

도시유역 공업단지의 비점오염 부하량 산정

A study on Estimation of Nonpoint Pollution Loads in the Industrial Site of Urban Area

손태석*, 김미은**, 주재승***, 신현석****, 윤영삼*****

Tae Seok Shon , Mi Eun Kim, Jae Seung Joo, Hyun Suk Shin, Young Sam Yoon

요 지

공공수역의 수질개선을 위해 그동안 하·폐수 처리장 등 친환경시초시설의 건설과 하수관거의 확충으로 점오염을 통제해왔으나, 여전히 하천, 호소, 연안의 수질은 목표 수준까지 개선되지 않고 있으며, 점오염원 삭감에 따라 상대적으로 비점오염원의 수질오염 기여도는 증가하고 있다. 비점오염물질은 도로상 오염물질, 도시지역의 먼지와 쓰레기, 지표상 퇴적오염물질, 농지에 살포된 농약, 축사에서 유출물 등이 강우시 빗물과 함께 유출되면서 발생한다. 특히, 도시지역에는 대·소규모 공단들이 밀집되어 있기 때문에 발생하는 비점오염물질의 특징은 단위면적당 오염부하가 크고 각종 유독성 물질을 함유하고 있다. 그러므로 본 연구에서는 도시유역의 개별 공장이 아닌 이러한 비점오염원 특징을 가진 대·소규모 공업단지(김해시 나전농공단지, 부산시 녹산 국가산업단지)를 선정하여 비점오염물질의 유출특성을 알아보고자 하였다.

핵심용어 : 공업지역, 불투수, 부하량, EMCs

1. 서론

국내에서의 비점오염원 관리는 1995년 환경부에서 실시한 ‘전국 비점오염원 조사연구사업’에서 토지이용에 따른 비점오염원 원단위를 산정하여 비점오염원 발생량을 산출하였고, 그 이후 1997년 ‘물관리 종합대책’, 1998년 ‘한강 등 팔당상수원 비점오염원 최적관리사업 타당성 조사 및 기본계획수립’을 통하여 비점오염원으로 인한 수질오염을 최소화하는 계획을 세우고 ‘비점오염원 관리요령’을 마련하였다. 이와 같이 비점오염원의 중요성에 대한 인식이 증대되면서 종전의 하·폐수 등 점오염원 관리 중심에서 토지이용에 따른 비점오염원 관리를 본격화하고 있다.

비점오염 물질은 대부분이 강우시에 유출되므로, 재현성을 포함한 정량화는 많은 노력과 비용이 소요된다. 강우시 유출되는 비점오염원의 하천 및 호소 수질에 대한 영향은 하수 처리율이 향상되고 경제활동수준이 증가하고, 토지이용이 고밀도로 이용될수록 상대적으로 높아지고 있다. 특히 오염원이 집중되어 있는 도시지역에서의 비점오염원에 대한 관리대책은 기존 생활하수, 공단폐수 그리고 산업폐수와 같은 점오염에 비하여 충분히 진행되지 못하고 있는 실정이다. 수역의 수질을 적절히 관리하기 위해서는 유역 내에 분포하는 비점오염 발생량의 공간적·시간적 분포를 우선적으로 파악함과 아울러 수역으로 유출되는 오염발생량을 양적·질적인 측면에서 규명하는 것

* 정회원 · 부산대학교 공과대학 사회환경시스템공학과 수공학전공 박사후과정 · E-mail : tsshon1@hanmail.net
** 비회원 · 부산대학교 공과대학 사회환경시스템공학과 수공학전공 박사과정 · E-mail : way5810@naver.com
*** 비회원 · 부산대학교 공과대학 사회환경시스템공학과 토목공학전공 석사과정 · E-mail : jjso824@pusan.ac.kr
**** 정회원 · 부산대학교 공과대학 사회환경시스템공학과 정교수 · E-mail : hsshin@pusan.ac.kr
***** 비회원 · 낙동강물환경연구소 연구사 · E-mail : ysyoon3sf@korea.kr

이 대단히 중요하다. 장래의 수질관리 성공여부는 비점오염원의 효율적인 관리여부가 큰 변수로 작용할 것으로 본다. 따라서 도시지역의 수질관리를 위해서는 토지이용과 지역특성을 고려한 비점오염원 부하량의 합리적인 조사가 필요하다.

2. 연구방법

2.1 대상지점 선정

도시유역 비점오염원 모니터링을 수행하기 위하여 김해시 나전농공단지과 부산시 녹산국가산업단지의 하천인근에 위치한 분류식 우수관거를 선택하여 공장 지역 내에서 강우시에만 유출되는 지점을 선정하였다. 비점오염 측정을 위해 나전농공단지 12,000m²와 녹산국가산업단지 13,000m² 면적에 해당하는 구역을 선정하여 해당 사업장에서 유출되는 비점오염물질 측정 계획을 수립하였다. 이와 같이 분류식으로 정비되어 있어 비점오염물질에 대한 측정이 용이하고 정확한 비점오염물질에 대한 농도 분석이 가능할 것으로 판단되어 조사대상 대표지점으로 선정하였다.



그림 1. 김해시 나전농공단지



그림 2. 부산시 녹산국가산업단지

2.2 모니터링방법

공업지역의 비점오염물질에 대한 모니터링은 우수로를 통해 우기시 빗물만 유출되는 지점을 선정하여 모니터링을 실시하였다. 공장 내 우수만 유출되는 지점을 선정하여 강우시간에 따른 유출량 및 수질에 대한 모니터링을 실시하였으며, 유량은 1분단위로 자동측정이 이루어지게 유량측정기(Flow Tote II - 개방형, 수로형 유속측정기)를 설치하여 측정하였고, 강우강도에 따라 채수 시간을 강우시작시간을 0분으로 선정하고, 이후 5분 및 10분의 간격으로 조절하면서 우수관을 통하여 유출되는 유출수를 채수하였다. 채수된 시료는 수질오염공정시험법(2003) 및 Standard method(2004)에 따라 BOD, COD, TOC, SS, T-N, 및 T-P의 항목에 대하여 분석하였다. 자세한 모니터링 항목과 대상 현황은 표 1 과 그림 3~그림 4 에 나타내어 있다.

표 1. 모니터링 항목

항목		분석방법	비고
Akalinity	(mg/L as CaCO ₃)	Standard method (APHA, 1998)	-
SS	(mg/L)	Standard method (APHA, 1998)	-
COD		수질오염공정시험법 (환경부, 2003)	-
BOD ₅		수질오염공정시험법 (환경부, 2003)	-
TN		수질오염공정시험법 (환경부, 2003)	-
NH ₄ ⁺ -N		Auto Analyzer 3 (AA3, Bran+Luebbe, Germany)	기기분석
NO ₃ ⁻ -N		Auto Analyzer 3 (AA3, Bran+Luebbe, Germany)	기기분석
NO ₂ ⁻ -N		Auto Analyzer 3 (AA3, Bran+Luebbe, Germany)	기기분석
TP		수질오염공정시험법 (환경부, 2003)	-
PO ₄ ³⁻ -N		Auto Analyzer 3 (AA3, Bran+Luebbe, Germany)	기기분석



그림 3. 김해 나전농공단지



그림 4. 부산 녹산국가산업단지

3. 결과 및 고찰

공업지역에 대한 강우 사상별 시료를 채취하여 시험분석을 실시하였다. 시료채취는 2008년부터 2010년 까지 나전 농공단지 총 23회(1회: 08/03/23, 2회: 08/03/29, 3회: 08/04/16, 4회: 08/04/23, 5회: 08/05/04, 6회 : 08/05/13, 7회: 08/06/04, 8회: 08/06/17, 9회: 08/08/12, 10회: 08/08/22, 11회: 09/02/19, 12회: 09/03/05, 13회: 09/04/13, 14회: 09/04/20, 15회: 09/07/07, 16회: 09/07/21, 17회: 09/09/27, 18회: 10/05/06, 19회: 10/06/26, 20회: 10/07/02, 21회: 10/07/28, 22회: 10/09/02, 23회: 10/09/11)와 녹산국가산업단지 총 14회(1회: 09/02/19, 2회: 09/04/13, 3회: 09/04/20, 4회: 09/06/20, 5회: 09/07/07, 6회: 09/07/21, 7회: 09/09/27, 8회: 10/04/26, 9회: 10/06/18, 10회: 10/06/25, 11회: 10/07/28, 12회: 10/09/02, 13회: 10/09/06, 14회: 10/09/11)를 실시하였다. 채수된 시료는 수질오염공정시험(2003) 및 Standard method(2004)에 따라 분석하였고 각각 분석된 아래에 식에 따라 유량가중평균농도(EMCs)를 산정하였다.

$$\frac{\sum_{i=1}^j C_i Q_i \Delta t_i}{\sum_{i=1}^N C_i Q_i \Delta t_i} = f \left(\frac{\sum_{i=1}^j Q_i \Delta t_i}{\sum_{i=1}^N Q_i \Delta t_i} \right) \quad (1)$$

각각의 공업지역에 산정된 유량가중평균농도(EMCs)를 살펴보면 나전농공단지의 경우 BOD 20.3 mg/l, COD 16.59 mg/l, T-N 6.82 mg/l, T-P 0.68 mg/l 녹산 국가산업단지는 BOD 12.2 mg/l, COD 18.53 mg/l, T-N 3.230 mg/l, T-P 0.43 mg/l로 평균 유출부하량은 비슷한 것으로 나타났다. 각각의 공업단지 이벤트별 유량가중평균농도(EMCs)는 표 2에 나타내어있다.

표 2. 이벤트별 유량가중평균농도(EMCs)

	유출량 (m ³)	총강우량 (mm)	유량가중평균농도(mg/l)									
			BOD	COD	TOC	SS	T-N	NH ₃ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	T-P	PO ₄ -P
김해 나전농공단지(2008~2010)												
event 1	99.86	14	82.70	5.23	-	13.06	14.54	2.91	0.16	1.74	0.85	0.37
event 2	99	13	15.80	14.50	-	19.80	18.60	12.44	0.21	2.65	1.05	0.77
event 3	6.96	5.5	36.60	28.60	-	41.90	6.60	4.48	0.28	1.07	0.48	0.08
event 4	11.75	7	30.10	22.30	-	12.80	12.80	9.76	0.00	0.04	1.71	0.97
event 5	17.8	5	3.30	7.70	-	64.20	2.80	1.01	0.14	4.10	0.11	0.00
event 6	15.74	15	8.20	17.50	-	75.60	2.40	0.00	0.13	0.30	0.12	0.01
event 7	28.55	12.5	16.7	9.0	-	6.90	4.00	0.00	1.07	1.04	3.54	0.39
event 8	73.68	19	29.90	48.90	-	30.20	13.90	0.00	0.56	0.47	1.10	0.34
event 9	315.99	33.5	24.63	14.32	-	6.31	13.06	0.00	0.00	0.37	0.19	0.15
event 10	188.82	18.5	78.88	17.41	-	10.05	3.61	2.50	0.14	0.58	0.21	0.04
event 11	6.02	12	15.95	26.58	6.72	24.06	10.77	5.83	0.09	1.26	0.98	0.26
event 12	2.41	6.5	4.46	7.49	3.62	20.76	3.12	1.59	0.01	0.71	0.10	0.00
event 13	190.87	24	5.05	7.02	2.79	16.96	1.59	0.76	0.04	0.72	0.17	0.00
event 14	325.22	40	11.30	8.90	4.60	13.00	1.30	0.74	0.01	0.47	0.05	0.00
event 15	1283.25	191.5	4.60	9.00	2.50	11.10	2.10	0.89	0.01	0.23	0.21	0.04
event 16	49.71	14.5	10.60	11.10	3.80	11.10	1.90	1.28	0.02	0.40	0.26	0.01
event 17	33.93	19	14.00	22.30	5.30	29.60	6.50	4.05	0.05	1.91	0.30	0.00
event 18	0.32	1	22.84	27.47	12.63	31.23	11.89	12.33	0.00	2.40	1.57	0.00
event 19	29.10	7	11.08	18.03	5.08	16.84	4.44	3.19	0.06	0.46	0.90	0.01
event 20	0.13	2	21.57	29.58	12.82	28.72	10.68	0.00	1.72	2.08	0.00	0.00
event 21	172.89	21	6.32	8.03	2.34	5.43	1.52	1.01	0.01	0.18	0.15	0.05
event 22	326.44	31	3.88	7.81	3.56	5.01	4.64	2.30	0.00	1.48	0.73	0.00
event 23	178.22	19	8.52	12.87	4.95	10.39	4.17	2.35	0.10	1.00	0.84	0.08

표 2. 이벤트별 유량가중평균농도(EMCs)(계속)

	유출량 (m ³)	총강우량 (mm)	유량가중평균농도(mg/ℓ)									
			BOD	COD	TOC	SS	T-N	NH ₃ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	T-P	PO ₄ -P
녹산 C공단(2009~2010)												
event 1	1.81	16.5	8.82	26.45	3.87	22.09	2.32	0.58	0	0.64	0.22	0
event 2	139.64	20.5	15.73	17.72	5.66	38.32	2.48	1.18	0.08	1.12	0.98	0.12
event 3	269.81	44.5	6.1	7.2	2.9	9.7	1.6	0.75	0.03	0.73	0.09	0
event 4	45.7	7.5	18.8	30.5	9.2	27.4	5.4	2.43	0.36	2.3	1.14	0.11
event 5	544.59	191	3.1	4.6	1.4	9.8	1.9	0.72	0.01	0.38	0.06	0.08
event 6	24.3	21	14.8	29.5	5.5	16.2	2	1.39	0.01	0.35	0.08	0.05
event 7	24.51	18	25.2	38.1	8.8	24.5	2.2	1.22	0.25	0.24	0.42	0
event 8	260.24	24.5	4.78	6.51	2.17	9.33	2.05	1.09	0.01	0.76	0.22	0
event 9	3.27	3.5	22.43	34.81	14.05	47.73	6.8	4.69	0.51	1.14	0.58	0.26
event 10	33.71	11.0	1.7	3.57	0.95	1.84	0.17	0.1	0.03	0.01	0.02	0
event 11	108.17	57.0	8.4	13.19	5.87	9.14	1.94	0.94	0.04	0.51	0.19	0
event 12	71.79	36.0	14.37	24.18	11.32	17.57	2.28	1.03	0.01	0.75	0.48	0.03
event 13	39.49	5.0	15.78	24.25	11.55	26.11	9.96	6.82	0.01	1.3	1.07	0
event 14	68.01	8.5	15.91	25.97	11.04	14.86	6.28	3.78	0.06	1.56	0.85	0.05
event 15	325.23	40	11.3	8.9	4.6	13	1.3	0.74	0.01	0.47	0.05	0
event 16	1284.9	191.5	4.6	9	2.5	11.1	2.1	0.89	0.01	0.23	0.21	0.04

4. 결론

본 연구를 통해서 공업지역을 포함한 도시지역의 비점오염원부하량으로부터 낙동강수계로 유입되는 오염기여율을 파악하며, 비점오염원의 관리대책 및 낙동강수계 수질개선을 위한 정책수립의 기초자료로 활용될 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 주요 비점오염원 장기모니터링 사업을 통하여 지원된 환경부 수계환경기초조사사업에 의하여 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 국립환경과학원(2010), 주요 비점오염원 장기모니터링 4차년도.
2. 강문성, 박승우(2003), 비점오염 모델을 이용한 오염총량모의시스템의 개발 및 적용, 한국수자원학회논문집, 제 36권 제 1호, pp. 117-128.
3. 신현석, 최시중, 김중훈(1998), 신경망을 이용한 도시유역 유출 및 비점원 오염물 배출 모형화 연구, 대한토목학회, 제 18권 제 II-5호, pp. 437-448.