

강우시 산업단지에서의 유출오염부하량 원단위 산정

이준호 · 방기웅* · 최종수**

청주과학대학 환경공학과
*대전산업대학교 환경공학과
**한국토지공사 토지연구원

(1999년 9월 8일 접수, 1999년 11월 12일 채택)

Pollutants Unit Loadings of the Stormwater Runoff in Industrial Complex

Jun-Ho Lee · Ki-Woong Bang* · Jong-Soo Choi**

Department of Environmental Engineering, Chongju National College of Science and Technology

**Department of Environmental Engineering, Taejon National University of Technology*

***Land Research Institute, Korea Land Corporation*

ABSTRACT

The objective of this paper is to estimate the pollutant load based on event mean concentrations(EMC) in industrial complex. Eight sub-basins in the Chongju industrial complex were selected for sampling and study with different characteristics during the period from June 1997 to August 1998. During the storm events, measured EMC ranges of BOD₅, COD, SS, TKN, TP, HEM, NO₃-N, PO₄-P, Cr, Pb, Cu and Fe in the industrial complex watersheds were 11~176mg/L, 40~502mg/L, 23~633mg/L, 1.04~20.9mg/L, 0.22~7.51mg/L, 12.7~548.7mg/L, 0.06~2.66mg/L, 0.12~3.39mg/L, 0.01~0.50mg/L, 0.02~0.42mg/L, 0.01~0.15mg/L and 1.29~11.51mg/L respectively. And the calculated annual average pollutant unit loadings of BOD₅, COD, SS, TKN, NO₃-N, PO₄-P, TP, HEM, Cr, Pb, Cu and Fe were 374.4kg/ha/yr, 924.1kg/ha/yr, 983.6kg/ha/yr, 48.8kg/ha/yr, 8.1kg/ha/yr, 9.7kg/ha/yr, 17.8kg/ha/yr, 943.0kg/ha/yr, 0.7kg/ha/yr, 0.9kg/ha/yr, 0.3kg/ha/yr and 28.9kg/ha/yr, respectively.

Key Words : Stormwater Runoff, Industrial Complex Watershed, EMC, Pollutant Unit Loading

요 약 문

본 연구의 목적은 산업단지의 개별공장 및 유사한 공장이 밀집된 유역을 대상으로 유출수를 분석하여 유량가중평균농도를 산정하고, 이를 기초로 하여 업종별 유출오염부하 원단위를 산정하는데 있다. 1997년 6월부터 1998년 8월까지 청주산업단지를 대상으로 유량 및 수질을 조사하였다. 분석결과를 기초로 산정된 조사지점별 EMC 범위는 BOD₅, COD, SS, TKN, TP, HEM, NO₃-N, PO₄-P, Cr, Pb, Cu, Fe에 대해 각각 11~176mg/L, 40~502mg/L, 23~633mg/L, 1.04~20.9mg/L, 0.22~7.51mg/L, 12.7~548.7mg/L, 0.06~2.66mg/L, 0.12~3.39mg/L, 0.01~0.50mg/L, 0.02~0.42mg/L, 0.01~0.15mg/L, 1.29~11.51mg/L로 산정되었다. 또한, 강우시 산업단지에서 유출하는 년평균 오염부하 원단위는 BOD₅, COD, SS, TKN, NO₃-N, PO₄-P, TP, HEM, Cr, Pb, Cu, Fe에 대해 각각 374.4 kg/ha/yr, 924.1kg/ha/yr, 983.6kg/ha/yr, 48.8kg/ha/yr, 8.1kg/ha/yr, 9.7kg/ha/yr, 17.8kg/ha/yr, 943.0kg/ha/yr, 0.7kg/ha/yr, 0.9kg/ha/yr, 0.3kg/ha/yr, 28.9kg/ha/yr로 산정되었다.

주제어 : 강우 유출수, 산업단지유역, 유량가중평균농도, 오염부하원단위

1. 서 론

도시지역에서 강우시 유출되는 오염부하량은 토지용도에 따라 다르다. 특히 산업발달로 인해 대규모의 산업단지들이 많이 조성되고 있고, 지속적으로 조성을 하고 있어 산업단지 개발에 따른 인근 지역의 수질오염에 대한 피해 사례들이 많이 보도되었다. 산업단지내에 소재한 공장들은 제품생산을 위해 많은 종류의 화학물질들을 원료로 사용하거나 생산하므로 폐수의 성상 또한 매우 다양하다. 산업단지에서 강우시 유출되는 오염물질의 배출원을 U.S. EPA의 National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES)에서는 다음과 같이 6가지 범주로 분류하고 있다.⁹⁾

- 고체 및 액체물질의 하역과정에서 오염물질의 누출
- 강우시 옥외저장된 원료 및 생산제품의 직접적인 유출
- 옥외에서 대형트럭 등의 세척, 또는 공장부지내 토지변경으로 토양유실
- 공장굴뚝을 통한 분진 및 입자성물질의 배출
- 부적절한 하수관 연결 및 불법배출
- 폐기물의 야적 또는 부지내 일시적인 매립으로 인한 유출

특히 공장부지내에는 기름, 중금속 등의 유해화학 물질들이 누출될 수 있는 가능성이 매우 높고, 강우시에 이들 물질들은 우수관로를 통해 인근 하천으로 배출되어 수중 생태계를 크게 위협한다. 따라서, 산업단지 조성시 강우로 인한 유출오염부하량을 조사 분석하여 이에 대한 적절한 저감대책의 수립없이 인근 수역의 수질개선은 매우 어렵다고 생각된다.

국내에서는 농업지역, 주거지역, 상업지역 등을 대상으로 강우시 유출오염부하량을 조사한 사례는 다소 있지만 산업단지만을 대상으로 조사된 연구는 국내·외를 통해 매우 미미한 실정이다.^{2, 10, 12)} 또한 국내에서 수계 수질관리를 위해 강우유출에 의한 오염부하량 예측모델들을 이용함에 있어 수반되는 제한점들은 이러한 조사 자료가 거의 없다는 점이다. 즉, 모델을 적용시 토지용도별 유출오염부하량 원단위가 필요한데 이에 대한 자료가 없으므로 외국에서 적용한 자료에 의존하고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구의 목적은 산업단지의 개별공장 및 유사한 공장이 밀집된 유역을 대상으로 유출수를 분석하여 유량가중평균농도(EMCs, event mean concentrations)를 산정하고, 이를 기초로 하여 업종별 유출오염부하 원단위를 산정하는데 있다. 산업단지 유출오염부하량 원단위 자료들은 계획중인 산업단지나 이미 조성된 산업단지에 대해 유출오염부

하를 제어하기 위한 이용 가능한 최적기술(best management practices, BMPs)의 기초자료로 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 조사방법

조사대상유역은 청주산업단지로서 청주시 흥덕구 송정동, 북대동, 봉명동, 강서동 일원에 위치해 있으며, 1단지부터 4단지까지 총 4개 단지로 구성되어 있다. 총 부지면적은 4,098,000m²(1,240,000평)이며, 토지이용현황은 공장부지가 74%, 부수시설 3%, 도로 등 공공시설물 18%, 공원녹지가 5%이다. 현재 입주되어 있는 업체는 140여 개 정도이고, 청주산업단지의 폐수 및 우수배수시설 형태는 분류식이며 우수는 단지를 통과하는 개수로 형태의 수로에 유입된다. 청주산업단지는 업종별로 블록화가 되어 있지 않아 각 조사지점이 단일업종을 갖는 지점을 선정하기가 곤란하였다. 조사지점은 업종별 유출 특성을 고려하기 위해 각 단위 업종별로 소유역을 정하고 해당 소유역내 맨홀이나 토구지점에서 조사를 하였다. 선정된 8개의 조사지점은 Fig. 1과 같으며, 각 소유역별 면적, 생산제품, 토지이용, 불투수층 면적비, 유역경사, 하수관거 길이 및 경사 등의 특성을 Table 1에 정리하였다.

현장조사는 1997년 6월부터 유속 및 수위측정, 단면측량, 시료채취 및 수질분석을 시작하여 1998년 8월까지 강우시에 유량 및 수질을 조사하였다. 강우발생시 조사지점별로 동시에 현장조사를 실시하였다. 1997년은 Site A, Site C, Site F, Site G

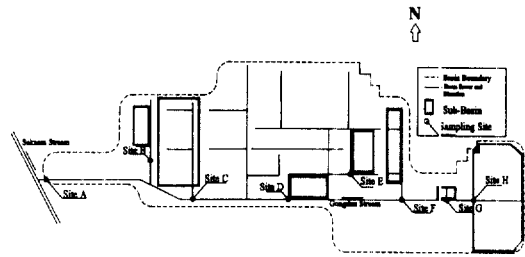


Fig. 1. Location of studied basin, sub-basins and sampling site.

를 대상으로, 1998년에는 Site A, Site B, Site D, Site E, Site H에 대해 각각 3회씩 조사하였다. 또한, 공단친의 기저오염부하산정을 위해 1998년 건기시에 Site A와 Site H를 대상으로 2시간 간격으로 24시간 유량을 측정하고 동시에 시료를 채수하여 분석하였다. 분석항목은 BOD₅, COD, SS, TKN, TP, HEM, NO₃-N, PO₄-P, Cr, Pb, Cu, Fe이었고, 분석방법은 Standard Methods⁶⁾와 수질오염공정시험법에 따라 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 유량가중평균농도

강우에 의해 유출되는 유출수는 일반적으로 강우 초기에 유량의 증가와 함께 급격히 증가하다 유량이 감소함에 따라 완만히 감소하는 경향을 나타낸다.^{5,13)} 강우 유출수의 유출특성을 파악하기 위해서는 유량을 고려하지 않는 수질농도의 변화로 평가하

Table 1. Characteristics of industrial complex basins

Basin Characteristics	Sub-basin Site							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Drainage area (ha)	190.00	5.42	15.2	6.24	7.94	7.40	1.50	27.00
Manufacturing material	Entire	Metal	Metalloid, Electronic	Fabric	Foods	Metalloid, Foods	Electronic	Metal, Foods, Commercial
Percent of impervious area	65	90	57	74	70	55	35	70
Land slope (%)	1.1	1.0	0.9	0.8	0.2	1.5	3.5	0.8
Storm sewer length (m)	3,000	525	950	425	575	1,750	200	2,400
Storm sewer slope (%)	0.5	2.1	1.8	1.5	0.5	2.5	2.0	1.0

고 있지만, 인접 수계로 배출되는 오염부하량의 개념에서는 유량도 고려한 부하량의 개념이 더 큰 의미를 갖는다고 할 수 있다. 따라서, 산술평균농도 이외에 유량을 고려하여 산정한 유량가중평균(event mean concentration, EMC)에 대한 해석이 인근 수계에 미치는 오염부하에 대한 영향을 분석하는데 타당하다고 판단된다. EMC는 강우시 발생한 총오염물질량을 총유출량으로 나눈 유량가중평균값으로 식 (1)을 이용하여 산정할 수 있다.^{7,13)}

$$EMC = \frac{M}{V} = \frac{\int C_{(t)}Q_{(t)}dt}{\int Q_{(t)}dt} \cong \frac{\sum Q_{(t)}C_{(t)}\Delta t}{\sum Q_{(t)}\Delta t} \quad (1)$$

여기서, EMC는 유량가중평균농도(mg/L), M은

강우기간중 유출된 오염물질 총량(g), V는 총유출량(m³), C_(t)는 이산시간(discrete time) 동안의 오염물질농도(mg/L), Q_(t)는 이산시간동안의 유량(m³/hr), Δt는 이산시간간격(hr)을 나타낸다.

강우기간중 유출된 총 오염부하량은 EMC에 총 유출량을 곱하면 된다. 따라서, 강우유출에 따른 인근 하천 등에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 EMC가 중요한 인자이므로 강우기간 및 조사지점별로 식 (1)을 이용하여 EMC를 산정하여 Table 2에 요약하였다.

조사지점별 EMC 범위 및 산술평균값은 BOD₅, COD, SS, TKN, TP, HEM에 대해 각각 11~176 (64.8) mg/L, 40~502 (170.1) mg/L, 23~633 (180.5) mg/L, 1.04~20.9 (6.59) mg/L, 0.22~

Table 2. Summary of EMCs for each sub-basins

Site	Date	BOD ₅	COD	SS	TKN	NO ₃ -N	PO ₄ -P	TP	HEM ^{a)}	Cr	Pb	Cu	Fe
A	97/6/30	59.9	342.2	368.3	8.1	2.6	1.4	4.8	413.6	0.224	0.126	-	-
	97/7/11	134.7	311.9	157.8	15.4	0.5	2.4	5.6	144.3	0.074	0.191	-	-
	97/11/12	90.0	185.3	104.5	3.6	1.1	1.6	3.9	90.7	0.499	0.133	-	-
	98/7/10	82.2	218.0	211.7	11.2	0.7	1.7	2.6	257.7	0.030	0.175	-	8.22
	98/7/21	120.9	321.0	417.9	18.5	1.2	2.1	3.2	470.9	0.052	0.058	-	6.70
	98/8/22	128.5	337.0	201.3	20.9	1.4	2.3	3.1	227.4	-	0.424	-	3.95
A(Dry ^{b)})	98/7/7-8	69.8	123.8	37.4	35.7	0.8	2.7	3.5	58.1	0.015	0.024	0.014	0.63
B	98/7/10	28.4	94.4	87.6	4.1	0.7	2.1	2.5	113.0	0.129	0.139	0.068	4.60
	98/7/21	51.0	106.3	30.1	6.0	1.3	1.6	2.3	42.8	0.035	0.211	0.037	1.70
	98/8/22	79.9	92.9	61.1	2.5	0.8	1.0	2.1	43.0	-	-	0.021	2.42
C	97/6/30	11.3	198.3	166.5	3.6	2.4	0.6	3.7	264.6	0.124	0.056	0.050	-
	97/7/11	93.9	201.2	79.2	4.4	1.4	2.9	5.3	112.6	0.093	0.156	0.060	-
	97/11/12	18.4	99.7	59.8	2.6	2.4	2.1	3.3	53.5	0.115	0.021	0.037	-
D	98/7/10	31.0	50.3	276.4	7.1	2.0	2.0	2.7	41.6	0.034	0.144	0.037	5.64
	98/7/21	17.2	39.5	52.9	10.1	2.4	2.2	3.1	27.6	0.084	0.021	0.012	1.29
	98/8/22	54.2	64.3	271.0	1.8	0.9	0.3	0.8	84.2	-	-	0.049	10.60
E	98/7/10	20.5	61.9	92.3	2.8	1.0	0.4	0.9	192.0	0.011	0.101	0.019	2.98
	98/7/21	14.9	40.5	32.1	2.2	2.2	0.2	1.3	12.7	0.195	0.064	0.050	1.97
	98/8/22	65.1	74.3	80.0	1.6	0.6	0.3	1.2	66.6	-	-	0.038	3.86
F	97/6/30	23.3	46.1	23.2	2.7	1.6	0.9	0.2	95.9	0.062	0.251	0.039	-
	97/7/11	176.3	502.3	236.7	10.0	6.0	0.2	7.5	202.9	0.113	0.312	0.152	-
	97/11/12	41.7	107.9	38.2	3.7	3.5	1.0	3.8	22.7	0.153	0.184	0.147	-
G	97/6/30	30.3	89.0	239.4	2.8	2.1	0.1	0.9	46.3	0.097	0.247	0.042	-
	97/7/11	44.8	135.8	207.1	3.0	0.1	1.7	1.9	170.4	0.130	0.316	0.049	-
	97/11/12	26.8	118.4	151.5	1.0	1.1	0.3	0.8	43.1	0.259	0.128	0.009	-
H	98/7/10	80.1	165.4	138.9	7.2	0.7	1.2	2.8	421.7	0.008	0.146	0.075	8.25
	98/7/21	107.5	222.0	633.2	10.6	0.8	1.2	3.1	548.7	0.075	0.133	0.059	11.51
	98/8/22	115.6	367.7	455.6	17.8	2.7	2.4	3.3	339.9	-	0.325	0.006	6.69
H(Dry ^{b)})	98/7/7-8	113.6	210.4	49.7	42.9	0.7	2.9	3.6	115.9	0.011	0.018	0.025	0.76

^{a)} HEM : n-Hexane extract material, ^{b)} Dry : Dry weather sampling

7.51 (2.85) mg/L, 12.7~548.7 (168.5) mg/L로 산정되었다. 또한, NO₃-N, PO₄-P, Cr, Pb, Cu, Fe에 대해서는 각각 0.06~2.66 (1.30) mg/L, 0.12~3.39 (1.46) mg/L, 0.01~0.50 (0.12) mg/L, 0.02~0.42 (0.17) mg/L, 0.01~0.15 (0.06) mg/L, 1.29~11.51 (5.36) mg/L이다.

이 등¹²⁾이 제시한 산술평균농도와 비교하면, 건기시에 수질 산술평균농도와 EMC값은 전반적으로 수질항목은 유사한 수치를 나타내나, 강우시에는 산술평균농도가 농도변동폭이 크며, 강우지속시간 전반에 걸친 평균농도는 EMC가 산술평균농도보다 큰 값을 보이고 있다. 이와 같이 유량을 고려한 EMC값이 크게 나타나는 것은 강우초기에 첨두유량의 발생시점 부근에서 수질농도 또한 높게 나타나기 때문이다. 대체적으로 Site A와 Site H에서 높은 EMC를 나타내고 있다.

3.2. 유출오염부하 원단위

강우시 유출오염부하 원단위는 조사대상유역 전체와 업종별 소유역을 대상으로 산정하였다. 해당 강우시 유량가중평균농도에 연간 유출량을 고려하

여 연간 단위면적당 유출오염부하량을 식 (2)를 적용하여 산정하였다.⁸⁾

$$L = \frac{C_v \times AR \times EMC}{100} \quad (2)$$

여기서, L은 연간 단위면적당 유출오염부하량(kg/ha/yr), C_v는 유출계수로 실측한 유출량(m³)/총강우 유출량(m³), AR은 년평균강수량(mm/yr), EMC는 유량가중평균농도(mg/L), 100은 단위환산상수이다.

실측한 유출량은 측정유량에 측정시간을 곱하여 구하였다. 총강우유출량은 자기우량기록지를 분석하여 유량측정시간 동안의 강우량에 소유역별 면적을 곱하여 산정하였다. 조사지점별 3회의 강우에 대한 평균 유출계수는 Table 3과 같다. 산업단지 전체에 대해 유역면적을 고려하여 산정한 평균 유출계수는 0.59로 조사되었다.

연간 강우시 유출량 산정을 위해 1991년부터 1997년까지 청주기상대에서 관측된 년평균 강우량인 1,119 mm/yr과 Table 3에 제시된 각 유역별 평균유출계수에 Table 2의 EMC에 대한 평균값을 구하여 수질항목별, 조사지점별 연간 단위면적당 유출오염부하량(kg/ha/yr)을 Table 4와 같이 산정하였다.

Table 3. Calculated runoff coefficients for each sub-basin

Sub-basin	A	B	C	D	E	F	G	H	Mean
Runoff coefficients	0.58	0.93	0.51	0.66	0.62	0.46	0.28	0.64	0.59

Table 4. Unit loads of pollutant from industrial complex watershed

Constituents	Unit loads in kg/ha/yr								Range	Mean ^{a)}
	A	B	C	D	E	F	G	H		
BOD ₅	666.5	517.3	352.2	164.0	207.2	454.2	122.1	511.7	122.1~666.5	374.4
COD	1,855.5	1,125.4	936.8	466.3	385.6	1,068.5	347.5	1,207.3	347.5~1,855.5	924.1
SS	1,581.0	538.0	583.5	957.9	914.5	583.3	506.2	2,204.8	506.2~2,204.8	983.6
TKN	84.2	151.3	19.9	48.7	15.9	15.8	9.7	45.0	9.7~151.3	48.8
NO ₃ -N	8.0	9.5	8.8	16.6	9.3	3.0	3.3	6.2	3.0~16.6	8.1
PO ₄ -P	12.4	21.9	8.8	15.5	2.1	6.6	3.7	6.4	2.1~21.9	9.7
TP	25.2	28.7	21.2	22.2	6.9	15.4	6.9	16.1	6.9~28.7	17.8
HEM	1,735.8	742.1	799.5	302.2	667.9	626.9	250.0	2,419.4	250.0~2,419.4	943.0
Cr	1.14	0.62	0.62	0.57	0.72	0.45	0.40	0.82	0.4~1.1	0.7
Pb	1.20	1.30	0.61	0.46	0.57	1.45	0.78	0.97	0.5~1.5	0.9
Cu	0.49	0.38	0.25	0.21	0.29	0.34	0.25	0.34	0.2~0.5	0.3
Fe	40.8	24.1	13.8	25.6	36.0	19.9	-	70.76	13.8~70.8	28.9

^{a)} Arithmetic Mean

산정된 업종별 유출오염부하량중 조사대상 전체 유역을 포함하는 Site A와 공단의 상류유역으로 상업지역이 포함된 Site H를 제외하고 업종별 유출특성을 정리하면 다음과 같다. BOD₅, COD의 경우 Site B(기계, 철강제품공장)와 Site F(비철금속, 식품공장)에서 높게 산정되었다. SS는 Site D(섬유공장), Site E(식품공장)에서 높은 값을 나타내는데, 이들 유역의 불투수성면적비율은 Table 1에서와 같이 74%, 70%로 높은 편이다. TKN의 경우 Site B에서 가장 높게 나타나고 있고, NO₃-N은 Site D에서, PO₄-P, TP의 경우 Site B, Site D에서 높은 값을 나타내고 있다. 기름성분의 HEM의 경우 Site B, Site C(비철금속, 전자제품공장), Site E, Site F에서 높은 값을 나타내는데 Site D와 Site G를 제외하면 HEM의 경우는 대체로 많이 유출되는 것으로 산정되었다. Hoffman 등⁴⁾이 산업단지를 대상으로 기름성분을 분석한 결과 강우시 주로 SS에 흡착되어 유출하며 기름성분중 83~93%가 입자성물질임을 밝혔다. 그러나 본 조사에서는 SS의 유출이 많은 유역에서 HEM의 유출이 많이 배출되는 것으로 나타나지는 않았다. Fe의 경우 Site B, Site D, Site E에서 높은 값을 나타내고, Pb는 Site B, Site F에서 높게 나타났다.

신 등¹⁰⁾이 산업단지내 공구별 배수유역을 설정하여 우수토구에서 강우시 유량 및 오염물질 유출특성을 분석한 결과에 의하면 철강, 전자제품 생산공장 유역에서는 중금속성분이, 식품, 섬유, 화학공장 지역에서는 유기물질성분이 강우시 높은 농도로 검출된다고 보고하였다. 또한, 식품공장 유역에서는 BOD₅, COD, TKN, TP성분이 많이 배출하며, 철강공장에서는 중금속이 많이 유출할 것으로 예상하였지만 조사분석결과는 상이한 차이를 나타내었다. 이는 본 연구의 조사대상인 산업단지에서는 제품생산 및 저장울 주로 옥내에서 실시하기 때문인 것으로 판단된다.

산업단지에서 강우시 유출하는 오염부하량 원단위의 평균값은 BOD₅, COD, SS, TKN, NO₃-N, PO₄-P, TP, HEM, Cr, Pb, Cu, Fe에 대해 각각 374.4kg/ha/yr, 924.1kg/ha/yr, 983.6kg/ha/yr, 48.8kg/ha/yr, 8.1kg/ha/yr, 9.7kg/ha/yr, 17.8kg/ha/yr, 943.0kg/ha/yr, 0.7kg/ha/yr, 0.9kg/ha/yr, 0.3kg/ha/yr, 28.9kg/ha/yr로 산정되었다. 본 연구에서 산정한 유출원단위의 범위값을 타 연구자들에 의해 보고된 값과 비교한 결과를 Table 5에 나타내었다.

Table 5에 제시된 자료들은 본 연구의 조사대상 유역조건과는 차이가 있고 더욱이 산업단지를 대상

Table 5. Comparison of annual pollutant loading rates

Constituents	Reference Sources of Unit Loads in kg/ha/yr								
	Barrett ⁸⁾	Novotny ⁷⁾	Wu ¹¹⁾	Wanielista ¹⁾	Chiu ³⁾	Lee ¹²⁾	Barrett ¹³⁾	Browne ²⁾	This Study
	Land Use								
	Highway	Industrial	Highway	Urban	Highway	Urban	Highway	Industrial	Industrial
BOD ₅	30.1~164			275		93~475	15~68		122~667
COD	128~3,868		253~603		1,143	197~1,667	95~672	1,055~1,086	348~1,856
SS	314~11,862	450~1,700	528~2,678	1,700	1,966	380~3,354	101~1,306	400~1,700	506~2,205
TKN	1.66~31.95	1.9~14	9.3~19.4	11.4	10.8	10.5~43.3		1.9~14	9.7~151.3
NO ₃ -N	0.8~8.0		2.0~28.9	7.63	4.1	0.45~3.33	0.7~8.7		3.0~16.6
PO ₄ -P			1.2~3.8	0.39		5.1~14.0		0.3	2.1~21.9
TP	0.6~8.23	0.9~14	3.5~9.1	0.94	3.4	8.5~28.0	0.2~2.0	0.9~4.1	6.9~28.7
O&G ⁴⁾	4.9~767		22.4~65.4			76.1~1,976 ^{b)}	1.2~33		250~2,419 ^{b)}
Cr	0.012~0.10		0.02~0.09						0.4~1.1
Pb	0.08~21.2	2.2~7	0.07~0.20	0.59	3.7	0.04~1.15	0.01~0.47	2.2~7.0	0.5~1.4
Cu	0.03~4.67	0.29~1.3		0.68			0.02~0.23	0.29~1.3	0.2~0.5
Fe	4.37~28.81			6.28		0.6~30.7	1.2~22		13.8~70.8

⁴⁾ O&G = Oil and Grease, ^{b)} HEM

으로 한 조사자료는 거의 없는 실정이므로 자료의 비교시에 고려해야 할 것으로 판단된다. BOD₅의 경우는 타 조사결과보다 높은 값을 보여주고 있다. 일반적으로 도시지역강우시 유출오염물질을 대표하는 물질로 알려진 COD의 경우는 고속도로를 대상으로 한 Barrett 등⁸⁾의 조사결과 보다는 적고 산업단지를 대상으로 한 Browne²⁾의 결과와는 다소 크게 산정되었다. 또한, 이 등¹²⁾의 도시유역을 대상으로 한 결과보다는 크게 나타났다. SS는 고속도로, 도시유역, 산업단지를 대상으로 한 타 연구와 유사한 범위의 값을 나타내고 있다. 일반적으로 불투수층 면적 비율이 클수록 SS의 유출이 많다. 따라서 산업단지 역시 불투수층 면적이 높은 이유에 기인하는 것으로 생각된다. TP의 경우는 이 등¹²⁾이 제시한 도시유역의 결과와 유사한 값을 나타내고 있고, HEM은 본 연구결과가 가장 높은 수치를 나타내고 있다. 이는 HEM분석과 O&G의 분석시 추출용매의 차이 및 분석법의 차이에 의한 것으로 판단된다. 중금속의 경우 전반적으로 제시된 타 연구결과에 비해 높은 값을 나타내었다.

4. 결 론

강우시 산업단지와 업종별 공장에서 유출하는 오염부하량 원단위를 산정하여 기초자료를 제공하고 1997년 6월부터 1998년 8월까지 청주산업단지를 대상으로 유량 및 수질을 조사하였다. 분석결과를 기초로 산정된 조사지점별 EMC 범위 및 산술평균값은 BOD₅, COD, SS, TKN, TP, HEM, NO₃-N, PO₄-P, Cr, Pb, Cu, Fe에 대해 각각 11~176 (64.8) mg/L, 40~502 (170.1) mg/L, 23~633 (180.5) mg/L, 1.04~20.9 (6.59) mg/L, 0.22~7.51 (2.85) mg/L, 12.7~548.7 (168.5) mg/L, 0.06~2.66 (1.30) mg/L, 0.12~3.39 (1.46) mg/L, 0.01~0.50 (0.12) mg/L, 0.02~0.42 (0.17) mg/L, 0.01~0.15 (0.06) mg/L, 1.29~11.51 (5.36) mg/L로 산정되었다. 또한, 강우시 산업단지에서 유출하는 년평균 오염부하 원단위는 BOD₅, COD, SS, TKN, NO₃-N, PO₄-P, TP, HEM, Cr, Pb, Cu, Fe에 대해 각각 374.4 kg/ha/yr, 924.1kg/

ha/yr, 983.6kg/ha/yr, 48.8 kg/ha/yr 8.1kg/ha/yr, 9.7kg/ha/yr, 17.8kg/ha/yr, 943.0kg/ha/yr, 0.7kg/ha/yr, 0.9kg/ha/yr, 0.3kg/ha/yr, 28.9kg/ha/yr로 산정되었다.

참 고 문 헌

1. Wanielista, M. P., Stormwater Management Quantity and Quality, Ann Arbor Science Pub., pp. 187~220(1981).
2. Browne, F. X., "Nonpoint pollution literature review," *J. WPCF*, **51**(6), 1428~1444 (1979).
3. Chiu, T. W., Mar, B. W. and Horner, R. R., "Pollutant loading model for highway runoff," *J. of Envir. Eng., ASCE*, **108**(6), 1193~1210(1982).
4. Hoffman, E. J., Latimer, J. S., Mills, G. L. and Quinn, J. G., "Petroleum hydrocarbons in urban runoff from a commercial land use area," *J. WPCF*, **54**(11), 1517~1525 (1982).
5. 和田安彦, ノンポイント汚染源のモデル解析, 技報堂出版, pp. 11~73(1990).
6. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th Ed., Washington, D.C.(1992).
7. Novotny, V. and Olem, H., Water Quality Prevention, Identification, and Management of Diffuse Pollution, Van Nostrand Reinhold, NY, pp. 446~498(1993).
8. Barrett, M. E., Zuber R. D., Collins, E. R., Malina, J. M. and Charbeneau, R. J., "A review and evaluation of literature pertaining to the quantity and control of pollutant from Highway runoff and construction," *Center for Water Research in Water Resources*, The University of Texas at Austin, CRWR Report 95-5, pp. 13~22 (1995).

9. Dodson, R. D., Storm Water Pollution Control, Industrial & Construction NPDES Compliance, McGraw-Hill, Inc., pp. 29~147(1995).
10. 신용배 외 5인, "산업공단에서의 초기강우 유출수 오염물질 특성 및 관리," 대한환경공학회 1997년도 추계학술발표회, 무주리조트, pp. 453~456(1997).
11. Wu, J. S., Allan, C. J., Saunders, W. L. and Evett, J. B., "Characterization and pollutant loading estimation for highway runoff," *J. of Envir. Eng., ASCE*, **124**(7), 584~592(1998).
12. 이준호 외 4인, "강우시 도시구역에서의 유출오염부하량 원단위산정," 1998년도 대한환경공학회 춘계 학술논문발표회, pp. 615~619(1998).
13. Barrett, M. E., Irish, L. B., Malina, J. F., Charbeneau, R. J., "Characterization of highway runoff in Austin, Texas area," *J. of Envir. Eng., ASCE*, **124**(2), 131~137(1998).