

# 강우강도와 토지이용을 고려한 비점오염물질 부하량 산정에 관한 연구

## Estimation of Pollutants Loading from Non-Point Sources Based on Rainfall Event and Land use Characteristics

이혜원 · 최남희\* · 이용석\*\* · 최정현†  
Hye Won Lee · Namhee Choi\* · Yongseok Lee\*\* · Jung Hyun Choi†

이화여자대학교 환경공학과 · \*강원대학교 환경과학과 · \*\*한림성심대학 보건환경과  
Department of Environmental Science and Engineering, Ewha Womans University

\*Department of Environmental Science, Kangwon National University · \*\*Department of Health and Environment, Hallym College

(2011년 1월 21일 접수, 2011년 8월 29일 채택)

**Abstract :** The unit load has simply been used to estimate total pollutant loading from non-point sources, however, it does not count on the variable pollutant loading according to land use characteristics and rainfall intensity. Since pollutant emission from the watershed is strongly dependent on the rainfall intensity, it is necessary to find out the relationship between pollutant loading and rainfall intensity. The objective of this study is to develop simple and easy method to compute non-point source pollution loads with consideration of rainfall intensity. Two non-point source removal facility at Gyeongan-dong (Gwangju-si) and Mohyeon-myeon (Yongin-si), Gyeonggi-do was selected to monitor total rainfall, rainfall intensity, runoff characteristics and water quality from June to November, 2010. Most of Event Mean Concentrations (EMC) of measured water quality data were higher in Gyeongan which has urban land use than in Mohyeon which has rural land use. For the case of TP (Total Phosphorus), Mohyeon has higher values by the influence of larger chemical uses such as fertilizer. The relationship between non-point source pollution load and rainfall intensity is perfectly well explained by cubic regression with 0.33~0.81 coefficients of determination( $R^2$ ). It is expected that the pollution loading function based on the long-term monitoring would be very useful with good accuracy in computing non-point source pollution load, where a rainfall intensity is highly variable.

**Key Words :** Non-point Sources, Pollutant Load, Rainfall Intensity, Unit Load

**요약 :** 비점오염부하량 산정을 위해 사용되는 원단위는 쉽게 이용 가능하지만, 지역의 토지이용 특성과 강우강도의 시간적인 변이를 고려하지 못하는 단점이 있다. 본 연구에서는 간편하면서도 강우량에 따른 부하량 변화를 고려한 보다 정확한 비점부하량 산정방법을 개발 및 적용하였다. 경기도 경안천 유역에 위치한 두 개의 비점오염저감시설을 대상으로 2010년 6월부터 11월까지 모니터링을 수행하여 강우강도, 유출 특성, 오염부하 등에 관한 분석을 진행하였다. 비점오염원 유출수의 특성을 나타내는 유량가중평균농도(Event Mean Concentration; EMC)의 경우에는 도시 지역인 경기도 광주시 경안동 산과 밭으로 이루어진 용인시 모현면에 비해 높거나 비슷한 값을 보였으나, TP (Total Phosphorus)의 경우 유역 내 농경지에 사용된 퇴비나 비료에 포함된 인의 영향으로 모현면이 경안동보다 더 높게 나타났다. 강우량과 오염물질 배출부하량과의 관계는 3차원 다항식에 의해 가장 잘 설명되었으며, 0.33~0.81 범위의 결정계수를 나타내고 있다. 산정된 유출율 및 부하량 함수의 기울기가 EMC 결과와 반대되는 경향을 보이는 것으로부터, 비점오염원은 토지이용 이외에도 지형, 토성, 수리·수문현상 등에 따라 배출특성이 달라짐을 알 수 있다. 따라서 비점오염물질의 유출 특성을 정확히 파악하기 위해서는 장기모니터링을 통한 자료의 수집을 바탕으로 강우량에 따른 부하량 변화를 고려한 비점부하량 산정함수를 구하는 것이 필요하다.

**주제어 :** 비점오염원, 부하량, 강우강도, 원단위

### 1. 서론

하천이나 호수로 유입되는 오염물질은 유역으로부터 점오염원 또는 비점오염원의 형태로 발생한다. 점오염원은 발생 지점과 흐름 경로가 명확하기 때문에 오염부하량 산정과 관리가 용이하나, 비점오염원은 주로 강우에 의해 유출되고 지리적 조건과 토지이용 형태 등에 따라 오염물질 발생량과 이동경로가 달라지기 때문에 오염부하량 산정뿐만 아니라 관리도 매우 어렵다.<sup>1)</sup> 하수처리기술의 발달과 보급의 확대로 점오염원으로부터 유입되는 오염물질이 감소함에 따라 수질개선을 위한 비점오염원의 비중과 중요성이

더욱 증대되었다. 이에 환경부는 비점오염을 적절히 관리하기 위해 2004년 “4대강 비점오염원 관리 종합 대책”을 수립하였고, 수변구역 토지매수, 녹조방지사업, 국내 특성에 적합한 비점오염저감시설 개발 사업 등을 진행하였다.<sup>2)</sup>

비점오염원을 효과적으로 관리하기 위해서는 토지이용별 강우시 배출되는 오염물질의 양을 정량적으로 산정하고 이동 경로를 파악하는 것이 필수적이다.<sup>3,4)</sup> 비점부하량 산정을 위해서 지금까지 다양한 방법들이 제시되어 왔으며, 국내에서는 현재 적용이 간편한 원단위법을 가장 많이 사용하고 있다.<sup>5-7)</sup> 그러나 원단위는 토지이용의 특성과 강우사상의 시간적인 변이를 고려하지 못하는 단점이 있으므로, 우

† Corresponding author E-mail: jchoi@ewha.ac.kr Tel: 02-3277-6886 Fax: 02-3277-3275

리나라와 같이 계절별 강우량의 변화가 큰 지역에 원단위법을 그대로 적용할 경우에는 대상 지역의 비점오염물질 배출량 예측에 많은 오차를 가져올 수 있다.<sup>4,8,9)</sup> 그 외에도 비점오염원은 기후, 지형, 토성, 수리·수문현상 등에 따라 배출특성이 매우 다양하기 때문에 장기모니터링을 통한 자료의 수집과 분석이 필요하다.

본 연구에서는 유역의 토지이용 특성이 다른 경기도 광주시 경안동과 용인시 모현면에 위치한 비점오염저감시설로 유입되는 강우 유입수의 수질농도를 측정하여 유출 특성과 오염부하 그리고 유량가중평균농도(Event Mean Concentration; EMC)을 계산하고, 강우시 배출되는 오염물질의 양을 산정하기 위하여 간편하면서도 강우량에 따른 부하량 변화를 고려한 보다 정확한 비점부하량 산정방법을 개발 및 적용하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 연구대상지역

본 연구의 대상 지역은 경안천 유역에 위치한 두 지역으로 경기도 광주시 경안동 지역과 용인시 모현면 지역이다. 광주시 경안동에 설치된 비점오염저감시설의 처리대상유역면적은 1,773,000 m<sup>2</sup>이며 유역의 대부분이 도시 및 도로로 구성되어 있다. 용인시 모현면에 위치한 비점오염저감시설의 처리대상구역 면적은 9,610 m<sup>2</sup>이며 대부분이 산지와 밭으로 이루어져 있다(Fig. 1).

### 2.2. 조사 및 분석방법

본 조사에서는 경기도 광주시 경안동 지역은 2010년 6월부터 2010년 11월까지 총 21개의 강우사상에 대하여, 용인시 모현면 지역은 2010년 8월부터 2010년 11월까지 총 16개의 강우사상에 대하여 모니터링을 수행하였다. 모니터링은 초기강우현상을 고려하여 강우초기에는 5분 간격으로

실시하다가 침투유량이 나타난 이후에는 시간을 늘려 시료를 채취하였고, 채취된 시료는 실험실로 운반되어 가능한 빨리 수질분석을 실시하였다. 수질시료의 분석항목은 TSS (Total Suspended Solids), BOD (Biochemical Oxygen Demand), COD<sub>Mn</sub> (Chemical Oxygen Demand), TN (Total Nitrogen), TP (Total Phosphors) 등을 Standard Methods<sup>10)</sup>와 수질오염 공정시험법<sup>11)</sup>에 따라 분석하였다.

조사시기의 강우량은 광주시 경안동에 위치한 기상청에서 운영 중인 AWS 자료와 용인시에 인접한 수원관측소의 자료를 이용하였으며, 유량 산정은 측정지점에 수위표를 설치한 후 수위를 연속적으로 측정하여 수위-유량 관계곡선으로 유량을 산정하였다.

강우시 발생하는 유출수는 강우초기에 고농도의 오염물질이 유출되는 초기강우 현상을 보이므로, 조사 간격이 일정하지 않는 비점오염원 유출수의 특성을 파악하기 위해서는 오염물질의 농도와 유출율을 고려한 유량가중평균농도를 이용하여야 한다.<sup>12)</sup> 유량가중평균농도는 강우지속시간 동안 유출된 누적 오염물질의 양을 누적 유출량으로 나누어 계산할 수 있다(식 (1)).

$$EMC = \frac{\sum Q_i C_i}{\sum Q_i} \tag{1}$$

여기서  $Q_i$ 는 강우시 유역으로부터 유출된  $i$ 번째 측정유량,  $C_i$ 는 강우시 유역으로부터 유출된  $i$ 번째 측정농도이다.

강우사상당 부하량은 연간 총강우량을 조사한 기간 동안의 강우량을 모두 더한 값으로 나누고, 이를 산정된 EMC를 이용하여 구한 강우사상의 부하량으로 곱한 뒤 유역면적으로 나누어 계산할 수 있다(식 (2)).

$$Unit\ Load(kg/km^2/event) = \frac{EMC \times Average\ flow\ rate \times Duration\ time}{Basin\ Area} \tag{2}$$

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 강우량 및 유출량 조사결과

경기도 광주시 경안동과 용인시 모현면에서 모니터링을 실시한 강우사상에 대한 분석을 Table 1~2에 각각 나타내었다. 유출이 발생한 강우사상당 강우량은 광주시 경안동에서 4.5~217.5 mm, 용인시 모현면에서 4.5~115.0 mm를 기록하였다. 강우 전 건조일수(Antecedent Dry Day, ADD)는 광주시 경안동에서 1~21일, 용인시 모현면에서 1~34일의 범위를 보이며, 강우 지속시간은 광주시 경안동에서 2~17시간, 용인시 모현면에서 2.5~18시간의 범위를 나타내었다.

광주시 경안동에서 기록된 최대 강우량은 217.5 mm로 2010년 9월 9일의 강우사상이며, 강우 전 건조일수는 3일, 평균 강우강도는 13.6 mm/h, 강우지속시간은 16시간으로 산정

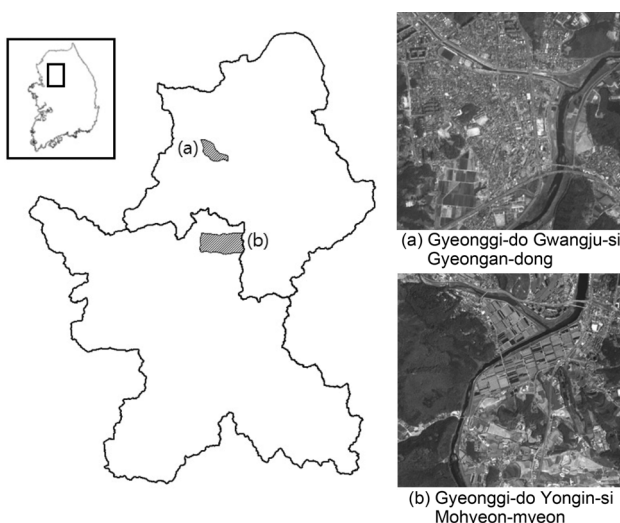


Fig. 1. Location and drainage area of study sites.

되었다. 용인시 모현면에서 기록된 최대 강우량은 115.0 mm로 2010년 9월 21일의 강우사상이며, 강우 전 건조일수는 1일, 평균 강우강도는 28.8 mm/h, 강우지속시간은 4시간으로 산정되었다.

도시 및 도로로 구성된 경안동 지역의 21회 강우사상동안 발생한 평균 강우량은 48.7 mm이며, 평균 유출율은 0.17 이고, 산지와 밭으로 구성된 용인시 모현면 지역의 16회 강우사상동안 발생한 평균 강우량은 32.3 mm이며, 평균 유출율은 0.32이다. 모현면의 경우 경안동 지역에 비해 평균 강우량은 16.4 mm 적었지만 유출율은 88% 더 발생하였다. 이는 경안동 지역은 풍수기인 6~8월을 포함하여 모니터링이 이루어진데 반하여 모현면은 8월 이후 모니터링이 이루어져 여름철 집중 강우의 영향을 적게 받았기 때문이며, 산과 밭으로 이루어진 지역이 도시 및 도로로 이루어진 지역에 비해 경사가 급하기 때문에 적은 강우에도 더 많은 유출이 발생한 것으로 판단된다.

### 3.2. EMC 산정

모니터링 결과를 이용하여 강우사상별 비점오염물질의 EMC 산정이 이루어졌다(Table 1~2). 모니터링을 실시한 기간의 광주시 경안동에서 각 수질항목들의 EMC는 TSS 14.1~348.1 mg/L, BOD 1.7~17.1 mg/L, COD 4.4~12.8 mg/L, TN

2.7~7.2 mg/L, TP 0.3~0.6 mg/L의 범위를 나타냈으며, 용인시 모현면에서의 유입 EMC는 TSS 47.5~196.9 mg/L, BOD 2.4~7.7 mg/L, COD 4.0~10.5 mg/L, TN 2.9~5.6 mg/L, TP 0.3~0.9 mg/L의 범위를 보이고 있다.

두 지점의 평균 EMC 농도를 비교해보면, TSS, BOD, COD의 경우 도시 및 불투수지역이 대부분을 이루고 있는 광주시 경안동이 산지와 밭으로 이루어진 용인시 모현면에 비해 높은 값을 보였고, TN은 비슷한 값을 보였으나 TP의 경우 용인시 모현면이 더 높은 값을 보였다. 용인시 모현면의 경우 유역 내 농경지에 사용된 퇴비나 비료에 포함된 인이 유출되어 강우시 인의 농도가 도시지역인 경안동보다 더 높게 나타난다고 판단된다.

### 3.3. 단위면적당 오염 부하량 산정

비점오염원을 효과적으로 관리하기 위해서는 토지이용별 강우시 배출되는 오염물질의 양을 정량적으로 산정하고 이동경로를 파악하는 것이 필수적이다.<sup>3,4)</sup> 비점부하량 산정을 위해서 지금까지 다양한 방법들이 제시되어 왔으며, 국내에서는 현재 적용이 간편한 원단위법을 가장 많이 사용하고 있다.<sup>5-7)</sup> 토지이용별 원단위는 향후 비점오염저감시설 설계 및 규모 산정 시 사용될 수 있는 비점오염원 관리를 위한 중요한 인자이다. 본 연구에서는 식 (2)를 이용하여

**Table 1.** Monitored Rainfall Events and EMCs (mg/L) of water quality parameters measured at Gyeongan watershed

Event Date	Antecedent Dry Day (day)	Total Rainfall (mm)	Runoff Duration (hr)	Rainfall Intensity (mm/hr)	Runoff Ratio	TSS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD <sub>Mn</sub> (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)
2010-06-12	18	74.0	12	6.2	0.25	116.0	9.2	12.8	2.8	0.5
2010-06-14	1	10.0	5	2.0	0.16	112.1	8.7	7.6	3.0	0.4
2010-06-26	6	7.0	5	1.4	0.12	189.0	6.8	12.2	5.0	0.5
2010-07-02	5	36.0	12	3.0	0.14	261.5	17.1	12.7	7.2	0.6
2010-07-07	3	13.5	3	4.5	0.13	185.4	9.9	12.1	3.9	0.4
2010-07-16	2	184.0	12	15.3	0.03	138.1	8.9	10.2	4.4	0.4
2010-07-23	1	19.0	4	4.8	0.09	107.4	9.2	8.2	3.6	0.5
2010-08-06	1	38.5	12	3.2	0.10	14.6	6.8	6.9	4.7	0.3
2010-08-10	2	29.5	12	2.5	0.12	17.7	4.7	5.8	4.7	0.3
2010-08-13	1	17.0	5	3.4	0.13	122.7	4.2	5.1	5.7	0.3
2010-08-15	1	22.5	4	5.6	0.08	97.0	5.8	6.5	4.4	0.3
2010-08-18	1	17.5	12	1.5	0.35	60.1	7.7	8.9	4.6	0.4
2010-08-23	1	72.0	17	4.2	0.10	348.1	5.4	8.5	4.6	0.4
2010-08-28	1	106.5	17	6.3	0.15	154.6	2.2	9.2	4.2	0.3
2010-09-01	1	35.5	12	3.0	0.43	70.0	4.6	7.7	3.6	0.3
2010-09-05	1	28.5	12	2.4	0.33	14.1	1.7	4.4	2.7	0.4
2010-09-09	3	217.5	16	13.6	0.04	51.5	2.8	5.3	3.6	0.4
2010-09-19	1	44.5	11	4.0	0.14	68.5	5.4	7.4	3.7	0.3
2010-10-02	4	36.0	7	5.1	0.12	126.0	6.2	7.8	4.4	0.4
2010-11-07	21	4.5	2	2.3	0.13	68.9	7.8	10.2	3.8	0.4
2010-11-11	2	8.5	7	1.2	0.34	77.4	7.9	10.8	4.9	0.3
Average						114.3	6.8	8.6	4.3	0.4
Standard Dev.						81.7	3.3	2.6	1.0	0.1

**Table 2.** Monitored Rainfall Events and EMCs (mg/L) of water quality parameters measured at Mohyeon watershed

Event Date	Antecedent Dry Day (day)	Total Rainfall (mm)	Runoff Duration (hr)	Rainfall Intensity (mm/hr)	Runoff Ratio	TSS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD <sub>Mn</sub> (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)
2010-08-10	2	23.5	4	5.9	0.28	47.5	6.9	6.2	5.2	0.6
2010-08-13	2	19.0	3	6.3	0.06	49.3	2.4	4.0	2.9	0.3
2010-08-15	1	47.0	4	11.8	0.06	145.0	4.8	7.2	5.6	0.5
2010-08-18	2	18.0	2.5	7.2	0.03	66.7	5.4	7.7	4.0	0.4
2010-08-23	4	25.0	5	5.0	0.10	91.9	5.7	7.7	4.2	0.4
2010-08-25	1	4.5	4	1.1	0.26	169.7	5.3	7.6	4.5	0.4
2010-08-28	1	6.5	5	1.3	0.51	124.7	2.9	9.6	4.4	0.3
2010-08-31	2	28.0	18	1.6	0.98	196.9	4.8	10.5	5.1	0.5
2010-09-06	2	7.0	3	2.3	1.02	84.4	4.6	9.4	4.3	0.6
2010-09-09	2	99.5	4	24.9	0.30	81.3	5.6	7.3	4.3	0.6
2010-09-12	1	72.5	7	10.4	0.03	95.0	4.8	6.1	4.0	0.5
2010-09-19	6	7.5	4	1.9	0.07	107.3	7.7	8.9	4.1	0.7
2010-09-21	1	115.0	4	28.8	0.44	151.9	7.3	8.5	3.6	0.9
2010-10-02	9	15.5	9	1.7	0.01	121.4	7.5	9.3	4.0	0.8
2010-11-08	34	4.0	11	0.4	0.46	73.2	7.1	8.9	3.5	0.5
2010-11-11	2	14.0	11	1.3	0.54	69.2	7.4	8.8	3.8	0.6
Average						104.7	5.6	8.0	4.2	0.5
Standard Dev.						43.6	1.6	1.6	0.7	0.2

**Table 3.** Representative unit loads (kg/km<sup>2</sup>/event) for different land uses

Site		TSS	BOD	COD <sub>Mn</sub>	TN	TP
Gyeongang	Average	556.6	16,751	18,461	594.0	30.1
	Standard Dev.	714.3	25,379	25,378	644.3	21.6
Mohyeon	Average	412.3	149,098	183,657	7,202	684.6
	Standard Dev.	500.4	150,370	102,394	2,441	271.1

도시 및 불투수지역이 주를 이루고 있는 광주시 경안동 지역과 산과 밭으로 이루어진 용인시 모현면 지역을 대상으로 오염물질별 발생 원단위를 산정하였다(Table 3).

본 연구에서 산정된 발생 원단위의 평균값과 표준편차를 살펴보면, 지역 및 오염물질에 관계없이 모든 경우에서 표준편차가 평균값보다 크게 산정됨을 알 수 있다. 이는 발생 원단위 값의 분포 범위가 강우사상에 따라 다양하게 나타남을 의미하는 것으로, 이를 통해 강우시 배출되는 오염물질의 양을 산정하기 위해 발생 원단위의 평균값을 사용하는 것이 부적합하다는 것을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 산정된 오염물질별 발생 원단위와 강우사상에 따라 달라지는 강우량간의 관계를 분석하기 위하여 직선식(Linear Equa-

tion), 지수식(Exponential Equation), 로그식(Log Equation), 다항식 등으로 회귀분석을 수행하였다. 그 결과 강우량과 각 오염물질별 배출부하량간의 관계는 3차원 다항식(Cubic regression)에 의해 가장 잘 설명되었으며, 그 결과를 Fig. 2~3에 제시하였다.

강우에 대한 배출부하의 결정계수는 광주시 경안동 0.33~0.73, 용인시 모현면 0.46~0.81을 나타냈다. 유역면적이 상대적으로 넓고 대부분이 불투수지역인 광주시 경안동 지역의 경우에는 TSS와 TP의 계수가 상대적으로 큰 반면, 유역면적이 상대적으로 좁고 산과 밭으로 이루어진 용인시 모현면 지역은 TSS를 제외한 모든 경우에 높은 값을 보였다.

산정된 부하량 함수를 살펴보면 광주시 경안동은 대부분의 항목에서 강우량 50 mm까지 배출부하가 증가하다가 감소하는 경향을 보인 후, 150 mm 이상시 배출부하가 다시 증가하는 경향을 보인다. 용인시 모현면은 모든 항목에서 강우량 40 mm까지 배출부하가 증가하다가 감소하는 경향을 보인 후, 약 80 mm 이상시 배출부하가 다시 증가하는 경향을 보인다. 모든 항목에서 도시 및 불투수지역이 대부분을 이루고 있는 광주시 경안동이 산지와 밭으로 이루어진 용인시 모현면에 비해 낮은 값을 보였다(Table 4).

**Table 4.** Results of cubic regression equations for different land uses

(units: kg/km<sup>2</sup>/event)

Site	Gyeongang	Mohyeon
TSS	$y = 12.29x + 0.15x^2 - 0.001x^3$	$y = 38.37x - 0.65x^2 + 0.003x^3$
BOD	$y = 866.6x - 0.79x^2 + 0.02x^3$	$y = 15259.5x - 316.4x^2 + 1.71x^3$
COD <sub>Mn</sub>	$y = 855.1x - 8.51x^2 + 0.02x^3$	$y = 17263.6x - 394.9x^2 + 2.36x^3$
TN	$y = 29.94x - 0.33x^2 + 0.001x^3$	$y = 666.2x - 14.09x^2 + 0.08x^3$
TP	$y = 1.41x - 0.02x^2 + 0.00004x^3$	$y = 62.46x - 1.33x^2 + 0.008x^3$

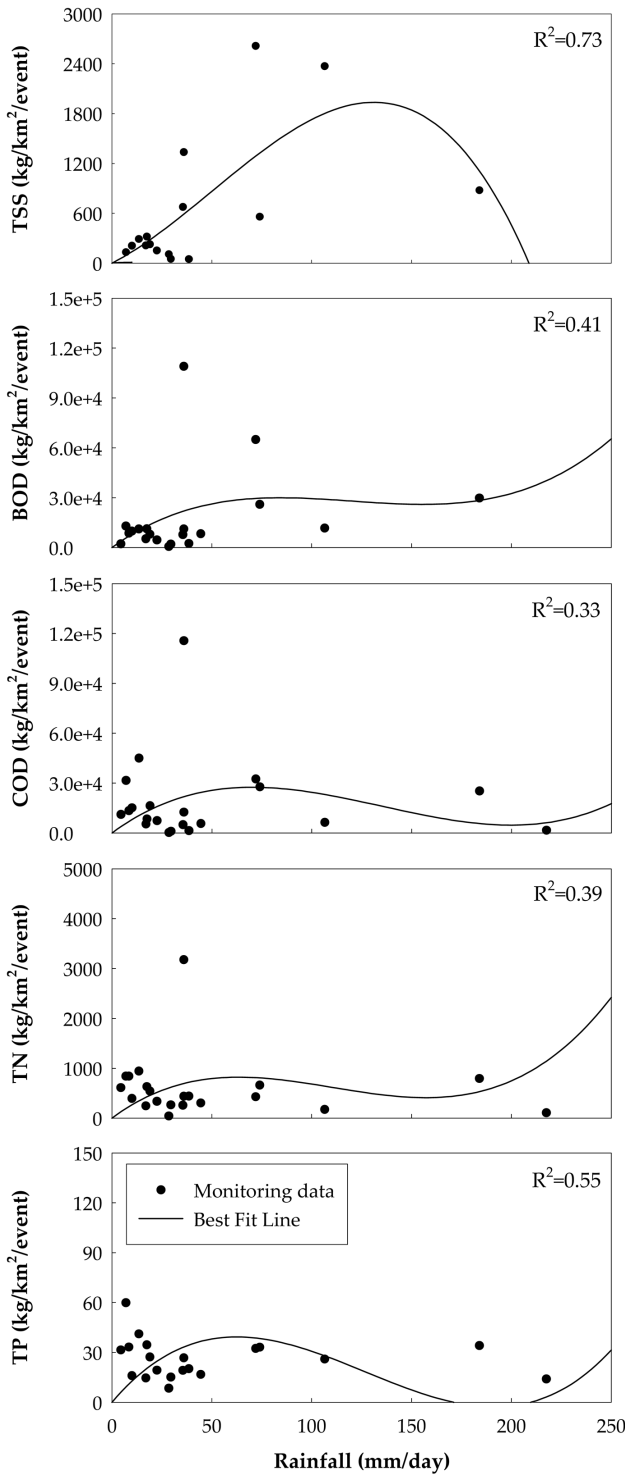


Fig. 2. Pollutant loading equation according to rainfall intensity at Gyeongan watershed.

이처럼 강우강도가 증가함에 따라 오염부하의 증가가 뚜렷하게 나타나는 것은 강우량과 오염물질의 배출이 큰 관계가 있는 것으로 해석해 볼 수 있고, 산정된 부하량 함수를 이용하면 일 강우량에 따른 비점오염물질 배출량을 계산할 수 있다. 산정된 비점오염물질 배출량을 이용하여 비점오염물질 저감시설의 용량 설계인자를 도출할 수 있고,

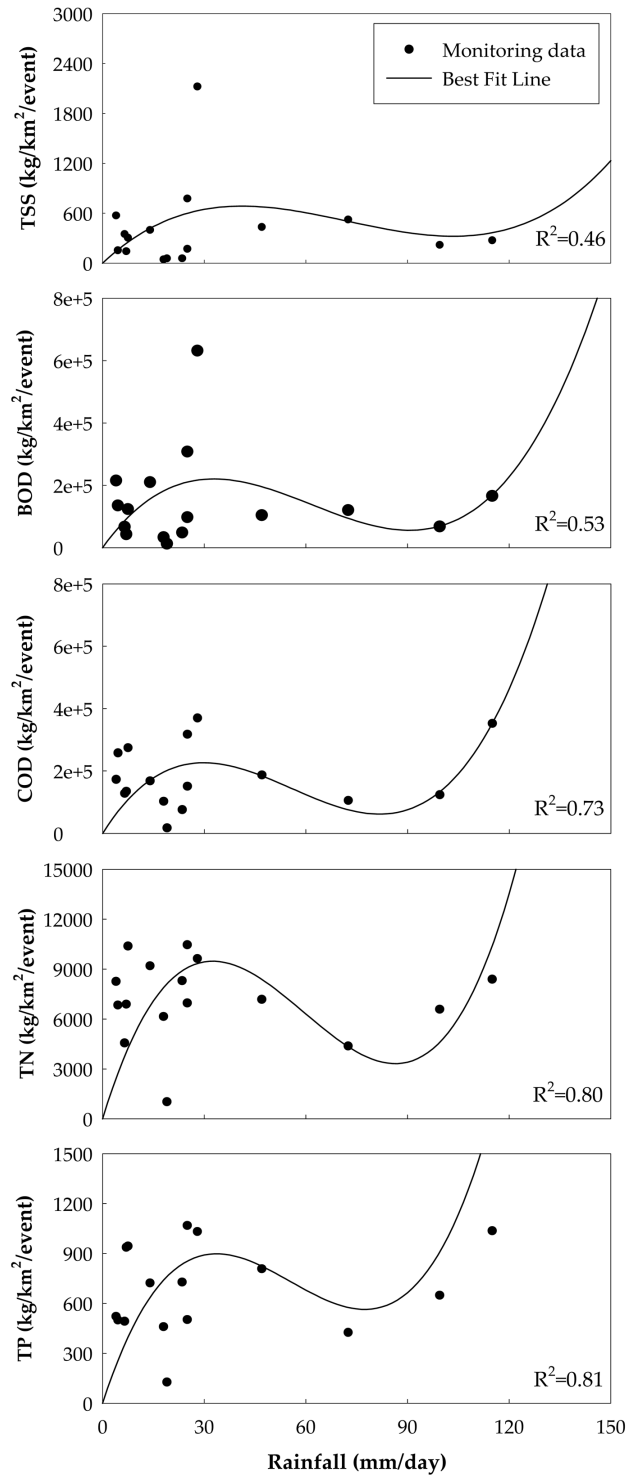


Fig. 3. Pollutant loading equation according to rainfall intensity at Mohyeon watershed.

그 결과에 해당유역의 토지이용별 면적을 곱해서 강우 발생 시기에 결과들을 합하면 비점오염 배출부하량도 산정할 수 있다.

우리나라는 몬순 기후의 영향으로 강우량의 계절적 변동이 크므로 단일 원단위를 사용하여 강우에 따른 비점오염 부하를 산정하는 것은 그 한계가 크다. 따라서 본 연구과

같이 실측을 통해 대상유역의 강우량과 오염물질의 배출부하량과의 관계를 밝혀내고, 산정된 부하량 함수를 이용하여 비점오염물질 배출량을 계산한다면 강우의 변동이 큰 국내의 배출량을 비교적 간단하지만 정확하게 정량화 할 수 있다. 본 연구 방법을 응용하여 도시지역과 산지와 밭 이외에도 다른 특성을 가진 여러 유역에 대한 부가적인 연구 결과들이 축적되면 비교적 간단한 방법으로 강우 특성을 반영한 부하량을 산정하고 그 결과를 수질 모델과 연계하여 비교적 정확한 수질 예측이 가능할 것으로 생각된다.

#### 4. 결론

본 연구는 경안천 유역에 위치한 두 개의 비점오염저감시설을 대상으로 광주시 경안동 지역은 2010년 6월부터 2010년 11월까지 총 21개의 강우사상에 대하여, 용인시 모현면 지역은 2010년 8월부터 2010년 11월까지 총 16개의 강우사상에 대하여 모니터링을 수행하였다. 경안동 지역의 총 21회 강우사상동안 발생한 평균 강우량은 48.7 mm이며, 평균 유출율은 0.17이고, 모현면 지역의 총 16회 강우사상동안 발생한 평균 강우량은 32.3 mm이며, 평균 유출율은 0.32으로, 모현면이 경안동에 비해 평균 강우량은 16.4 mm 적었지만 유출율은 88% 더 발생하였다.

강우 유입수의 수질농도를 측정하여 유출 특성과 오염부하 그리고 EMC를 계산한 결과, 도시 및 불투수지역이 대부분을 이루고 있는 광주시 경안동이 산지와 밭으로 이루어진 용인시 모현면에 비해 높은 오염물질 농도를 보였으나, TP의 경우 유역 내 농경지에 사용된 퇴비나 비료에 포함된 인의 영향으로 모현면이 경안동보다 더 높게 나타났다.

강우량에 따른 부하량의 변화를 살펴보기 위하여 대상유역의 강우량과 오염물질 배출부하량과의 관계를 실측을 통해 밝혀내고, 산정된 부하량 함수를 제시하였다. 강우에 대한 배출부하의 결정계수는 광주시 경안동은 0.33~0.73, 용인시 모현면은 0.46~0.81을 나타냈다. 유역면적이 상대적으로 넓고 대부분이 불투수지역인 광주시 경안동 지역의 경우에는 TSS와 TP의 계수가 상대적으로 큰 반면, 유역면적이 상대적으로 좁고 산과 밭으로 이루어진 용인시 모현면 지역은 TSS를 제외한 모든 경우에 높은 값을 보였다.

비점오염원 유출수의 특성을 나타내는 EMC의 경우에는 도시 지역인 경안동이 산과 밭으로 이루어진 모현면에 비해 높거나 비슷한 값을 보였으나, 산정된 유출율 및 부하량 함수의 기울기는 이와 반대되는 경향을 보였다. 이러한 결과로부터 비점오염원은 토지이용 이외에도 지형, 토성, 수리·수문 현상 등에 따라 배출특성이 달라짐을 알 수 있다.

우리나라는 몬순 기후의 영향으로 강우량의 계절적 변동이 크므로 단일 원단위를 사용하여 강우에 따른 비점오염부하를 산정하는 것은 그 한계가 크다고 할 수 있다. 따라서 비점오염물질의 유출 특성을 정확히 파악하기 위해서는 장기모니터링을 통한 자료의 수집을 바탕으로 유출 특성과 오염부하 및 EMC를 계산하고, 강우량에 따른 부하량 변화를 고려한 비점부하량 산정함수를 구하는 것이 필요하다.

#### 사 사

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011-0026442).

KSEE

#### 참고문헌

1. Ichiki, A. and Yamada, A., "Study on characteristics of pollutant runoff into lake Biwa Japan," *Water Sci. Technol.*, **39**(12), 17~25(1999).
2. 환경부, 비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼 (2008).
3. 최지용, 신은성, 농업지역 비점오염원 관리방안 연구, 한국환경정책평가연구원(1998).
4. 박연희, 박석순, "강우강도에 따른 토지이용별 비점오염원 부하량 산정 함수 연구," *대한환경공학회지*, **26**(10), 1070~1078(2004).
5. 안미희, 비점오염원의 원단위 오염부하량에 대한 실험적 연구, 서울대학교 석사학위 청구논문(1995).
6. 신은성, 최지용, 이동훈, "토지이용도와 유역특성을 고려한 원단위 산정에 관한 연구," *한국물환경학회지*, **17**(2), 137~146(2001).
7. 이소영, 이은주, Maniquiz M. C., 김이형, "교통관련 포장지역 비점오염원에서의 오염물질 유출원단위 산정," *한국물환경학회지*, **24**(5), 543~549(2008).
8. 최용훈, 원철희, 서지연, 신민환, 양희정, 임경재, 최중대, "평지밭과 고랭지밭의 비점오염에 대한 분석과 비교," *한국물환경학회지*, **25**(5), 682~688(2009).
9. 정성민, 정창원, 김재구, 김법철, "한강상류 고령지 농업지역에서의 강우시 비점오염 유출 특성," *한국물환경학회지*, **25**(1), 102~111(2009).
10. APHA, AWWA, WEF, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19th(1995).
11. 환경부, 수질오염공정시험방법주해, 환경부고시(2001).
12. Irish, Jr. L. B., Barrett, M. E., Malina, Jr. J. F. and Charbeneau, R. J. "Use of regression models for analyzing highway storm-water loads," *J. Environ. Eng.*, **124**(10), 987~993(1998).