1175.

김영철, 이재수, 2002, 강우시 유역특성에 따른 유출 오염물질 농도곡선의 형상, *대한환경공학회지*, **24**(4), pp.633~645.

김이형, 이선하, 2005, 주차장 및 교량지역의 강우유출수내 비점오염물질의 특성 및 동적 EMCs, *한국물환경학회*, *한국물환경학회지*, **21**(3), p.248~255.

노성덕, 이대근, 전양근, 2004, 도로상의 비점오염물질 저감을 위한 초기 우수 유출수 처리에 관한 연구, *한국물환경학회*, *한국물환경학회지*, **20**(5), p.525~533.

이춘식 외, 2006, 강우시 고속도로 노면 유출수 오염부하량 및 유출특성, *대한환경공학회 2006 추계학술연구발표회 논문집*, p 435.

정성민, 장창원, 김재구, 김범철, 2007, 강우시 유역으로부터 유출되는 비점오염원의 면적당 연간유출부하량 산정, *한국물환경학회 춘계학술발표회*.

최지용, 1998, 비점오염원의 제도적 관리방안, *한국환경정책평가연구원*.

환경부, 2008, *비점오염저가시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼*.

환경부, 2000, *팔당상수원 비점오염원 최적관리사업 기본 계획 및 타당성조사 수립 보고서*.

환경부, 1995, *비점오염원 조사 연구사업 보고서*.

Barrett et. al., 1995, Characterization of Highway Runoff in the Austin, Texas Area, Technical Report CRWR 262, Center for Research in Water Resources, Univ of Texas.

Cooper, et al., 1987, Riparian areas as filters for agricultural sediment, *Soil Science Society of America Journal* **51**, pp.416~420.

Furumai, H., Balmer, H., and Boller, M. (2002), “Dynamic behavior of suspended pollutants and particle size distribution in highway runoff”, *Water Sci. Technol.*, **Vol. 46**, No. 11-12, pp. 413~419.

NCHRP, 2001, Management of Runoff from Surface Transportation Facilities Synthesis and Research plan, Web Document 37.

Wu et. al., 1998, Characterization of pollutant loading estimation for highway runoff, *Journal of Environmental Engineering-ASCE*, **124**, p.584~592.