

## 불투수성 토지이용에 대한 배출원단위 분석

김 미 리\* · 신 동 석\*\* · 강 형 석\*\*\* · 류 덕 희\*\*\*\*

### An Analysis of Discharge Unit-load of Impervious Land Uses

Miree Kim\* · Dongseok Shin\*\* · Hyeongseok Kang\*\*\* · Doughee Rhew\*\*\*\*

**요약** : 비점오염원 원단위 및 배출부하량 산정은 수질오염총량관리계획(Total Maximum Daily Load Management System)의 수립 및 시행을 위한 선행조건으로, 이를 위해서는 과학적인 평가방법이 수반되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 최근 몇 개의 비점오염원으로부터 측정된 수질오염총량관리 대상항목의 조사 결과를 강우조건과 비점오염물질 배출 잠재력 등을 고려한 비점오염 부하량 평가 및 산정방법을 통해 분석하였다. 그 결과 불투수성 토지 이용 시 월별·계절별 강우에 따라 배출되는 오염물질 간 농도 값의 차이가 발생하지 않음을 확인할 수 있었다. 이 결과를 토대로 연평균 강우량 자료를 오염물질 원단위 산정에 이용하여 유량가중 강우유출수 농도(Event Mean Concentration: EMC)를 고려한 원단위를 제안하고자 한 것이 본 연구의 목적이다. 하지만 불투수성 토지 이용의 경우, 일일 강우량이 적어도 시간당 발생하는 강우강도가 크면 상당한 유출이 발생한다는 것이 기존 연구를 통해 보고되고 있으므로, 강우량과 EMC를 이용한 불투수성 토지의 비점배출원단위 산정 시 체계적인 검토와 조사가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

**주제어** : 수질오염총량관리계획, 비점오염원, 유량가중평균농도, 원단위

**ABSTRACT** : The assessment of non-point sources unit-loads and pollutant discharge loadings requires an scientific evaluation method as an essential prerequisite for formulating and enforcing a Total Maximum Daily Load(TMDL) management system. In this study, we analyze the recent research results about object items of TMDL by using assessment methods of pollutant discharge loading with considering the precipitation factors and potential pollutant discharge at non-point sources. Since the results of this analysis show that there is no differences between monthly and seasonally discharged loading of pollutants in using of impervious land, we use the average annual rainfall to evaluate pollutant unit-loads. But, in case of impervious land, it was reported that heavy outflow occurred when rainfall intensity per hour was high even though the precipitation per day was low. This implies that the evaluation of discharge unit-loadings at non-point sources by using rainfall data and EMC needs more systematic researches.

**Key Words** : total maximum daily load(TMDL), non-point sources, event mean concentration(EMC), unit-load

\* 국립환경과학원 수질총량과 조사연구원(Researcher, Division of Total Water Pollution Load Research, National Institute of Environmental Research), 논문 주저자임.

\*\* 국립환경과학원 수질총량과 연구관(Master Researcher, Division of Total Water Pollution Load Research, National Institute of Environmental Research)

\*\*\* 현대엔지니어링 토건·환경사업본부 상하수도부 과장(Lead Engineer, Group of Infra&Environment, Department of Water Supply&Sewerage, Hyundai Engineering Co., LTD.)

\*\*\*\* 국립환경과학원 수질총량과 과장(Director, Division of Total Water Pollution Load Research, National Institute of Environmental Research)

## I. 서론

도시 지역에서 발생하는 비점오염물질의 특징은 단위면적당 오염부하가 크고 각종 유독성 물질을 포함하고 있기 때문에 수체에 큰 악영향을 미칠 수 있으며(최지용·신은성, 1997), 특히 강우시 도로변에 뿌려진 제설제, 쓰레기, 공업지역 퇴적물 등이 비점오염원의 형태로 집중 유출된다.

비점지역 오염물질의 배출량은 강우강도와 강우지속시간, 토지이용형태, 최종강우 경과일수, 불법적인 오염물질 투입상태 등에 따라 변동된다(라덕관·김기성, 1996; Startor et al., 1974). 또한 개발에 따른 불투수층의 면적 비율이 높아 강우유달시간이 짧고, 유출율이 커서 강우 초기에 유량 및 오염물질이 다량 유출되는 현상이 나타난다(방기웅 외, 1997; Field and O'Shea, 1993; Nix, 1994; Novotny and Chesters, 1981). 이 외에 하수관거 오점, 관거 누수, 우수토실(雨水吐室)의 월류(CSOs) 등으로 인해 하수가 섞인 빗물이 하천으로 방류되는 경우가 발생되고 있으며, 하수관거에 쌓인 퇴적물이 강우 시 빗물에 씻겨 하천으로 유입된다. 이와 같이 유역별로 다양하게 발생되고 있는 비점오염원을 효과적으로 관리하기 위해서는 오염부하량을 정량적으로 산정하고 이동 경로를 파악하는 것이 필수적이다(최지용·신은성, 2002). 비점부하량 산정을 위해서 지금까지 다양한 방법들이 제시되어 왔고, 환경부에서는 이제까지 추진되었던 사후처리 개념에 근거한 배출농도의 단편적인 규제방식을 보완하고자 하천의 용량

범위 내에서 오염물질 배출 부하량을 고려하는 제도적 장치의 일환으로 4대강 특별법을 제정하여 수질오염총량관리제를 도입하게 되었다. 수질오염총량관리제는 단위유역에 설정된 목표 수질을 만족하기 위한 배출부하량을 산정하여 궁극적으로는 오염물질 배출자에게 허용부하량을 할당하고 이를 준수하도록 하는 제도로서(USEPA, 1991)<sup>1)</sup>, 현행 수질오염총량관리 계획 수립 시 이용하는 수질오염총량관리기술지침 중 토지계 오염물질의 발생·부하량 산정은 연평균 원단위와 월별 강우량에 의한 강우 배출비를 활용하여 월별 부하량을 산정하고 있다.

우리나라에서는 1980년대 초반부터 비점오염원 원단위를 산정하기 시작하였으나 모두 단일강우 또는 2~3회의 실측자료를 이용하였으므로 각 토지이용에 따른 비점오염유출특성을 충분히 반영하지 못하였고(신은성 외, 2001)<sup>2)</sup>, 특히 우리나라와 같이 강우량의 변화가 큰 지역의 경우, 강우 특성에 따라 특정 기간에 과도하게 오염부하량이 산정될 수 있으므로 이에 대한 개선이 요구되어 왔다. 또한 수질오염총량관리제 확대시행에 따라 비점오염원 배출원단위의 항목추가 및 최근 연구결과를 반영한 발생/배출원단위의 조정을 요청 받고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 수질오염총량관리계획 수립 및 시행에 따른 비점오염원 원단위 및 배출부하량 산정 방법 조정에 필요한 과학적인 평가 기법 마련을 위해, 기존 토지이용형태별 원단위 중 도시지역의 불투수성 토지이용에 대하여 유량가

1) 수질오염총량제도는 수질목표를 달성·유지하기 위하여 수질 모델링 기법 등 과학적 수단을 이용하여 유역에서 어느 정도 오염물질을 배출하여도 되는지를 산정하여, 이를 토대로 수질을 관리하기 때문에 획일적인 배출농도규제, 획일적인 토지규제(건축면적규제)의 모순과 부작용을 최소화 할 수 있어 환경규제를 보다 효율적·신축적으로 운영할 수 있게 한다.

2) 원단위는 평균적인 것이고 개별적으로는 지역성과 시간변화가 나타나고 있으며 계절적으로 변동이 큰 것도 많다. 비점오염원은 기후, 지형, 일시, 수문조건에 따라 배출양상이 다양하므로 정확한 원단위의 산정을 위해서는 장기간(최소 5년)에 걸친 연속 실측자료를 바탕으로 해야 한다(신은성 외, 2001).

중 강우유출수 농도(Event Mean Concentration: EMC)를 고려한 원단위를 제안하고자 한다.

## II. 연구방법

### 1. 비점오염부하량 평가 시 고려인자

일반적으로 비점오염원으로부터의 유출수는 선행건기일수(Antecedent Dry Day : ADD)의 크기에 따라 강우 초기에 나타나는 유출수의 최고 농도가 좌우되고, 특히 도시 지역과 같은 불투수성 토지이용의 경우 선행건기일이 길어질수록 유출수의 초기농도가 고농도가 될 가능성이 커지게 된다. 이에 수질오염총량관리제가 시행중인 4대강수계(한강, 낙동강, 금강, 영산강)의 대표지점(양평, 대구, 대전, 광주)에서 최근 10년간 기상청 일강우(기상청, 1996-2005)<sup>3)</sup>를 확보하여, 10년 평균 강우량이 나타난 연도의 일강우량과 10년 평균 월강우량이 나타난 달의 일강우량으로부터 선행건기일수를 추출하였다.

### 2. 비점오염부하량 산정 시 고려인자

기존 비점오염원의 원단위는 복합 또는 단일 지목을 대상으로 강우 시 4~5회 측정된 자료로부터 연평균 원단위를 산정한 관계로, 최근까지 조사된 비점오염원으로부터의 EMC자료를 활용하여 원단위를 개선하기 위해 기존 비점오염원의 배출부하량 산정 시 활용하는 강우배출비의 배제 여부를 검토하였다.

### 3. 비점오염원 원단위 조사결과 종합

비점오염원의 배출량 산정결과는 총량관리계획의 수립과 이행평가에 활용되며, 관리대상물질로 결정하고자 하는 항목에 대하여 원단위가 사전에 마련되어야 하므로, 현재 1단계 및 2단계 수질오염총량관리 대상물질로 결정되어 있는 BOD 항목을 선택하여, 토지이용형태(공업용지, 상업용지, 주거용지, 주차장, 도로)별로 강우 시 국내에서 관측된 EMC data를 수집하였다. EMC data는 4대강 물환경연구소에서 발간된 보고서<sup>4)</sup>를 토대로 하였으며, 복합적인 토지 이용에 따른 결과는 배제하고, 해당 토지이용에 대한 결과만을 활용하였다. 또한 자료 분석의 신뢰성을 확보하고자, 피어슨의 상관관계수(Pearson correlation coefficient)를 이용해 각 변수들 간의 상관관계를 분석하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 대표지점의 10년 평균 강우량

1996년부터 2005년까지 10년 평균 연강우량은 한강수계(양평) 1415mm 내외, 금강수계(대전) 및 영산강수계(광주)는 1525mm 내외, 낙동강수계(대구)는 1185mm 내외를 보였으며, 낙동강수계는 영남내륙의 지형적 특성으로 인해 가장 적은 강우를 보였다. 우리나라의 경우 연중 하루에 내리는 강우량은 30mm 이하가 대부분을 차지하는데, 이러한 여러 차례의 강우에 비해 여름철 집중호우시기에 비점오염원에 의한 오염물질의 유출은 일시적으로 수질오염에 큰 영향을 미칠 것으로

3) 1996년부터 2005년까지 기상청에서 발간된 「기상월보」 중 양평, 대전, 광주, 대구의 일강우 data를 사용하여, 선행건기일수를 산정하였다.

4) 서규태(2006), 최지용(1995), 한영광(2006a), 한영광(2006b)을 참고하였다.

예상된다(박연희·박석순, 2004). 즉, 연강우량이 많을수록 비점오염물질의 유출가능성이 더 커짐을 의미하므로, 같은 EMC 농도를 활용할 경우 강우량이 많은 지역에서 연간 배출되는 비점오염물질의 양은 강우량이 적은 지역보다 오염물질의 배출량이 더 클 것으로 여겨진다.

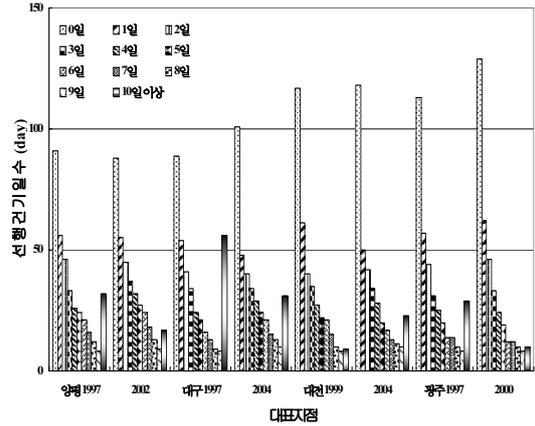
〈표 1〉 4대강수계 대표지점의 최근 10년간 연강우량 (기상청, 1996-2005)

| 강우량 [mm]  | 한강 (양평) | 낙동강 (대구) | 금강 (대전) | 영산강 (광주) |
|-----------|---------|----------|---------|----------|
| 1996      | 1088.9  | 888.5    | 1279.2  | 1268.8   |
| 1997      | 1436.9  | 1122.2   | 1765.9  | 1479.2   |
| 1998      | 1948.7  | 1381.8   | 2070.0  | 1943.0   |
| 1999      | 1498.7  | 1377.4   | 1455.2  | 1428.7   |
| 2000      | 959.6   | 1087.3   | 1707.5  | 1479.5   |
| 2001      | 1028.1  | 878.3    | 828.7   | 1129.9   |
| 2002      | 1333.1  | 1291.3   | 1378.7  | 1453.9   |
| 2003      | 1825.8  | 1749.9   | 1748.9  | 1994.1   |
| 2004      | 1306.6  | 1222.4   | 1496.5  | 1673.8   |
| 2005      | 1717.6  | 834.3    | 1656.1  | 1249.1   |
| 최근 10년 평균 | 1414.4  | 1183.3   | 1538.7  | 1510.0   |

## 2. 선행건기일수 분석

4대강 대표지점에서 10년 평균 강우량이 발생한 연도의 선행건기일수를 분석한 결과, 연속해서 비가 내린 날(선행건기일수=0)은 양평과 대구지역이 평균 90회, 대전과 광주지역이 평균 120회를 보여, 대전과 광주지역에서 강우가 2일 이상 지속되는 경우가 더 많았음을 보여주었다. 이 결과를 토대로 대표 지점의 10년 평균 강우량이 발생한 달의 선행건기일수를 분석한 결과, 양평·대구지역에서 선행건기일수가 0이었던 날이 평균 110회, 대전·광주 지역은 평균 130회로 나타나, 연강우

량 자료에서 분석한 횟수보다 더 많은 것으로 나타났다. 이를 통해 연평균 강우자료를 사용할 경우 특정시기에 집중된 강우가 포함될 수 있는 가능성을 간접적으로 확인할 수 있었다.



〈그림 1〉 대표지점의 최근 10년 평균 연강우량 발생 연도의 선행건기일수

## 3. 비점오염물질 배출잠재력

### 1) 토지이용현황

전체 면적에 대한 임야의 비율은 50~70%로 한강수계에서 그 비율이 가장 높았으며, 경지(논+밭)는 16~35%로 금강수계에서 가장 높은 비율로 나타났다. 단위면적당 비점오염 배출부하량이 가장 높은 대지 면적은 한강수계가 영산강 수계의 2배에 달하는 것으로 나타났다.

〈표 2〉 토지이용현황

| 면적 [km <sup>2</sup> ] | 논       | 밭       | 임야      | 대지     | 기타     | 합계      |
|-----------------------|---------|---------|---------|--------|--------|---------|
| 한강                    | 2782.6  | 2689.2  | 22885.6 | 1902.3 | 2753.3 | 33013.0 |
| 낙동강                   | 3369.9  | 2805.9  | 21146.7 | 1507.5 | 2244.3 | 31074.3 |
| 금강                    | 3438.0  | 2627.6  | 9258.0  | 1123.6 | 1577.6 | 18024.8 |
| 영산강                   | 2590.6  | 2106.0  | 9898.6  | 1018.8 | 1428.0 | 17042.1 |
| 총계                    | 12181.1 | 10228.7 | 63189.0 | 5552.2 | 8003.2 | 99154.2 |

〈표 3〉 토지이용별 기초유출계수  
(환경부, 1998, 하수도시설기준)

| 표면형태  | 유출계수      | 표면형태         | 유출계수      |
|---|-----------|--------------|-----------|
| 지붕  | 0.85~0.95 | 공지           | 0.10~0.30 |
| 도로  | 0.80~0.90 | 잔디, 수목 많은 공원 | 0.05~0.25 |
| 기타불투수면  | 0.75~0.85 | 경사 완만한 산지    | 0.20~0.40 |
| 수면  | 1.00      | 경사 급한 산지     | 0.40~0.60 |
| 부지 내에 공지가 아주 적은 상업지역 또는 유사한 택지지역                  | 0.80      |              |           |
| 침투면의 야외 작업장, 공지를 약간 가지고 있는 공장지역 또는 정원이 약간 있는 주택지역 | 0.65      |              |           |
| 주택 및 공업단지 등의 중급 주택지 또는 독립주택이 많은 지역                | 0.50      |              |           |
| 정원이 많은 고급주택지나 밭 등이 일부 남아 있는 교외 지역                 | 0.35      |              |           |

2) 유출계수

유출계수는 유역 상에 일정기간 동안 내리는 강수량으로 인해 발생하여 그 유역의 출구를 통과 하는 유출량의 총 강우에 대한 비율로서, 유출계수 값은 오염물질 유출량과 밀접한 관계를 가지고 있다(김성수 외, 2002). 일반적으로 토지 용도별 유출계수는 지면에서의 차단, 증발, 침투와 관련이 있으며, 불투수층으로 포장된 지역의 유출계수가 크고 투수성이 평탄한 지역의 유출계수는 작았다.

즉, 무강우 시 표면에 축적된 오염물질은 강우 유출수와 함께 하천으로 유입되며, 유출계수가 클수록 많은 양의 오염물질이 하천으로 유입될 것으로 사료된다. 본 연구에서는 토지이용분류를 고려해 1998년 환경부에서 제안한 '토지이용별유출계수'를 원단위 산정 시 적용하였다.

4. 기존 오염총량관리 기술지침의 월별 강우 배출비

1) 강우 배출비 도입 배경

일반적으로 우리나라의 하천 유량은 계절적 특

성으로 인하여 변화폭이 매우 크고, 인위적으로 조절하기란 사실상 불가능하기 때문에 결국 하천의 유량 변화에 따라 오염물질 배출부하량을 관리하여야 한다(김영일·이상진, 2006). 그러나 기존 수질총량관리기술지침에 명시된 토지용도별 비점 오염원 원단위는 복합 또는 단일 지목을 대상으로 연간 강우 시 2~5회 측정된 자료로부터 연평균 원단위를 산정한 관계로, 시기별 비점오염원 배출농도의 특성 반영과 강우강도 등의 지역적 기상 특성을 반영하기 어렵다. 따라서 이러한 한계를 극복하기 위해 오염총량관리기술지침에는 지목별 면적과 지목별 연평균발생부하원단위, 그리고 강우배출비로서 지목별 발생·배출 부하량을 구하도록 기준하고 있다. 강우배출비는 월유효강우량비와 연간일수, 월간일수를 구하며, 월유효강우량비는 10mm 이상 강우량의 월합계와 연합계로 산정한다.

2) 산정식

- 배출부하량  

$$= \sum(\text{지목별면적} \times \text{지목별연평균발생부하원단위} \times \text{강우배출비})$$
- 강우배출비  

$$= 0.1 + 0.9 \frac{\text{연간일수}(=365,366) \times \text{월유효강우량비}}{\text{월간일수}(=28,29,30,31)}$$
- 월유효강우량비  

$$= \frac{10\text{mm/일 이상강우고의 강우량 월합계}}{10\text{mm/일 이상강우고의 강우량 연합계}}$$

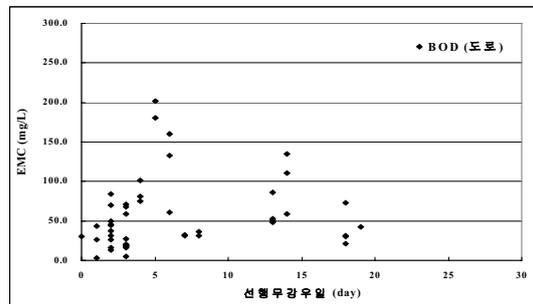
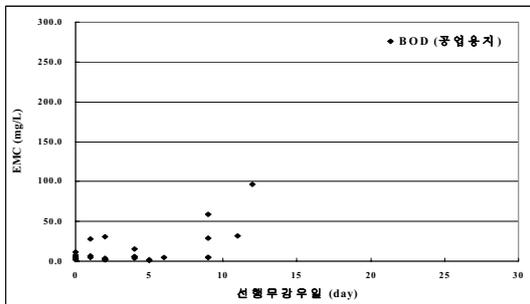
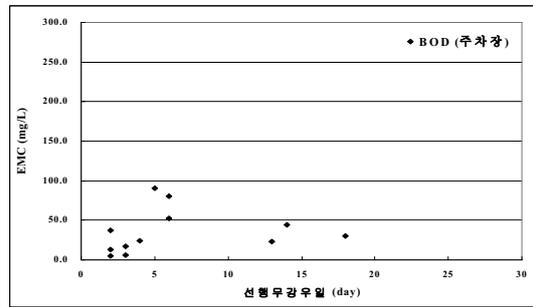
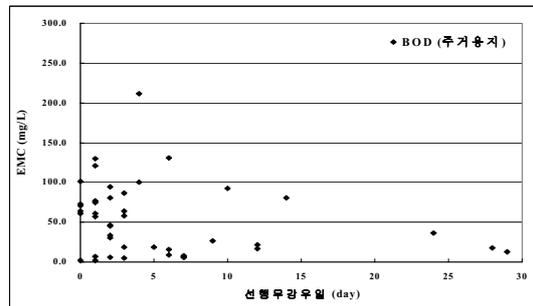
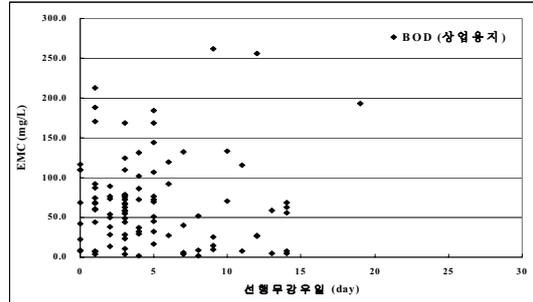
### 5. 불투수성 토지이용에 대한 강우유출수 관측 자료

#### 1) 관측현황

비점오염원은 토지이용형태에 따라 다양한 오염물질을 강우유출수와 함께 유출시키므로, 수계 구간별 용수목적에 따라 호수의 부영양화 요인 분석을 위한 영양물질, 공단지역 유출수에 대한 중금속류, 주차장과 도심에서의 기름 등 유류성분, 일반 농지의 농약, 산림지역 및 공사장 주변의 토사나 협잡물 등의 주요 토지 이용에 대한 수질항목이 조사되고 있다.

#### 2) 선행건기일수 관측에 따른 EMC

김성수 외(2002)의 연구에 따르면, 선행건기일수가 100일 이상이고 강우량 200mm 이상의 강우 발생 시, 금학천, 영문천, 금어천 최상류 지점에서 산정된 유출계수의 값이 각각 0.99, 0.49, 0.88로 도시지역인 금학천 지역의 유출계수가 가장 높은 것으로 조사되었다. 하지만, 본 연구에서 수집한 5개 불투수성 토지이용 관측 자료에서는 선행건기일수 증가에 따른 EMC 값의 증감이 뚜렷하게 나타나지 않았다.



〈그림 2〉 선행건기일수에 따른 토지이용별 BOD의 EMC (mg/L)

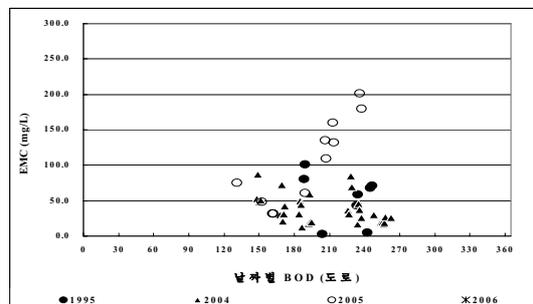
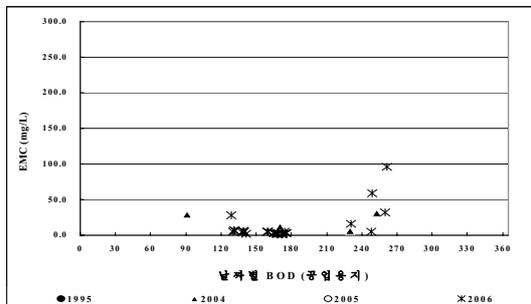
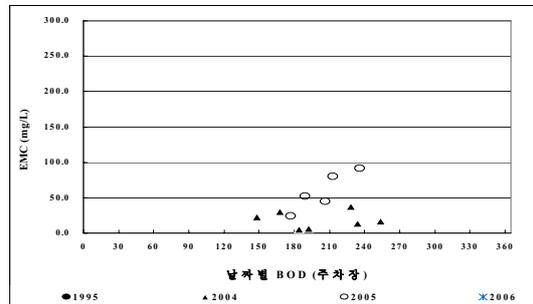
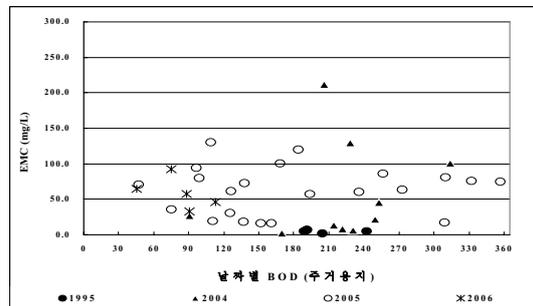
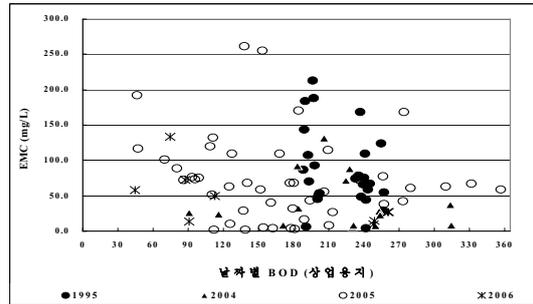
3) 계절별 관측농도 분석

투수성 토지이용은 농업활동과 연관이 많아 비료 투입, 쟁기질, 관개 등의 영향으로 계절적 변동이 존재할 수 있으나, 도로 및 대지와 같은 불투수성 토지 이용의 경우 상시 이용되는 특성으로 인해 수집된 관측 자료에서 계절별 차이가 뚜렷이 나타나지 않았다. 즉, 불투수성 토지이용의 경우 연간 이용 빈도 또는 인위적인 교란 등이 농지와 같은 투수성 토지 이용과는 달리 거의 일정하여, 월별·계절별 강우 시 배출되는 오염물질의 EMC값이 차이를 보이지 않았으므로, 연평균 자료를 원단위 산정에 사용하여도 무리가 없을 것으로 판단되었다.

〈표 4〉 토지이용별 EMC

| 토지 이용 | 유량가중 평균농도(MC, mg/L)* |                    |                   |                  | 자료수 |
|-------|----------------------|--------------------|-------------------|------------------|-----|
|       | BOD                  | SS                 | TN                | TP               |     |
| 공업용지  | 13.34<br>(20.62)     | 43.25<br>(38.10)   | 4.012<br>(6.255)  | 0.309<br>(0.234) | 29  |
| 상업용지  | 68.54<br>(56.18)     | 151.71<br>(170.21) | 11.294<br>(7.361) | 1.692<br>(1.307) | 98  |
| 주거용지  | 53.00<br>(45.09)     | 150.20<br>(98.49)  | 11.423<br>(7.992) | 1.622<br>(1.290) | 43  |
| 주차장   | 35.32<br>(27.65)     | 115.18<br>(130.44) | 4.350<br>(5.665)  | 0.985<br>(2.016) | 12  |
| 도로    | 54.81<br>(43.92)     | 146.05<br>(138.70) | 5.065<br>(3.853)  | 0.584<br>(0.434) | 51  |

\* 괄호 안에 표시된 값은 사용된 data의 표준편차 값임.



〈그림 3〉 시기에 따른 토지이용별 BOD의 EMC(mg/L)

4) 상관관계 분석<sup>5)</sup>

피어슨의 상관계수는 -1에서 +1까지의 값을 갖는데, 변수가 완전한 양의 상관관계에 있으면 +1이고, 완전한 음의 상관관계에 있으면 -1의 값을 갖는다. 만약 두 변수가 전혀 상관관계가 없으면 0의 값을 갖게 되는데, 일반적으로 상관계수의 절대값 크기가 0.6이상이면 상관관계가 높다고 하고, 0.3이하이면 상관관계가 낮다고 한다. 아래의 <표 5>는 선행건기일수와 계절에 따른 토지이용별 EMC의 상관관계를 분석한 결과로, -0.24~0.59의 범위로 나타나 도시 및 대지와 같은 불투수성 토지이용의 경우 선행건기일수 및 계절에 따라 EMC값이 영향을 받지 않음을 확인할 수 있었다.

<표 5> 상관도 분석 (피어슨 상관계수)

|      | 선행건기일수 | 계절별   |
|------|--------|-------|
| 공업용지 | 0.59   | 0.51  |
| 상업용지 | 0.02   | -0.17 |
| 주거용지 | -0.24  | 0.01  |
| 주차장  | 0.14   | 0.27  |
| 도로   | 0.14   | -0.01 |

95% 신뢰수준, t-검정(쌍체비교)

6. 도로 및 대지 원단위 비교

비점오염 원단위는 단위 시간당 단위표지면적에서 배출되는 오염물질량으로, 비점 부하량 산정 시 통계적인 방법으로 산정되어 적용이 간편한 장점이 있다. 그러나 원단위는 평균적인 것으로, 지역성과 시간적 변이를 나타내는 데에는 무리가 있고, 기존 원단위를 산정함에 있어서도 일시적인 시간의 자료를 이용하여 통계적인 방법으로 계산

하였기 때문에 실제 연구 지역에 대한 부하량에서도 오차가 발생 한다 (박연희·박석순, 2004). 따라서 이후 실시된 수질오염총량관리 기술지침에서는 원단위를 10mm 이상 연평균 강우량에 실측 표면유출계수와 EMC값을 곱한 값을 쓰도록 하고 있다.

본 연구에서는 10년 평균 일강우량과 토지이용 형태별 유출율을 고려하여 원단위를 제안하였으며, 그 결과를 기존 산정방법에 기초하여 계산한 원단위 결과와 비교해 보았다.

<표 6> 기존 유출계수를 적용한 4대강수계 토지이용별 원단위

| 토지 이용 | 유출 계수 | 1995년 4대강 평균 강우량 적용 원단위 (kg/km <sup>2</sup> /day) |        |       |      |                   |                   |                             |        |       |      |                   |                   |
|-------|-------|---|--------|-------|------|-------------------|-------------------|-----------------------------|--------|-------|------|-------------------|-------------------|
|       |       | 5mm 이상<br>평균누적강우량: 977.1mm                        |        |       |      |                   |                   | 10mm 이상<br>평균누적강우량: 877.2mm |        |       |      |                   |                   |
|       |       | BOD   | SS     | TN    | TP   | COD <sub>Cr</sub> | COD <sub>Mn</sub> | BOD                         | SS     | TN    | TP   | COD <sub>Cr</sub> | COD <sub>Mn</sub> |
| 공업용지  | 0.50  | 17.85   | 57.89  | 5.37  | 0.41 | 35.72             | 21.36             | 16.03                       | 51.97  | 4.82  | 0.37 | 32.07             | 19.18             |
| 상업용지  | 0.50  | 91.74   | 203.05 | 15.12 | 2.26 | 179.70            | 45.37             | 82.36                       | 182.30 | 13.57 | 2.03 | 161.33            | 40.73             |
| 주거용지  | 0.50  | 70.94   | 201.03 | 15.29 | 2.17 | 217.91            | 49.48             | 63.09                       | 180.48 | 13.73 | 1.95 | 195.63            | 44.42             |
| 주차장   | 0.50  | 47.27   | 154.16 | 5.82  | 1.32 | 149.94            | -                 | 42.44                       | 138.40 | 5.23  | 1.18 | 134.62            | -                 |
| 도로    | 0.50  | 73.36   | 195.48 | 6.78  | 0.78 | 178.88            | -                 | 65.86                       | 175.50 | 6.09  | 0.70 | 160.60            | -                 |

<표 7> 환경부 기준 유출계수를 적용한 4대강수계 토지 이용별 원단위

| 토지 이용 | 유출 계수 | 4대강수계 평균 강우량 적용 원단위 (kg/km <sup>2</sup> /day) |        |       |      |                   |                   |                           |        |       |      |                   |                   |
|-------|-------|---|--------|-------|------|-------------------|-------------------|---------------------------|--------|-------|------|-------------------|-------------------|
|       |       | 5mm 이상 평균누적강우량: 1354.3mm                      |        |       |      |                   |                   | 10mm 이상 평균누적강우량: 1212.0mm |        |       |      |                   |                   |
|       |       | BOD   | SS     | TN    | TP   | COD <sub>Cr</sub> | COD <sub>Mn</sub> | BOD                       | SS     | TN    | TP   | COD <sub>Cr</sub> | COD <sub>Mn</sub> |
| 공업용지  | 0.65  | 32.17   | 104.31 | 9.68  | 0.75 | 64.37             | 38.49             | 28.79                     | 93.35  | 8.66  | 0.67 | 57.61             | 34.45             |
| 상업용지  | 0.80  | 203.45  | 450.33 | 33.52 | 5.02 | 398.54            | 100.63            | 182.07                    | 403.01 | 30.00 | 4.49 | 356.65            | 90.05             |
| 주거용지  | 0.50  | 98.33   | 278.66 | 21.19 | 3.01 | 302.05            | 68.59             | 87.99                     | 249.37 | 18.97 | 2.69 | 270.31            | 61.38             |
| 주차장   | 0.80  | 104.84  | 341.90 | 12.91 | 2.92 | 332.55            | -                 | 93.83                     | 305.97 | 11.56 | 2.62 | 297.60            | -                 |
| 도로    | 0.85  | 172.87  | 460.63 | 15.97 | 1.84 | 421.52            | -                 | 154.70                    | 412.22 | 14.30 | 1.65 | 377.22            | -                 |

대지에 대한 기존 BOD 원단위인 85.9 kg/km<sup>2</sup>/day는 조사 당시(1995년) 연강우량, 실측유출율 사용과 제한된 조사기간, 특정지목에 편중된

5) 상관분석에서 두 변수간의 방향과 정도를 나타내는 측정치를 상관계수라고 하는데, 모집단의 상관성을 분석하기 위해 가장 많이 이용되는 척도가 피어슨의 상관계수(Pearson correlation coefficient)이다.

자료가 이용된 반면, 본 연구에서는 10년 평균 월 강수량, 토지이용별 기초유출률, 다양한 토지이용, 연간 고루 분포된 보다 많은 자료를 이용하였고, 그 결과 10mm 이상 누적 강수량 적용 시 원단위 값은 <표 7>과 같았으며 주거용지의 값이 기존 원단위와 가장 유사함을 보였다. 그리고 오염총량관리기술지침 개정을 전제로, 다른 지목과의 형평성을 고려하여 기존 원단위 산정에 이용한 강수량(1995년, 10mm 이상)과 유출계수를 그대로 적용할 경우, 대지에 대한 BOD 원단위는 53.23 kg/km<sup>2</sup>/day로 산정된다. 기존 수질오염총량관리기술지침의 원단위 산정방법을 차용하여, 본 연구에서는 10년 평균 일강수량과 토지이용형태별 유출율을 고려하여 최근에 관측된 EMC 자료를 토대로 원단위를 다음과 같이 제안하고자 한다.

<표 8> 토지이용별 원단위

| 토지 이용 | 유출 계수 | 원단위(kg/km <sup>2</sup> /day) |        |       |      |
|-------|-------|------------------------------|--------|-------|------|
|       |       | BOD                          | SS     | TN    | TP   |
| 공업용지  | 0.65  | 28.79                        | 93.35  | 8.66  | 0.67 |
| 상업용지  | 0.80  | 182.07                       | 403.01 | 30.00 | 4.49 |
| 주거용지  | 0.50  | 87.99                        | 249.37 | 18.97 | 2.69 |
| 주차장   | 0.80  | 93.83                        | 305.97 | 11.56 | 2.62 |
| 도로    | 0.85  | 154.70                       | 412.22 | 14.30 | 1.65 |

#### IV. 결 론

도시 지역의 특성을 고려한 원단위를 새롭게 제안하기 위해, 비점지역 오염부하량에 영향을 미치는 인자로서 강수량과 선행건기일수를 고려해 보았다. 기존 원단위 선정 시 조사되었던 1995년

부터 최근 10년까지의 강수량을 검토한 결과, 연평균 강수량이 나타난 연도의 일강수량을 사용할 경우 특정 월 또는 특정시기에 태풍, 홍수 등이 집중되어 10년을 대표하는 일강우로 부적합하다고 판단되었다. 따라서 10년간 월평균 강수량에 가장 근접한 달의 일강우를 사용하는 것이 월별, 계절별 비점오염원 오염배출부하량 산정에 더 합당할 것으로 사료된다. 선행건기일수의 경우 일반적으로 건기일수가 증가할수록 강우 초기에 고농도의 오염물질이 배출되고 이후부터는 급속히 낮아지는 초기세척효과(first flush effect)<sup>6)</sup>가 확인되고 있으나, 불투수성 토지이용에서는 하나의 강우사상 전체에 대한 초기 유출 EMC가 전체 유출에서 차지하는 비중이 작아 선행건기일수에 따른 EMC 값의 유의한 차이점은 나타나지 않았다.

토지이용별 원단위를 제안하기 위해 공업지역, 상업지역, 주거지역, 도로, 주차장 등 대지로 분류된 기존의 지목들에 대한 EMC 값을 비교한 결과, 토지이용형태에 따라 유의한 차이를 보이므로, 지목별 EMC 자료가 15~30개 정도 연간 고르게 축적된 경우에는 해당 배출원단위로 세분화할 필요가 있을 것으로 생각된다. 또한, 불투수성 토지 이용의 경우 여타의 토지이용과는 달리 강수량이 5 mm/day일 경우, 시간당 강우 강도가 5 mm/hr 이상이면 상당한 유출이 발생하는 것으로 보고되고 있으므로, 강수량과 EMC등을 이용한 비점배출원단위 산정 시 체계적인 검토와 조사가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

6) 초기강우 유출수(first-flush)는 합류식하수관거시스템에서 오염물질과 관련하여 선행건기일수, 강우강도, 토지이용형태와 불투수성 포장도로 및 지표 퇴적물 세척(wash-off)으로 인하여 상대적으로 고농도의 오염물을 함유하며 선행건기일수에 따라 농도는 크게 좌우된다(최지용·신은성, 1997).

참고문헌

기상청, 1996~2005, 「기상월보」.  
 김성수 · 김종석 · 방기연 · 권은미 · 정옥진, 2002, “경안천 유역의 강우사상별 비점오염원 유출특성 및 원단위 조사”, 「대한환경공학회지」, 24(11): 2019~2027.  
 김영일 · 이상진, 2006, “수질오염총량관리 계획수립의 개선방안에 관한 연구”, 「한국물환경학회지」, 22(6): 977~981.  
 김이형 · 강주현, 2004, “고속도로 강우 유출수 내 오염물질의 EMC 및 부하량 원단위 산정”, 「한국물환경학회지」, 20(6): 631~640.  
 김이형 · 이선하, 2005, “강우시 주차장 및 교량에서 유출되는 비점오염물질의 특성 비교 및 동적 EMCs”, 「한국물환경학회지」, 21(3): 248~255.  
 김태근, 2005, 「비점오염모델링 기술을 이용한 유역오염물질 배출해석」, 청주대학교.  
 라덕관 · 김기성, 1996, “수질에 미치는 비점오염원의 영향”, 「공업기술연구소 논문집」, 10(10): 139~149.  
 박연희 · 박석순, 2004, “강우강도에 따른 토지이용별 비점오염원 부하량 산정 함수 연구”, 「대한환경공학회지」, 26(10): 1070~1078.  
 방기용 · 이준호 · 유명진, 1997, “도시 소유역에서의 비점오염원 유출 특성에 관한 연구”, 「한국수질보전학회지」, 13(1): 79~99.  
 서규태, 2006, 「도시노면 및 공업지역으로부터의 오염물질 배출특성조사에 관한 연구, '3년차 중간보고서」, 국립환경과학원 낙동강물환경연구소.  
 신은성 · 최지용 · 이동훈, 2001, “토지용도와 유역특성을

고려한 비점오염물질 원단위 산정에 관한 연구”, 「한국물환경학회지」, 17(2): 137~146.  
 최지용, 1995, 「비점오염원 조사연구사업 보고서」, 환경부.  
 최지용 · 신은성, 1997, 「도시지역 비점오염원 관리방안 연구」, 한국환경정책평가연구원.  
 최지용 · 신은성, 2002, 「비점오염원 저감을 위한 우수유출수 관리방안」, 한국환경정책평가연구원.  
 한영광, 2006a, 「금강수계 비점오염원 관리시설 시범설치사업 기본 및 실시설계 보고서」, 환경관리공단.  
 한영광, 2006b, 「영산강 · 섬진강수계 비점오염원 관리시설 시범설치사업 기본 및 실시설계 보고서」, 환경관리공단.  
 Field, R., O'Shea, M. L., 1993, *Integrated Stormwater Management*, Lewis Publishing, Ann Arbor.  
 Nix, S. J., 1994, *Urban Stormwater Modeling and Simulation*, Lewis Publishing, Ann Arbor.  
 Novotny, V. and Chesters, G., 1981, *Handbook of Nonpoint Pollution: Source and Management*, Van Nostrand Reinhold Co., N. Y.  
 Sartor, J. D., Boyd, G. B., and Agardy, F. J., 1974, “Water Pollution Aspects of Street Surface Contaminants”, *Journal of WPCF*, 46(3): 458~467.  
 USEPA, 1991, *Guidance for Water Quality-Based Decisions: The TMDL Process*.

원 고 접 수 일 : 2007년 4월 5일  
 1차심사완료일 : 2007년 5월 2일  
 2차심사완료일 : 2007년 6월 4일  
 최종원고채택일 : 2007년 6월 7일