

ORIGINAL ARTICLE

철도지역의 비점오염원 유출특성

이춘식¹⁾ · 서규태¹⁾ · 윤조희^{2)*} · 권헌각³⁾ · 이재운³⁾ · 천세역³⁾

경남과학기술대학교, ¹⁾창원대학교, ²⁾경남대학교, ³⁾국립환경과학원 낙동강물환경연구소

Estimation of Runoff Characteristics of Nonpoint Pollutant Source in Railroad Area

Chun Sik Lee, Gyu Tae Seo¹⁾, Cho Hee Yoon^{2)*}, Heon Gak Kwon³⁾, Jae Woon Lee³⁾,
Se Uk Cheon³⁾

Department of Environmental Engineering, Kyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 660-758, Korea

¹⁾*Department of Environmental Engineering, Changwon National University, Changwon 641-774, Korea*

²⁾*Department of Environmental Engineering, Kyeongnam University, Changwon 631-701, Korea*

³⁾*Nakdong River Water Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Goryeong 717-873, Korea*

Abstract

The MFFn(Mass first flush), EMCs(Event mean concentrations) and runoff loads were analyzed for various rainy events(monitored data from 2011 to 2012) in transportation area(rail road in station). The pollutant EMCs by volume of stormwater runoff showed the BOD5 9.6 mg/L, COD 29.9 mg/L, SS 16.7 mg/L, T-N 3.271 mg/L, T-P 0.269 mg/L in the transportation areas(Railroad in station). The average pollutant loading by unit area of stormwater runoff showed the BOD5 27.26 kg/km², COD 92.55 kg/km², SS 50.35 kg/km², T-N 10.13 kg/km² and T-P 10.13 kg/km² in the transportation areas. Estimated NCL-curve(Normalized cumulated-curve) was evaluated by comparison with observed MFFn. MFFn was estimated by varying n-value from 10% to 90% on the rainy events. The n-value increases, MFFn is closed to '1'. As time passed, the rainfall runoff was getting similar to ratio of pollutants accumulation. The result of a measure of the strength of the linear relationship between observed data and expected data under model was good.

Key words : Mass first flush(MFF), Event mean concentrations(EMCs), Runoff, Rainfall, Stormwater, Normalized cumulated-curve(NCL-curve)

1. 서론

비점오염원에 대한 효율적인 관리를 위해 비점오염원의 확인, 토지이용과 지역특성을 고려한 비점오

염 부하량의 합리적인 조사, 오염부하량 정량화를 위한 합리적인 기술개발, 정책의 개발 및 실행 등이 필요하다. 뿐만 아니라 비점오염원 관리에 있어 우선적으로 해결하여야 할 사항은 비점오염원의 부하량 조사

Received 20 February, 2014; Revised 13 March, 2014;

Accepted 17 March, 2014

*Corresponding author : Cho-Hee Yoon, Department of Urban Environmental Engineering, Kyeongnam National University, Changwon, Gyeongnam 631-701, Korea
Phone: +82-55-249-2663
E-mail: chyoon@kyungnam.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. 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.

에 관련된 기초연구로서 토지이용과 비점오염물질의 배출관계조사, 수질오염원 중에 비점오염원의 역할에 대한 정확한 연구 자료가 필요하다.

토지이용은 도시지역(상업용지, 산업단지, 주거지역, 공공지역, 나대지, 공원, 도로, 주차장, 철도지역 등), 농업지역(논, 밭 등), 산림지역, 건설현장, 골프장 등으로 분류되며, 토지이용의 특성에 따라 유출되는 오염물질의 종류와 양이 다르다. 이러한 토지이용 중 도시지역의 비점오염원에 대한 관심이 큰 이유는 높은 불투수율로 적은 유역면적에 비하여 기타 토지이용형태보다 강우유출수의 양 및 오염물질의 유출량이 크기 때문이다.

강우 시 유출되는 비점오염원 부하가 수질에 미치는 영향은 하수처리가 향상되고 경제 활동수준이 높아질수록 증가하고 있으며, 토지이용이 고밀도로 이용되고 있는 미국유역의 경우 총 수질오염부하의 50% 정도가 비점오염원에 의한 것으로 조사되고 있다. 특히 도시지역 하천의 경우, 각종 독성 유기물 및 중금속의 주요 오염원이 비점오염원에 의한 것으로 밝혀지고 있으며, 폐쇄성 수역의 경우 영양물질의 80% 이상이 비점오염원에 의한 것으로 계산되고 있다(Novotony와 Chesters, 1981). 도시화에 따른 불투

수층 증가는 주로 도로, 주차장, 광장 등의 증가와 함께 수질의 악화를 초래한다(Deltic와 Mahsimivic, 1998; Novotony, 1995).

본 연구에서는 강우 시 비점오염원 조사 현장 모니터링을 통해 토지피복지도 중분류군 중 교통지역에 속하는 철도지역에서의 비점오염원 유출형태를 파악하고, EMCs 및 유출부하량을 산정하였다. 또한 철도지역에서의 초기세척현상 발생 유·무를 NCL-curve (Normalized cumulated-curve)를 작성하여 목적상 확인한 후 MFFn을 산정하여 수량화 하였다. 이를 통해 향후 철도지역에 대한 비점오염원 저감시설 설치시 우수 기준을 설정할 때 기초자료로서 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 연구방법

2.1. 조사지점 현황

조사대상 지점의 선정 기준은 단일토지피복특성을 조사하기위해 조사지점 외부로 부터의 유입이 없고, 토지피복 내 다른 형태의 토피피복이 포함되지 않는 지점 선정을 기준으로 하였다. 본 연구의 조사대상 지점은 토지피복지도 중분류군 중 교통지역에 포함되는

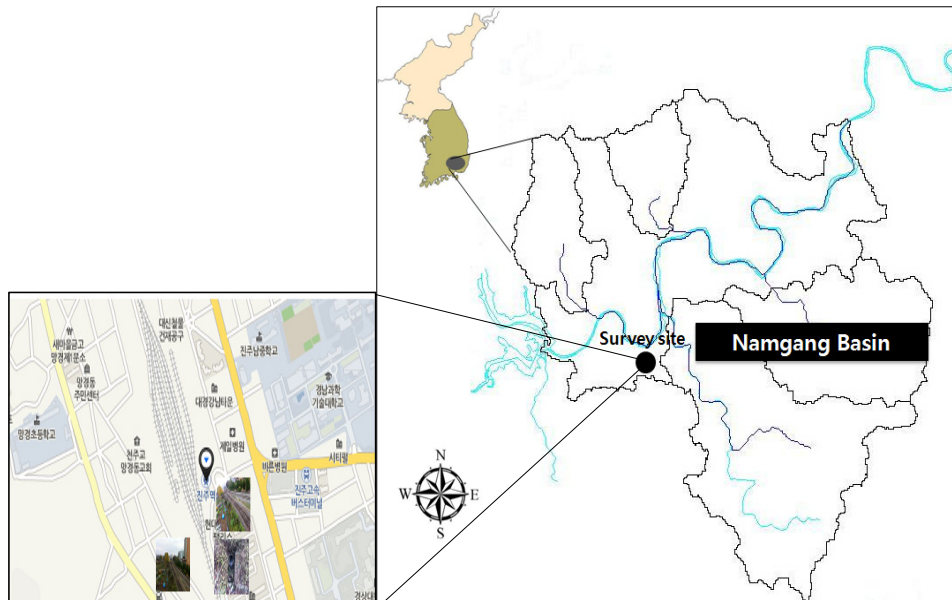


Fig. 1. Location of survey site.

철도지역으로 역사 및 철로를 포함하여 강우유출수가 배출되는 특성을 지니고 있다. 지역적으로는 낙동강 수계에 속하는 남강유역으로 유출수가 남강으로 유입되는 주약천으로 배출되고 있으며, 선로에는 자갈이 도포되어 있고, 하부에는 성토선로 양옆으로 우수차집 관로가 설치되어 있다. 따라서 대부분의 강수가 투수성을 나타내는 철로에서는 침투되는 특성을 나타낸다. 우수가 차집 되는 하부 원형 우수관로(직경 600 mm)는 집수면적이 10,140 m²(선로길이 338 m, 선로폭 30 m)이다. 우수관거가 설치되어 있고 집수가 이루어지는 선로의 경사도는 0-1 % 내외로 선로 내부의 소형 콘크리트 우수관로에 차집되어 진다. 또한 강우유출수는 소하천에 유입되어 주약천을 경유하여 최종적으로 남강 본류에 유입되고 있으며, 하루에 수질 관측망이 위치하고 있다.

2.2. 강우유출수 모니터링

현장에서의 조사는 기상청의 일기예보를 통해 현장에 강우강도계 및 유량계를 설치하여 조사 대상지점에서 일어나는 강우 형태에 따른 유출수의 변화를 실측하였다. 실측에 사용된 강우강도계는 Tipping bucket mechanism 방식의 호주 Environdata Environmental Monitoring & Management 사의 RG-20으로 1분 단위의 강우량 측정이 가능하며, 유량계의 경우 비만관 전자식 유량계로 미국 MARSH McBIRNEY 사의 Flo-ToteⅢ로 1분 단위의 유량측정이 가능하다. 조사 대상지점에 대한 유량계의 설치는 최종 유출구에 설치하여 외부로부터 강우유출수의 유입이 없는 상황에서 유출량을 조사 하였다.

강우시 현장 모니터링 방법은 국립환경과학원에서 개정된 ‘강우유출수 조사방법’에 준하여 이루어졌고 불가할 시 가장 근접한 기상청 자료를 활용하였다.

수질 분석용 시료의 채취는 강우에 따라 유출이 발생하는 시점을 T1로 하여 이후 유출 초기에는 5분 간격으로 시료를 채취하고, 이후 10분, 30분, 1시간, 2시간의 간격으로 초기강우에 의해 발생하는 유출수를 최대한 확보하였다. 유출발생이 오랜 시간 지속되는 경우 탁도의 변화를 실시간으로 관찰하여 조사자가 시간간격을 조절하여 유출수 채취를 실시하였다. 시료채취 지점은 유량측정에 영향을 주지 않는 최종 말

단 부위에서 채취하였고, 시료의 전처리 및 분석은 ‘수질오염공정시험법’에 따라 실시하였다.

2.3. 강우사상별 EMCs 산정

강우 시 발생하는 강우유출수 오염물질 농도 및 유출유량은 강우량, 강우강도, 선행무강우일수, 강우지속시간 등에 따라 변화되기 때문에 특정시간의 유량과 농도 자료만 가지고 특정강우사상의 대표 유량 및 농도로 사용할 수 없다. 따라서 강우사상별 대표 농도를 확보하기 위해서는 강우사상 전 기간 동안 시간대별 유량 및 수질을 조사하여 각각의 수질 농도에 유량이 가중된 농도를 조사하여 각 강우사상별 대표 농도로 사용하여야 강우사상별 특성을 농도 값에 반영할 수 있다. 이와 같이 유출 시간대 별 유출량이 고려된 농도가 EMCs(Event mean concentrations)이며, 이는 식 (1)에서 보는 바와 같이 강우 발생 시 대상유역에서 유출되는 오염물질의 각 시간대별 총량을 유출량으로 나눈 값으로 정의 된다(Novotony, 1995).

$$EMC = \frac{\text{Discharged mass during event}}{\text{Discharged volume}} \tag{1}$$

$$= \frac{\sum_{t=0}^T C(t) \cdot Q(t)}{\sum_{t=0}^T Q(t)}$$

여기서, “t” 는 유출시점으로부터의 경과시간, Q(t)는 시간 t에서의 유출량(m³/s), C(t)는 시간 t에서의 오염물질농도(mg/L)와 유출률을 의미한다.

$$\text{Pollutant loading per watershed area (mg/m}^2\text{)} \tag{2}$$

$$= \frac{EMC(\text{mg/L}) \cdot Q(\text{m}^3)}{\text{Area}(\text{m}^2)}$$

식 (2)는 유역면적 대비 오염물질 부하량을 나타내고 있으며, 이러한 부하량 산정식은 EMCs와 유출량 및 유역면적을 고려하여 산정되어진다.

2.4. 초기세척현상

초기세척현상이란 강우 초기에 강우유출수의 농도가 급격히 증가한 후 서서히 감소하는 현상으로 정의하고 있다(Matthias 등, 2009). 동일한 유역에서도 강우량 및 강우지속시간에 따라 초기세척현상의 발생 유·무가 달라 질수 있다고 발표 하였고(Lee과 Bang, 2000), 전통적인 도시지역, 임야지역 및 개발이 진행 중인 지역에 대한 강우유출조사를 바탕으로 누적유량

-부하량비 곡선을 작성하여 초기세척효과를 분석하였다(Bedient 등, 2002).

본 연구에서는 초기세척효과의 규명을 위해 각각의 강우사상에 대해 유출 시간대별 유출량과 오염물질별 부하량 변화 조사를 통한 누적유출량과 누적부하량 비를 이용하였다. 초기세척효과 유무 판단은 식 (3)과 (4)를 통해 가능하며, 동일 강우사상에서 비점오염물질 별로 다른 유출 특성을 보일 수 있기 때문에 오염물질별 초기세척효과 분석을 위해서는 조사대상 모든 수질항목에 대해 초기세척현상을 분석하여야 한다(Matthias 등, 2009).

$$[P_i/\sum P_i]/[Q_i/\sum Q_i] > 1 : \text{Flushing} \quad (3)$$

$$[P_i/\sum P_i]/[Q_i/\sum Q_i] \leq 1 : \text{NoFlushing} \quad (4)$$

여기서, $[P_i/\sum P_i]$ 와 $[Q_i/\sum Q_i]$ 는 강우유출수의 누적부하량비와 누적유출량비를 의미 한다. 누적부하량과 유출량비 곡선은 강우사상의 유출특성을 잘 보여 줄 수 있으며, 만약 전체 강우시간 동안 균일한 유출수질을 보인다면, 곡선은 원점을 지나고 기울기가 1인 직선이 된다. 기울기가 1보다 크면 클수록 초기세척현상이 강한 것이며, 1보다 작으면 작을수록 그 반대의 현상이 발생한다고 볼 수 있다. 즉 누적부하량 곡선이 누적유출량 곡선 위에 위치할 때 초기세척현상이 발생한다(Han 등, 2006). 본 방법은 초기 강우유출수 처리 목표량에 따른 최소처리량 결정을 위한 기법 중 하나로 사용할 수 있으며 이를 통해 하천 및 호수에 대한 비점오염물질의 영향정도를 줄여 수질개선에

기여할 수 있다.

2.5. 초기세척 비율

강우에 의한 강우유출수의 초기세척 비율은 MFF (Mass first flush ratio)를 이용하여 각 오염물질과 강우에 대해 정량화 할 수 있다(Matthias 등, 2009). 정량화 된 값은 초기강우기준을 의미하며 누적 강우량기준과 강우지속 시간 기준으로 표현할 수 있다(Lee과 Bang, 2000).

MFF_n은 식 (5)에서 제시된 바와 같이 강우지속시간에 따라 다양하게 변화하는 강우유출수 중의 오염물질 부하량과 유출량을 특정시점에서 강우유출율과 오염물질 유출율로 계산할 수 있다(Jannet 등, 2008).

$$MFF_n = \frac{\int_0^{T_1} c(t) \cdot q(t) dt}{M} \div \frac{\int_0^{T_1} q(t) dt}{V} \quad (5)$$

여기서, n은 강우지속시간 중 일정시점에서의 유출량부피를 의미하고, 범위는 0-100% 이다. q(t), c(t)는 t 시간에서의 유출량과 오염물질별 농도, M과 V는 각각 유출오염물질 부하량과 유출량을 의미한다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1. 강우유출수 모니터링 결과

철도지역에 대해 2011년부터 2012년 까지 강우 시 유출이 발생된 Events를 Table 1에 나타내었다. 각각

Table 1. Summary of various events in the railroad area

Event No.	Date	Area (m ²)	ADD ¹⁾ (day)	Rainfall duration (hr)	Rainfall (mm)	Total rainfall (m ³)	Total runoff (m ³)	Rainfall intensity (mm/hr)	Runoff rate ²⁾
1	2011-09-11		3	3.3	18.0	182.5	22.50	5.40	0.12
2	2011-10-14		13	5.1	20.3	205.8	20.70	4.01	0.10
3	2012-03-16		7	6.5	22.5	228.2	23.85	3.47	0.10
4	2012-03-30	10,140	12	7.8	34.2	346.8	17.65	4.37	0.05
5	2012-04-02		3	11.6	55.2	559.7	47.05	4.76	0.08
6	2012-05-14		7	10.6	44.8	454.3	57.07	4.23	0.13
7	2012-06-30		4	3.4	16.5	167.5	27.76	4.81	0.17

¹⁾ ADD = Antecedent dry days

²⁾ Runoff Rate = Total runoff / Total rainfall

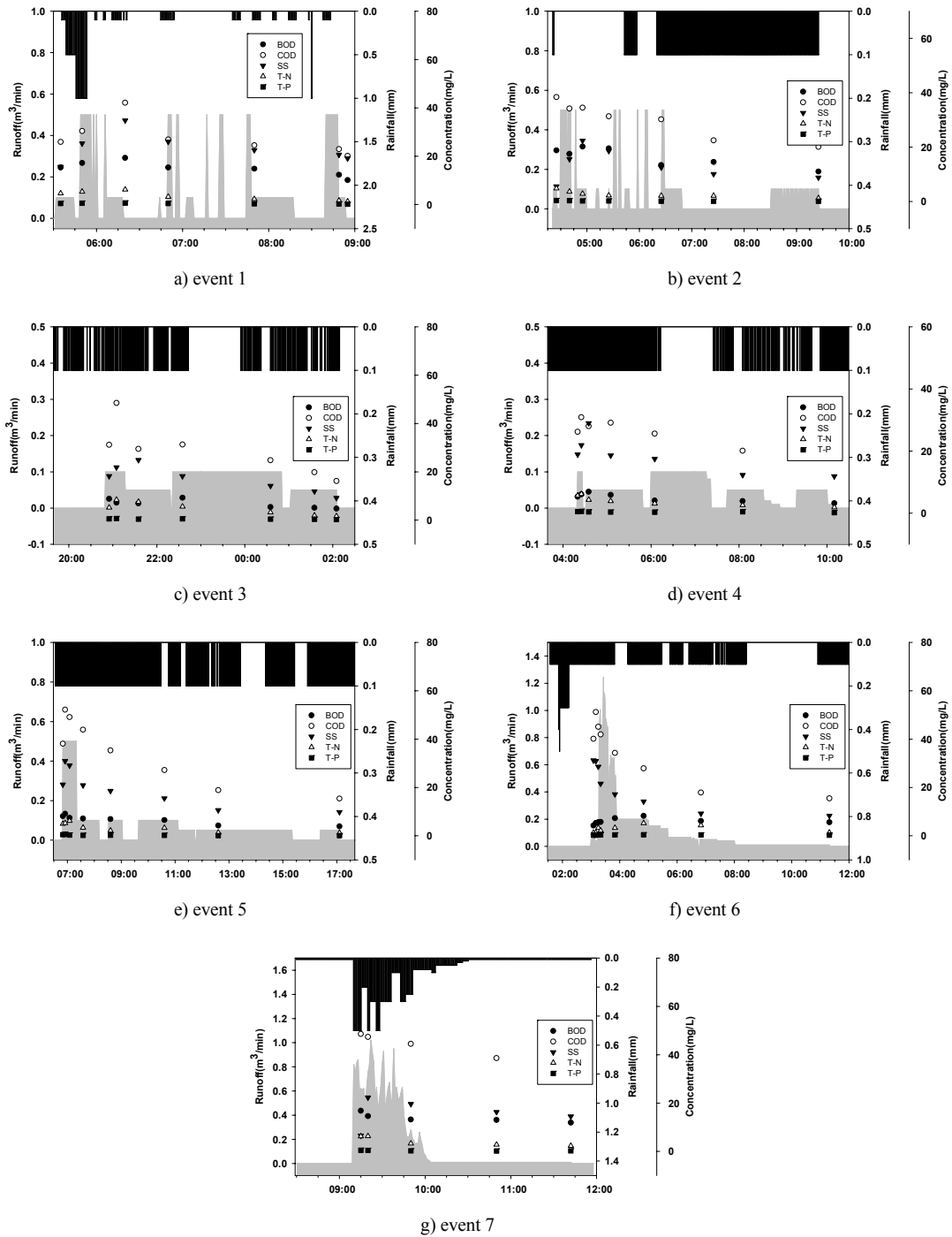


Fig. 2. Variation of non-point sources concentration by rainfall and runoff.

의 강우사상은 강우량이 18-55 mm까지 다양하게 조사되었으며, 강우지속시간은 3.3-11.6 hr까지 조사되었다. 가장 높은 유출율을 보인 강우사상은 2012년 6월 30일 발생한 강우사상으로 강우강도가 4.81 mm/hr로 조사되었다. 강우사상들 중 Event 5와 Event 6의 경우 강우량이 각각 11.6 mm, 10.6 mm로 유사하였으나 유출율은 Event 5가 0.08, Event 6이 0.13으로 상이하게 나타났다. 철도지역의 경우 토지피복지도 중분류군 중 교통지역에 해당하는 피복으로서 불투수율이 높은 특성을 보일 것으로 생각하였으나, 실제 피복형태는 선로의 투수성 피복비율이 높고, 불투수 피복의 경우 우수관거 시설이 되어있어 투수성 토지피복의 유출형태를 보이는 것으로 판단된다. 또한 강우사상별 평균 유출율이 0.11로서 중분류 토지피복군 중 농경지와 유사한 유출율을 나타내었다.

철도지역에서의 비점오염원 유출 형태를 파악하기 위해 조사된 강우사상의 시간대별 모니터링 결과를 Fig. 2에 나타내었다. Event 1은 강우지속시간이 3.3 hr, 강우량 18 mm인 강우사상으로, 강우발생 약 10분 후 유출되었다. 오염물질의 유출 형태는 유출발생 초기에 유출량의 증가에 따라 농도가 증가하다 감소하는 형태를 나타내었다. 특히 COD의 경우 가장 높은 농도를 나타내었으며, 증가 및 감소되는 변화폭도 가장 크게 조사되었다. Event 2의 경우 강우시작 후 약 5분 후에 유출이 발생하였는데 선행무강우일수가 Event 1보다 10일이 길었다. 이는 본 조사지점의 토지피복 형태

가 불투수보다 투수율이 높은 이유로 인해 선행무강우일수가 유출에 미치는 정도가 낮음을 알 수 있다. 오염물질의 유출형태는 Event 1과 같이 유출발생 초기에 높은 농도를 보이다 점차 감소하는 것으로 조사되었다. 나머지 Event 3-7의 경우도 앞선 강우사상과 같이 강우 발생 후 빠른 시간 내에 유출이 발생되었고, 강우 초기에 오염물질이 높은 농도로 유출됨을 알 수 있다. Event 2와 Event 5의 경우 강우지속시간동안 강우량의 변화가 없었으나, 유출초기에 높은 농도의 유출이 발생되어 오염물질 유출 농도에 대한 강우량의 영향도는 낮은 것으로 판단할 수 있다.

3.2. 비점오염원별 EMCs 및 유출부하량 산정

철도지역의 강우 시 유출수의 오염물질별 EMCs 및 유출부하량을 산정하여 Table 2, Table 3 및 Fig. 3에 나타내었다. 철도지역의 강우사상별 EMCs를 살펴보면, BOD5 4.1-15.3 mg/L, COD 21.9-44.8 mg/L, SS 12.9-25.2 mg/L, T-N 2.338-4.012 mg/L, T-P 0.165-0.435 mg/L의 범위로 조사되었으며, 평균 EMCs는 BOD5 9.6 mg/L, COD 29.9 mg/L, SS 16.7 mg/L, T-N 3.271 mg/L, T-P 0.269 mg/L로 산정되어 유기성오염물질의 농도가 영양염류에 비해 높은 것으로 산정되었다. 강우사상별 EMCs의 최대/최소비의 경우 BOD5 3.76으로 가장 높고, 다음으로 T-P 2.63, COD 2.04, SS 1.95, T-N 1.72로 산정되어 강우사상별 비점오염원의 EMCs 차이가 크게 발생하는 것으로 나타났다.

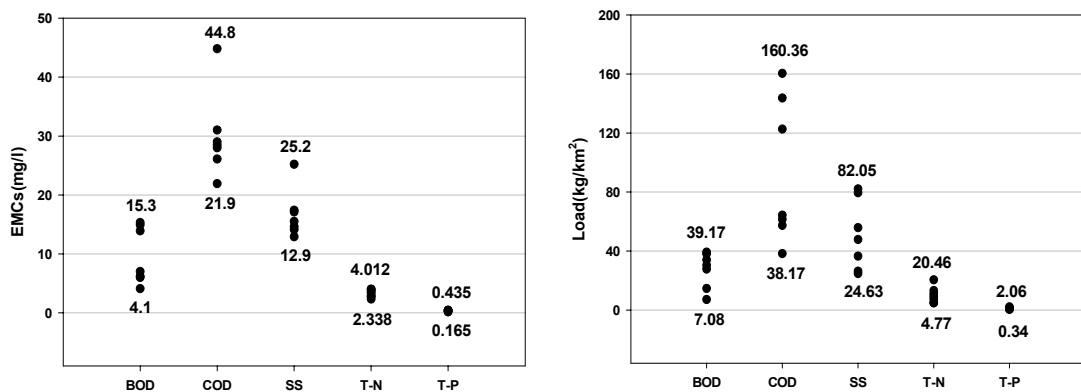


Fig. 3. Range of nonpoint sources EMCs and load.

Table 2. EMCs of nonpoint sources at railroad area

(unit : mg/L)

Event No.	BOD5	COD	SS	T-N	T-P
1	15.3	29.0	25.2	3.352	0.382
2	14.9	28.0	12.9	2.338	0.165
3	6.2	26.1	15.5	3.932	0.435
4	4.1	21.9	14.1	2.781	0.400
5	6.0	31.0	17.1	2.845	0.199
6	7.0	28.5	14.6	3.635	0.366
7	13.9	44.8	17.4	4.012	0.301
Ave.	9.6	29.9	16.7	3.271	0.321
Max.	15.3	44.8	25.2	4.012	0.435
Min.	4.1	21.9	12.9	2.338	0.165

Table 3의 유출부하량 산정 결과를 살펴보면, BOD5 7.08-39.17 kg/km², COD 38.17-160.36 kg/km², SS 24.63-82.05 kg/km², T-N 4.77-20.46 kg/km², T-P 0.34-2.06 kg/km²의 범위로 조사되었으며, 평균 유출부하량의 경우 BOD5 27.26 kg/km², COD 92.55 kg/km², SS 50.35 kg/km², T-N 10.13 kg/km², T-P 0.96으로 산정되었다. 강우 사상별 부하량의 최대/최소비는 T-P가 6.10으로 가장 높고, BOD5 5.53, T-N 4.29, COD 4.20, SS 3.33 순으로 산정되어 EMCs 최대/최소비와는 차이를 보였다. 유역에 대한 직접적인 오염정도를 파악할 수 있는 유출부하량의 값이 강우사상에 따라 크게 차이가 발생하였으며, 비점오염원별 유출부하량의 정확한 발생 및 유출 정도 파악을 위해서는 장기적인 모니터링을 통한 실측자료기반 구축이 절실히 필요함을 알 수 있다.

Table 3. Origination load of nonpoint sources at railroad area

(unit : kg/km²)

Event No.	BOD5	COD	SS	T-N	T-P
1	33.91	64.25	55.82	7.44	0.85
2	30.34	57.26	26.32	4.77	0.34
3	14.57	61.45	36.50	9.25	1.02
4	7.08	38.17	24.63	4.84	0.70
5	27.70	143.71	79.37	13.20	0.92
6	39.17	160.36	82.05	20.46	2.06
7	38.04	122.65	47.74	10.98	0.82
Ave.	27.26	92.55	50.35	10.13	0.96
Max.	39.17	160.36	82.05	20.46	2.06
Min.	7.08	38.17	24.63	4.77	0.34

3.3. 비점오염원별 초기세척효과 분석

철도지역의 강우 시 모니터링자료를 활용하여 Pollutograph를 도시하였고, 이를 통해 강우 유출수 발생 초기에 유출수 농도가 높다는 것을 Fig. 2를 통해 확인하였다. 본 장에서는 강우에 따른 유출수의 초기 세척현상을 분석하기 위해 비점오염원별 유출부하량 및 강우유출량에 대한 누적곡선을 도시하여 Fig. 4에 나타내었다. 강우유출수의 초기세척현상 규명을 위해 다양한 방법을 적용해 보았으며(Matthias 등, 2009), 그 중 NCL-curve(Normalized cumulated-curve)를 이용한 방법이 가장 좋은 결과를 도출할 수 있다는 연구 결과를 나타낸바 있다.

비점오염원별 조사된 전체의 강우사상 모니터링 결과를 적용하여 NCL-curve를 목적으로 분석한 결과 대다수의 강우사상의 기울기 값이 1을 초과하는 것으로 조사되었으며, 그 중 T-N의 경우 초기세척현상이 가장 강한 것으로 나타났다. BOD의 경우 목적 상 초기세척현상이 약한 것으로 나타났다.

3.4. 비점오염원별 초기세척비율 산정

앞서 모니터링 전체 강우사상에 대해 Pollutograph 및 NCL-curve를 이용하여 오염물질별 초기세척현상의 발생 유·무를 확인하였으며, 본 장에서는 MFFn (Mass first flush ratio)를 이용하여 비점오염원별 초기세척현상을 수량화 하였다.

Table 4는 비점오염원별 계산된 MFFn의 범위를 나타내고 있으며, n의 범위는 10-90 %로 조절하여 산정하였다. 기존 연구자의 결과에 따르면 MFF20의 평균치가 2.5라고 한다면 초기우수유출수의 부피 20 %에 비점오염원별 부하량의 50 %를 포함 하는 것을 의미한다.

철도지역에서의 초기세척비율 산정 결과를 살펴보면, 먼저 선행연구에서 MFFn의 기준으로 가장 많이 적용된 MFF30 을 기준으로 삼을 경우 전체 평균값은 1.51로 조사 되어, 초기우수 유출수의 부피 30 %에 비점오염원 부하량이 45.3 %를 포함하는 것으로 조사 되었다. 비점오염원별로는 MFF30에서 T-N이 43.8 %로 가장 높게 조사 되었고, 두 번째로 높은 항목으로는 T-P가 38.7 %로 조사되었으며, 다음으로는 COD 38.1 %, SS 37.2 %, BOD5 36.0 %의 순으로 조사되었다.

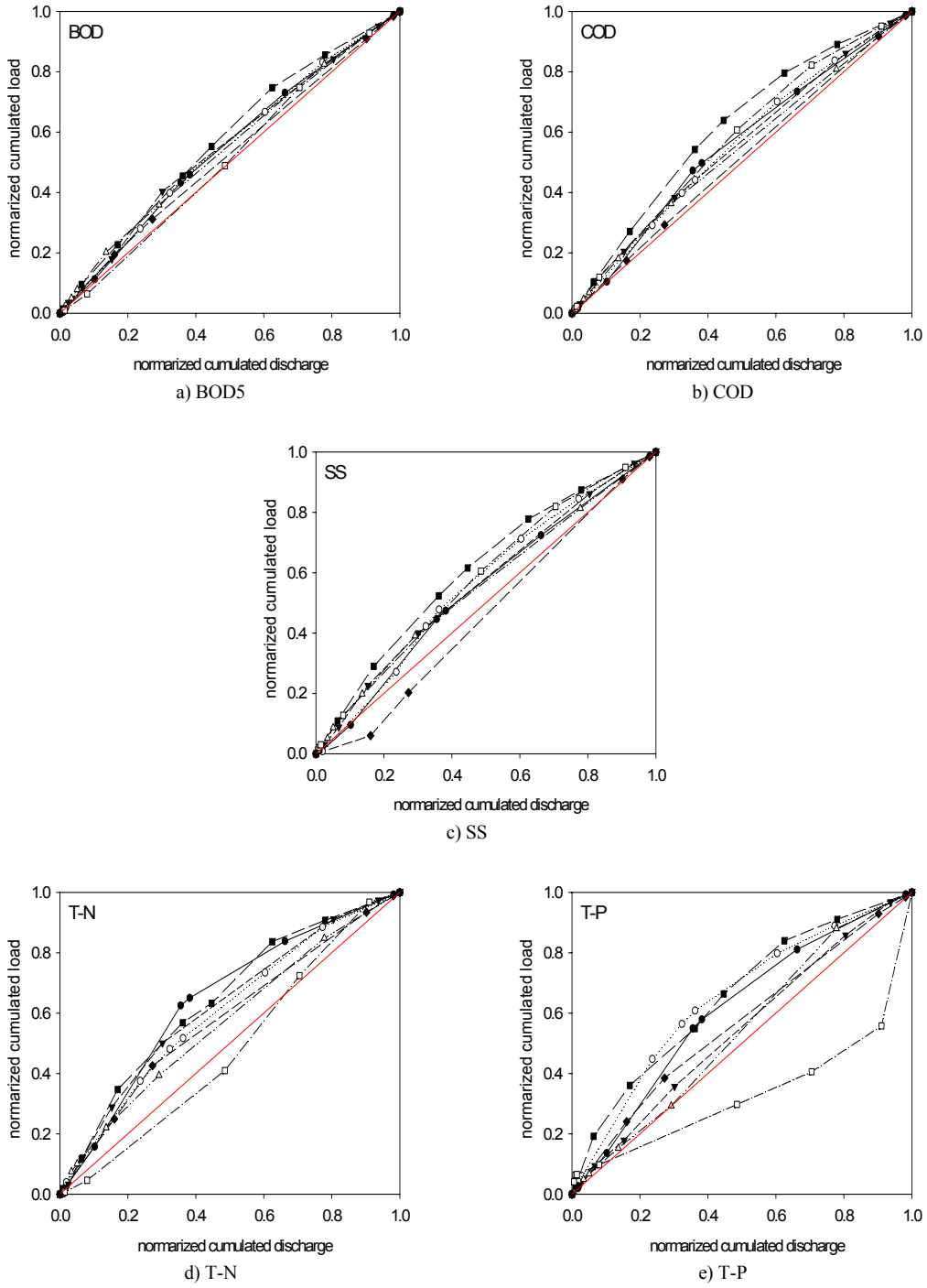


Fig. 4. Normalized cumulative load curve of nonpoint sources.

Table 4. MFFn for precipitation events at various quality parameters in railroad

Item	MFF10	MFF20	MFF30	MFF40	MFF50	MFF60	MFF70	MFF80	MFF90
BOD5	0.80-1.50	0.80-1.49	1.01-1.34	1.01-1.34	1.01-1.34	1.05-1.20	1.01-1.20	1.01-1.10	1.00-1.10
COD	1.02-1.61	1.02-1.59	1.07-1.50	1.07-1.50	1.07-1.43	1.04-1.27	1.02-1.27	1.01-1.17	1.00-1.14
SS	0.37-1.71	0.37-1.71	0.74-1.50	0.74-1.50	0.74-1.38	0.74-1.24	1.01-1.24	1.00-1.16	1.00-1.12
T-N	0.58-1.83	0.58-2.04	0.84-1.76	0.84-1.70	0.84-1.70	1.03-1.56	1.03-1.34	1.01-1.16	1.00-1.16
T-P	1.12-3.01	1.12-2.12	0.61-1.74	0.61-1.68	0.61-1.68	0.58-1.41	0.58-1.34	0.58-1.17	0.61-1.17
Average	1.89	1.62	1.51	1.39	1.24	1.20	1.17	1.07	1.02

Table 5. Average MFFn of various parameters in railroad

Item	MFF10	MFF20	MFF30	MFF40	MFF50	MFF60	MFF70	MFF80	MFF90
BOD5	1.22	1.19	1.20	1.20	1.20	1.10	1.08	1.05	1.02
COD	1.34	1.30	1.27	1.27	1.26	1.13	1.11	1.07	1.03
SS	1.22	1.24	1.24	1.24	1.23	1.08	1.10	1.07	1.03
T-N	1.51	1.54	1.46	1.45	1.42	1.23	1.15	1.09	1.04
T-P	1.64	1.48	1.29	1.28	1.27	1.15	1.07	1.02	0.98

4. 결 론

2011년부터 2012년까지 토지피복지도 중분류군의 교통지역에 속하는 철도지역에서의 비점오염원 모니터링 결과를 바탕으로 오염물질별 유출특성을 분석하였고, 비점오염물질별 EMCs 및 유출부하량을 산정하였다. 또한 NCL-curve를 통해 초기세척현상의 발생 유·무를 구분한 후 비점오염원별 MFFn을 산정하여 철도지역에서의 초기세척현상을 수량화 하여 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 철도지역의 피복형태는 선로의 투수성 피복비율이 높고, 불투수 피복의 경우 우수관거 시설이 되어있어 투수성 토지피복의 유출형태를 나타내었다. 또한 강우사상별 평균 유출율이 0.11로서 중분류 토지피복군 중 농경지와 유사한 유출율을 나타내었다.

2) 비점오염원의 유출형태는 유출발생 초기에 높은 농도를 보이다 점차 감소하는 것으로 조사되었고, 강우 발생 후 빠른 시간 내에 유출이 발생되어 강우 초기에 비점오염원이 높은 농도로 유출됨을 알 수 있다.

3) 철도지역의 강우 시 유출수의 비점오염원별 EMCs

평균은 BOD5 9.6 mg/L, COD 29.9 mg/L, SS 16.7 mg/L, T-N 3.271 mg/L, T-P 0.269 mg/L로 산정되어 유기성오염물질의 농도가 영양염류에 비해 높은 것으로 산정되었다. 평균 유출부하량의 경우 BOD 27.26 kg/km², COD 92.55 kg/km², SS 50.35 kg/km², T-N 10.13 kg/km², T-P 0.96 kg/km²으로 산정되었다.

4) 비점오염원별 조사된 전체의 강우사상 모니터링 결과를 적용하여 NCL-curve를 목적으로 분석한 결과 대다수의 강우사상의 기울기 값이 1을 초과하는 것으로 조사되었으며, 그 중 T-N의 경우 초기세척현상이 가장 강한 것으로 나타났다.

5) 철도지역에서의 초기세척비율 산정 결과, 선행연구에서 MFFn의 기준으로 가장 많이 적용된 MFF30을 기준으로 삼을 경우 전체 평균값은 1.51로 조사되어, 초기우수 유출수의 부피 30%에 비점오염원 부하량이 45.3%를 포함하는 것으로 조사되었다. 비점오염원별로는 MFF30에서 T-N이 43.8%로 가장 높게 조사되었고, 두 번째로 높은 항목으로는 T-P가 38.7%로 조사되었으며, 다음으로는 COD 38.1%, SS 37.2%, BOD5 36.0%의 순으로 조사되었다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 낙동강수계관리위원회의 “환경기초조사사업비” 및 “경남과학기술대학교 기성회 연구비 지원”에 의하여 연구되었습니다.

참 고 문 헌

- Bedient, P. B., Harned, D. A., Characklis, W. G., 2002, Stormwater analysis and prediction in Houston, J. Environ., 45(9), 249-254.
- Deltic, A. B., Mahsimivic, C. T., 1998, Evaluation of water quality factors in storm runoff from paved areas, J. Envir. Eng., 124(9), 869-879.
- Han, Y. H., Han, S. L., Kayhanian, M., Stestrom, M. K., 2006, Correlation analysis among highway stormwater pollutants and characteristics, Water Sci. Technol., 53(2), 235-243.
- Janet, B., Sergio, P., Michael, K., Stenstrom, 2008, First flush in a combined sewer system, Chemosphere, 71, 827-823.
- Lee, J. H., Bang, K. W., 2000, Characterization of urban stormwater runoff, Water Res., 34(6), 1773-1780.
- Matthias, O., Karl-Heinz, R., Marie-George, T., 2009, Investigation of first flushes in medium-sized mediterranean catchment, J. Hydro., 373, 405-415.
- Novotony, V., Chesters, G., 1981, Handbook of nonpoint pollution source & management, Van Nostrand Reinhold, 156-266.
- Novotony, V., 1995, Nonpoint pollution and urban stormwater management, Pennsylvania, USA. Van Nostrand Reinhold, 244-287.