

연구노트

## 도시지역 토지이용에 따른 비점원 오염물질 유출특성

정동환 · 신동석 · 류덕희 · 정동일

국립환경과학원 환경총량관리연구부

(2007년 9월 4일 접수, 2007년 11월 30일 승인)

### Stormwater Runoff Characteristics of Non-point Source Pollutants according to Landuse of Urban Area

Dong-Hwan Jeong · Dongseok Shin · Doughee Rhew · Dongil Jung

National Institute of Environmental Research

(Manuscript received 4 September 2007; accepted 30 November 2007)

#### Abstract

In order to establish and implement the total maximum daily load (TMDL) management plan in Korea, it is necessary to set the source units and calculate discharge loads for non-point source pollutants such as BOD, COD, SS, TN and TP. This study analysed the correlation between stormwater runoff characteristics and event mean concentrations (EMCs) of non-point source pollutants. As the result of the correlation analysis, we knew that all the antecedent dry days (ADD) and the rainfall correlated lowly with non-point source pollutants in the urban areas such as resident area, industrial area, business area, road area and parking area. Therefore, it is necessary to get all samples from stormwater starting point to stormwater ending point and standardize the sampling method of stormwater in order to obtain more accurate EMCs for landuse.

Key words : Landuse, Nonpoint source pollutants, Runoff, Antecedent dry days, Event mean concentration

#### 1. 서론

공공수역에 유입되는 수질오염물질의 발생원은 크게 점오염원(Point Pollutants Source)과 비점오염원(Nonpoint Pollutants Source)으로 구분할 수

있다. 점오염원은 비교적 일정한 지점에서 일정한 양이 지속적으로 발생되어 강우시나 비강우시 배출량에 큰 변동이 없는 특성을 지닌다. 반면, 비점오염원은 도시, 농지, 산지 등에서 불특정하게 오염물질을 발생시키는 장소 또는 지역을 의미하며, 비점원

오염물질 발생도 강수, 바람 등의 지표유출수를 통해 유출되거나 직접 수계로 유입되는 특성을 지닌다(환경부, 2006). 비점오염원은 강우시 주로 유출되기 때문에 기상조건, 수리조건, 지리조건과 토지이용 특성에 따라 영향을 받으며, 일간, 계절간 배출량의 변화가 크며 예측과 정량화가 매우 어렵다(오영택 등, 2004; 이현동·배철호, 2001). 강우 유출수에는 지표면에 퇴적된 유기물질, 영양물질 등 다양한 오염물질을 포함하고 있으며, 도로 등 포장지역의 유출 오염부하는 하수처리장에 의한 것보다 높은 것으로 보고되고 있다(이종호, 1999). 이와 같이 비점오염원의 중요성이 부각됨에 따라 환경부에서도 1994년에 비점원 오염물질에 대한 토지이용별 원단위 조사와 전국적인 오염기여도 조사를 실시한 바 있으며(환경부, 1995), 최근 우리나라의 경우 비점원 오염물질이 4대강 수계별로 수질오염에서 차지하는 비중은 전체 BOD 오염부하량의 42~69%에 달하고 있는 것으로 조사되었다(환경부, 2007).

비점오염원 관리는 수질오염총량관리 제도의 성공적 시행을 위하여 필수적인 연구 및 관리 분야지만, 현재 우리나라는 기초자료 및 모니터링 결과의 부족으로 관리에 어려움이 크다. 특히 도시지역은 포장율이 높아 비점원 오염물질의 축적과 유출이 심하여 하천수질에 직접적인 영향을 미치는 토지이용이다. 미국 등 여러 선진국들은 포장지역을 우선 순위로 선정하여 비점원 오염물질을 관리하고 있다. 도시지역의 토지이용은 주거지역, 상업지역, 공업지역, 도로지역, 주차지역 등으로 구분되며, 이들 포장지역의 오염물질 유출이 관심 대상이 되는 이유는 유역특성, 축적되는 오염물질의 종류 및 관리의 용이성 때문이다. 도시지역은 강우시 다른 토지이용에 비해 강우 유출량이 많으므로 초기 강우시에 고농도로 유출되는 특징, 즉 초기 세척효과(First Flushing Effect)를 가지고 있다(김이형 등, 2006; 김이형·강주현, 2004a; 김이형·강주현, 2004b).

현행 수질오염총량관리 계획수립시 이용하는 수질오염총량관리 기술지침 중 토지계 오염물질의 발생 배출부하량 산정은 연평균 원단위와 월별 강우

량에 의한 강우 배출비를 활용하여 월별 부하량을 산정하고 있으나, 지역별 강우특성에 따라 계절적인 요인에 따라 과도하게 오염부하량이 산정되는 경우가 발생되어 이에 대한 개선이 요구되어 왔다. 또한, 수질오염총량관리제 확대시행에 따른 비점오염원 배출원단위의 항목추가 및 최근 연구결과를 반영한 발생/배출 원단위의 조정을 요청받고 있다.

본 연구에서는 수질오염총량관리 기본계획 및 시행계획 수립에 필요한 비점오염원 원단위 및 배출부하량에 대하여 좀더 세분화된 산정을 위하여 과거 조사 연구되었던 자료를 이용하여 선행무강우기간, 강우량 등의 강우특성과 생물학적 산소요구량(BOD), 화학적 산소요구량(COD), 부유물질(SS), 총질소(TN), 총인(TP) 등의 수질항목에 대하여 유량가중 평균농도(Event Mean Concentration, EMC) 자료를 가지고 분포도 및 상관분석을 수행하여 도시지역 토지이용에 따른 비점원 오염물질 유출특성을 알아보고자 한다.

## II. 연구방법

### 1. 강우 특성

#### 1) 선행무강우기간

일반적으로 강우시 비점오염원으로부터 오염물질 유출수는 선행무강우기간(Antecedent Dry Days)의 크기에 따라 강우 초기에 나타나는 유출수의 최고 농도가 좌우된다고 한다(국립환경과학원, 2006). 불투수성 토지이용에서는 선행무강우기간이 길수록 유출수의 초기 농도는 고농도가 될 가능성이 커지며, 투수성 토지이용에서도 유출이 지속되는 기간의 최고 농도는 크게 나타나는 것으로 발표되고 있다. 이에 따라 토지이용에 따른 비점원 오염물질에 대하여 조사한 문헌에 수록된 선행무강우기간을 조사하였다.

#### 2) 강우량

강우사상동안 조사된 강우강도와 강우지속시간으로 강우량을 산정할 수 있는데, 본 연구에서는 일

부 문헌에서 강우강도를 구할 수 없어 강우 유출량과 배수면적으로 그 지역의 강우량을 산정하였다. 강우량의 차이에 의하여 비점원 오염물질 유출특성을 알아보기 위하여 강우량을 조사하였다.

## 2. 비점원 오염물질 유출특성

강우시 유출수의 시료채취는 강우 개시 전에 수위 및 유속 측정과 함께 채수를 하였으며 등시간 간격으로 채수가 이루어지도록 하였다. 즉, 강우 시작 30분내에는 5분 간격으로 조사하고, 그 이후에는 1시간 또는 2시간 간격으로 조사하였다. 또한 강우 지속시간이 길어지면 앞에서 채수한 시료를 가급적 등시간 간격이 이루어지도록 선택하여 시료를 교체하므로써 강우가 종료되어 하천 수위가 충분히 감소할 때까지 채수되도록 하였다. 여기에 나타난 조사항목은 BOD, COD, SS, TN, TP이며, 수질오염 공정시험법에 따라 측정하였다.

저수지나 호수에서 질소와 인과 같은 영양염류에 대해서 부하량은 가장 중요한 수질영향 및 결정변수이다. 이와 같은 이유로 강우사상에 대한 유량가중 평균농도(EMC)는 강우유출수와 함께 유출되는 오염물질을 평가하는데 가장 적절한 인자로 인식되고 있으며, 최근에 가장 널리 이용되고 있다. 강우사상에 따라서 관측된 유량자료와 이에 해당하는 수질자료를 이용한 유량가중 평균농도는 식 (1)에 의해서 계산될 수 있다.

$$EMC = \frac{\text{총유출량중 총오염물질중량}}{\text{총유출량}} = \frac{\sum Q_i C_i}{\sum Q_i} \quad (1)$$

여기서  $Q_i$ 는 관측시간  $t$ 에서의 유출량( $m^3/hr$ ),  $C_i$ 는 오염물질 농도( $mg/L$ ), EMC는 강우사상에 대한 유량가중 평균농도( $mg/L$ )이다. 본 연구에서처럼 강우 유출수에 대한 수질평가에 있어 강우사상마다 산정되는 유량가중평균농도는 강우로 인해 발생하는 유출수의 수질을 직접 평가할 수 있다는 측면에서 매우 유용하다. 강우유출수 유량가중 평균농도 자료해석에 있어 빈도개념을 도입하면 변화가 심한 자료를 간략하게 요약할 수 있으며, 서로 다른 유역과 강우사상에 대해 상호 비교 평가가 가능하

며, 어떤 강우사상으로부터 발생하는 총 강우유출수내 오염물질 농도를 발생빈도 개념을 도입해서 해석할 수 있으며, 해석상 오류를 범할 수 있는 자료를 활용시 취사선택을 위해 보다 더 유용한 형태로 보고할 수 있다는 장점이 있다.

## III. 연구결과 및 고찰

### 1. 조사지역의 유역 및 강우 특성

#### 1) 유역특성

주거지역의 경우 진주시 신안동 아파트단지(낙동강수계관리위원회, 2005), 춘천시 석사동 신규 택지개발지구(한강수계관리위원회, 2005)에서 조사된 자료를 활용하였다. 주거지역의 배수면적은 전자가  $462,300 m^2$ , 후자가  $207,500 m^2$ 로 각각 조사되었다. 상업지역의 경우 C시 재래식 및 신상가 배수지역(낙동강수계관리위원회, 2005)에서 조사된 자료를 활용하였다. 상업지역의 배수면적은  $14,600 \sim 241,944 m^2$ 로 조사되었다. 공업지역의 경우 대전시 동구 공단지역(환경관리공단, 2004), 창원시 신촌동 공단의 금속가공업체 구역, 창원시 성산동 공단의 전자업체 구역, 진주시 진성면 공단의 식품업체·기계부품제조업체 구역, 진주시 상평동 공단의 염색가공업체·화학물질제조업체 구역(낙동강수계관리위원회, 2006), 나주시 농공단지(환경관리공단, 2006), 서천군 장항읍 농공단지(환경관리공단, 2006)에서 조사된 자료를 이용하였다. 공업지역의 배수면적은  $450 \sim 688,000 m^2$ 까지 다양한 규모로 조사되었다. 주차지역의 경우 공주시 공주대학교 주차장(김이형·이선하, 2005), 춘천시 주차장(권용대, 2006)에서 조사된 자료를 활용하였다. 주차지역의 배수구역은 소규모로 각각  $171.6 m^2$  및  $2,339 m^2$ 로 조사되었다. 도로지역의 경우 공주시 공주대학교(김이형·이선하, 2005), 춘천시 도로(권용대, 2006), 호남고속도로 상행선(김이형·강주현, 2004b)에서 조사된 자료를 활용하였다. 주차지역과 마찬가지로 도로지역의 배수구역은  $632 \sim 900 m^2$ 로 소규모로 조사되었다.

## 2) 강우특성

토지이용에 따른 비점원 오염물질 유출특성을 알아보기 위해 선행무강우기간과 강우량에 대하여 조사하였다. 선행무강우기간은 이 기간에 따라 비점원 오염물질의 유량가중 평균농도가 어떻게 변하는지, 강우량은 초기세척 효과가 어떻게 나타나는지

살펴보기 위한 것이다. 선행무강우기간 및 강우량 등의 강우특성은 지역 및 계절별로 매년 다르게 나타나기 때문에 어떤 특성을 갖는다고 설명하기 어렵다. 표 1의 강우량은 일부 조사자료에서는 강우사상의 모든 강우지속 시간동안 조사하지 않은 자료는 조사 시간동안을 강우지속시간으로 가정하여 강

표 1. 토지이용에 따른 강우특성 및 비점원 오염물질 농도

토지이용	시료수	항 목	평균값	중앙값	최소값	최고값	표준편차
주거지역	34	선행무강우기간 (days)	6	3	0	29	7.7
		강우량 (mm)	14.3	5.6	0.2	64.5	17.3
		BOD (mg/L)	63.89	62.45	6.33	211.60	44.19
		COD <sub>Mn</sub> (mg/L)	36.03	34.09	11.99	69.70	12.83
		SS (mg/L)	163.79	135.80	39.50	454.60	97.85
		TN (mg/L)	13.05	11.48	3.27	33.00	8.04
		TP (mg/L)	1.93	1.88	0.44	6.81	1.27
상업지역	24	선행무강우기간 (days)	8	8	2	20	4.7
		강우량 (mm)	11.2	3.4	0.2	110.0	22.3
		BOD (mg/L)	69.09	65.54	8.02	192.72	45.96
		COD <sub>Mn</sub> (mg/L)	42.21	35.85	7.46	110.06	24.98
		SS (mg/L)	91.62	60.72	20.40	261.30	71.70
		TN (mg/L)	9.10	8.43	1.46	17.58	4.25
		TP (mg/L)	1.33	1.07	0.24	5.61	1.09
공업지역	35	선행무강우기간 (days)	15	9	0	35	13.1
		강우량 (mm)	23.2	14.0	3.7	113.0	28.4
		BOD (mg/L)	12.45	6.45	2.12	59.03	12.13
		COD <sub>Mn</sub> (mg/L)	19.07	16.15	4.19	57.47	13.05
		SS (mg/L)	61.23	50.19	9.14	391.04	67.05
		TN (mg/L)	5.33	3.26	0.86	34.08	6.07
		TP (mg/L)	0.38	0.30	0.04	1.36	0.28
도로지역	26	선행무강우기간 (days)	7	7	2	18	5.2
		강우량 (mm)	26.6	20.6	6.9	68.1	16.7
		BOD (mg/L)	-	-	-	-	-
		COD <sub>Mn</sub> (mg/L)	-	-	-	-	-
		SS (mg/L)	208.92	164.13	12.30	525.60	165.07
		TN (mg/L)	4.79	3.95	1.00	13.02	3.04
		TP (mg/L)	0.77	0.57	0.20	1.94	0.54
주차지역	12	선행무강우기간 (days)	7	6	2	18	5.5
		강우량 (mm)	27.2	29.0	8.1	55.0	14.7
		BOD (mg/L)	-	-	-	-	-
		COD <sub>Mn</sub> (mg/L)	-	-	-	-	-
		SS (mg/L)	115.17	35.20	12.06	397.10	130.45
		TN (mg/L)	4.36	2.37	0.98	20.93	5.66
		TP (mg/L)	1.02	0.34	0.06	7.25	2.00

우량을 산정하였다. 우리나라의 강우는 계절적으로 영향을 많이 받기 때문에 선행무강우기간은 최소 0에서 최고 35일까지의 큰 차이를 보이며, 본 조사결과에서 강우량도 0.2 mm에서 113 mm까지 큰 차이가 나타나고 있음을 알 수 있다(표 1).

## 2. 비점원 오염물질 유출특성

비점원 오염물질의 유량가중 평균농도와 선행무강우기간 및 강우량에 대한 상관관계를 보기 위하여 그림 1 및 그림 2와 같이 나타내었다. 주차지역과 도로지역에서 조사된 BOD 자료의 수가 상대적으로 적었고, COD 자료는 COD<sub>Mn</sub>과 COD<sub>Cr</sub>으로 나누어져 있어 유량가중 평균농도를 자료로 활용하기 어려워 그림으로 나타내지 않았다. BOD와 COD<sub>Mn</sub>의 유량가중 평균농도는 주거지역과 상업지

역에서 높게 조사되었고, 공업지역에서 낮게 조사되었다. 표 1에 나타난 것과 같이 부유물질(SS)의 유량가중 평균농도는 주거지역 및 도로지역에서 164 mg/L 이상 높게 조사된 반면 상업지역과 공업지역에서 92 mg/L 이하로 낮게 조사되었다. TN의 유량가중 평균농도는 주거지역과 상업지역에서 9.1 mg/L 이상 높게 조사되었고, 공업지역, 도로지역, 주차지역에서 5.3 mg/L 이하로 낮게 조사되었다. TP의 유량가중 평균농도는 주거지역 및 상업지역에서 1.3 mg/L 이상으로 높게 조사되었고, 도로지역 및 주차지역에서 0.8 mg/L 이하로 낮게 조사되었다.

### 1) 선행무강우기간에 대한 비점원 오염물질 유출특성

주거지역에서 선행무강우기간과 비점원 오염물

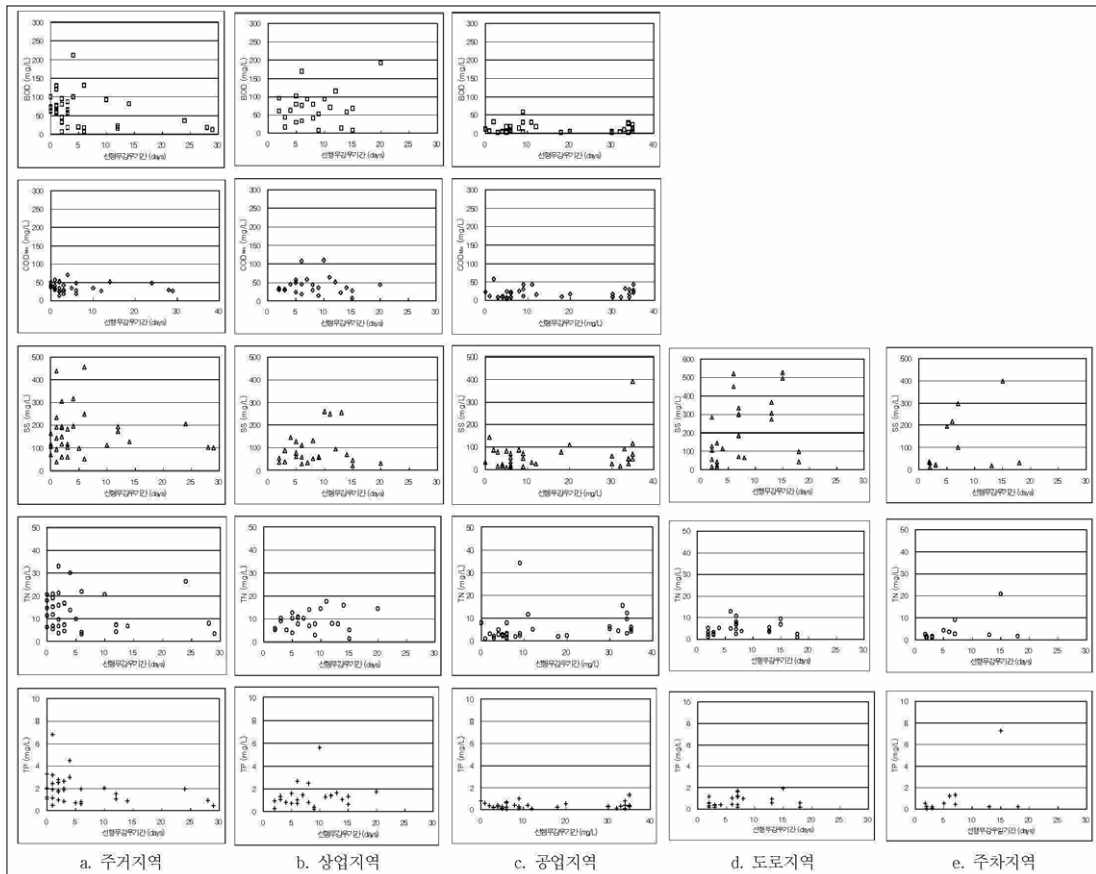


그림 1. 선행무강우기간에 따른 비점원 오염물질 유출특성

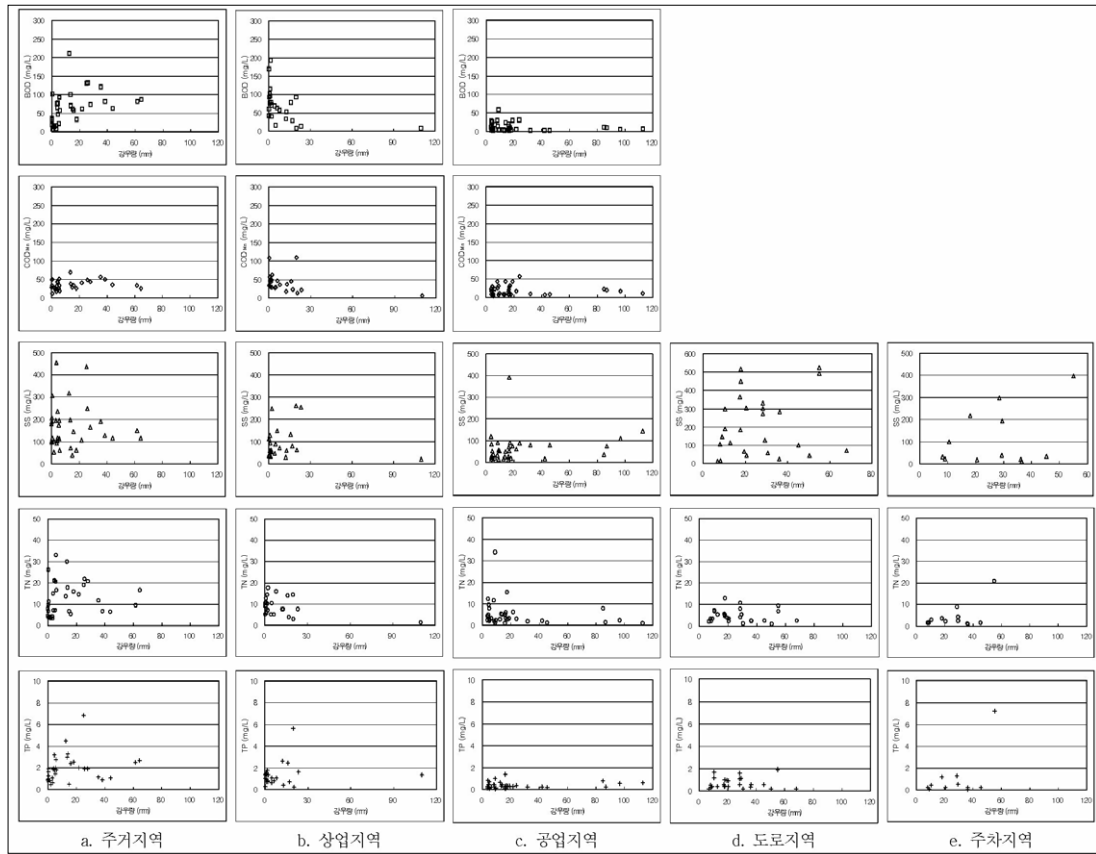


그림 2. 강우량에 따른 비점원 오염물질 유출특성

질 유량가중 평균농도간의 상관관계는 표 2와 같이 지역의 상관관계를 나타내었으며, BOD와의 상관계수는  $-0.341$ 로 95% 유의수준에서 유의한 것으로 조사되었다. 또한, 공업지역 및 도로지역에서 선행무강우기간과 SS 유량가중 평균농도의 상관계수는 각각  $0.288$  및  $0.372$ 로 조사되었다. 나머지 선행무강우기간과 비점원 오염물질 유량가중 평균농도간의 상관관계는 뚜렷하게 나타나지 않았다. 우리나라 비점원 오염물질 조사결과 앞서 설명한 외국의 사례와는 다른 결과를 얻었는데, 이러한 이유는 강우사상(Stormwater Event)의 조사회수가 적고 또 어떤 조사자료는 강우사상 전기간에 걸쳐 조사하지 못한 결과인 것으로 판단된다. 그러나 조사 자료간의 편차가 크지 않아 유량가중 평균농도를 원단위를 환산하는데 사용하는 데는 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

## 2) 강우량에 대한 비점원 오염물질 유출특성

강우량과 비점원 오염물질 유량가중 평균농도간의 상관관계를 표 2에 나타내었는데, 공업지역 및 도로지역에서 강우량과 SS와의 상관계수는 각각  $0.288$  및  $0.372$ 로 90% 유의수준에서 유의한 것으로 조사되었다. 또한, 주차지역에서 강우량과 TN 및 TP 유량가중 평균농도의 상관계수는 각각  $0.547$  및  $0.576$ 으로 90% 유의수준에서 유의한 것으로 조사되었다. 이와 같이 그림 2에서 강우량과 비점원 오염물질간의 상관관계가 낮은 것은 “도시노면 및 공업지역으로부터의 오염물질 배출특성 조사에 관한 연구”에서와 같이 초기 비점원 오염물질의 영향을 살펴보기 위하여 강우사상 초기에만 시료채수가 이루어지는 경우도 있기 때문이다. 따라서 강우량으로 초기 세척효과를 확인하기 어렵지만 일부 연구결과

표 2. 토지이용에 따른 강우특성과 비점원 오염물질 농도와의 상관관계

토지이용	조사회수	강우특성	BOD	COD <sub>Mn</sub>	SS	TN	TP
주거지역	34 (*32)	선행무강우기간	-0.341 <sup>†</sup> (0.049)	-0.110* (0.551)	-0.059 (0.741)	-0.146 (0.410)	-0.313 <sup>†</sup> (0.072)
		강우량	0.397 <sup>†</sup> (0.020)	0.153* (0.404)	-0.036 (0.839)	0.065 (0.713)	0.225 (0.200)
상업지역	24	선행무강우기간	0.203 (0.341)	-0.059 (0.783)	0.096 (0.655)	0.197 (0.355)	0.177 (0.408)
		강우량	-0.425 <sup>†</sup> (0.038)	-0.335 (0.110)	-0.056 (0.796)	-0.408 <sup>†</sup> (0.048)	0.128 (0.553)
공업지역	35	선행무강우기간	0.026 (0.883)	0.146 (0.403)	0.288 <sup>†</sup> (0.093)	0.207 (0.233)	0.120 (0.492)
		강우량	-0.189 (0.278)	-0.067 (0.701)	0.218 (0.208)	-0.208 (0.231)	0.164 (0.347)
도로지역	26	선행무강우기간	-	-	0.372 <sup>†</sup> (0.061)	0.130 (0.527)	0.323 (0.108)
		강우량	-	-	0.146 (0.477)	-0.048 (0.815)	0.170 (0.407)
주차지역	12	선행무강우기간	-	-	0.327 (0.299)	0.447 (0.146)	0.453 (0.139)
		강우량	-	-	0.380 (0.223)	0.547 <sup>†</sup> (0.066)	0.576 <sup>†</sup> (0.050)

※ 위쪽 숫자 : 상관계수, 아래 ( ) 숫자 : 유의수준 (양쪽검정)

※ † 0.05 수준에서 유의, \* 0.10 수준에서 유의

를 통하여 상업지역, 주거지역의 BOD, SS, TN 등 비점원 오염물질의 유량가중 평균농도에서 이런 효과를 확인할 수 있었다. 공업지역에서는 SS와 TN의 유량가중 평균농도에서 이상치(Outlier)를 제외하면 강우량에 대한 비점원 오염물질의 유량가중 평균농도 변화가 그다지 크지 않았다.

토지이용별 비점원 오염물질의 유출특성에서 비점원 오염물질의 유량가중 평균농도는 강우사상과 토지이용 특성에 따라 차이가 나는 것으로 나타났다. 대부분 조사지점에서의 오염물질 농도는 유량에 비례하여 증감하는 경향을 보인다고 하였으나(이현 등 등, 2000), 본 조사에서는 강우량에 따라 비점원 오염물질의 유량가중 평균농도는 상관관계를 찾아 보기 어려워 다른 경향을 보임을 알 수 있었다.

#### IV. 결론

수질오염총량관리 기본계획 및 시행계획 수립에 필요한 비점원 오염물질의 원단위 및 배출부하량

산정을 위하여 도시지역 토지이용에 따른 비점원 오염물질 유출특성을 알아보고자 과거 조사 연구되었던 자료를 이용하여 강우특성과 비점원 오염물질 간의 분포도 및 상관분석을 수행하였다. 본 연구에서 대부분 비점원 오염물질의 유량가중 평균농도는 주거지역에서 높게 조사되었고 공업지역 및 주차지역에서 상대적으로 낮게 조사되었다. 도시지역에서 일반적으로 선행무강우기간이 증가하면 표면에 누적된 오염물질로 인하여 선행무강우기간이 증가하면 비점원 오염물질이 높은 농도로 배출된다고 하였으나 상관분석 결과 대부분 비점원 오염물질 항목에서 상관관계가 낮은 것으로 조사되었다. 또한 강우시 전체 유출량에 비하여 초기 유출수가 차지하는 비중이 작아 강우사상별로 조사된 각각의 유량가중 평균농도에서는 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 향후 보다 정확한 비점원 오염물질의 원단위 및 배출부하량 산정을 위해서 강우특성에 따른 비점원 오염물질의 농도 변동을 고려하여야 하며 강우사상이 시작되는 시점부터 끝나는 시점까지의 토지이용

별 유출특성이 반영된 유량가중 평균농도를 산출하여야 하며, 이를 위하여 이들의 유출특성을 반영한 시료채수 및 유량측정 등 표준화 및 조사 데이터에 대한 DB화를 통한 종합적 분석이 필요한 것으로 판단된다.

### 참고문헌

- 국립환경과학원, 2006, 비점원 오염부하량 평가기법 연구(1).
- 권용대, 2006, 강우시 도시지역 비점오염원의 발생원별 유출특성 -춘천시를 중심으로-, 강원대학교 석사학위논문.
- 김이형, 강주현, 2004a, 강우로 인해 고속도로로부터 유출되는 폐기물의 성상, 부하량 및 유출특성, 한국물환경학회지, 20(5), 415-421.
- 김이형, 강주현, 2004b, 고속도로 강우 유출수내 오염물질의 EMC 및 부하량 원단위 산정, 한국물환경학회지, 20(6), 631-640.
- 김이형, 고석오, 이병식, 김성길, 2006, 국내 고속도로 강우 유출수의 EMCs 및 유출부하량 산정, 대한토목학회논문집, 26(2B), 225-231.
- 김이형, 이선하, 2005, 강우시 주차장 및 교량에서 유출되는 비점오염물질의 특성비교 및 동적 EMCs, 한국물환경학회지, 21(3), 248-255.
- 낙동강수계관리위원회, 2005, 도시노면 및 공업지역으로부터의 오염물질 배출특성 조사에 관한 연구(2차년도).
- 낙동강수계관리위원회, 2006, 도시노면 및 공업지역으로부터의 오염물질 배출특성 조사에 관한 연구(3차년도).
- 오영택, 박제철, 김동섭, 류재근, 2004, 강우시 소옥천에서의 비점오염원 유출특성, 한국물환경학회지, 21(6), 657-663.
- 이종호, 1999, 수계의 비점오염원 관리 -대청호를 중심으로-, 환경영향평가, 9(3), 163-176.
- 이현동, 배철호, 2001, 비점오염원 유출특성과 저감을 위한 최적관리방안, 한국물환경학회지, 18(6), 569-576.
- 이현동, 이현동, 배철호, 안재환, 홍성호, 이상호, 황병기, 2000.3.31, 토지이용에 따른 오염물질 부하 및 강우시 유출부하특성 연구, 한국물환경학회 · 대한상하수도학회 · 한국수도협회 공동춘계학술발표 논문집, 스위스그랜드호텔, 339-342.
- 한강수계관리위원회, 2005, 비점오염원의 오염부하 유출량 조사 최종보고서.
- 환경관리공단, 2004, 금강수계 비점오염원 관리방안 마련을 위한 조사사업 최종보고서.
- 환경관리공단, 2006, 금강수계 비점오염원 관리시설 시범설치사업 기본 및 실시 설계보고서.
- 환경관리공단, 2006, 영산강 · 섬진강수계 비점오염원 관리시설 시범설치사업 기본 및 실시 설계보고서.
- 환경부, 1995, 비점오염원 조사연구사업 보고서.
- 환경부, 2006, 비점오염원관리 업무편람.
- 환경부, 2007, 소양호, 도암호, 임하호 상류 고랭지밭 특별관리 보도자료.