

# 비점오염의 현황 및 적정 처리용량 산정을 위한 초기강우 기준 산정



김 이 형 | 정회원 · 공주대학교 건설환경공학부 교수  
2단계 BK21 비점오염방재전문인력양성사업팀장  
환경부 비점오염원관리위원회 위원

## 1. 수질오염 총량관리제 하에서 비점오염원 관리의 중요성

과거 30년간은 산업의 발달과 생활수준의 변화를 통해 야기되는 가정하수, 산업폐수 및 축산폐수 등의 점오염원 관리 시기였다. 이러한 점오염물질을 제거하기 위하여 많은 연구 및 기술개발이 이루어져 환경기초시설은 급속히 보급되었다. 또한 생활수준의 향상은 보다 나은 수질을 요구하기에 그 동안 지속적으로 방류수 수질기준은 강화되었다. 그러나 이러한 노력에도 불구하고 호소(湖沼) 및 하천수질은 악화되어 새로운 개념의 환경정책이 도입되기에 이르렀는데, 그것이 오염총량관리제이다. 산업의 발달과 토지이용의 고도화는 기존의 농도규제로는 하천의 수질 개선을 꾀할 수가 없기에, 하천수계로 유입되는 오염물질의 총량을 규제한다는 목적하에 오염총량관리제가 도입되었다. 오염총량이란 그림 1과 같이 하천으로 유입되는 전체 오염물질의 양, 즉 점오염물질 부하량, 비점오염물질 부하량 및 안전율의 합을 의미한다. 따라서 다양한 토지이용에서 기인하는 비점오염물질의 관리없이는 수질의 개선을 기대할 수 없다는 것이 선진국들뿐만 아니라 우리나라의

예에서도 쉽게 찾을 수 있다.

미국의 경우 오염총량관리제 대상 21,000여개의 오염수계 중 약 80% 이상이 비점오염원과 관련되어 있으나, 기술적 어려움으로 오염총량 계획에 어려움을 겪고 있는 실정이다(US. EPA, 1994). 우리나라의 경우 2003년 9월 및 2004년 4월에 선진국의 예를 따라 오염총량관리제를 도입하여 시행을 앞두고 있다. 현재 낙동강 유역을 포함한 4대강 유역에서 광역시-도 경계별 및 시-군 경계별로 목표 수질을 산정하였는데, 대부분의 목표지점에서 BOD기준으로 1mg/L에서 6mg/L 이하 수준의 목표수질을 요구한다. 4대강의 비점오염원에 의한 오염 부하량은 개략적으로 22~40% 정도를 차지하고 있으며, 특히 수도권 지역의 주요 상수원수인 팔당 상수원은 44.5%가 비점오염원에서 배출되고 있는 것으로 조사되었으며, 2020년에는 54.3%까지 증가할 것으로 예측하고 있다(환경부, 2004). 따라서 환경부는 2002년도에 [비점오염원 관리대책 수립계획]을 마련하였으며, 2004년 6월에 관계기관 합동으로 [물관리 종합대책의 추진강화를 위한 4대강 비점오염원관리 종합대책]을 발표하였다(환경부, 2004).

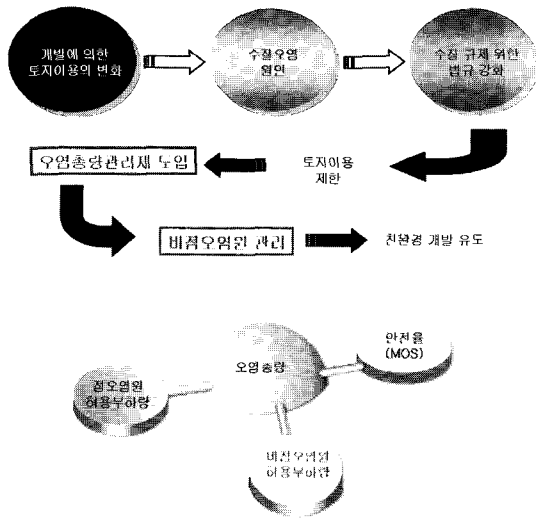


그림 1. 오염총량과 비점오염 부하량

### 1.1 도로 등 개발로 인한 환경수리학적 특성의 변화

비점오염원 관리는 오염총량관리제의 성공적 시행을 위하여 필수적인 연구 및 관리분야지만, 현재 우리나라는 기초자료 및 모니터링 결과의 부족으로 관리에 어려움이 크다. 특히 다양한 비점오염원 중에서 포장율이 높아 오염물질의 축적과 유출이 심한 도로, 주차장 및 교량지역은 하천 인근에 집중적으로

표 1. 개발사업으로 인한 불투수층 증가에 따른 환경수리학적 영향

강우시 불투수층의 증가	조래되는 영향				
	홍수 유발	수생 동식물 위해성	하천 침식	수로 확장	수로 바닥 변화
유량 증가	○	○	○	○	○
침투유량증가	○	○	○	○	○
침투유량 기간 증가	○	○	○	○	○
흐름의 온도 상승		○			
Base flow 감소		○			
Sediment 부하량 변화	○	○	○	○	○

로 건설되어 있거나 건설되고 있기에 하천수질에 직접적인 영향을 끼치고 있다.

도로를 포함하여 각종 개발사업은 불투수층 면적의 증대를 의미하며, 이는 표 1과 같이 비점오염물질의 유출 증가를 초래하게 됨과 동시에 인근 하천의 수질에 영향을 끼치고 있다.

### 1.2 토지이용별 비점오염물질 배출량

포장지역의 증가로 인하여 불투수층이 증가할시 인간과 차량의 활동으로 인하여 비점오염물질은 노면에 축적되게 되며, 강우시 이러한 오염물질들은 유출되게 된다. 일반적으로 불투수층이 2배 증가될 시 비점오염물질 부하량이 1.7~2.0배 증가하는 것으로 나타난다. 표 2는 국내 토지이용에 따른 비점오염물질의 배출 부하 현황과 전망을 나타내고 있다. 2005년도 기준으로 도시지역은 유역면적은 적지만 전체 BOD 배출량의 약 56%를 차지하고 있는데, 이는 도시지역, 즉 포장지역의 오염물질 관리가 중요함을 의미한다. 향후 국내 토지이용 변화 추세에 의하면 도시지역의 면적은 점점 늘어나고 있는 반면 상대적으로 농경지와 산림지역은 줄어드는 경향을 나타내고 있기에 불투수율이 높은 도시지역 비점오염물질의 배출량이 2020년에는 전체의 65.2%를 차지할 전망이다.

표 2. 토지이용별 비점오염물질 배출량 및 증가전망 (BOD, 톤/일, 환경부, 2004)

구분	계	도시(대지)	농경지	산림	기타
2005년	305.3 (100%)	170.5 (55.8%)	31.7 (10.4%)	48.2 (15.8%)	54.9 (18.0%)
2011년	332.0 (100%)	198.2 (59.7%)	31.0 (9.3%)	47.9 (14.4%)	54.9 (16.5%)
2020년	380.9 (100%)	248.4 (65.2%)	30.1 (7.9%)	47.5 (12.5%)	54.9 (14.4%)

## 2. 노면 비점오염물질의 종류 및 근원

도로를 포함하는 포장지역의 오염물질 유출이 관리대상으로 주요 관심의 대상이 되는 이유는 유역특성, 도로 및 교량의 위치, 축적되는 오염물질의 종류 및 관리의 용이성 때문이다. 주차장, 도로 및 교량지역은 작은 면적에 비해서 강우시 다른 토지이용에 비해 강우 유출량이 높다는 유역특성을 가지고 있으며, 상수원수인 하천의 중 및 횡방향으로 존재하기에 직접적인 오염 원인으로 작용하고 있다. 또한 지속적인 차량의 운행으로 인한 오염물질의 축적이 타 토지이용에 비해 심각하며, 강우시 초기에 고농도로 유출되는 특징, 즉 초기우수 현상(first flush effect)을 가지고 있기에 비점오염원 중에서 관심이 높다. 많은 차량의 운행 및 정차는 타이어, 자동차 엔진 등으로부터 각종 중금속, 유류 등을 유출시키고 있으며, 마

모된 도로포장은 다량의 입자상 물질을 유출시켜, 강우시 중금속을 흡착 이동시키는 원인으로 알려져 있다(Kim et al., 2004, 2005, 2006, 2007; 김 등, 2004, 2005, 2006).

표 3은 도로에서 발견되는 오염물질의 종류와 발생되는 원인을 보여주고 있다. 건조시 도로 노면에 축적되어 있던 oil, antifreeze, grease, 각종 금속물질 및 입자상 물질들은 강우시 유출수에 의해 하천으로 이동하여 하천의 수질을 악화시키는 원인으로 작용한다. 특히 oil, petroleum과 같은 유해 화학물질들은 물고기나 수생 동·식물들의 생존에 악영향을 끼치며, 시간의 경과에 의해 유입된 오염물질은 하천이나 호소 바닥의 퇴적층내로 침전하여 장기적 내부 오염의 원인으로 작용한다(Kim et. al., 2004, 2005).

토시는 강우 유출수의 많은 부분을 차지하는 오염

표 3. 포장된 지역에서 유출되는 오염물질 종류 및 발생원인

종 류	오 염 물 질	원 인
입자상 물질	입자상 물질	Pavement wear, vehicles, the atmosphere and maintenance activities
영 양 소	질소와 인	Atmosphere and fertilizer application
중금속	Lead	Leaded gasoline from auto exhaust and tire wear
	Zinc	Tire wear, motor oil and grease
	Iron	Auto body rust, steel highway structures such as bridges and guardrails, and moving engine parts
	Copper	Metal plating, bearing and brushing wear, moving engine parts, brake lining wear, fungicides & insecticides
	Cadmium	Tire wear and insecticides application
	Chromium	Metal plating, moving engine parts and brake lining wear
	Nickel	Diesel fuel and gasoline, lubricating oil, metal plating, brushing wear, brake lining and asphalt paving
	Manganese	Moving engine parts
	Cyanide	Anti-caking compounds used to keep deicing salt granular
	Sodium, calcium & chloride	Deicing salts
Hydrocarbons	Petroleum	Sulphates
		Roadway beds, fuel and deicing salts
		Spills, leaks, antifreeze and hydraulic fluids and asphalt surface leachate

물질로서, 광합성, 호흡, 성장, 생식에 장애를 일으킴으로써 수생생물에 치명적인 영향을 미치는 물질이며, 토사는 강우시 영양물질, 금속, 탄화수소 등을 비롯한 다른 오염물질을 흡착하여 이동하는 경향을 보인다. 영양물질(nutrients)은 유출될시 과도한 조류의 성장을 유발시키는 부영양화의 원인물질이며, 기름과 그리스(oil & grease)는 적은 양으로도 수생생물에 치명적일 수 있으며, 누출이나 사고, 차량 세척, 폐기름의 무단투기과정에서 발생한다. 강우 유출수에서 주로 발견되는 중금속(metals)은 납, 아연, 카드뮴, 구리, 니켈 등이며, 이들 중에서 50% 이상이 토사와 같이 배출된다고 보고되고 있다. 이와 함께 기타 비점오염물질들도 유출시 다양한 환경학적으로 위해를 끼치고 있다(Bertrand-Krajewski, 1998; Charbeneau and Barrett, 1998; Chiew and McMahon, 1999; Deletic and Mahsimivic, 1998). 그림 2는 포장지역에서의 비점오염원 근원을 나타내고 있다.

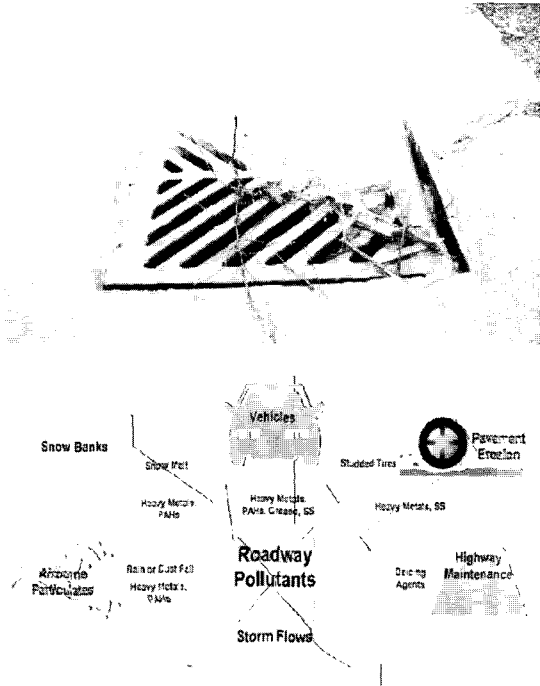


그림 2. 포장지역 비점오염원의 근원

### 3. 노면 비점오염물질의 유출 특성

#### 3.1 강우 유출수의 EMC 및 동적 EMC 산정

강우 유출수의 EMC(Event Mean Concentration, 유량가중평균농도)는 모니터링 계획에 따라 수집된 자료를 이용하여 1분당 유량과 오염물질의 농도를 고려한 평균농도로 다음 식 (1)에 의해서 산정이 가능하다. 식의 아래 부분은 automatic flow meter로 측정된 총 유량이며, 위 부분은 1분당 유량과 오염물질의 농도에 따른 총 오염물질 양을 나타낸다(이 등, 2006).

$$EMC(mg/L) = \frac{\sum_{t=0}^{t=T} C(t) \cdot q_{nm}(t)}{\sum_{t=0}^{t=T} q_{nm}(t)} \quad (1)$$

여기서  $q_{nm}(t)$ 와  $C(t)$ 는  $t$  시간에서의 유출율과 오염물질의 유출농도를 나타내고 있다. 이러한 EMC 값은 대상지역으로부터 유출되는 비점오염물질의 부하량 산정에 긴요하게 사용된다.

EMC는 비점오염물질의 부하량 산정에 긴요하게 이용되나 향후 비점오염물질의 경제적 적정 처리기준을 산정하기 위해서는 식 (1)의 EMC가 의미가 없다. 그 원인은 초기강우 현상 때문이다. 따라서 초기강우 기준을 적정하게 산정하기 위해서는 새로운 접근방식이 필요하다. 식 (2)는 초기강우 현상과 EMC의 상관성을 규명하기 위하여 본 연구진에 의하여 처음으로 제안되는 동적 EMC의 식을 나타내고 있다. 동적 EMC는  $t$ 시간의 강우지속시간 동안 유출된 오염물질의 EMC로 초기강우 현상이 발생되는 토지이용에서 지속적으로 동적 EMC가 감소하는 경향을 나타낸다. 즉 EMC는 전체 강우지속시간에 따른 유출 오염물질의 평균농도이지만, 동적 EMC는 강우지속시간에 따라 EMC가 지속적으로 변한다는 개념이다.

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

### 3.2 미국 포장지역에서의 EMC

미국을 비롯한 선진국들은 다양한 비점오염원 중에서 도로, 주차장 및 교량 등과 같은 포장된 지역을 우선 관리순위로 정하여 비점오염물질을 관리하고 있다. 그 이유는 포장지역이 강우 유출계수가 크며, 많은 인간 및 차량의 활동으로 인하여 오염물질의 유출부하량이 면적에 비하여 상당히 높기 때문이다 (이 등, 2006).

표 4는 미국 캘리포니아주 로스앤젤레스 지역 포장지역에서의 강우 유출수내 EMC 결과를 보여주고 있다. TSS의 경우 평균 EMC가 160mg/L, 평균 COD EMC는 178mg/L, 평균 TP EMC는 0.41 mg/L를 나타내고 있다. 이러한 농도는 국내 포장지역의 비점오염물질 유출 EMC와 좋은 비교가 될 수 있을 것으로 판단된다.

표 4. 미국 포장지역에서의 비점오염물질 유출 EMC (유량평균가중농도) (Kim et al., 2005, 2007)

Parameters (mg/L)	Basic Statistics					Confidence Interval	
	Min.	Max.	Median	Mean	St. Dev.	95% Upper	95% Lower
TSS	5.21	874	87.5	160	175	216	103
COD	13.5	776	103	178	182	252	104
TOC	7.36	59.3	12.8	18.1	13.3	24.1	12.1
TKN	1.93	33.8	3.15	6.3	8.06	10.2	2.4
TP	0.11	1.54	0.31	0.41	0.32	0.53	0.3
Oil & Grease	0.52	34.6	5.23	8	7.73	10.6	5.4

### 3.3 포장지역 비점오염원에서의 수리수문 및 농도 곡선

포장지역은 대부분의 경우 유역면적이 적으며, 강우 초기에 고농도의 오염물질이 유출되는 초기강우 현상을 뚜렷이 보이는 지역이다. 이러한 유출특성은 수리수문 및 농도곡선으로 정량적으로 보여줄 수 있다. 그림 3은 본 모니터링 수행으로 얻어진 수리수문 및 농도곡선을 보여 주고 있는데 뚜렷한 초기강우 현상을 볼 수 있다.

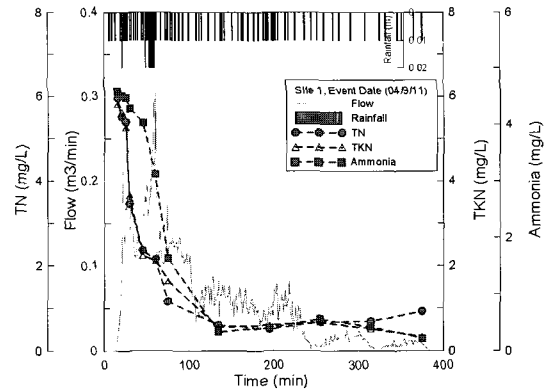


그림 3. 포장지역 비점오염원에서의 수리수문 및 농도곡선 (김 등, 2006; 이 등, 2006)

### 3.4 포장지역 비점오염원에서의 유출 EMCs 및 유출부하량

표 5는 입자상 물질, 유기물질 및 oil & grease에 관한 EMC 결과를 나타내고 있다. 고속도로에 서는 TSS의 경우 16~364.17mg/L의 범위를 보

이며, COD의 경우 37.63~122.04mg/L의 범위를 보인다. 주차장의 TSS, EMC는 12.06~37.38mg/L의 범위를 보이고 있으며, COD EMC는 10.93~84.75mg/L의 범위를 나타내고 있다. 교량의 경우에는 TSS, EMC가

24.73~305.34mg/L를 보이며, COD, EMC의 경우는 45.48~198.97mg/L의 범위를 보이고 있다. 표 6은 포장지역 비점오염물질의 유역면적 대비 부하량을 보이고 있다.

표 5. 포장지역 비점오염원에서의 강우사상별 EMCs(김 등, 2006; 이 등, 2006)

Site	Parameters (mg/L, NTU)	2004/05/28	2004/06/17	2004/07/03	2004/07/11	2004/08/16	2004/08/22	2004/09/11
Highway	TSS	364.17	42.74	56.70	12.33	63.87	16.00	44.31
	Turbidity	70.96	53.41	42.74	6.10	12.71	8.50	33.51
	COD	122.04	69.07	71.09	40.61	83.38	37.63	42.02
	DOC	32.41	6.69	32.31	11.37	6.53	3.21	11.40
	Oil & Grease	4.30	1.90	10.28	0.63	6.59	0.10	0.38
Parking lot*	TSS	17.86	33.02	12.06	23.42	37.38	31.58	19.87
	Turbidity	11.77	45.58	13.54	6.36	8.68	17.57	7.47
	COD	53.06	69.17	10.93	14.73	84.75	30.73	39.34
	DOC	11.55	5.51	6.09	1.99	6.03	7.92	4.99
	Oil & Grease	11.66	2.80	6.61	1.04	5.35	0.84	0.43
Bridge*	TSS	305.34	98.57	282.92	144.26	126.24	105.65	24.73
	Turbidity	61.14	45.78	125.69	44.46	54.83	42.40	14.54
	COD	198.97	167.74	113.25	136.05	193.98	103.98	45.48
	DOC	29.57	48.79	9.28	11.94	16.05	30.53	12.61
	Oil & Grease	46.41	74.75	74.55	3.62	3.42	2.96	0.23

표 6. 포장지역 비점오염물질의 유역면적 대비 부하량(김 등, 2006)

Parameters	Min.	Max.	Mean	95% CI Upper	95% CI Lower	St.Dev
TSS(mg/m <sup>2</sup> )	88.27	4,693.96	1,565.56	2,418.39	712.73	1,477.07
COD(mg/m <sup>2</sup> )	203.86	3,218.13	1,231.8	1,779.57	684.10	948.65
Oil & Grease(mg/m <sup>2</sup> )	4.61	277.81	68.06	118.07	18.05	86.61
TN(mg/m <sup>2</sup> )	13.43	136.18	45.32	64.65	25.00	33.47
TP(mg/m <sup>2</sup> )	0.53	15.98	6.54	8.88	4.2	4.05
Total Cd(μg/m <sup>2</sup> )	0.02	0.16	0.07	0.1	0.05	0.05
Total Cr(μg/m <sup>2</sup> )	0.03	0.26	0.13	0.18	0.08	0.09
Total Cu(μg/m <sup>2</sup> )	0.76	16.45	4.36	7.25	1.47	5.01
Total Fe(μg/m <sup>2</sup> )	0.43	7.40	2.04	3.25	0.84	2.09
Total Ni(μg/m <sup>2</sup> )	0.09	1.08	0.41	0.56	0.25	0.27
Total Pb(μg/m <sup>2</sup> )	0.05	0.69	0.31	0.44	0.19	0.22
Total Zn(μg/m <sup>2</sup> )	0.64	12.05	3.33	5.48	1.17	3.73

### 3.5 포장지역 적정 비점저감시설 설치를 위한 초기강우기준

그림 4는 강우유출율에 따른 유출오염물질의 변화를 통계학적으로 일반화시킨 결과이다. 전체유출량의 10%에 해당하는 유출량에 대하여 TSS의 경우, 평균 26%정도가 유출되는 경향을 나타내었으며, COD의 경우 31%, Cu의 경우 24%가 유출되는 것으로 분석되었다. 또한 전체 강우유출량의 30% 정도에 해당하는 유출이 발생할 때까지 유출오염물질

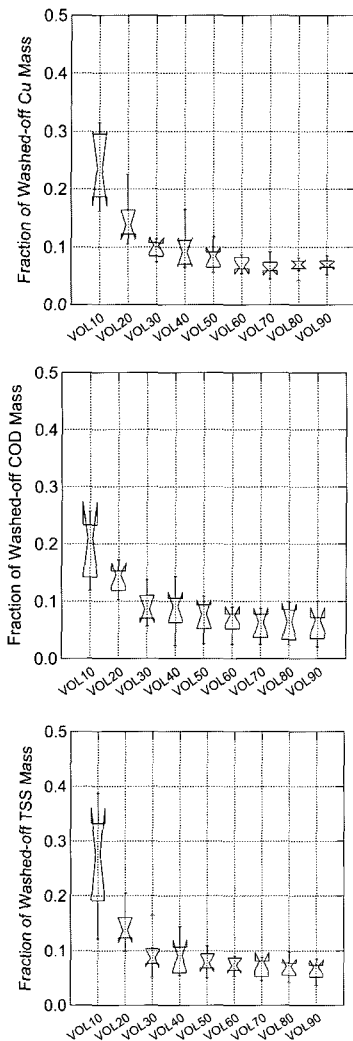


그림 4. 초기강우 기준을 위한 표준누적 유출수량 대비 유출오염물질비(김 등, 2006; 이 등, 2006)

의 유출이 급격히 감소하는 것으로 나타났으며, 이후 유출량에 대해서 감소되는 정도가 작아지는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 향후 고속도로 오염물질 처리기준 산정시 중요하게 사용될 수 있는 오염물질의 특성이다.

그림 5는 강우유출수 내 COD와 Cu에 대하여, 강우유출수 표준누적 부피에 대한 표준 누적 유출오염물질 농도의 상관성을 나타낸 것이다. 본 그림은 모니터링을 통하여 실측된 유출유량과 농도를 이용하여 전체 유출된 오염물질의 양을 산정하여 그 결과를 누적유량비와 비교한 것이다. 이 방법은 비점오염원관리에 관한 최적 관리방안 수립시 오염물질들의 적정 처리용량 산정 및 처리효율 예측을 위하여 국제적으로 많이 이용되는 해석방법이다. 분석결과, 대부분 직선의 기울기가 45도보다 큰 것으로 나타나 초기강우현상을 뚜렷이 확인할 수 있다. 모든 모니

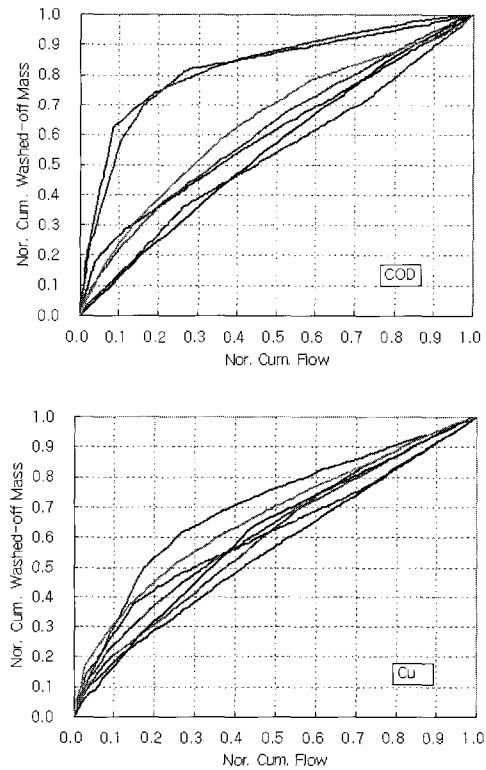


그림 5. 표준누적 유출수량 대비 표준누적 비점오염물질 유출량(김 등, 2006; 이 등, 2006)

터링 지점에 대하여 이러한 방법을 적용하여 분석한 결과, 유출이 시작된 이후 초기 30% 강우유출이 발생할 때 35~80%까지의 비점오염물질이 유출되는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 이용하여 실측 강우량과 비교 검토해 본 결과 처리대상 강우량의 범위는 6~12mm의 범위로 분석되었다.

초기강우 현상은 앞서 언급하였듯이 향후 비점오염물질 처리기준 산정시에 경제적 용량 산정을 위해 중요하게 고려되어야 할 부분이다. 식 (2)에서 도입한 동적 EMC는 EMC와 초기강우와의 관계를 규명하는 것으로 초기강우 현상을 설명하기 위해 새롭게 도입된 개념이다. 그림 6은 모니터링 지점에서 수행된 결과에 대하여 동적 EMC 적용의 예를 보여주고 있다. 강우유출이 시작된 이후 EMC는 20분까지 또는

50분까지 급격히 감소하는 경향을 보이고 있다. 그러다가 강우가 끝나고 유출이 끝나는 시간에 동적 EMC는 강우사상에 대한 대표 EMC로 끝나는 결과를 보인다. 이러한 특징은 전형적인 초기강우 현상을 대변하며 경제적인 오염물질 처리용량 산정시 중요한 고려대상이다.

그림 7은 초기강우기준을 산정하기 위하여 동적 EMC를 모니터링에 적용한 결과를 통계적으로 분석한 것이다. 전체 35개의 강우사상에 대하여 동적 EMC를 적용하였으며, 그 결과 누적강우량 기준으로 초기강우기준은 95% 신뢰구간으로 6.8~7.9mm(mean=7.4mm)로 산정이 되었다. 또한 강우지속시간 기준으로는 95% 신뢰구간에서 30~36분(mean=33분)으로 산정되었다. 본 초기강우 기준은 향후 고속도로에서 비점오염원 저감방

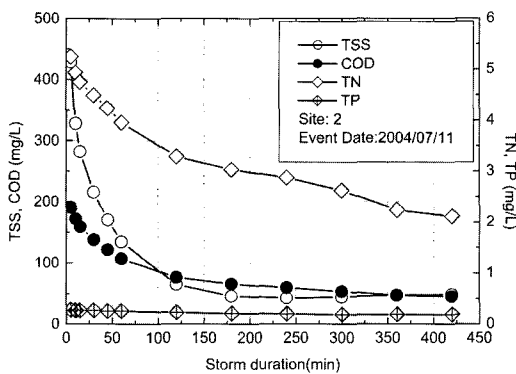
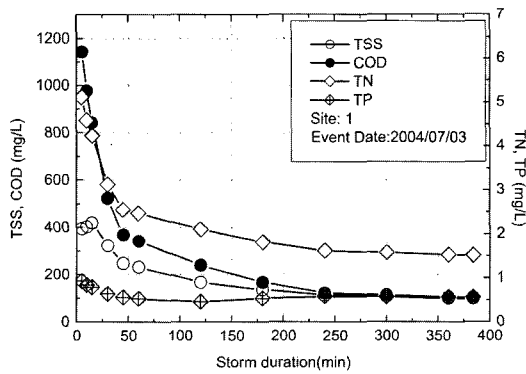
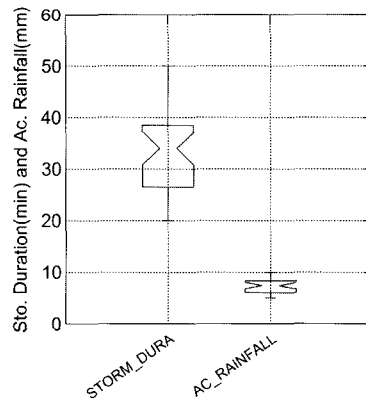


그림 6. 동적 EMC를 이용한 초기강우기준 산정법 (김 등, 2006; 이 등, 2006)



Parameters	Storm duration (min)	Accumulated Rainfall(mm)
N of cases	35	35
Min	20	5
Max.	50	10
Median	34	7.4
Mean	33.6	7.36
95% CI Upper	36.36	7.89
95% CI Lower	30.84	6.83
Standard Dev	8.04	1.56

그림 7. 포장지역의 비점오염원 관리를 위한 초기강우기준 산정(김 등, 2006; 이 등, 2006)



안 수립시 경제적 처리용량 산정에 긴요하게 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

수계관리에 있어서 배출농도가 아닌 하천에서의 총량규제라는 환경정책의 변화에 따라 비점오염원은 반드시 해결해야 할 과제이며, 점오염원 연구와 더불어 지속적으로 연구가 이루어져야 하는 분야이다. 특히 오염물질의 축적과 포장이 높아 강우시 고농도의 오염물질을 수계로 유출시키는 포장지역의 경우, 비점오염원 연구에 있어서 중요한 토지이용이다. 따라서 본 연구는 포장지역에 대한 효율적이며 명확한 원단위 산정을 위하여 강우사상에 대한 EMC를 산정하였다. 또한 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 강우사상에 대한 고속도로, 교량, 주차장에 대한 입자상 물질 및 유기물질의 EMC는 교량, 고속도로, 주차장의 순으로 고농도의 오염물질이 유출되는 것으로 분석되었다.
- 2) 영양염류에 대한 유출 EMC는 교량지역이 높은 농도를 보이고 있으나, 입자상 물질과 같이 지점별 큰 차이는 없는 것으로 분석되었다.
- 3) 중금속 오염물질은 차량 이동이 많은 고속도로와 차량의 정체가 심한 교량지역에서 높은 유출농도를 나타내고 있기에 처리시설 선정시 우선 관리 대상이 가능하다.
- 4) 단순 샘플 산술평균의 농도와 평균 EMC를 비교 분석한 결과, TSS와 COD의 경우 교량지역에서는 단순산술평균이 평균 EMC보다 2배 및 3.5배 정도 높은 값을 보이는 것으로 분석되었다. 이러한 농도산정의 큰 차이는 비점오염원의 모니터링 계획과 자료 해석의 중요성을 나타내고 있다.
- 5) 대부분의 교량은 하천을 가로질러 위치하기 때문에 강우시 유출수를 직접 하천으로 유출시키고 있으므로, 향후 비점오염원 관리에 있어서 포장

된 지역 중 우선적으로 관리해야할 토지이용으로 나타났다.

- 6) 기존의 표준유량곡선 및 표준부하량 연구결과, 전체 강우유출량에 대한 초기 30%에 해당하는 양을 처리함으로써 전체 유출가능 오염물질의 35~80%가 저감되는 것으로 나타났다.
- 7) 동적 EMC를 모니터링에 적용한 결과, 강우초기 20~50분 이내에 급격한 EMC 감소를 보이는 것으로 나타났다.
- 8) 전체 35개의 강우사상에 대하여 초기강우 기준을 산정한 결과, 누적강우량 기준으로 평균 7.4mm로 산정이 되었으며, 강우지속시간 기준으로는 평균 33분으로 산정되었다. 이러한 초기강우기준은 향후 고속도로에서 비점오염원 저감 방안 설계시 중요한 용량 산정기준으로 적용이 가능하다. 그러나 이러한 초기강우기준은 지역의 제한된 상황이기에 전국적으로 더욱 더 많은 모니터링을 수행하여 그 기준을 정확하게 만들어야 할 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

김이형, 강주현, 고속도로 강우 유출수내 오염물질의 EMC 및 부하량 원단위 산정, 한국물환경학회지, 20(6), pp. 631-640 (2004).

김이형, 강주현, 강우시 발생하는 고속도로 유출수의 초기우수 특성 및 기준, 한국물환경학회지, 20(6), pp 641-646 (2004).

김이형, 이선하, 강우시 주차장 및 교량에서 유출되는 비점오염물질의 특성 비교 및 동적 EMCs, 한국물환경학회지, 21(3), pp. 248-255 (2005).

김이형, 이선하, 주차장 및 교량 강우유출수의 중금속 오염물질 특성과 동적 EMCs, 한국물환경학회지, 21(4), pp. 385-392 (2005).

김이형, 고석오, 이병식, 김성길(2006). 국내 고속도로 강우 유출수의 EMCs 및 유출 부하량 산정, 대한토목학회지 논문집

이은주, 고석오, 강희만, 이주광, 이병식, 임경호, 김이형 (2006). 포장지역에서의 강우사상별 EMC 산정 및

- 단순 샘플농도와와의 비교, 한국물환경학회지, 22(1), pp104-109
- 이은주, 고석오, 강희만, 이주광, 임경호, 이병식, 김이형 (2006). 고속도로 노면유출수의 중금속 유출 특성 및 상관성, 한국물환경학회지, 22(1), pp. 128-133.
- 환경부, 관계부처합동 [물관리 종합대책]의 추진강화를 위한 4대강 비점오염원관리 종합대책 (2004).
- Barrett, M. E., Irish, Jr. L. B., Malina, Jr. J. F. and Charbeneau, R. J., Characterization of Highway Runoff in Austin, Texas, Area, J. of Environmental Engineering, 124(2), pp. 131-137 (1998).
- Becher, K. D., Schnoebelen, D. J. and Akers, K. K. B., Nutrients Discharged to the Mississippi River from Eastern Iowa Watershed, 1996-1997, J. of The American Water Resources Associa., 36(1), pp. 161-173 (2000).
- Bertrand-Krajewski, J., Chebbo, G. and Saget, A., Distribution of Pollutant Mass vs Volume in Stormwater Discharges and the First Flush Phenomenon, Wat. Res., 32(8), pp. 2341-2356 (1998).
- Charbeneau, R. J. and Barrett, M. E., Evaluation of Methods for Estimating Stormwater Pollutant Loads, J. of Water Environmental Research, 70(7), pp. 1295-1302 (1998).
- Chiew, F. H. S. and McMahon, T. A., Modeling Runoff and Diffuse Pollution Loads in Urban Areas, Wat. Sci. & Tech., 39(12), pp. 241-248 (1999).
- Deletic, A. B. and Mahsimivic, C. T., Evaluation of Water Quality Factors in Storm Runoff from Paved Areas, J. of Environmental Engineering, 124(9), pp. 869-879 (1998).
- Kim, L.-H., Kim, K.-B., Lim, K.-H., Kang, H.-M., Lim, J.-H. and Ko, S.-O., Dynamic EMCs and First Flush Criteria in Highway Storm Runoff in Korea. The 9th IWA Specialized Conference on Diffuse pollution, Johannesburg, South Africa (2005).
- Kim, L.-H., Kim, K.-B., Lim, K.-H. and Ko, S.-O., Characteristics of Washed-off Pollutants and Dynamic EMCs in a Parking Lot and a Bridge during Storm, 10th International Conference on Urban Drainage, Copenhagen, Denmark (2005).
- Kim, L.-H., Kayhanian, M., Stenstrom, M.K. (2004). Event mean concentration and loading of litter from highways during storms, Science of the Total Environment. Vol. 330, pp 101-113.
- Kim, L.-H., Kayhanian, M., Lau, S-L and Stenstrom, M.K. (2005). A new modeling approach in estimating first flush metal mass loading, Wat. Sci. & Tech. Vol. 51(3-4), pp. 159-167.
- Kim, L.-H., Kang, J. H., Kayhanian, M., Gil, K.-I., Stenstrom, M.K., and Zoh, K.D.(2006). Characteristics of Litter Waste in Highway Storm Runoff. Wat. Sci. & Tech., Vol. 53(2), pp. 225-234.
- Kim, L.-H., Zoh, K.-D., Jeong, S.-M., Kayhanian, M., and Stenstrom, M.K. (2006). Estimating Pollutant Mass Accumulation on Highways during Dry Period, Journal of Environmental Engineering, Vol 132, No. 9, pp. 985-993.
- Kim, L.-H., Jeong, S.-M., and Ko, S.-O. (2007). Determination of first flush criteria using dynamic EMCs (event mean concentrations) on highway stormwater runoff. Water Science & Technology, Vol. 55. No. 3, pp. 71-77.
- Kim, L.-H., Ko, S.-O., Jeong, S.-M., Yoon, J (2007). Characteristics of washed-off pollutants and dynamic EMCs in parking lots and bridges during a storm, Science of the total Environment, Vol. 376, pp. 178-184.
- Kim, L.-H., Kayhanian, M., Zoh, K.-D., and Stenstrom, M. K., Modeling of Highway Stormwater Runoff, Science of the Total Environment, 348, pp. 1-18 (2005).
- U.S. EPA, Nonpoint sources pollution control program, U.S. EPA, Report 841-F-94-005, USA (1994).