

공업지역의 비점오염원 원단위산정에 관한 연구

A study on estimation of the unit of nonpoint source pollution from the industrial site

손태석*, 장종경**, 이상도***, 주동진****, 신현석*****

Tae Suk Shon, Jong Kyoung Jang, Sang Do Lee, Dong Jin Ju, Hyun Suk Shin

요 지

본 연구는 강우시 A 공업단지와 B 농공단지의 공업지역에서 통계적인 오염물질 농도와 오염물질 특성을 찾아내기 위하여 모니터링 및 분석을 수행하였으며, 강우유출수 조사방법에 따른 원단위산정을 위하여 유량가중평균농도(EMC)산정, 강우계급별 유량가중평균농도를 산정하였으며, 공업지역의 대표 유량가중평균농도(EMCz) 산정, 유출율을 산정하였으며, 앞에 산정한 자료를 이용하여 선정한 공업지역 원단위를 산정하여 기존 원단위 값과 비교분석 하였다. 이렇게 산출된 자료는 공업지역 비점오염원 최적관리를 위한 과학적 근거자료 제공 및 기초자료로서의 활용, 모니터링을 통한 공업지역의 비점오염원의 관리대책 및 낙동강 수질개선을 위한 정책자료에 관한 기초자료 제공, 국내 실정에 부합하는 최적 비점오염원 저감시설의 설치를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

핵심용어: 공업지역, 원 단위 산정, 유량가중평균농도(EMC), 비점오염원

1. 서론

공공수역에 유입되는 수질오염물질의 발생원은 크게 점오염원과 비점오염원으로 구분할 수 있다. 점오염원은 주로 가정하수와 공장폐수로 구성되며, 비교적 일정한 지점에서 일정한 양이 지속적으로 발생되어 강우시나 비강우시 배출량에 큰 변동이 없는 특성을 가진다. 반면, 비점오염원은 도시·농지·산지 등에서 불특정하게 오염물질을 발생시키는 장소 또는 지역을 의미하며, 비점오염물질 발생도 강수·바람 등을 통해 지표유출수를 통해 유출되거나 직접 수계에 유입되는 특성을 가진다. 주요 원인물질로는 농지에 살포된 비료 및 농약, 토양침식물, 축사유출물, 교통오염물질, 도시지역의 먼지와 쓰레기, 자연동·식물의 잔여물, 대기오염물질의 강하물 등이 있다. 비점오염물질은 일반적으로 강우시 유출되기 때문에 일간·계절간 배출량 변화가 크고 예측과 정량화가 어려우며, 인위적 조절이 어려운 기상조건·지질·지형 등에 영향을 많이 받는 특성을 지니고 있다.

특히 공업지역은 비점오염원의 유출원단위가 타 토지이용보다 월등히 높고 또한 불투수성 포장 비율이 높아짐에 따라 강우시 침투 유출량이 커지고 이에 따라 비점오염물질의 이동력도 증가하

*정회원 · 부산대학교 토목공학과 박사과정 · E-mail: tsshon1@hanmail.net

**정회원 · E메트릭스 · E-mail: jkcopyleft@empal.com

***비회원 · 부산대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail: lsdzzang7@.nate.com

****정회원 · 부산대학교 토목공학과 박사과정 · E-mail: ju123c@hanmail.net

*****정회원 · 부산대학교 공과대학 토목공학과 부교수 · E-mail: hsshin@pusan.ac.kr

여 수질과 수량적인 측면에서 관리가 필요하다.

본 연구는 강우시 A 농공단지과 B 공업단지의 공업지역에서 통계적인 오염물질 농도와 오염물질 특성을 찾아내기 위하여 모니터링 및 분석을 수행하고 선정한 공업지역 원단위를 산정하여 기존 원단위 값과 비교분석하였으며, 이러한 자료를 공업지역 비점오염원 최적관리를 위한 과학적 근거자료 제공 및 기초자료로서 활용될 것으로 판단된다.

2. 연구방법

공업지역 비점오염물질 유출의 특성을 파악하기 위하여 2008년 5월에서 2009년 9월까지 A 농공단지와 B 공업단지 각각 18회와 8회 총 26회의 모니터링을 실시하였다. 내 우수관을 통하여 방류되는 지점을 선정하여 각각의 단지 내에 유량측정기(Flow Tote II - 개방형 수로형 유속측정기)를 설치하여 측정하고, 강우강도에 따라 채수시간을 조절하면서 우수관을 통하여 유출되는 유출수를 채수하였다. 채수된 시료는 수질오염공정시험법(2003) 및 Standard method(2004)에 따라 BOD, TOC, COD, SS, TN 및 TP의 항목에 대하여 분석하였다. 유량가중 평균농도(EMC)는 개별 강우사상 x의 유량가중평균농도, $EMC_x(\text{mg/l})$ 는 강우유출수의 유량 및 수질 동시 측정 자료로부터 다음의 식에 의해 산정하였다.

$$EMC_x = \frac{\text{강우유출수 중 총 오염물질량}}{\text{총 강우유출유량}} = \frac{\sum_{t=0}^T (Q_t \times C_t)}{\sum_{t=0}^T Q_t} \quad (1)$$

여기서, t는 유출시점으로부터의 경과시간, Q_t 는 시간 t에서의 유출 유량(m^3/s), C_t 는 시간 t에서의 오염물질 농도(mg/l)이다. 강우계급별 유량가중평균농도는 강우계급 y의 평균 유량가중평균농도, $EMC_y(\text{mg/l})$ 는 다음 식에 의해 산정하였다.

$$EMC_y = \frac{\sum_{n=1}^N (EMC_{xn})}{N} \quad (2)$$

여기서, EMC_{xn} 은 강우계급 y에 해당하는 전체 N개의 강우사상 중 n번째 강우사상의 EMC(mg/l)이다. 공업지역의 대표 유량가중평균농도(EMC_z)를 공업지역의 유량가중평균농도는 4개 강우계급에 대해 산정된 평균 EMC_y 로부터 다음의 식으로 산정하였다.

$$EMC_z = \sum (EMC_y \times f_y) \quad (3)$$

여기서, f_y 는 대표 년 강우량 중 강우계급 y에 해당하는 총강우량의 비이다. 유출을 산정은 강우사상별 유출을 산정, 강우계급별 유출을 산정 그리고 공업지역의 유출을 산정을 실시하였고 위의 산정된 값으로 공업지역의 발생원단위산정을 실시하였다

$$\text{원단위}_z = \sum (\text{강우계급 } y \text{의 총강우량} \times EMC_y \times R_y) / 365 \quad (4)$$

이렇게 산정된 원단위를 기존의 원단위 값과 비교를 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

강우시 공업지역에서 발생한 강우유출수에 대하여 측정지점 A, B에 대하여 각각 18회와 8회의 모니터링을 실시하였다. 측정기간 중 무강우 일수는 2~21일의 분포를 보였으며, 총 강우량은 A지점에서 1~191.5 mm, B지점에서 7.5~207. mm, 강우지속시간 A지점 5.5~13 hr, B지점 8~23 hr로 측정되었다. 강우사상별 유량가중평균농도(공업지역)은 아래 표와 같다.

표 1. 강우사상별 유량가중평균농도 (공업지역)

	유출량 (m ³)	총강우 (mm)	유량가중평균농도(mg/l)									
			BOD	COD	TOC	SS	T-N	NH ₃ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	T-P	PO ₄ -P
A 농공단지(2008)												
Event1	99.86	14	7.4	82.7	-	14.5	2.9	0.158	1.743	0.851	0.368	13.219
Event2	99.08	17	160.1	14.5	-	19.8	24.1	12.438	0.209	2.650	1.051	0.766
Event3	6.96	5.5	36.6	28.6	-	41.9	6.6	4.481	0.279	1.074	0.484	0.076
Event4	11.71	8.5	300.6	22.3	-	12.8	12.8	9.761	0	0.036	1.706	0.965
Event5	18.3	5	32.6	7.7	-	64.2	2.8	1.007	0.143	4.104	0.106	0
Event6	15.74	15	62.3	17.5	-	75.6	2.4	0	0.131	0.296	0.124	0.011
Event7	1.18	1	63.5	146.9	-	24.4	30.8	0	0.233	0.140	3.947	2.860
Event8	28.11	12.5	16.6	9.0	-	6.9	4.0	0	1.071	1.037	3.544	0.392
Event9	73.44	20	30.2	48.9	-	30.2	13.9	0	0.556	0.470	1.095	0.341
Event10	315.99	33.5	24.6	14.3	-	6.3	13.1	0	0.004	0.374	0.186	0.155
Event11	188.56	18.5	100.9	22.3	-	12.9	4.6	3.2	0.177	0.743	0.269	0.045
A 농공단지(2009)												
Event12	5.11	12	13.97	23.28	6.20	24.87	7.76	3.95	0.08	1.15	0.60	0.18
Event13	2.01	7	3.92	6.54	3.39	16.86	2.63	1.24	0.01	0.70	0.09	0.00
Event14	190.70	24	5.03	6.99	2.78	16.89	1.59	0.76	0.04	0.72	0.17	0.00
Event15	325.22	40	11.30	8.90	4.60	13.00	1.30	0.74	0.01	0.47	0.05	0.00
Event16	1284.92	191.5	4.70	9.00	2.50	11.10	2.10	0.89	0.01	0.23	0.21	0.04
Event17	49.71	15.5	10.60	11.10	3.80	11.10	1.90	1.28	0.02	0.40	0.26	0.01
Event18	33.93	19.0	6.20	10.00	2.40	13.20	2.90	1.81	0.02	0.85	0.14	0.00
B 공업단지(2009)												
Event1	0.16	16.5	9.64	28.93	3.90	22.75	2.36	0.60	0.00	0.64	0.23	0.00
Event2	0	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Event3	140.52	20.5	15.73	17.72	5.66	38.32	2.48	1.18	0.08	1.12	0.98	0.12
Event4	269.83	44.5	6.10	7.2	2.9	9.7	1.6	0.75	0.03	0.73	0.09	0.00
Event5	5.96	7.5	19.00	30.7	9.3	27.6	5.4	2.43	0.36	2.30	1.15	0.17
Event6	1466.37	310	3.10	4.70	1.40	9.90	1.90	0.74	0.01	0.39	0.06	0.08
Event7	141.10	21	13.2	26.2	4.9	13.9	1.7	1.05	0.02	0.40	0.09	0.06
Event8	24.51	18.5	25.2	38.1	8.8	24.5	2.2	1.22	0.25	0.24	0.42	0.002

표 2. 강우 계급별 조사 횟수

강우계급	조사횟수(%)	누적강우량(mm)	적정 조사 횟수
0~10mm	7(29)	44.5	10
10~30mm	14(50)	243.5	10
30~50mm	3(13)	118.0	5
>50mm	2(8)	501.5	5
총계	26(100)	907.5	30

식(2)를 통해 공업지역의 산정된 강우계급별 EMC_y를 아래 표에 제시하였는데 0~10mm강우 시에서 BOD, COD, SS가 가장 높은 경향을 나타내었다.

표 3. 강우계급별 유량가중평균농도 (EMC_y)

강우계급	유량가중평균농도(mg/ℓ)									
	BOD	COD	TOC	SS	T-N	NH ₃ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	T-P	PO ₄ -P
0~10mm	28.74	61.31	4.20	22.89	12.94	1.22	0.20	1.05	1.39	1.33
10~30mm	9.84	25.40	3.84	18.69	2.98	1.20	0.33	0.74	0.68	1.40
30~50mm	14.00	10.13	2.50	9.67	5.33	0.50	0.01	0.52	0.11	0.05
> 50mm	3.90	6.85	1.95	10.50	2.00	0.82	0.01	0.31	0.14	0.06

식(3)을 통해 공업지역의 유량가중평균농도를 산정한 결과를 아래 표에 나타내었다.

표 4. 공업지역의 대표 유량가중평균농도

구분	대표 유량가중평균농도(mg/ℓ)									
	BOD	COD	TOC	SS	T-N	NH ₃ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	T-P	PO ₄ -P
공업지역	12.23	19.38	2.92	13.79	4.81	0.84	0.12	0.59	0.42	0.56

식(4)를 통해 공업지역의 발생원단위 산정한 값이 다음과 같다.

표 5. 산정된 공업지역 원단위 (kg/km²/day)

BOD	COD	TOC	SS	T-N	NH ₃ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	T-P	PO ₄ -P
23.49	37.22	5.61	26.49	9.25	1.62	0.23	1.14	0.80	1.07

표 5.에서 산정된 공업지역 원단위와 기존 원단위 값의 비교를 다음 표에서 실시하였다.

표 6. 산정 원단위와 기존 원단위 값의 비교

항 목	전국평균 (1995, 환경부)	낙동강수계 비점오염원 조사사업 (2003, 환경부)	본 연구에서 예비 산정된 원단위
BOD	313.60	139.79	85.74
COD	388.70	179.33	135.84
SS	929.00	314.74	96.69
T-N	49.98	237.93	33.75
T-P	7.66	7.93	2.91

4. 결론

기존의 연구자들에 의해 산정 및 제시된 원단위와 비교를 해보았다. 도시지역의 원단위는 대부분

상업, 공업, 주거지역을 포함하기 때문에 고농도의 원단위가 산정되었다. 특히 환경부(1995)전국 도시지역의 BOD, COD 및 SS의 원단위는 각각 313, 388 및 929 kg/ha/yr로 나타나 아주 높게 평가 되었으며, 기존선행 연구결과와 비교하였을 때 2003년 환경부 자료의 원단위보다 모든 항목에서 낮게 나온 것을 볼 수 있으며, TN, TP의 경우 강우량, 강우강도 측정지점의 특성에 따라 오염물질의 농도 및 유출이 다르게 나타나는 것으로 나타나, 공장 및 공단 특성별 비점오염물질의 농도조사가 필요한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 국립환경과학원(2006), 낙동강 수계 제2차 오염총량관리 기준설정연구(기준유량, 안전율, 목표수질설정 연구), 환경부.
2. 강문성, 박승우(2003). 비점원오염모델을 이용한 오염총량모의시스템의 개발 및 적용. 한국수자원학회논문집 제36권 제1호, pp 117-128.
3. 김성수 등(2002). 경안천 유역의 강우사상별 비점오염원 유출특성 및 원단위 조사, 대한환경공학회지, 제24권, pp2019-2027.
4. 김철, 김석규(2001). GIS를 이용한 주암호 유역의 점 및 비점오염원 부하량 계산.
5. 박승우(2000). 농지개량과 정비, 농촌유역 비점오염의 모니터링 및 모델링 기술개발. 농업생명과학연구 제4권.
6. 신현석, 최시중, 김중훈(1998). 신경망을 이용한 도시유역 유출 및 비점원 오염물 배출 모형화 연구, 대한토목학회, 제18권 제II-5호, pp.437-448.
7. 안상진, 김용용, 김진극, 연인성(1998). 대한토목학회 1998년 학술발표회 논문집(III), pp 259-262.