

서해안 고속도로 매송지역 비점오염원 원단위 산정 연구

Evaluation of Basic Unit for Non-point Pollutants in Runoff of West Coast Highway - Maesong Area

박 세 용¹⁾ · 모 경²⁾ · 김 이 형³⁾ · 강 희 만⁴⁾ · 김 문 일[†]

Park, Seyong · Mo, Kyung · Kim, Leehyung · Kang, Heeman · Kim, Moonil

ABSTRACT : In this study, evaluation of basic unit of non-point pollutant, which is fundamental evaluation of non-point loading, was conducted using both road point and angle of intersection point in Maesong area, West coast highway by utilizing Event Mean Concentrations(EMC). Concentration of pollutants except heavy metals at these two points rapidly decreased in 30 minutes after start of runoff. According to the results of EMC, for both sampling points, it was determined that the concentrations of TSS(Total Suspended Solid), BOD₅(Biological Oxygen Demand), and DOC(Dissolved Organic Carbon) were higher than those of wastewater effluent standard in Korea, however, the concentrations of T-N(Total Nitrogen) and T-P(Total Phosphorus) were lower than those of the standard. In terms of heavy metals, Fe, Pb, and Zn showed higher concentrations than others. When compared with the units established by the Ministry of Environment in Korea, the basic units of BOD₅ and T-N in this study were lower. On the other hand, when compared with foreign units, Cu, Pb, and Zn showed approximately 10 times higher concentrations. It was estimated that a long term monitoring should be conducted for obtaining additional data and more reliable basic units for the non-point pollutants based on the results from this study.

Keywords : Basic unit, Event Mean Concentrations(EMC), Highway, Non-point pollutant

요 지 : 본 연구에서는 고속도로에서 발생하는 비점오염원 부하량 계산의 기초가 되는 비점오염물질의 원단위 산정을 위해 서해안 고속도로 매송지역 도로지점과 교각지점 두 지점을 대상으로 수문곡선과 농도분석을 하고 유량가중평균농도(Event Mean Concentrations, EMC)를 이용하여 원단위를 평가하였다. 중금속을 제외하고 대부분의 강우사상에서, 강우가 시작되고 유출이 시작된 이후 초기 30분 이내 오염물질의 농도는 급격히 줄어들었다. EMC 분석 결과 두 지점 모두 TSS, BOD₅, DOC가 하수처리수 방류수 기준보다 높게 나왔으며, T-N, T-P는 낮게 검출되었다. 중금속 변화에서는 두 지점 모두 Fe과 Pb 그리고 Zn 등이 다른 중금속 속에 비해 많이 검출되었다. 원단위 산정 결과 환경부 원단위와 비교하였을 때 BOD₅, T-N이 낮게 계산 되었으나, 중금속의 경우, 외국의 원단위와 비교하였을 때 Cu, Pb, Zn 이 약 10배 가량 높은 것으로 나타났다. 좀 더 신뢰성 있는 원단위 산정을 위해서는 현재까지 모니터링된 자료를 활용하고, 추가적인 자료의 획득을 위한 장기적인 모니터링 계획이 수립되어야 할 것으로 판단된다.

주요어 : 원단위, 유량가중평균농도(EMC), 고속도로, 비점오염원

1. 서 론

환경부는 기존의 농도규제로는 하천의 수질개선을 달성할 수 없다는 결론 하에 4대강에 대한 수질오염총량제를 도입하여 실시하고 있으며, 개정된 수질환경보전법에는 비점오염원에 대한 정의뿐만 아니라, 각종 개발 사업으로부터 강우 유출수 관리를 명시하고 있는데, 일정규모 이상의 도시개발, 산업단지조성 그 밖에 비점오염원에 의한 오염을 유발하는 사업으로써 대통령령이 정하는 사업에 대하여 비점오염원 관리를 위한 시설을 설치하도록 하고 있어 수생태계 보전에 대한 필요성이 증대되고 있다(환경부, 2009).

비점관리시설 등의 비점오염 최적관리기법 수립 시, 발생하는 오염물질에 대한 부하량 산정이 무엇보다도 우선시 되어야 한다. 현재 토지이용에 따른 부하량 산정 시 도로의 경우, 비점오염원 발생 부하량 원단위가 별도로 제정되어 있지 않고 있으며, 대지(대지, 공장용지, 학교용지, 도로, 철도, 유원지 포함)에 대해 제시된 발생원단위를 사용하고 있어서 토지이용에 따른 비점오염 발생 부하량 산정 시 과대 혹은 과소 산정될 가능성이 높다(Charbeneau 등, 1998; Choe 등, 2002).

대부분 도로 노면에서는 고농도의 비점오염물질이 유출되고, 포장 도로 이외의 지점(법면, 사면 등)에서 유출되는

1) 정희원, 한양대학교 건설환경공학과 석사과정

2) 비희원, 한양대학교 건설환경공학과 석사과정

3) 비희원, 공주대학교 건설환경공학부 교수

4) 정희원, 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원

† 정희원, 한양대학교 건설환경공학과 부교수(E-mail : moonilkim@hanyang.ac.kr)

비점오염물질의 농도는 매우 낮음에도 불구하고 도로 설치를 위하여 편입된 모든 부지에 대지의 원단위를 적용하고 있는 실정이다. 미국의 경우 1990년 이후 미국 EPA주관으로 오염총량관리제(Total Maximum Daily Load, TMDL)를 도입하여 각 토지이용별 비점오염물질의 종류 및 유출 특성을 파악하여 처리를 위한 기초자료를 연구하고 있다(U.S. EPA, 1983). 국내에서도 2010년 이후 시작되는 수질오염총량제도에 오염총량관리물질을 생화학적산소요구량(BOD, Biological Oxygen Demand) 이외 총인(T-P, Total Phosphorus) 및 총 유기화합물(TOC, Total Organic Carbon) 등으로 변경 시행할 계획이며 이후에는 중금속류도 포함시킬 계획에 있다(환경부, 2007).

강우 시 고속도로로부터 유출되는 강우유출수내 오염물질에 대한 모니터링은 원단위 산정 시 매우 중요하며, 장기간에 걸쳐 수행되는 모니터링 결과는 이러한 토지이용에 대해 발생하는 부하량 산정 시 신뢰도를 높일 수 있으며, 중요한 자료로써 향후 비점저감시설 설치 시 필수적인 역할을 하게 된다.

따라서 본 연구에서는 다양한 토지이용 중 고속도로에서 발생하는 비점오염원 부하량 산정에 기초가 되는 비점오염

물질 원단위를 서해안 고속도로 매송지역을 대상으로 유량 가중평균농도(Event Mean Concentrations, EMC)를 이용하여 산정, 평가하고, 향후 장기적인 모니터링의 기초자료로 활용할 수 있도록 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 모니터링 지점 및 샘플방법

모니터링은 그림 1과 같이 서해안 고속도로 매송 IC 지점의 도로와 교각 2지점을 2007년 9월 5일부터 2008년 8월 12일까지 강우 시 총 8회 실시하였다. 강우가 시작된 후 강우량과 유출량은 timer를 이용하여 1분 단위로 측정하고 메스실린더를 이용하여 그 양을 측정하였다. 유출되는 유출수의 수질 특성을 파악하기 위하여 강우가 시작된 직후 첫 번째 수질샘플이 채취되었으며, 향후 15분까지 5분 간격으로 수질모니터링이 이루어 졌고, 15분부터 1시간까지는 15분 단위로, 그리고 1시간 이후에는 1시간 간격으로 강우 유출이 끝날 때까지 수질 모니터링을 수행하였다.

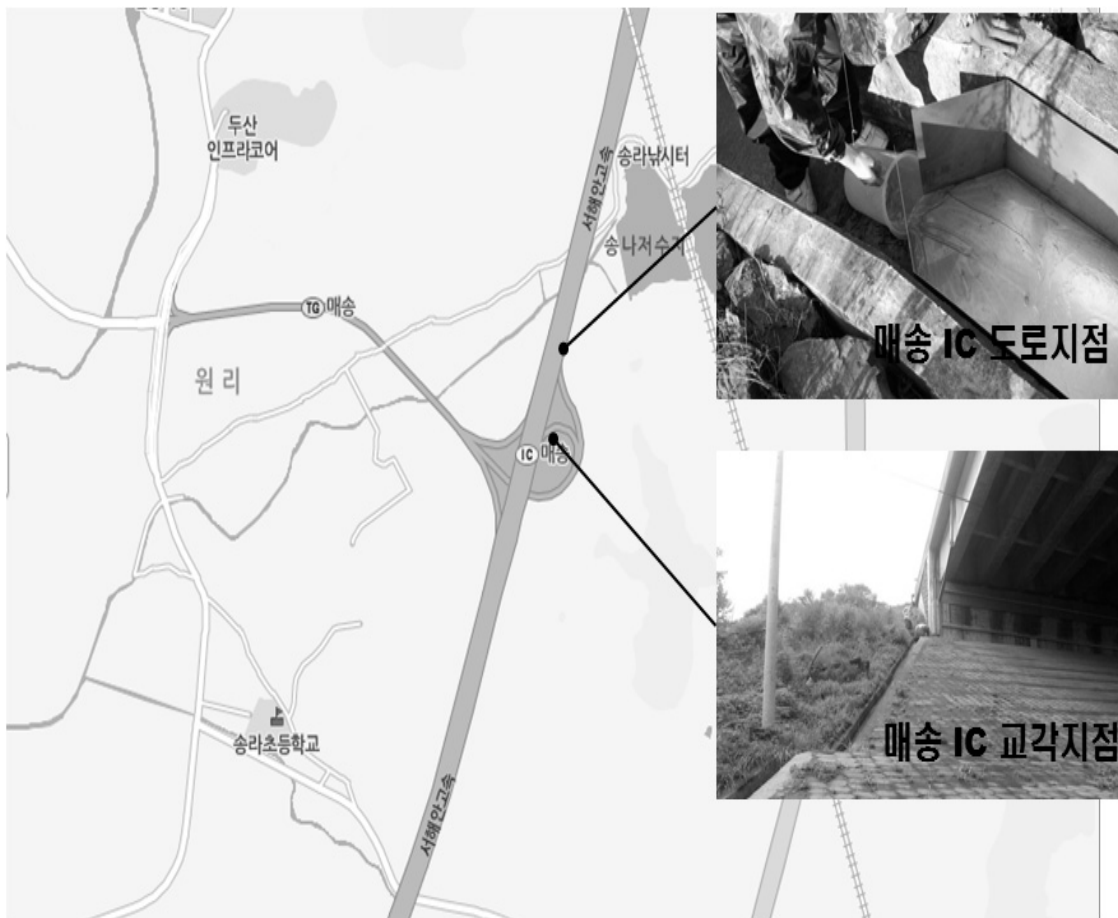


그림 1. 모니터링 지점

2.2 분석방법

채취된 시료는 Standard methods(2005)에 의해 BOD₅, DOC, TSS, T-N, T-P 탁도를 분석하였으며, 중금속 측정은 SpectrAA(220FS, Varian, Australia)를 사용하여 구리, 납, 아연, 크롬, 철, 니켈 총 6종의 중금속을 분석하였다. 중금속 측정을 위해 수질공정시험법 4항 시료의 전처리 방법에서 질산에 의한 방법으로 분해를 해서, GF/C filter paper(Whatmal International Ltd., Japan)로 고액분리하여 분석하였다. 탁도는 HACH 2100Q Portable Turbidimeter(HACH Ltd., USA)를 이용하여 분석하였다. 분석된 측정치에 식 (1)을 이용하여 유량가중평균농도(Event Mean Concentrations, EMC)를 구하였다(Chow 등, 2008).

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

여기서, T: 전체강우지속시간(h), C: 중금속의 양(mg/L), Q: 유출량(L)

계산된 EMC와 수원기상청에서 제공되는 30년 대표 월 강수량(기상청, 2008)를 이용하여 원단위를 산정하였다(식 (2))(김이형 등, 2004).

$$\text{원단위}_z = (\text{대표년강수량} \times EMC_z \times R_z) / 365 \quad (2)$$

여기서 대표년 강수량은 30년 평균 월강수량의 합(mm), EMC_z는 토지피복분류 z의 대표농도(μg/L), R_z는 토지피복분류 z의 대표유출률, 원단위 z는 토지피복분류 z의 발생원 단위(g/km²·day)이다.

표 1. 강우사상에 대한 모니터링 결과

회수	날짜	넓이(m ²)		건기 일수 (day)	총 강우량 (mm)	강우 지속시간 (hr)	강우강도 평균 (mm/hr)	강우 시작 시간	강우 종료 시간	실제 유출 시작 시간	실제 유출 종료 시간
		도로지점	교각지점								
1	07/09/05	282.7	1176.1	3.1	5.5	5.0	1.1	14:30	20:30	15:20	09/05 17:30
2	07/09/14	282.7	1176.1	4.0	79.0	5.0	15.8	13:00	19:45	15:45	09/15 8:30
3	07/11/19	282.7	1176.1	4.4	8.0	2.0	4.0	20:40	23:05	20:45	23:05
4	08/05/18	282.7	1176.1	4.0	54.0	5.0	10.8	12:30	8:35	3:30	22:00
5	08/06/02	282.7	1176.1	4.0	42.5	4.2	10.1	18:00	22:10	18:00	24:00
6	08/06/08	282.7	1176.1	2.0	17.0	2.0	8.5	15:35	21:30	18:30	21:30
7	08/07/23	282.7	1176.1	2.0	5.5	2.0	2.8	9:00	11:15	9:15	23:50
8	08/08/12	282.7	1176.1	2.5	24.0	1.0	24.0	17:00	18:45	17:40	08/13 7:00

3. 결과 및 고찰

3.1 모니터링 결과

표 1은 서해안 고속도로 매송지역의 도로지점과 교각지점의 모니터링 된 강우사상을 정리하여 나타낸 표이며 선행 무강우 일수, 강우량, 강우유출지속시간, 평균 강우 강도 등의 자료를 포함하고 있다.

본 연구의 대상이 된 두 지점의 강우사상을 분석한 결과, 건조일수의 범위는 2~5일로 나타났으며, 총 강우량은 5.5~79mm의 범위로, 강우유출시간은 1~5hr, 강우강도는 0.1~15.8mm/hr의 범위로 분석되었다.

3.2 수문 및 농도 변화

비점오염물질은 강우에 의해서 유역에서 유출되며 강우 유출수의 농도는 유출되는 유출량과 밀접한 관계를 보이기 때문에 유출농도 그래프와 수문 그래프를 동시에 표시해서 분석을 해야 한다. 이러한 특징은 점오염과는 전혀 다른 특징으로 유출수율 및 농도의 변화는 모니터링 계획수립 시 중요하게 고려되어야 하는 것으로 그 결과를 유출농도 그래프 및 수문 그래프로 분석하고자 한다.

그림 2와 3은 도로지점과 교각지점의 수문 및 농도 변화 곡선을 강우지속시간별로 나타낸 그래프로써, 도로지점의 경우 수문의 특징은 약 140~160분대에서, 교각지점은 120~140분대에서 유출량이 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다. 유출량은 강우 강도가 강하면 증가하고 강우 강도가 약해지면 감소한다. 연구에서는 강우가 시작되고 약 120~160분대에서 강우강도가 가장 강했던 것으로 생각된다. 도로지점과 교각지점의 수문을 비교하였을 때 강우가 시작되고 측정이 종료되는 180분 동안 도로지점의 전체 유량은 0.68m³/min 이고, 교각 지점의 전체 유량은 3.31m³/min 으로 교각지점

이 도로지점보다 약 5배 정도 높았다. 이는 강우가 지속되는 동안 도로지점의 경우 한 지점으로 강우가 집수 되지 않고, 여러 지점으로 강우가 집수되어 이러한 결과가 나타났다고 판단된다.

두 지점 모두 중금속을 제외한 다른 항목의 유출농도 변화 특징은 초기 강우 현상과 비슷한 경향을 보여주고 있으며, 대부분의 강우사상에서 강우가 시작되고 유출이 시작된 이후 초기 30분 이내 오염물질의 농도는 급격히 줄어들며

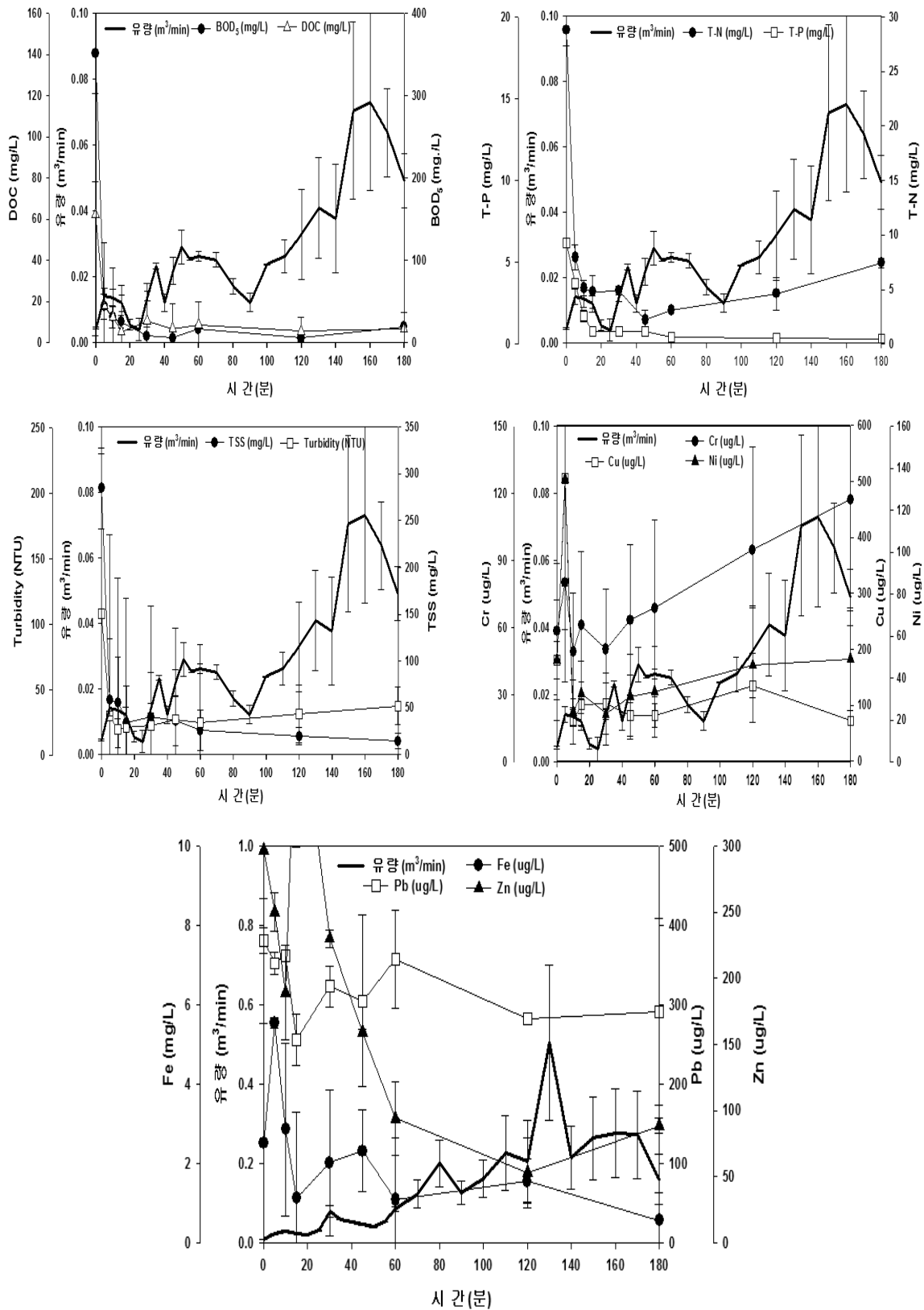


그림 2. 매송 IC 도로지점의 수문 및 농도 변화

그 이후로는 완만한 경향을 보여주고 있다. 이것은 고속도로 강우 유출수에 영향을 주는 인자로서 강우 초기에 고농도의 오염물질이 유출되고 이후 시간이 지남에 따라 농도가

낮아지는 초기강우현상 때문으로 판단된다(Randall 등, 1978; Hewitt 등, 1992). 또한 유출 후반부에서 오염 물질의 초기 강우 현상이 나타나지 않는 이유는 상대적으로 강우강도가

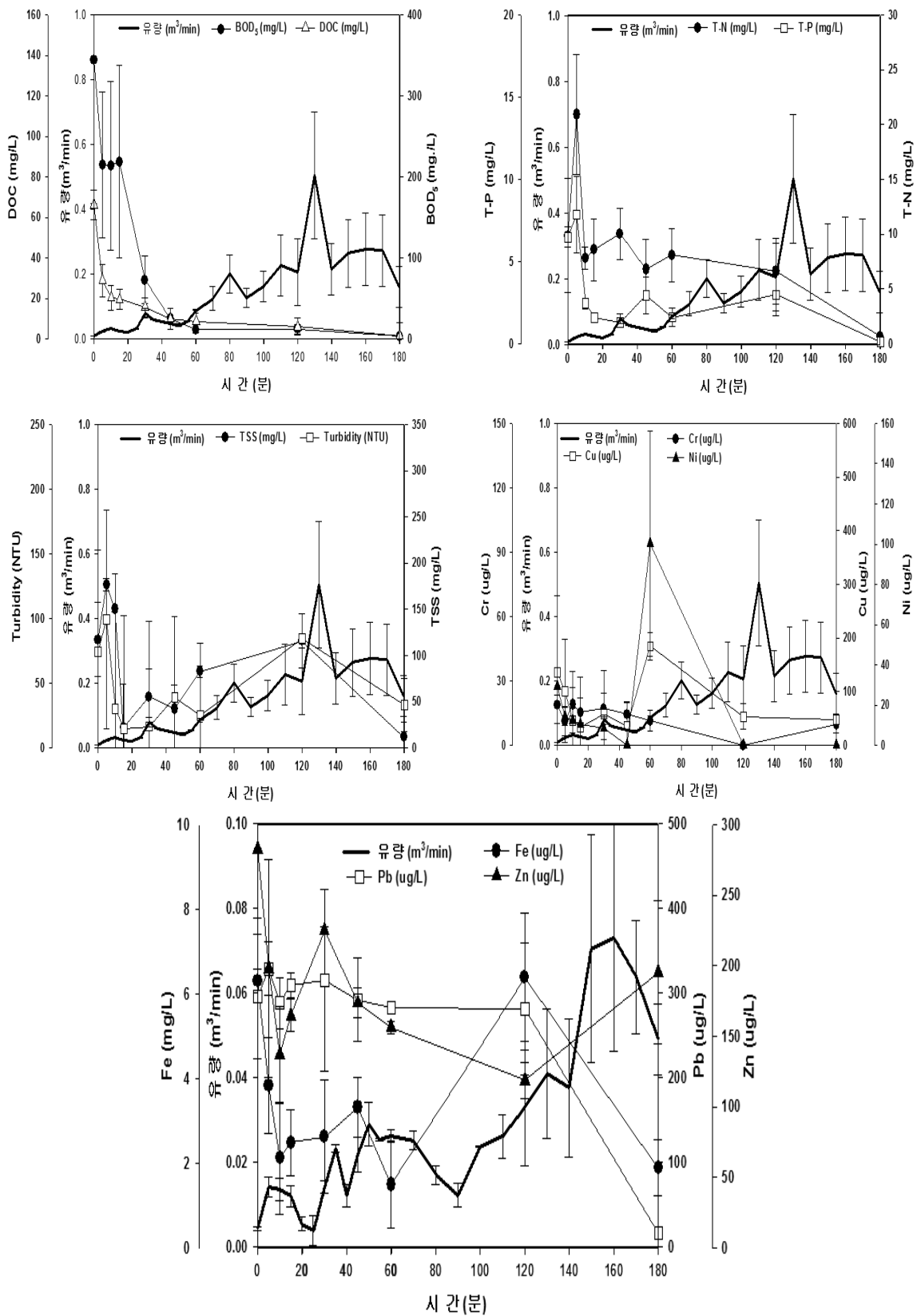


그림 3. 매송 IC 교각지점의 수문 및 농도 변화

약하기 때문인 것으로 보인다(김이형 등, 2005).

두 지점 모두 증금속 변화에서는 30분 이후에 완만한 경향이 나타나지 않고 있다. 이는 시료 채취 동안 지속적으로 고속도로에서 차량의 운행이 진행되면서 유출되는 증금속 때문이라 분석된다. 차량운행은 도로표면의 증금속의 침적에 대한 주요한 발생원이라 알려져 있다(Bourcier 등, 1979). 도로표면의 침적된 증금속은 강우유출수로 발생되는데, Fe, Zn, Cr, Cu, Ni, Pb 등이 주로 검출되며(Wanielista 등, 1980), 강우유출수내 증금속 농도는 불투수율, 경사도 증가에 따라 증가된다(Helsel 등, 1979). 본 연구에서는 증금속 중에서도 Fe과 Pb 그리고 Zn 등이 다른 증금속에 비해 많이 검출되었다. East-West Gateway Coordinating Council(2000) 보고서에 의하면 철은 고속도로 구조물 즉, 다리와 가드레일 그리고 차량의 엔진 부분에서 상당량 유출이 된다고 보고되고 있으며, 아연은 차량의 타이어, 모터오일 등에서 납은 타이어, 배기가스, 베어링 등의 부분에서 유출이 된다고 보고되어 있다. 또한, 겨울철 제설 작업을 위해 탄산칼슘(CaCO₃), 소금 등을 이용할 경우 고속도로 표면에 염소, 나트륨, 칼슘 등의 물질들이 남아 있어 이 또한 비점오염원의 문제로 제기 된다(Driscoll 등, 1990).

강우유출이 시작된 초기를 중심으로 강우가 지속되면서 전체적으로 농도가 감소되었다. 따라서 비점오염원 최적관리를 위해서는 초기 유출수 관리가 중요할 것이라 판단된다.

3.3 EMC 평가

표 2는 도로지점과 교각지점의 강우시 유출되는 비점오염물질의 농도를 시간에 따른 유량자료를 고려하여 산정되는 농도인 유량가중평균농도(EMC)를 산정하였다.

도로지점의 EMC 결과 TSS는 59.4, BOD₅ 19.1, DOC 9.6mg/L로 분석 되었으며, 영양염류의 경우 T-N 3.3, T-P 0.8mg/L로 분석되었다. 하수처리장 방류수 기준(환경부, 2008)과 비교하였을 때 TSS와 BOD₅ 그리고 DOC가 방류수 기준보다 높게 측정이 되었고 T-N과 T-P는 방류수 기준보다 현저히 낮게 측정되었다. 교각지점 역시 TSS 82.1, BOD₅ 34.3, DOC 15.4, T-N 5.6, T-P 1.5mg/L로써 방류수 기준과 비교하였을 때 TSS, BOD₅, DOC에서 기준 이상의 농도가 검출되었다. 이는 강우가 시작되고 초기 유출이 일어났을 때, 건기 동안에 쌓였던 부유 물질의 영향이 큰 것으로 판단된다. TSS의 영향을 줄이기 위한 처리 방법 제안이 필요할 것으로 생각된다. 교각지점이 TSS, BOD₅, DOC, T-N, T-P가 도로지점의 EMC보다 높게 계산이 되었다. EMC는 식 (1)에서 알 수 있듯이 유출되는 농도와 유량에 비례하는 것을 알 수 있다. 따라서 교각지점이 도로지점에 비해 유출농도와 유량값이 높았기 때문에 EMC의 값도 높게 계산이 되었다고 생각된다. 이는 앞서 설명하였듯이 도로지점의 경우 한 곳으로 집수가 되지 않고 여러지점으로 집수되면서 교각지점에

표 2. 도로지점과 교각지점의 강우 사상 별 EMC

지점	회수	TSS (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	DOC (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	Cu (ug/L)	Pb (ug/L)	Zn (ug/L)	Cr (ug/L)	Ni (ug/L)	Fe (mg/L)
도로 지점	1	51.66	11.79	9.00	3.43	0.36	82.14	57.51	300.60	175.04	87.10	3.87
	2	41.10	3.00	2.87	1.07	0.50	29.13	14.87	172.61	12.23	0.00	1.83
	3	40.59	21.72	12.98	7.64	0.48	114.12	30.20	311.84	2.38	0.08	2.21
	4	97.87	47.32	4.02	5.91	2.93	183.98	338.87	88.26	0.00	62.24	3.19
	5	77.74	15.89	5.45	0.00	0.70	36.39	166.83	38.92	0.00	0.00	0.73
	6	49.45	10.05	5.46	2.87	0.20	222.59	88.80	35.49	0.00	0.00	2.41
	7	65.66	16.12	12.08	5.26	1.31	129.57	700.58	92.85	0.00	0.00	3.11
	8	51.04	26.66	24.86	0.51	0.11	208.41	643.09	79.78	0.00	0.00	1.59
	평균	59.40	19.10	9.60	3.30	0.80	109.70	255.10	140.00	23.70	18.70	2.37
표준 편차	19.90	13.49	7.18	2.76	0.92	74.61	277.43	110.87	61.293	35.19	1.00	
교각 지점	1	48.29	14.61	9.08	3.32	0.39	55.89	35.78	248.52	20.07	0.10	3.06
	2	25.90	2.09	1.31	0.20	0.27	5.82	7.95	98.61	2.17	0.01	1.26
	3	156.18	155.97	41.19	16.02	3.81	283.33	702.50	861.05	32.67	31.35	20.43
	4	79.24	44.59	25.26	4.23	2.30	111.12	512.06	62.95	0.00	7.52	4.73
	5	145.73	12.56	10.75	0.45	3.79	65.38	189.70	96.16	0.00	0.00	4.28
	6	91.45	5.79	5.24	0.10	0.12	79.18	482.71	18.23	0.00	0.00	2.49
	7	77.20	14.90	9.18	20.11	0.96	128.91	664.76	7.53	0.00	0.00	2.42
	8	32.75	24.01	21.26	0.33	0.02	157.46	690.13	88.47	0.00	0.00	25.581
	평균	82.10	34.30	15.40	5.60	1.50	110.90	410.70	185.20	6.90	4.90	7.86
표준 편차	48.39	50.85	13.08	7.92	1.618	83.98	291.51	282.83	12.52	11.01	9.40	

비해 유출농도 및 유량이 낮게 측정이 되었다고 판단된다.

중금속의 경우 Pb, Zn, Fe 성분이 두 지점에서 다른 중금속속에 비해 많이 검출이 되었다. 이는 고속도로 구조물, 차량의 엔진 부분, 차량의 타이어, 모터오일, 배기가스, 베어링에서 상당량 유출이 되었다고 판단되며(East-West Gateway Coordinating Council, 2000), 중금속 오염을 줄이기 위한 제안으로 고속도로 구조물 및 차량의 부품 등의 개선이 필요할 것으로 생각된다.

도로지점과 교각지점의 EMC를 비교하였을 때 Cr, Ni을 제외한 모든 항목에서 교각지점의 농도가 높게 분석되었다.

3.4 원단위 산정

본 연구의 원단위 산정은 수원 기상청의 강우량 분석 자료와 EMC 자료, 실측유출계수를 이용하여 앞서 제시한 원단위 계산 방법으로 산정하였다. 원단위는 오염물질의 EMC 농도와 유출을 및 년 간 강우량으로부터 산정하는데, 유출율은 강우계급별 평균 유출계수와 계급별 발생빈도의 자료를 이용하여 산정할 수 있고, 산정방법에 따라 유출율을 계산한 결과 유출율은 0.65로 분석되었다.

유출율은 모니터링 지역의 강우특성과 관련 있는 것으로 다양한 강우계급에 대한 유출율을 고려하여 고속도로 원단위 산정 및 평가가 되어야 한다고 판단된다. 계산된 유출율 0.65를 바탕으로 원단위 산정을 하였다.

고속도로의 원단위 산정 시 주행도로인 고속도로 지역에 대해서 산정하여 평가하는 것이 바람직하며, 영업소와 휴게

소등의 원단위를 포함시켜 평균값으로 원단위를 제시하기에는 무리가 있다고 판단된다.

표 3은 본 연구의 대상지인 도로지점과 교각지점의 원단위 평균값을 나타낸 표이다.

표 4는 본 연구에서 산정된 원단위의 결과 값과 환경부에서 제시하고 있는 원단위, 본 연구에서 검토한 외국의 참고 문헌 원단위 값을 비교한 것이다. 외국의 참고문헌 원단위 값은 다양한 지점에 대하여 모니터링 된 자료이기에 값이 교통량이 많은 지역도 있을 수 있고, 교통량이 적은 지역도 포함되어 있을 수 있다. 그림 4는 본 연구로 산정된 원단위와 환경부의 원단위(환경부, 2006)를 비교한 그래프이다. TSS와 DOC의 경우 환경부 원단위가 없어서 비교가 불가능했지만, TSS의 경우 186.32로써 가장 높은 원단위를 보였다. 환경부 기준과 비교한 BOD₅, T-N은 낮게 나타났으며,

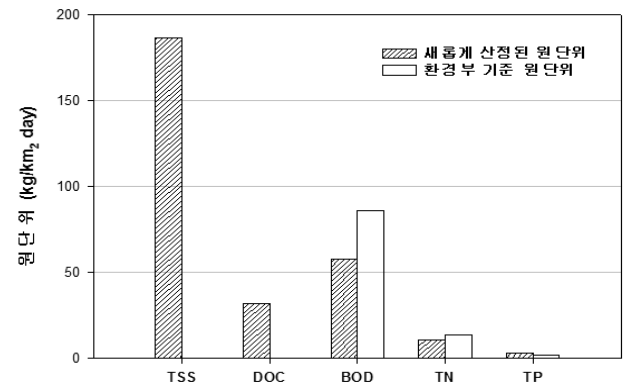


그림 4. 새롭게 산정된 원단위와 환경부(2006)기준 원단위 비교

표 3. 도로지점과 교각지점의 평균 원단위 산정

항 목	원단위(kg/km ² ·day)	항 목	원단위(g/km ² ·day)	항 목	원단위(g/km ² ·day)
TSS	186.32	Fe	8.51	Cu	0.31
DOC	32.10	Pb	0.65	Ni	0.046
BOD ₅	57.77	Zn	0.35	Cr	0.059
T-N	10.98				
T-P	2.8				

표 4. 고속도로 지역에 대한 원단위 비교

항 목	본 연구에서 산정된 원단위 (g/km ² ·day)	환경부 원단위 (g/km ² ·day)	외국문헌상 평균 원단위 (g/km ² ·day) (U.S EPA, 1984)
TSS	186,320	-	-
DOC	32,100	-	-
BOD ₅	57,770	85,900	2,400
T-N	10,980	13,690	-
T-P	2,800	2,100	2,800
Total Cu	0.31	-	0.05
Total Pb	0.65	-	0.07
Total Zn	0.35	-	0.20

T-P는 높게 나타났다. 이는 모니터링 시의 통행량, 차종 등이 영향을 주는 것으로 판단되며 향후 위와 같은 요소들의 추가적인 조사 및 연구를 통하여 정확한 원단위 산정이 필요하다. Cu, Pb, Zn의 경우 본 연구에서 산정된 원단위가 외국 평균 원단위보다 약 10배가량 높은 것으로 나타났다. 이는 외국과 우리나라의 차량 종류 및 차량 수가 다르기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 우리나라 실정에 맞는 중금속 원단위 산정이 필요할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 고속도로에서 발생하는 비점오염원 부하량 산정에 기초가 되는 비점오염물질의 원단위를 서해안 고속도로 매송 지역을 대상으로 유량가중평균농도(Event Mean Concentrations, EMC)를 이용하여 산정, 평가하였고, 그 결론은 다음과 같다.

- (1) 모니터링 결과 건조일수의 범위는 2~5일로 나타났으며, 총 강우량은 5.5~79mm의 범위로, 강우유출시간은 1~5hr, 강우강도는 0.1~15.8mm/hr의 범위로 분석되었다.
- (2) 수문 및 농도의 분석결과, 두 지점 모두 중금속을 제외하고 대부분의 강우사상에서, 강우가 시작되고 유출이 시작된 이후 초기 30분 이내 오염물질의 농도는 급격히 줄어들며 그 이후로는 완만한 경향을 보여주고 있다. 오염 물질의 초기강우 현상이 나타나지 않는 이유는 상대적으로 강우강도가 약하기 때문인 것으로 보여 진다.
- (3) EMC 분석 결과 두 지점 모두 TSS, BOD₅, DOC가 하수처리수 방류수 기준보다 높게 나왔으며, T-N, T-P는 낮게 검출되었다. 상대적으로 TSS가 다른 물질들에 비해 높게 나타났다. TSS의 영향을 줄이기 위한 처리 방법 제안이 필요할 것으로 생각된다. 중금속 변화에서는 두 지점 모두 Fe과 Pb 그리고 Zn 등이 다른 중금속에 비해 많이 검출이 되었다. 이는 고속도로 구조물, 차량의 엔진 부분, 차량의 타이어, 모터오일, 배기가스, 배어링 등의 부분에서 유출이 일어나기 때문이라 판단된다.
- (4) 원단위 산정 결과 환경부 원단위와 비교하였을 때 BOD₅, T-N이 낮게 계산되었으며, T-P의 경우 약 0.7kg/km²·day로서 약간 상승한 결과를 보였다. 중금속의 결과 외국의 원단위와 비교하였을 때 Cu, Pb, Zn 이 약 10배가량 높은 것으로 계산되었다. 따라서 우리나라 실정에 맞는 중금속 원단위 산정이 필요할 것으로 생각되며 신뢰성 있는 원단위 산정을 위해서 현재까지 모니터링 된 자료를 활용하여, 추가적인 자료의 획득을 위하여 장기적인 모니터링계획이 수립되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국도로공사의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 김이형, 강주형(2004), 고속도로 강우 유출수내 오염물질의 EMC 및 부하량 원단위 산정, *수질보전 한국물환경학회지*, Vol. 20, No. 6, pp. 631~640.
2. 김이형, 이선하(2005), 강우시 주차장 및 교량에서 유출되는 비점오염물질의 특성 및 비교 및 동적 EMCs, *수질보전 한국물환경학회지*, Vol. 21, No. 3, pp. 248~255.
3. 환경부(2006), *비점오염원관리 업무편람*, pp. 10~13.
4. 환경부(2007), *수질오염총량관리제도 및 추진현황*, pp. 7~8.
5. 환경부(2008), *하수처리수 방류수 수질 기준*, p. 1.
6. 환경부(2009), *수질 및 수생태계 보전에 관한 법률*, 제 2 조 2-5 항.
7. Bourcier, D. R. and Hinden, E.(1979), Lead, Iron, Chromium and Zinc in Road Runoff at Pullman, Washington. *Science of the Total Environment*, Vol. 12, No. 3, pp. 205~215.
8. Charbeneau, R. J. and Barret, M. E.(1998), Evaluation of Methods for Estimating Stormwater Pollutants Loads. *Water Environment Research*, Vol. 70, No. 7, pp. 1295~1302.
9. Choe, J. S., Bang, K. W. and Lee, J. H.(2002), Characterization of Surface Runoff in Urban Areas. *Water Science Technology*, Vol. 45, No. 9, pp. 249~254.
10. Chow, M. F., Yusop, Z.(2008), A Review of Event Mean Concentration(EMC) for Urban Stormwater Runoff, *International Conference on Environmental Research and Technology*, Penang, Malaysia, Ecological and Environmental Quality Studies, pp. 511~515.
11. Driscoll, E., Shelley, P. and Strecker, E.(1990), *Pollutant Loadings and Impacts from Highway Stormwater Runoff*, Vol. 1, Washington, D.C, Federal Highway Administration, pp. 1~4.
12. East-West Gateway Coordinating Council(2000), *Highway Runoff and Water Quality Impacts*, pp. 4.
13. Helsel, D. R., Kim, J. I., Grizzard, T. J., Randall, C. and Hoehn, R. C.(1979), Land Use Influences on Metals in Storm Drainage, *Journal of the Water Pollution Control Federation*, Vol. 51, No. 4, p. 709.
14. Hewitt, C. N. and Rashed, M. B. (1992), Removal Rates of Selected Pollutants in the Runoff Waters from a Major Rural Highway, *Water Research*, Vol. 26, No. 3, pp. 311~319.
15. Randall, C. W., Helsel, D. R., Grizzard, T. J. and Hoen, R. C.(1978), The Impact of Atmospheric Contaminants on Storm Water Quality in an Urban Area, *Progress in Water Technology*, Vol. 10, No. 5, pp. 417~431.
16. U.S. Environmental Protection Agency(1984), *Nonpoint Sources of Pollution in the U.S.*, U.S. Environmental Protection Agency Report to Congress. Washington, D.C., pp. 1~44
17. Wanielista, M. P., Yousef, Y. A. and Christopher, J. E.(1980), *Management of Runoff from Highway Bridges*, Report FL-ER-10-80, Florida Department of Transportation, Geospeleo Publications, Tallahassee, Florida, pp. 1~11.

(접수일: 2010. 3. 16 심사일: 2010. 4. 2 심사완료일: 2010. 6. 15)