

## 도시지역의 강우유출수 특성 분석을 통한 적정모니터링 횟수 도출

최지연·나은혜<sup>†</sup>·김홍태·김진선·김용석·이재관

국립환경과학원 물환경연구부 유역총량연구과

### Determination of the number of storm events monitoring considering urban stormwater runoff characteristics

Jiyeon Choi·Eunhye Na<sup>†</sup>·Hongtae Kim·Jinsun Kim·Yongseck Kim·Jaekwan Lee

Water Environment Research Department, National Institute of Environmental Research

(Received : 29 September 2017, Revised: 06 November 2017, Accepted: 10 November 2017)

#### 요약

본 연구는 도시지역의 토지이용별 비점오염물질의 유출특성을 파악하고 적정 모니터링 횟수를 도출하고자 연구를 수행하였다. 연구 조사지점은 도시지역 중 주거지역(13지점), 상업지역(8지점), 교통지역(9지점), 공업지역(11지점)으로 선정하였으며 지점에 따라 2008년부터 2016년까지 모니터링이 수행되었으며 총 632회의 강우사상에 대한 모니터링 결과를 분석하였다. 분석결과, 상업지역의 경우 다른 토지이용에 비해 높은 유출률과 고농도의 오염물질이 유출되기에 다른 토지이용보다 비점오염원 관리시 우선적으로 관리가 필요한 것으로 나타났다. 또한 토지이용별 연간 모니터링 횟수를 산정한 결과, 공업지역의 경우 11~14회, 교통지역은 12~14회, 상업지역은 11~13회, 주거지역은 22~25회로 분석되었다. 다년간 축적된 모니터링 자료를 이용하더라도 일부 오염물질 항목에서 높은 오차가 나타남에 따라 여전히 높은 확률의 불확실성이 존재하며 지속적인 모니터링 수행으로 오차를 줄이기 위한 모니터링 노하우 정립 및 데이터 축적이 요구된다.

핵심용어 : 도시 강우유출수, 모니터링, 모니터링 횟수, 유량가중평균농도, 지역평균농도

#### Abstract

This study investigated the runoff characteristics containing NPS pollutants in urban areas and estimated the optimal number of storm events to be monitored. 13 residential areas, 8 commercial areas, 9 transportation areas and 11 industrial areas were selected to be monitored located in urban areas. Monitoring was performed from 2008 to 2016 with a total of 632 rainfall events. As a result, it was found that commercial area needs priority NPS management compared to other landuses because the commercial area has high runoff coefficient and NPS pollutant *EMC* compared with other landuses. The annual monitoring frequency for each landuse was estimated to be 11 to 14 times for industrial area, 12 to 14 times for transportation area, 11 to 13 times for commercial area and 22 to 25 times for residential area. Even with the use of accumulated monitoring data for several years, there is still high probability of uncertainty due to high error in some pollutant items, and it is necessary to establish monitoring know-how and data accumulation to reduce errors by continuous monitoring.

Key words : Event mean concentration(*EMC*), monitoring, number of storm events, urban stormwater runoff, site mean concentration(*SMC*)

## 1. 서론

토지이용의 고도화는 불투수면의 증가로 비점오염원 유발 및 자연적인 물순환 체계를 위협하며 수생태계에 악영향을 미친다. Liu(2013)에 의하면 도시지역에서 불투수면 적률이 10%이상 일 때 수질이 악화되고 30%에 달하면 수

생태계가 파괴되는 것으로 조사되었다. 또한 Armstrong (2011)의 연구에 의하면 불투수면적률이 4% 이상인 지역에서는 어류의 상대 풍부도가 급격히 감소되었으며 20%이상인 지역의 경우 어류가 거의 발견되지 않은 것으로 조사되었다. 더불어 최근 10년 평균 강수량은 과거 30년에 비해 증가되었고 여름철 집중호우 발생빈도가 높아지고 있으며, 이러한 강우특성의 변화는 강우시 비점오염물질의 유출 증가, 도시홍수 유발, 침수 발생빈도 증가 등 다양한 물환경 문제를 발생시킨다(Kim and Kang 2004, Kim et al., 2014).

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
Water Environment Research Department, National Institute of Environmental Research  
E-mail: eunye@korea.kr

이에 환경부에서는 법률 및 제도를 통하여 비점오염원 관리 및 물순환 체계 구축을 추진하고 있다. 2012년 환경부의 7개 관련 부처가 합동으로 “제2차 비점오염원관리 종합대책”을 수립하였으며 2012년부터 2020년까지 3단계로 분야별 비점오염원 관리 대책을 추진 중에 있다. 이중 도시 분야에서는 Low Impact Development (LID) 기법 적용 최대화, 초기빗물 유출 최소화에 대한 대책이 추진 중에 있으며 연구개발 분야에서는 기초조사연구, 정책추진 기반연구 확대 등에 관한 대책을 추진하여 비점오염원 관리 및 물순환 회복에 힘쓰고 있다.

비점오염원의 효율적 관리를 위해서는 비점오염원 현황 파악이 우선적으로 이루어져야 하며 이는 장기적인 비점오염물질 유출에 관한 모니터링과 같은 기초조사연구가 절실히 요구된다. 특히 최근 들어 강우특성의 변화는 불확실성이 높은 비점오염원 관리에 영향을 미치기에 장기적인 연구가 필요하다. 그러나, 비점오염원 유출 조사는 실측 자료를 기반으로 한 연구 분야이기에 현장조사 즉, 모니터링이 기본적으로 수행되어야 한다. 그러나 시간과 비용이 한정적이므로 비용·효율적인 모니터링 방법이 요구되고 있는 실정이다. 문헌에 따르면 비용·효율적인 모니터링 횟수를 추정하기 위한 방법으로 지역평균농도(Site mean concentration; SMC)를 이용한 방법이 제안되고 있다. SMC를 이용한 방법은 유량가중평균농도(Event mean concentration; EMC) 분포 및

대푯값을 추정하기 위한 가장 일반적인 방법으로 EMC를 단순 산술 평균하여 산정되며, 비용과 불확실성을 고려한 최소한의 강우사상 횟수를 결정할 수 있는 것으로 알려져 있다(Mourad et al., 2005; May and Sivakumar, 2009; Maniquiz-Redillas et al., 2013). 비점오염원 유출 특성 데이터를 확보하기 위해서는 시간 및 비용 등의 소모가 크기에 특정 수준의 불확실성 내에서 오염물질의 평균농도 또는 SMC를 나타내는 최소한의 강우사상 횟수를 결정하는 것은 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 비점오염원 효율적 관리를 위한 기초조사를 위해 도시지역의 토지이용별 비점오염물질 유출 특성 분석하였으며 분석결과를 바탕으로 도시지역에서의 적정 모니터링 횟수 도출을 수행하였다.

## 2. Materials and Methods

### 2.1 조사지점 현황

본 연구를 수행하기 위하여 4대강 물환경연구소에서 환경기초조사사업으로 수행된 비점오염원 유출 장기모니터링 사업 자료를 참조하였다. 조사지점은 도시지역을 대표할 수 있는 토지이용인 주거지역(13개), 상업지역(8개), 교통지역(9개), 공업지역(11개)으로 선정하였으며 선정된 지점에 대한 자세한 사항은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Monitored site description

Landuse	Code	Catchment area(m <sup>2</sup> )	Reference	Landuse	Code	Catchment area(m <sup>2</sup> )	Reference
Residential (R)	R-1	2,870	GWMC, 2016	Transportation (T)	T-1	150	HWMC, 2014
	R-2	10,087	HWMC, 2008~2010		T-2	624	YWMC, 2014
	R-3	26,302			T-3	1,240	NWMC, 2008~2012
	R-4	11,970	HWMC, 2011~2013		T-4	1,500	NWMC, 2008
	R-5	20,570			T-5	2,000	NWMC, 2008~2013
	R-6	22,660			T-6	3,080	NWMC, 2012
	R-7	29,510			T-7	7,700	
	R-8	13,454	YWMC, 2014~2015		T-8	10,140	NWMC, 2011~2013
	R-9	16,582	NWMC, 2014		T-9	12,400	NWMC, 2009~2011
	R-10	21,131		I-1	1,507	GWMC, 2014	
	R-11	21,465		I-2	1,771	YWMC, 2014	
	R-12	33,400		I-3	2,950	HWMC, 2014	
	R-13	125,038	I-5	12,546			
Commercial (C)	C-1	1,800	NWMC, 2014	I-7	16,655		
	C-2	10,960		I-4	12,000		NWMC, 2008~2012
	C-3	4,788	GWMC, 2014	I-6	13,000	NWMC, 2009~2012	
	C-4	6,100		I-8	23,520	GWMC, 2015	
	C-5	10,384	YWMC, 2008~2013	I-9	55,474	NWMC, 2014~2015	
	C-6	12,586		I-10	381,000	GWMC, 2014	
	C-7	8,000	HWMC, 2014	I-11	1,206,730	NWMC, 2015	
	C-8	20,000					

## 2.2 모니터링 및 분석방법

모니터링은 강우유출수 조사방법(NIER, 2012)을 준용하여 측정 및 분석되었다. 토지이용별 강우유출 특성을 분석하기 위해 총 강수량(Total rainfall), 선행건기일수(antecedent dry day; ADD), 강우지속시간(Total rainfall duration), 유출률(Runoff coefficient)을 조사하였으며 Biochemical Oxygen Demand (BOD), Suspended Solid (SS), Total Nitrogen (T-N), Total Phosphorous (T-P) 항목에 대하여 수질분석을 수행하였다. 또한, 적정모니터링 횟수 도출을 위하여 오염물질 항목별 SMC 산정을 통한 모니터링 횟수를 결정할 선행연구인 Maniquiz-Redillas et al (2013)의 연구방법을 인용하였다.

분석된 수질 데이터와 유량을 고려하여 EMC를 식(1)에 의하여 산정하였다(Ujevic et al., 2000; Kim et al., 2005; Kim et al., 2007a). EMC는 강우유출수내 오염물질의 질량과 유출량으로 나타내며 여기서, M(g)은 강우시 발생한 오염물질의 총 질량이며 V(m<sup>3</sup>)은 유량의 총량을 나타낸다. C(t)(mg/L)는 t시간에서의 농도이며, q<sub>run</sub>(t)는 t 시간동안 배출되는 강우유출수의 유량을 의미한다.

$$EMC(mg/L) = \frac{M}{V} = \frac{\sum_0^{t=T} C(t) \times q_{run}(t)}{\sum_0^{t=T} q_{run}(t)} \quad (1)$$

SMC는 모든 강우사상의 EMC를 산술 평균한 것으로 식(2)와 같이 나타낸다. 여기서, EMC<sub>i</sub>는 i 번째 강우사상에서의 EMC를 의미하며 n은 총 강우사상을 의미한다. EMC<sub>n</sub>은 강우사상의 수에 따른 EMC의 평균으로 계산된다.

$$SMC(mg/L) = \frac{EMC_1 + \dots + EMC_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n EMC_i}{n} \quad (2)$$

또한, 식(3)의 상대표준오차(Relative standard error, RSE)를 사용하여 SMC값의 불확실성 수준을 계산하였다. 여기서, σ<sub>EMC</sub>는 EMC의 표준편차이며, n은 총 강우사상을 의미한다.

$$RSE(\%) = \frac{\frac{\sigma_{EMC}}{\sqrt{n}}}{SMC} \quad (3)$$

## 3. Results and Discussion

### 3.1 모니터링 결과

본 연구에서 사용된 조사지점별 데이터는 지점에 따라 2008년부터 2016년까지 모니터링이 수행되었으며, 총 632회

의 강우사상에 대한 모니터링 결과를 도출하였다. Fig 1은 토지이용별 모니터링 결과를 Box plot으로 보이고 있으며 선행건기일수, 직접유출률, 총강수량, 강우지속시간에 대해 나타내고 있다. 분석결과, 토지이용별 평균 선행건기일수는 6.3~6.6일의 범위로 나타났으며 평균 총강수량은 24.9~42.0 mm, 평균 강우지속시간은 8.4~17.3시간, 직접 유출률은 0.45~0.63의 범위로 조사되었다. 토지이용별 선행건기일수는 비교적 유사한 범위로 나타났으나 총 강수량 및 강우지속시간의 경우 주거 및 상업지역에서 높게 나타났으며 이는 대규모 강우사상을 대상으로 모니터링이 수행된 것으로 판단된다. 직접유출률의 경우 상업 및 교통지역에서 0.5 이상으로 높게 나타나 다른 지역에 비해 비교적 직접유출이 높은 것으로 조사되었다.

### 3.2 EMC 산정 결과

토지이용별 비점오염물질 농도를 파악하고자 Fig 2에 오염물질별 EMC 산정 결과를 나타내었다. 토지이용에 따른 오염물질별 EMC 산정결과, BOD는 5.5~36.4 mg/L, SS는 27.2~50.9 mg/L, T-N은 3.29~5.65 mg/L, T-P는 0.23~0.62 mg/L의 범위로 조사되었다. 상업지역의 경우 모든 오염물질에서 가장 높은 EMC가 발생되었으며 다른 토지이용에 비해 교통지역의 경우 상대적으로 오염물질의 EMC가 낮게 유출되는 특성을 보이고 있다. 상업지역의 경우 0.5 이상의 높은 유출률을 보이고 있으며 다른 토지이용에 비해 고농도의 오염물질이 유출되기에 도시지역의 토지이용 중 상업지역을 우선적으로 관리시 비점오염원 관리에 효과적일 것으로 판단된다. 국내에서 발표된 도시 지역 강우유출수 EMC에 대하여 문헌(Shin et al., 2004; Jung et al., 2007; Kim et al., 2007b; Lee and Lee, 2009; Jung et al., 2012)을 참고하여 EMC 값을 평균한 결과, BOD는 33.6 mg/L, SS는 108.7 mg/L, T-N은 7.13 mg/L, T-P는 0.96 mg/L로 나타났으며 본 연구결과와 비교시 BOD를 제외한 모든 오염물질 항목에서 EMC값이 차이를 보이고 있다. 이는 비점오염물질 유출에 있어 다양한 인자에 의한 영향으로 불확실성이 매우 높음을 의미하며 토지이용 및 강우특성 등을 고려한 지속적인 모니터링을 통한 자료 축적 및 통계적 접근방법이 요구된다.

### 3.3 SMC를 이용한 적정 모니터링 횟수 분석

앞서 산정된 토지이용에 따른 오염물질별 EMC를 바탕으로 적정 모니터링 횟수를 알아보하고자 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3은 모니터링 횟수에 따른 EMC, SMC, 95% 및 99% SMC 상한값을 보여주고 있으며 모니터링 횟수가 증가할수록 EMC값은 감소되고 SMC값에 가까워지는 것으로 나타났다.

대부분의 토지이용별 오염물질 항목에서 약 40회의 모니터링 횟수를 기준으로 EMC값이 급격히 감소되었다. SMC

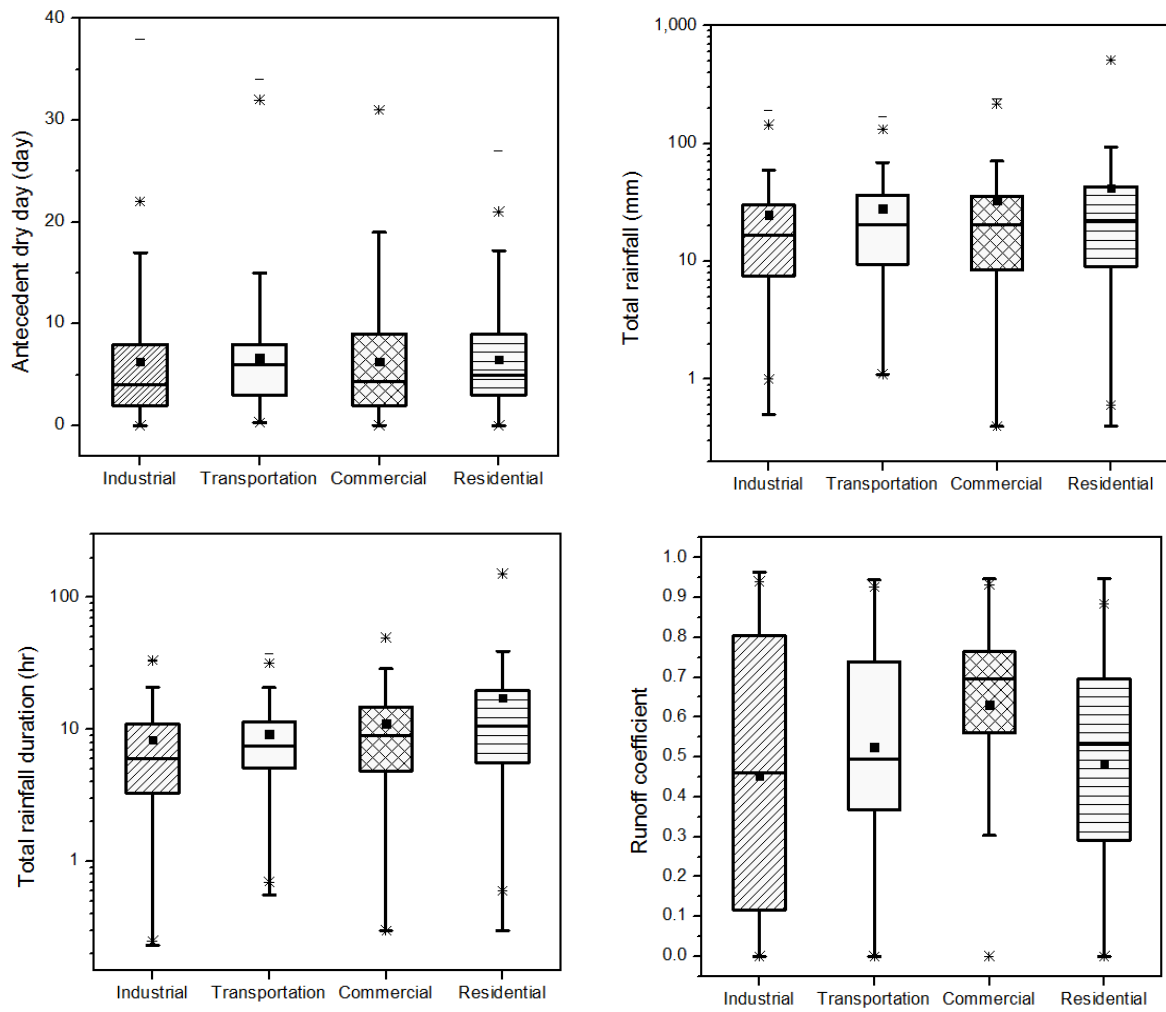


Fig. 1. Characteristics of monitored storm events for urban landuses.

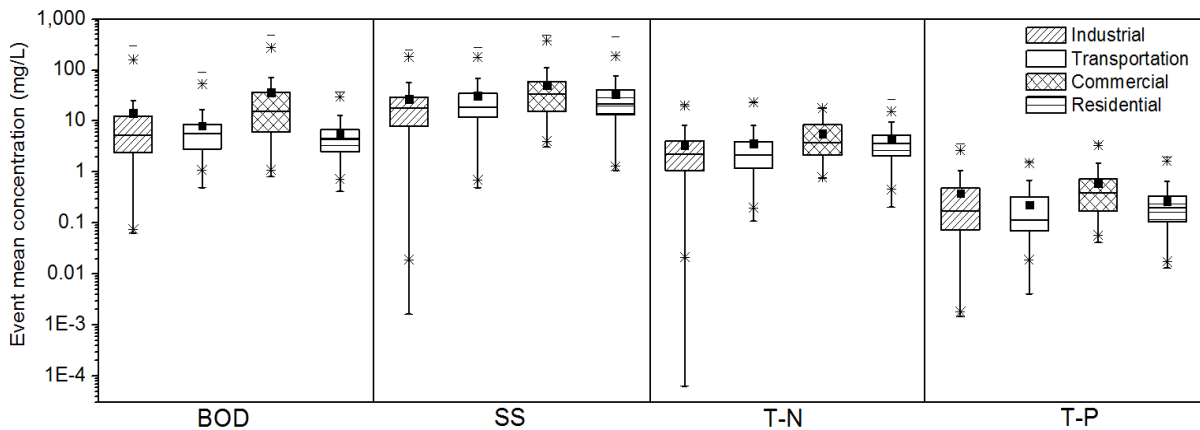


Fig. 2. Pollutants EMC for urban landuses

값을 기준으로 모니터링 횟수는 같은 토지이용이더라도 오염물질 종류에 따라 차이를 보이고 있으며 SMC값의 95% 및 99% 상한값도 동일한 결과를 보이고 있다. SMC 95% 및 99% 상한값에 따른 모니터링 횟수가 높은 토지이용은 주거지역, 교통지역, 공업지역, 상업지역 순으로 조사되었으며 오염물질의 경우 모든 토지이용에서 T-N항목에서 모

니터링 횟수가 가장 높게 나타난 반면 BOD의 경우 주거지역을 제외한 모든 지역에서 낮은 모니터링 횟수를 나타내었다. SMC 95% 및 99% 상한값을 이용한 오염물질별 연간 모니터링 횟수를 산정한 결과, BOD는 11~24회, SS는 11~23회, T-N은 13~25회, T-P는 12~24회로 조사되었다. 또한 토지이용별 연간 모니터링 횟수는 공업지역의

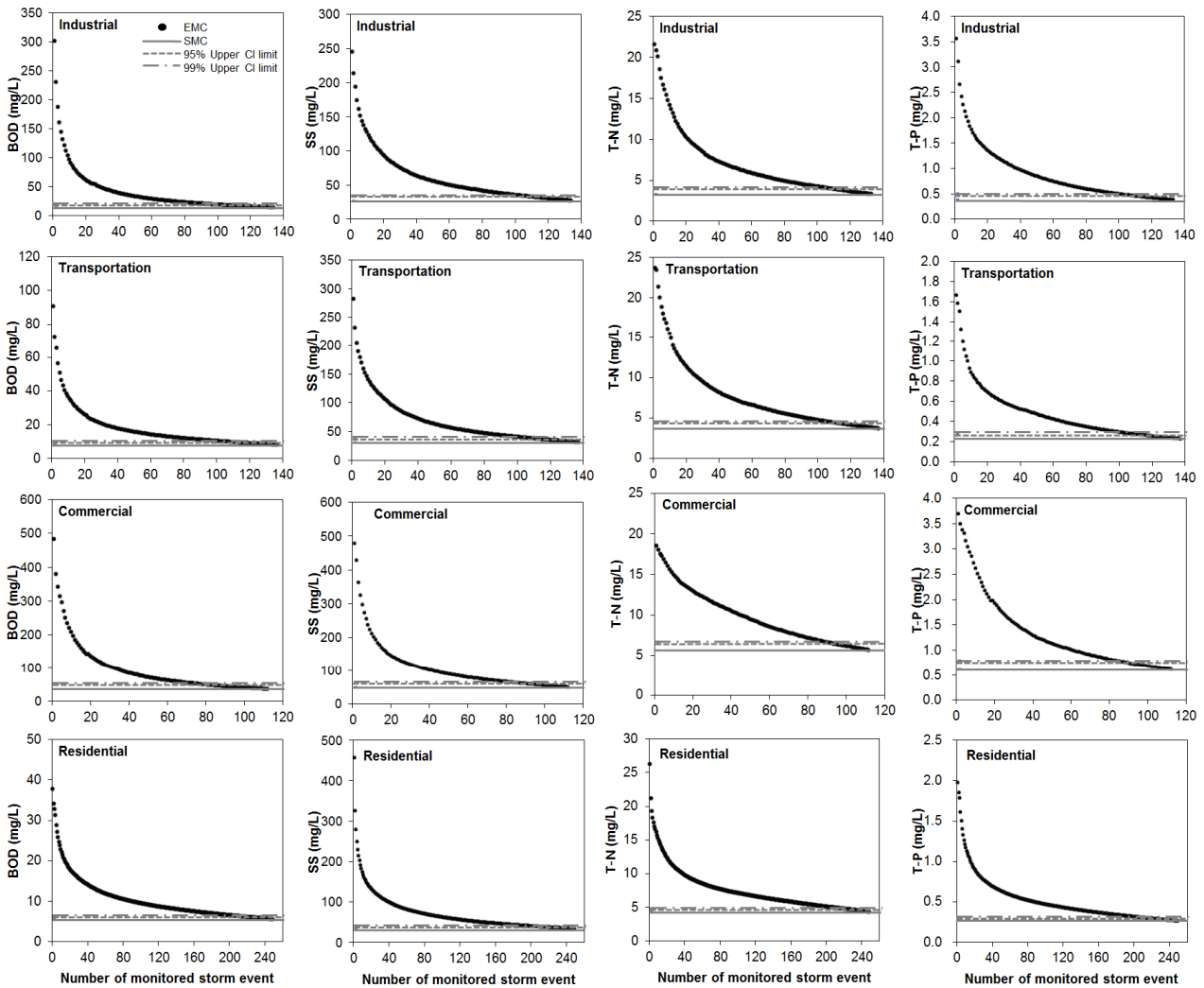


Fig. 3. EMC, SMC and corresponding limits of the SMC with respect to the number of storm events

경우 11~14회, 교통지역은 12~14회, 상업지역은 11~13회, 주거지역은 22~25회로 분석되었다.

### 3.4 적정 모니터링 횟수 분석의 신뢰도 평가

SMC를 이용한 토지이용 및 오염물질별 모니터링 횟수 분석결과에 대한 신뢰도를 평가하고자 Fig. 4와 같이 오염물질별 RSE를 산정하였다. Fig. 4는 모니터링 횟수에 따른 토지이용별 오염물질의 RSE를 나타낸 것으로 주거지역의 BOD의 경우 100%를 초과하여 제외하였다. 분석결과, 모니터링 횟수가 증가됨에 따라 RSE도 감소하는 경향으로 나타난 반면 일부 항목에서는 10회 미만의 모니터링 횟수에서 증가하나 이후 감소하는 경향을 보이고 있다. 앞서 조사된 토지이용별 연간 모니터링 횟수에 따른 RSE산정 결과, T-N의 경우 모든 토지이용에서 30%미만인 4~25%범위로 조사되었으며 T-P의 경우 상업지역에서 20%, 주거지역에서 25%인 반면 공업 및 교통지역의 경우 30%이상으로 나타났다. 한편 SS의 경우 모든 지역에서 40~50% 범위를 보

였으며 BOD는 모든 토지이용에서 30%를 초과하였고 특히, 공업지역 및 주거지역은 100%를 초과하는 것으로 조사되었다. 통계조사 기준에 의하면 일반적으로 RSE값이 30%미만이면 신뢰할 수 있는 추정값으로 사용할 수 있으며, 30%이상 60%미만의 값은 주의와 함께 이용이 가능하지만 60%이상 값은 이용에 주의가 필요한 것으로 보고되고 있다(Statistics Korea, 2016). 따라서 다년간 축적된 모니터링 자료를 이용이더라도 일부 BOD, SS와 같은 항목에서 높은 오차가 나타남에 따라 여전히 높은 확률의 불확실성이 존재하기에 장기적인 모니터링 수행을 통해 비점오염원 유출특성을 규명하고 통계적 접근방법을 통한 비점오염원 관리 방안이 요구된다.

### 3.5 기존 연구과의 비교

앞서 분석된 SMC를 이용한 연간 모니터링 횟수 산정 결과를 Table 2에 정리하여 나타내었다. Table 2는 토지이용 및 오염물질별 연간 모니터링 횟수와 모니터링 횟수 산정을

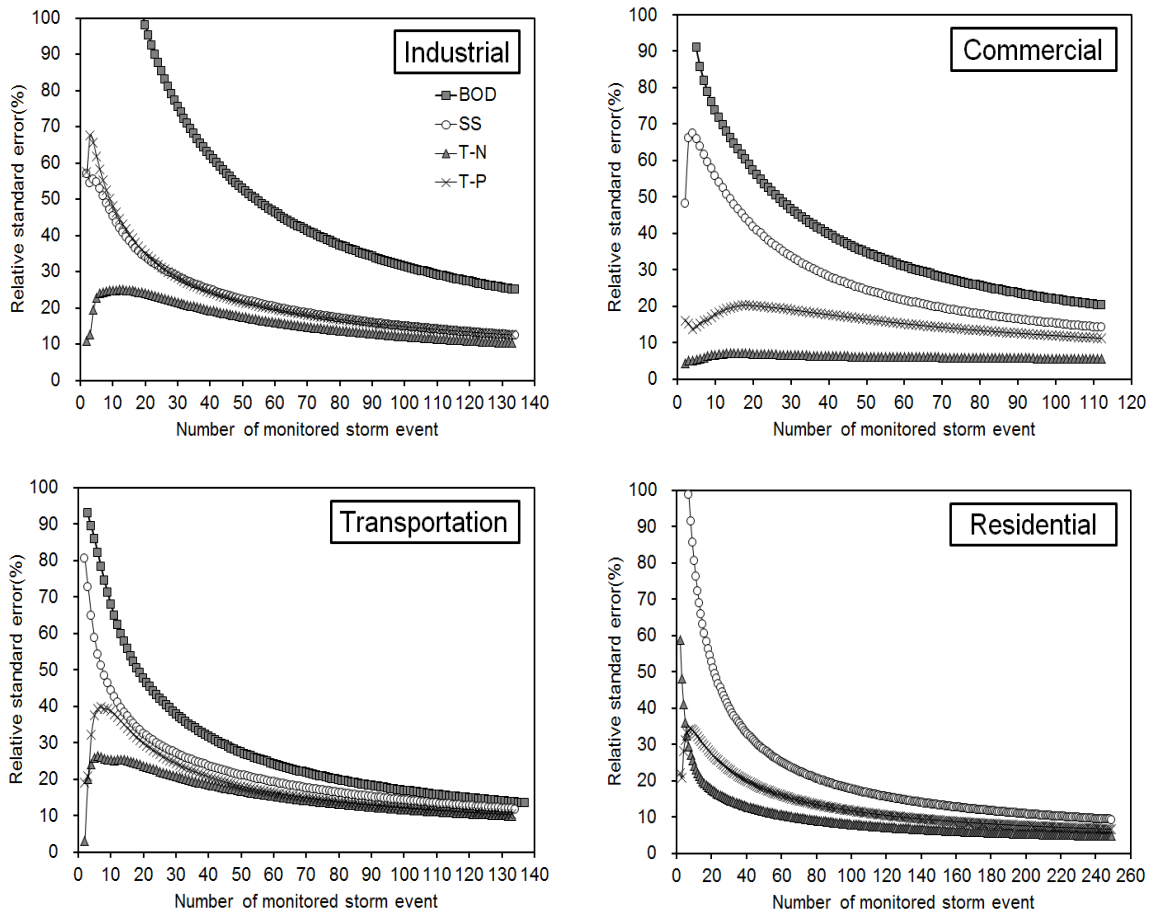


Fig. 4. Relative standard error (RSE) with the number of monitored storm events.

Table 2. Summary of the required number of storm events to be monitored representing the SMC

Parameter	BOD				SS				T-N				T-P			
	I(1)	T(2)	C(3)	R(4)	I	T	C	R	I	T	C	R	I	T	C	R
No. of storm events ①	134	137	112	249	134	137	112	249	133	137	112	249	133	137	112	249
Monitoring period(yr) ②	8	8	7	9	8	8	7	9	8	8	7	9	8	8	7	9
No. of storm events per year ③=①/②	17	17	16	28	17	17	16	28	17	17	16	28	17	17	16	28
No. of storm events at 99%(95%) Cl of the SMC ④	86 (95)	99 (106)	74 (81)	208 (217)	101 (108)	101 (110)	80 (87)	200 (211)	102 (110)	104 (111)	88 (93)	215 (223)	99 (107)	104 (111)	82 (88)	207 (216)
Ratio of storm events ⑤=④/①	0.64 (0.71)	0.72 (0.77)	0.66 (0.72)	0.84 (0.87)	0.75 (0.81)	0.74 (0.80)	0.71 (0.78)	0.80 (0.85)	0.77 (0.83)	0.76 (0.81)	0.79 (0.83)	0.86 (0.90)	0.74 (0.80)	0.76 (0.81)	0.73 (0.79)	0.83 (0.87)
Minimum no. of storm events per year ⑥=③×⑤	11 (12)	12 (13)	11 (12)	23 (24)	13 (14)	13 (14)	11 (12)	22 (23)	13 (14)	13 (14)	13 (13)	24 (25)	12 (13)	13 (14)	12 (13)	23 (24)

(1) Industrial landuse, (2) Transportation landuse, (3) Commercial landuse, (4) Residential landuse

위한 과정을 나타내고 있으며 해당과정을 통해 적정 모니터링 횟수가 도출된다. 토지이용별 오염물질에 따른 연간 평균 모니터링 횟수는 살펴본 결과, 주거지역은 24회, 공업 및 교통지역의 경우 13회, 상업지역은 12회로 분석되었다. SMC 도출을 위한 최소한의 모니터링 횟수에 대한 기존 연구결과를 살펴보면, Smoley(1993)는 최소 모니터링 횟수는 3회로 제안하였으나, Leecaster et al (2002)은 7회, May and Sivakumar (2009)에서는 최소 5~7회, Maniquiz-Redillas et al (2013)은 오염물질에 따라 6~10번으로 조사되었다. 한편 Maharjan et al (2016)에 의하면 유역모델 보정을 위해서는 최소 모니터링 횟수를 10회로 권장하였다. 대부분의 연구에서 연간 7회의 모니터링 횟수가 낮은 오차 범위에 해당되기에 적절하다고 제안하였으나 유역특성 및 분석된 자료의 오차에 따라 그 측정치가 다양하게 나타났다. 따라서 현재의 연구결과들을 바탕으로 높은 불확실성으로 인해 모든 유역 또는 토지이용에서 적용 가능한 일반화된 모니터링 횟수를 명확히 제시하기는 어려운 실정이다. 그러므로 더 많은 모니터링 결과를 축적할 경우 토지이용을 대표 할 수 있는 SMC 추정값에 가까워 질 수 있음을 의미한다. 그럼에도 불구하고 시간과 비용의 제약으로부터 최소한의 모니터링 횟수를 파악하기 위한 방법으로 SMC를 이용한 방법은 적절한 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구는 도시지역의 토지이용별 비점오염물질의 유출 특성을 파악하고 적정 모니터링 횟수를 도출하고자 연구를 수행하였으며 연구결과 아래와 같은 결론을 도출하였다.

(1) 상업지역의 경우 0.5 이상의 높은 유출률을 보이고 있으며 다른 토지이용에 비해 농도의 오염물질이 유출되기에 도시지역의 토지이용 중 상업지역을 우선적으로 관리 시 비점오염원 관리에 효과적일 것으로 판단된다.

(2) 토지이용별 연간 모니터링 횟수는 오염물질에 따라 평균 12~24회 범위로 조사되었으며 RSE를 통해 해당 분석에 대한 신뢰도를 평가한 결과, T-N의 경우 모든 토지 이용에서 30%미만으로 적정 하지만 T-P, BOD 및 SS의 경우 신뢰도가 낮게 평가되었다.

(4) 다년간 축적된 모니터링 자료를 이용이더라도 일부 오염물질 항목에서 높은 오차가 나타남에 따라 여전히 높은 확률의 불확실성이 존재하기에 지속적인 모니터링 수행으로 오차를 줄이기 위한 모니터링 노하우 정립 및 데이터 축적이 요구된다.

(5) 시간과 비용 등 제약적인 현실에서 SMC를 이용한 적정 모니터링 횟수 산정 방법은 최소한의 강우유출수 모니터링 횟수를 결정하는데 적절한 방법으로 판단된다.

#### 사 사

본 연구는 4대강수계 환경기초조사사업 “비점오염원 중

합 모니터링 및 관리방안 연구”의 일부 자료를 이용하였으며, 자료를 제공하여주신 국립환경과학원 금강·낙동강·영산강·한강물환경연구소에 감사드립니다.

#### References

- Armstrong, D.S., Richards, T.A. and Levin, S.B. (2011). *Factors Influencing Riverine Fish Assemblages in Massachusetts*, Scientific Investigations Report 2011-5193, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, USA.
- Geum river watershed management committee (GWMC) (2008-2012). *Long-term monitoring of non-point source pollutants discharge and reduction measures study*, Geum river watershed management committee, Korea. [Korean Literature]
- Geum river watershed management committee (GWMC) (2013-2016). *Monitoring of non-point source pollutants*, Geum river watershed management committee, Korea. [Korean Literature]
- Han river watershed Management committee (HWMC) (2008-2012). *Long-term monitoring and control measures of nonpoint source pollution from major landuses*, Han Gang watershed Management committee, Korea. [Korean Literature]
- Han river watershed Management committee (HWMC) (2013-2016). *Intergrated monitoring and management plan for Non-point Pollution*, Han river watershed management committee, Korea. [Korean Literature]
- Jeong, D.H., Shin, D.S., Rhew D.H. and Jung, D.I. (2007). Stormwater Runoff Characteristics of Non-point Source Pollutants according to Landuse of Urban Area, *J. of Environmental Impact Assessment*, 16(6), pp. 525-532. [Korean Literature]
- Jung, Y.J. and Kim, S.W. (2012). Characteristics of Stormwater Runoff from Urban areas with Industrial Complex, *J. of wetlands research*, 14(1), pp. 131-137. [Korean Literature]
- Kim, C.M., Choi, J.Y., Lee, J.M., Cho, H.J. and Kim, L.H. (2014). Characteristics of Stormwater Runoff with respect to Pavement Types, *J. of Wetlands Research*, 16(3), pp. 423-429. [Korean Literature]
- Kim, L.H. and Kang, J.H. (2004). Determination of event mean concentrations and pollutant loadings in highway storm runoff, *J. of Korean Society on Water Quality*, 20(6), pp. 631-340. [Korean Literature]
- Kim, L.H., Kayhanian, M., Zoh, K.D. and Stenstrom, M.K. (2005). Modeling of highway stormwater runoff, *Science of the Total Environment*, 348, pp. 1-18.
- Kim, L.H., Ko, S.O., Jeong, S.M. and Yoon, J.Y. (2007a). Characteristics of washed-off pollutants and dynamic EMCs in parking lots and bridges during a storm, *Science of the Total Environment*, 376, pp. 178-184.

- Kim, M.R., Shin, D.S., Kang, H.S. and Rhew, D.H. (2007b). An Analysis of Discharge Unit-load of Impervious Land Uses, *Seoul studies*, 8(2), pp. 187–196. [Korean Literature]
- Lee, H.S. and Lee, S.H. (2009). Runoff Characteristics of Stormwater in Small City Urban Area, *J. of Korea Society Environmental Engineers*, 31(3), pp. 193–202. [Korean Literature]
- Leecaster, M.K., Schiff, K. and Tienfenthaler, L.L. (2002). Assessment of efficient sampling designs for urban stormwater monitoring, *Water Research*, 36, pp. 1556–1564.
- Liu, Z, Wang, Y, Li, Z and Peng, J. (2013). Impervious surface impact on water quality in the process of rapid urbanization in Shenzhen, China, *Environmental Earth Sciences*, 68(8), pp. 2365–2373.
- Maharjan, B., Pachel, K. and Loigu, E. (2016). Towards effective monitoring of urban stormwater for better design and management, *Estonian J. of Earth Sciences*, 65(3), pp. 176–199.
- Maniquiz-Redillas, M.C., Mercado, J.M.R. and Kim, L.H. (2013). Determination of the number of storm events representing the pollutant mean concentration in urban runoff. *Desalination and Water Treatment*, 51(19–21), pp. 4002–4009.
- May, D. and Sivakumar, M. (2009). Optimum number of storms required to derive site mean concentrations at urban catchments, *Urban Water J.*, 6(2), pp. 107–113.
- Mourad, M., Bertrand-Krajewski, J.-L. and Chebbo, G. (2005). Calibration and validation of multiple regression models for stormwater quality prediction: Data partitioning, effect of dataset size and characteristics, *Water Science and Technology*, 52(3), pp. 45–52.
- Mourad, M., Bertrand-Krajewski, J.-L. and Chebbo, G. (2005). Sensitivity to experimental data of pollutant site mean concentration in stormwater runoff, *Water Science and Technology*, 51(2), pp. 155–162.
- Nakdong river watershed management committee (NWMC) (2008–2012). *A Long-term monitoring and BMPs for the non-point source pollutants discharge*, Nakdong river watershed management committee, Korea. [Korean Literature]
- Nakdong river watershed management committee (NWMC) (2013–2016). *A Monitoring and Management Scheme for the Non-Point Sources*, Nakdong river watershed management committee, Korea. [Korean Literature]
- National Institute Environmental Research (NIER) (2012). *Stormwater runoff monitoring program*, National Institute Environmental Research, Incheon, Korea. [Korean Literature]
- Shin, C.M., Choi, J.Y. and Park, C.H. (2004). Characteristics of Non-point Pollution discharge with landuse in urban area, *J. of Korea Society Environmental Engineers*, 26(7), pp. 729–735. [Korean Literature]
- Smoley, C.K. (1993). *NPDES storm water sampling guidance manual*, U.S. Environmental Protection Agency(U.S. EPA), Office of Water, publishers CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Statistics Korea (2016). *Manual for self assessment of statistics quality ver. 5.0*, Statistics Korea, Daejeon, Korea. [Korean Literature]
- Ujevic, I., Odzak, N., and Baric, A. (2000). Trace metal accumulation in different grain size fraction of the sediments from a semi-enclosed bay heavily contaminated by urban and industrial wastwaters, *Water Research*, 34, pp. 3055–3061.
- Yeongsan · Seomjin river watershed management committee (YWMC) (2008–2012). *Research on Long-term Monitoring and BMPs for the Non-point Source Discharge*, Yeongsan · Seomjin River watershed Management committee, Korea. [Korean Literature]
- Yeongsan · Seomjin river watershed management committee (YWMC) (2013–2016). *Research on Long Term Monitoring for the Non-point Source Discharge*, Yeongsan · Seomjin River watershed Management committee, Korea. [Korean Literature]