

다양한 회귀분석을 통한 강우유출용적에 따른 비점오염부하량 예측방안

신지웅 · 길경익^{*,†}

서울과학기술대학교 토목공학과

*서울과학기술대학교 건설공학부

Predictive Relationships of the Nonpoint Source Pollutant Loads with Stormwater Runoff Volumes based on the Various Regression Analyses

Jiwoong Shin · Kyungik Gil^{*,†}

Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology

*School of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology

(Received 2 July 2010, Revised 2 December 2010, Accepted 9 December 2010)

Abstract

This study analyzes the correlations between non-point sources and runoff to estimate non-point sources for effective management. From the monitoring results, the correlation factors among pollutant mass loading, EMC, total runoff volume and average flow are calculated. And using correlation factors, the most related two constituents are determined. Also the most appropriate regression between two constituents are determined. Pollutant mass loading and total runoff volume has the highest correlation. Also, compound regression is found to be the most appropriate regression. This shows that pollutant mass loading increases as total runoff volume increases. It is not continuous increase but has some pattern.

keywords : Correlation, Non-point sources, Regression, Runoff

1. 서론

점오염원과 비점오염원은 상대적 개념으로서, 점오염원은 배출지점이 명확하고 관거를 통해 한 지점으로 집중적 배출되는 특징이 있다. 또한 자연적 요인에 영향을 적게 받아 연중 배출량의 차이가 일정한 반면에 비점오염원은 배출지점이 불명확하고 희석과 확산되면서 넓은 지역으로 배출되는 특징이 있다. 또한 기후, 지형, 일시, 수문조건 등 자연적 요인에 따른 배출량의 변화가 심하여 예측이 곤란하고 발생원이 분산되어 있어 유역특성과 강우조건에 직접적인 영향을 받는다(김옥선 등, 2000; 이병수 등, 2008; 환경부, 2005). 그러므로 비점오염원은 모든 발생원에 대해 각각 오염부하량을 장기간에 걸쳐 연간 연속 측정에 의해 실측하는 것이 원칙이지만 현실적으로 불가능하므로 수행 가능한 모니터링의 실측데이터를 이용하여 하나의 개체의 단위로 1일 또는 1년에 발생하는 오염부하량을 오염부하 발생원단위 또는 원단위라 하고 이를 이용하여 추정하는 것이 일반적이다(경기도보건환경연구원, 2001; 김철과 김석규, 2001; 환경부, 1995). 하지만 비점오염 원단위의 실측데이터는 모든 토지이용을 반영하지 못하기 때문에 오염부하량 원단위 이외에 더욱 정확한 방법을 제시할 필요가 있다(김철민 등, 2008). 기존 연구에 의하면 강우 유출의 증가

는 하천으로 흘러들어가는 비점오염원을 증가시킨다는 보고되고 있다(김중은 등, 2003; 신동수 등, 2008; Brezonik and Stadelmann, 2002; Lee et al., 2004). 이를 바탕으로 많은 연구자들은 대부분 유량과 오염부하량 간의 다양한 회귀분석으로 비점오염물질을 파악하고 예측하는데 노력해 왔다(김옥선 등, 2000; 김운중, 2004; 박혜경 등, 2004, 2005; 신동수 등, 2008; 이관영, 1995; 이춘식과 박헌건, 2000; 정상만 등, 1998). 하지만 현재 강우 유출의 요소인 유량과 비점오염원의 요소인 오염부하량 간의 상관성 연구를 제외하면 강우 유출과 비점오염원의 상관성 연구는 미비한 실정이다.

이에 본 연구에서는 유량 및 시간별 수질항목의 농도 등을 이용하여 오염부하량, EMC 유출용적, 평균유량을 산정하여 이들 간의 상관성을 분석을 실시하였다. 이러한 네 가지 요소들 간의 결정계수가 가장 높은 두 요소를 찾기 위해 선형직선회귀, 거듭제곱회귀, 지수회귀, 로그회귀를 실시하여 가장 상관성 높은 회귀를 선정하였다. 이 후 한 가지 지표만 파악할 수 있다면 가장 상관성이 높은 회귀를 이용하여 나머지 요소의 값을 예측할 수 있어 비점오염원 원단위 이외에 비점오염물질을 예측, 파악할 수 있는 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 연구방법

2.1. 모니터링 계획

[†] To whom correspondence should be addressed.

kgil@seoultech.ac.kr

경기도 구리시에 위치한 주거지역의 비점오염원 유출특성을 파악하기 위해 총 7회의 모니터링을 실시하였다. 조사기간은 2008년 8월부터 현재까지 수행 중에 있으며 조사지역의 유역면적은 223,200 m²이다. 본 유역의 토지이용은 교통시설 66%, 상업시설 6%, 주거지역 8%, 공공시설 3%, 자연초지 14%, 기타나지 3%의 구성으로 도시유역의 특징을 가지고 있으며 분류식 우수관거가 설치되어 있어 비점오염원의 특징을 파악할 수 있는 배수유역이다. Fig. 1은 모니터링을 실시한 우수관거의 맨홀 지점을 나타낸 것이다. 수질 분석을 위한 시료채취는 강우량에 따라 농도곡선이 달라지므로 현장에서 탁도를 측정하여 채수여부를 결정지어 최소 5분에서 최대 720분의 측정 간격을 두고 채수하였다(이병수와 김경의, 2008). 채수된 시료는 즉시 실험실로 옮겨져 실험을 하였으며 수질분석은 TSS, Turbidity, BOD₅, COD_{Mn}, DOC, TN, TP 및 Oil & Grease 항목에 대해 실시하였다. TSS, BOD₅, COD_{Mn}, TN, TP 및 Oil & Grease 항목은 수질오염공정시험법(환경부, 2008)에 준하여 실시하였으며, Turbidity와 DOC 항목은 Standard Methods 20th (APHA, 1998)에 의해 수질분석을 실시하였다.

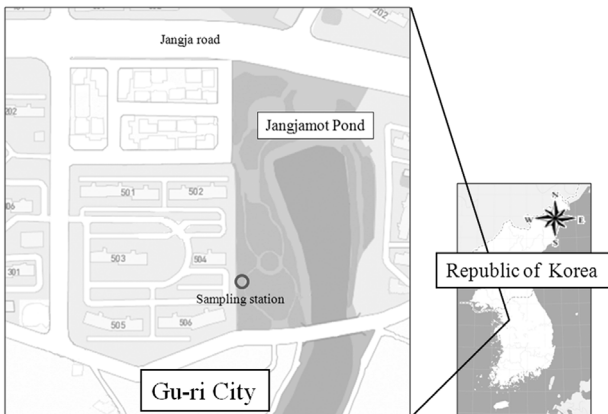


Fig. 1. Monitoring location.

2.2. 강우 유출수의 오염부하량 산정

본 연구에서는 주거지역에서의 배출특성을 알기 위해 강우유출수에 대한 오염부하량을 산정하였다. 식 (1)은 부하량 산정식을 보여주고 있으며, 여기서 $C(t)$ 는 시간 t 에서 유역으로부터 유출되는 오염물질의 농도를 말하고 $Q(t)$ 는 시간 t 에서 단위시간당 유역으로부터 유출되는 유량을 나타내고 있다.

$$Pollutant\ mass\ loading\ (kg/event) = \int_0^t C(t) \cdot Q(t) dt \tag{1}$$

2.3. 강우 유출수의 EMC 산정

본 연구에서는 유량가중평균농도(Event Mean Concentration, EMC)를 산정하여 비점오염물질의 유출특성을 파악하였다. 식 (2)는 강우사상에 대한 EMC 산정식을 나타낸 것이다. 여기서 $q_{run}(t)$ 는 t 시간에서의 유출율, $C(t)$ 는 오염물질의 농도를 나타내고 있다(김이형과 이선하, 2005; 위승경

등, 2008; Sansalone and Cristina, 2004).

$$EMC\ (mg/L) = \frac{\sum_{t=0}^{t=T} C(t) \cdot q_{run}(t)}{\sum_{t=0}^{t=T} q_{run}(t)} \tag{2}$$

2.4. 오염물질과 강우 유출의 관계분석 방법

회귀분석은 독립변수와 종속변수들간의 관련성을 수학적 모형을 이용하여 측정된 변수들의 자료로부터 추정하고 분석하는 통계학적 방법으로 오차를 최소화하면서 자료를 대표할 수 있는 수학적 공식을 유도하는데 그 목적이 있다(김운중, 2004). 본 연구에서는 단순회귀분석과 다중회귀분석 중 독립변수의 수가 한 개인 단순회귀분석을 이용하였다. 여기서 독립변수란 함수를 이루고 있는 변수를 말하는데 이때, 독립변수에 의하여 영향을 받는 변수를 종속변수라 한다.

본 연구에서 분석한 회귀식은 총 4가지로 선형직선회귀, 거듭제곱회귀, 지수회귀, 로그회귀이며 각각 식 (3), (4), (5), (6)으로 표현하였다. 독립변수로는 강우 유출의 요소를 사용하였고 종속변수는 오염물질의 요소를 사용하였다. 선형직선회귀의 경우, 단순한 선형 자료에 가장 잘 맞는 회귀로 일반적으로 일정하게 증가하거나 감소하는 자료를 나타내고 거듭제곱회귀는 특정 비율로 증가하는 자료에 가장 잘 맞는 회귀이다. 지수회귀는 자료의 값이 점차적으로 높아지는 비율로 증가하거나 감소하는 자료에 적합한 회귀이며 로그회귀는 자료의 값이 급속하게 증가하거나 감소한 이후 일정값을 유지할 때 유용한 회귀이다. 본 연구에서는 총 4가지 회귀식을 이용하여 오염부하량, EMC, 유출용적, 평균유량 간의 회귀분석을 실시하였다.

$$L = aQ + b \tag{3}$$

$$L = aQ^b \tag{4}$$

$$L = ae^{bQ} \tag{5}$$

$$L = a \ln(Q) + b \tag{6}$$

여기서, L = 오염물질의 요소 즉, 오염부하량(kg) 또는 EMC(mg/L)
 Q = 강우 유출의 요소 즉, 유출용적(m³) 또는 평균유량(m³/s)
 a, b = 회귀계수

3. 결과 및 고찰

3.1. 강우사상의 개요 및 오염물질의 유출 부하량, EMC 산정

본 연구기간 중 7회의 강우에 대해 모니터링을 실시하였으며 각각의 강우사상은 Table 1에 정리되어 있다. 선행건기

일수는 구리시 교문동에 위치한 무인관측소의 기상청 자료를 이용하였고 최소 3일 이상의 강우이벤트에 대해서만 모니터링을 실시하였다. 강우량 및 강우지속시간은 모니터링 지점에서 직접 측정을 하였으며 모니터링은 다양한 유출용적을 갖는 강우이벤트에 대해 실시하도록 하였고 강우량이 최소 5 mm 이상 되는 강우이벤트에 대해 실시하여 유출이 일어나지 않는 경우를 제외시켰다. 유출량은 Manning의 공식을 이용하여 산정하였는데 이때 측정지점의 관경사는 실제 흐름 경사를 대표하며 흐름은 측정 시에 정상류 조건이고 관조도는 휴관에 퇴적을 고려하여 0.013으로 가정하였다. 본 연구에서 산정한 유출용적은 유출지속시간동안 유출된 양의 총합으로 유출유량의 부피라고도 한다.

모니터링을 실시한 기간 동안의 선행건기일수는 3~27일의 범위였고 총 강우량은 6~127.5 mm의 범위를 보였다. 평균강우강도는 0.80~4.55 mm/hr의 범위를 보였다.

또한 상관분석을 위해 모니터링 결과를 이용하여 오염항목별 오염부하량과 EMC를 산정하였다. Table 2와 Table 3은 각각 항목별 오염부하량과 EMC를 도표화한 것이며, Fig. 2는 산정한 오염부하량과 EMC를 이용하여 통계처리

를 통해 최소값, 최대값, 중간값 및 표준편차 등을 도식화한 것이다.

강우사상을 살펴보면, 비록 모니터링을 실시한 유역면적이 크기는 하지만 강우가 적고 강우지속시간이 짧은 경우에도 유출이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 또한 그 유출용적도 강우량에 따라 증가한다. 이는 모니터링을 실시한 배수유역이 적은 강우에도 유출이 일어나는 도시유역의 특징을 가지고 있음을 나타낸다. 강우사상과 오염부하량을 같이 살펴보면, E-2과 E-3, E-4와 E-5에서 확인할 수 있듯이 강우량이 비슷한 경우 선행건기일수가 길수록 오염부하량이 크게 나타나는 경향을 확인할 수 있다. 이는 강우 전에 유역에 쌓여있던 오염물질들이 강우와 같이 쓸려나오는 현상으로 선행건기일수가 길수록 오염물질들이 배수유역에 많이 축적되었을 것이라고 판단할 수 있다. 이처럼 유사한 강우량을 갖는 강우이벤트의 경우에도 오염부하량 및 EMC는 상당한 차이를 보이는 것을 확인할 수 있다. 이는 비점오염원의 유출 특성인 강우사상, 유역특성 등의 다양한 인자들이 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있다. 또한 E-1, E-5 및 E-6과 같이 선행건기일수가 비슷할 경우, 유출용적

Table 1. Event table for monitored event

Event No.	Event date (yy/mm/dd)	The number of sample	ADD* (days)	Total rainfall (mm)	Rainfall duration (hr)	Avg. rainfall intensity (mm/hr)	Total runoff volume (m ³)
E-1	2008/08/22	7	3	77.5	22.5	3.44	29633.42
E-2	2008/10/23	6	27	6.0	7.5	0.80	3518.79
E-3	2008/11/15	6	6	6.0	3.5	1.71	687.42
E-4	2009/05/11	11	8	21.0	17.5	1.20	9542.83
E-5	2009/05/16	11	3	20.5	23.0	0.89	7392.31
E-6	2009/08/11	11	3	127.5	28.0	4.55	37132.08
E-7	2009/10/31	7	7	17.5	6.0	2.92	4665.81

*ADD : Antecedent Dry Days

Table 2. Pollutant mass loading of monitored event

Event No.	Event date (year/month/date)	TSS (kg)	BOD ₅ (kg)	COD _{Mn} (kg)	DOC (kg)	TN (kg)	TP (kg)	Oil & Grease (kg)
E-1	2008/08/22	428.60	96.18	249.68	88.39	48.69	9.12	1.85
E-2	2008/10/23	231.52	17.95	42.39	20.74	12.61	0.70	0.06
E-3	2008/11/15	16.12	20.22	27.11	12.88	1.20	0.11	0.08
E-4	2009/05/11	744.16	100.97	158.54	38.52	43.69	21.64	0.71
E-5	2009/05/16	278.76	84.70	95.80	65.30	48.43	11.99	0.39
E-6	2009/08/11	911.99	49.29	330.18	375.20	179.47	61.94	0.83
E-7	2009/10/31	259.72	30.85	60.47	48.58	14.28	8.02	0.12

Table 3. EMCs of monitored event

Event No.	Event date (year/month/date)	TSS (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	COD _{Mn} (mg/L)	DOC (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	Oil & Grease (mg/L)
E-1	2008/08/22	14.46	3.25	8.43	2.98	1.64	0.31	0.063
E-2	2008/10/23	65.80	5.10	12.05	5.89	3.58	0.20	0.017
E-3	2008/11/15	23.46	29.42	39.44	18.74	1.74	0.16	0.113
E-4	2009/05/11	77.98	10.58	16.61	4.04	4.58	2.27	0.074
E-5	2009/05/16	37.71	11.46	12.96	8.83	6.55	1.62	0.053
E-6	2009/08/11	24.56	1.33	8.89	10.10	4.83	1.67	0.022
E-7	2009/10/31	55.67	6.61	12.96	10.41	3.06	1.72	0.026

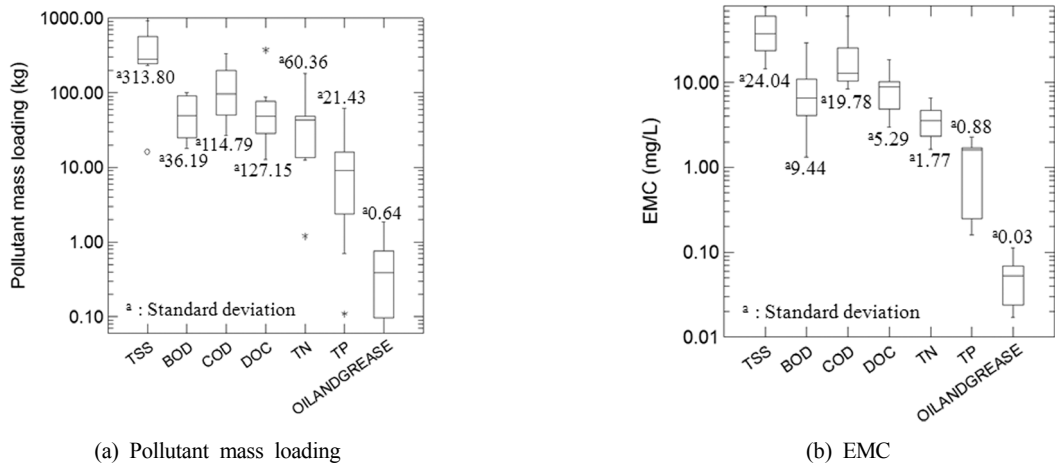


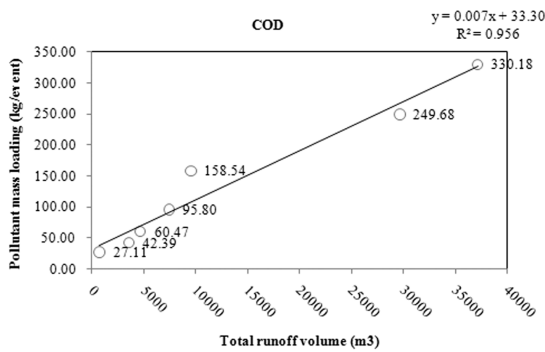
Fig. 2. Statistical analysis for pollutant mass loading and EMC.

이 크면 오염부하량이 크다는 것을 알 수 있다. 이는 유출량증가가 비점오염물질을 증가시킨다는 것을 확인시켜주는 결과이며 오염물질과 강우 유출의 상관관계를 분석할 수 있는 기초적인 자료이다.

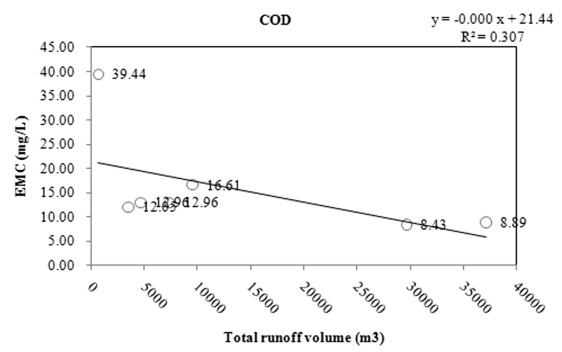
3.2. 오염부하량과 유출용적의 회귀식 산정

2008년 8월부터 2009년 10월까지 총 7회의 모니터링 결과를 이용하여 강우 유출과 오염물질의 상관관계를 분석하였다. 오염물질의 요소로는 오염부하량(kg)과 EMC(mg/L), 강우 유출의 요소로는 유출용적(m³)과 평균유량(m³/s)를 이용하였으며, 오염부하량과 유출용적, EMC와 유출용적, 오

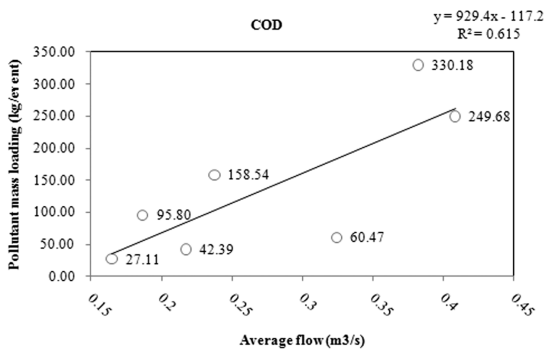
염부하량과 평균유량 그리고 EMC와 평균유량의 총 4가지로 오염항목별 상관관계를 분석하였다. 요소의 선정기준은 강우이벤트별 비점오염물질농도의 척도인 EMC(mg/L)와 이때 배출되는 오염물질의 총량인 오염부하량(kg)을 선정하였고 기존 연구진들이 부하량과의 상관관계분석에서 많이 사용하고 있는 평균유량(m³/s)과 시간에 따라 변하는 유출량 이외에 강우사상별 유출량의 총합인 유출용적(m³)을 선정하였다. 회귀식은 선형직선회귀, 거듭제곱회귀, 지수회귀, 로그회귀로 분석을 실시하였다. Fig. 3은 오염물질과 강우 유출의 요소에 따라 선형직선회귀식을 나타낸 것이고 Fig. 5는 오염부하량과 유출용적의 선형직선회귀, 거듭제곱회귀,



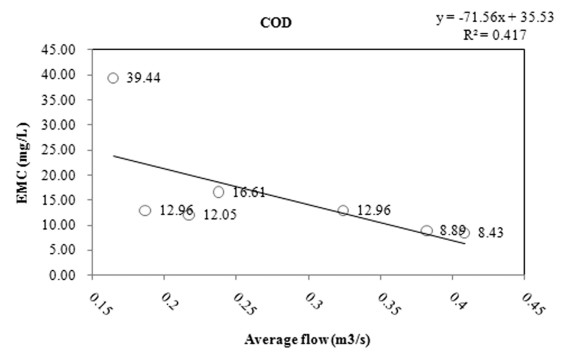
(a) Pollutant mass loading and total runoff volume



(b) EMC and total runoff volume



(c) Pollutant mass loading and average flow



(d) EMC and average flow

Fig. 3. Correlation between pollutant and runoff.

지수회귀, 로그회귀를 나타낸 것이다. Table 4 및 Fig. 6은 회귀별 결정계수를 도식화한 것이며 Fig. 6에서 음영으로 표시된 부분은 각 회귀별 결정계수를 산술평균한 값을 나타낸 것이다. 오염물질의 요소와 강우 유출수의 요소 중 오염부하량과 유출용적의 결정계수가 4가지 회귀식에서 대부분 높게 나타났다. Fig. 3과 같이 일반적으로 회귀분석에 가장 많이 사용되고 있는 선형직선회귀로 비교하면, 7개의 오염항목 중 6개의 오염항목에서 오염부하량과 유출용적의 결정계수가 다른 요소들간의 결정계수보다 상대적으로 높게 나타났다. TSS와 T-P항목의 경우, 각각 0.546과 0.590으로 결정계수가 보통이지만 다른 요소들간의 결정계수와 비교한다면 높다는 것을 확인할 수 있다. 이는 두 요소 사이의 어떠한 상관성은 있지만 선형회귀의 관계가 부적합하여 낮게 나타났다고 판단된다. 이러한 상관성의 지표인 결정계수가 높다는 것은 두 항목간의 상관관계가 높다는 것을 의미하며 이는 강우이벤트의 유출용적이 많을수록 오염부하량이 증가한다는 것을 말한다. 오염부하량과 평균유량의 결정계수도 높게 나타났는데 이는 기존 연구에서 오염부하량과 평균유량의 상관성이 높다는 연구와 유사한 결과이다(김운중, 2004; 이춘식과 박현진, 2000). 하지만 오염부하량이 평균유량보다는 유출용적과 더 높은 결정계수를 나타내므로 비점오염물질과 강우유출의 상관관계는 오염부하량과 유출용적이 적절하다고 판단된다. 이는 강우로 인한 유출용적에 따라 오염부하량이 증가한다는 것을 의미한다. 유량가중평균농도를 뜻하는 EMC의 경우에는 유출량이 많을수록 낮게 산정되는 경향을 보이지만 강우유출수의 희석

효과에 따라 달라지므로 유출량에 따라 EMC를 설명하기에는 어려움이 있다고 판단된다.

Fig. 4는 결정계수의 비율을 나타낸 것으로 R^2_c 는 거둬제곱회귀의 결정계수를 나타내고 R^2_r 은 각각 선형직선회귀, 지수회귀 및 로그회귀의 결정계수로 R^2_r / R^2_c 로 산정하여 거둬제곱회귀에 대한 회귀별 상대적인 비율을 나타내었다. Fig. 4와 같이 거둬제곱회귀가 다른 회귀식의 결정계수보다 높게 나타나는 경향을 확인할 수 있다. 그러므로 오염물질과 강우 유출수의 요소 중에는 오염부하량과 유출용적의 상관관계가 높고 그 회귀식은 거둬제곱회귀가 가장 적절하다고 판단된다. 지수회귀의 경우 큰 유출용적을 가지는 강우이벤트에서 오염부하량이 과다산정이 될 수 있고 로그회귀의 경우에는 유출용적이 0이거나 낮은 값을 가지는 강우이벤트에서 음의 오염부하량을 가지므로 비점오염원을 예측하는 회귀식으로는 부적합하다고 생각된다. 거둬제곱회귀

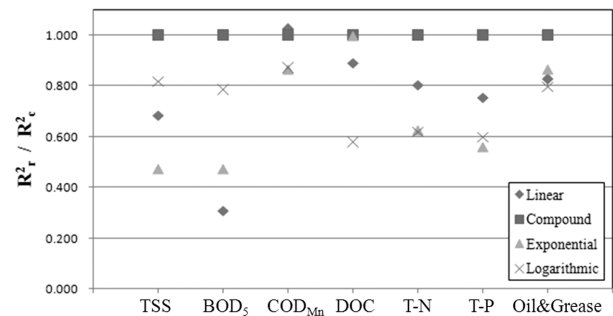


Fig. 4. Ratio of coefficient of determination.

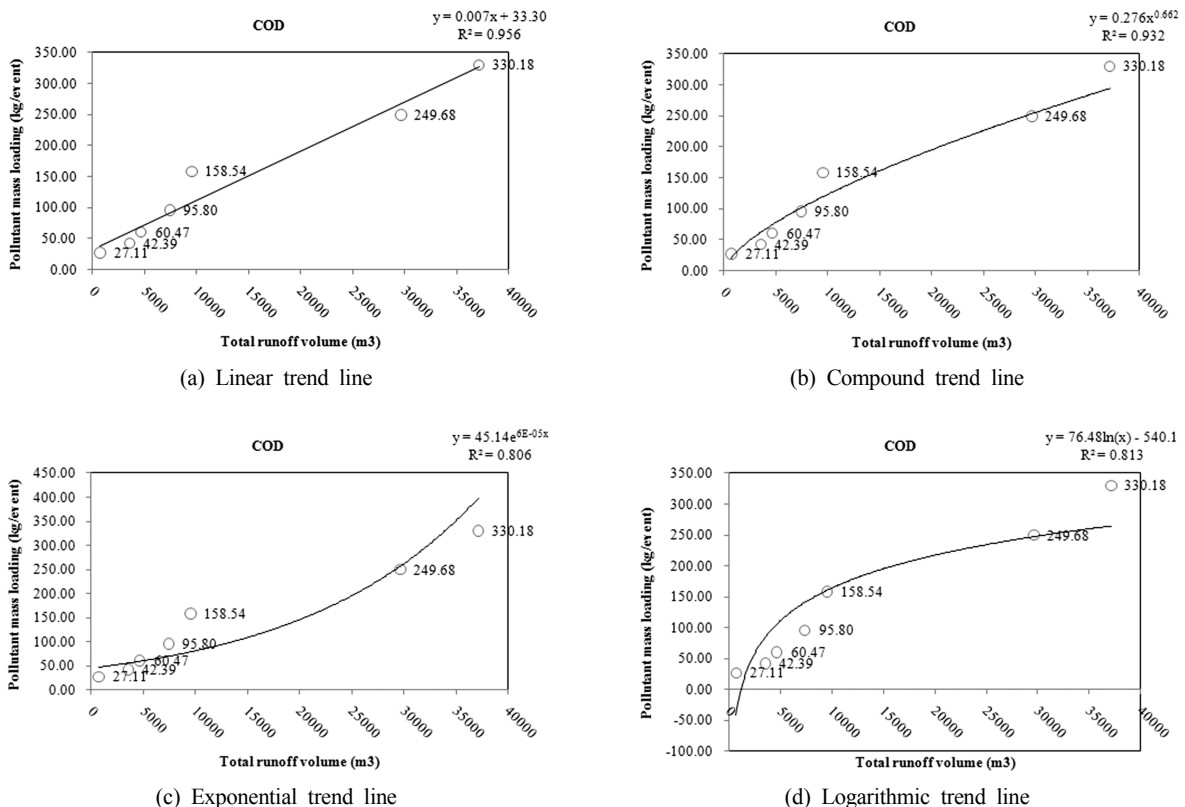


Fig. 5. Correlation between pollutant mass loading and total runoff volume.

Table 4. Coefficient of determination of pollutant as regression analysis

Trend line	Variable	TSS	BOD ₅	COD _{Mn}	DOC	T-N	T-P	Oil & Grease
Linear	*	0.546	0.150	0.956	0.706	0.725	0.590	0.609
	**	0.283	0.378	0.307	0.121	0.000	0.013	0.079
	***	0.310	0.064	0.615	0.369	0.319	0.263	0.527
	****	0.136	0.532	0.417	0.181	0.057	0.010	0.186
Compound	*	0.798	0.486	0.932	0.793	0.901	0.782	0.737
	**	0.067	0.716	0.783	0.373	0.083	0.240	0.098
	***	0.436	0.119	0.562	0.559	0.414	0.425	0.387
	****	0.120	0.722	0.604	0.203	0.021	0.076	0.153
Exponential	*	0.377	0.230	0.806	0.791	0.565	0.437	0.638
	**	0.352	0.707	0.471	0.121	0.000	0.046	0.038
	***	0.365	0.119	0.563	0.567	0.379	0.378	0.413
	****	0.200	0.700	0.563	0.177	0.043	0.047	0.112
Logarithmic	*	0.652	0.382	0.813	0.459	0.556	0.467	0.586
	**	0.035	0.702	0.705	0.468	0.087	0.148	0.230
	***	0.345	0.064	0.584	0.349	0.307	0.267	0.474
	****	0.072	0.603	0.479	0.226	0.038	0.028	0.242

*Pollutant mass loading and total runoff volume
 **EMC and total runoff volume
 ***Pollutant mass loading and average flow
 ****EMC and average flow

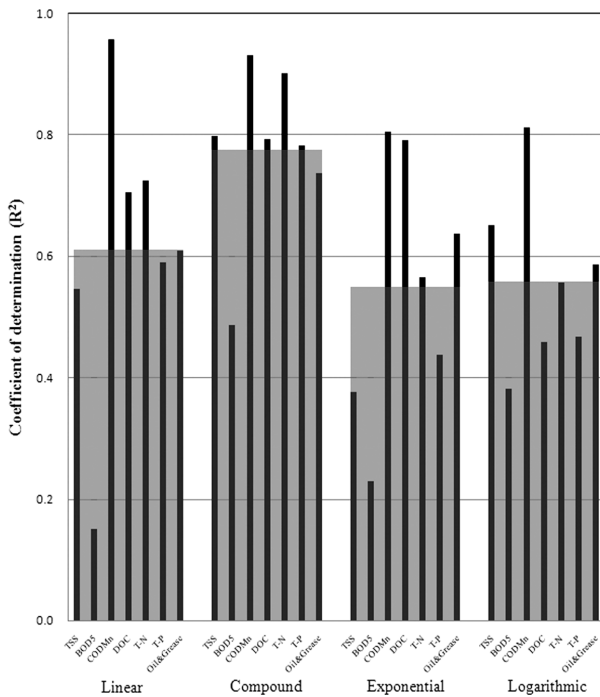


Fig. 6. Coefficient of determination as various trend lines.

가 가장 적절하다는 것은 강우이벤트의 유출용적이 많을수록 오염부하량이 증가하며 이러한 증가는 강우이벤트의 유출용적이 증가할수록 오염부하량이 선형회귀나 지수회귀와 같이 지속적으로 무한히 증가하는 것이 아니라 거듭제곱회귀와 같이 적은 유출용적을 갖은 강우이벤트에서는 유출용적에 비해 많은 오염부하량을 나타내고 많은 유출용적을 갖은 강우이벤트에서는 유출용적에 비해 상대적으로 적은 오염부하량을 나타내는 것을 의미한다.

4. 결론

본 연구는 도시유역의 특징을 가지고 있는 구리시 지역에서 강우 시 비점오염물질의 유출 경향을 분석한 결과 아래와 같은 결론을 도출하였다.

본 연구의 모니터링 자료는 그 횟수가 적어 통계분석에는 신뢰성과 유의성의 한계가 있지만 1년간 7회의 강우자료만으로도 비점오염원의 배출양상이 일정하지 않고 강우사상과 그 밖의 여러 요인으로 오염물질의 정도 차이가 크다는 것을 알 수 있다. 하지만 본 연구에서 실시한 7회의 모니터링 자료는 장마철 강우가 집중되어 있는 우리나라의 계절적 특성을 고려할 때 각각 선행건기일수가 3일 이상되며 다양한 유출용적을 갖은 강우이벤트로 구성되어 있다. 이러한 7회의 모니터링 결과를 이용하여 오염부하량과 유출용적, EMC와 유출용적, 오염부하량과 평균유량 그리고 EMC와 평균유량의 총 4가지로 다양한 회귀분석을 실시하였다. 그 중 오염부하량과 유출용적이 대부분 회귀분석에서 결정계수가 높게 나타났으며 회귀식 중에는 거듭제곱회귀에서 그 값이 가장 높게 나타났다. 이는 강우이벤트의 유출용적이 많을수록 오염부하량이 증가한다는 것을 말하며 이러한 증가는 강우이벤트의 유출용적이 증가할수록 오염부하량이 선형회귀나 지수회귀와 같이 지속적으로 무한히 증가하는 것이 아니라 거듭제곱회귀와 같이 적은 유출용적을 갖은 강우이벤트에서는 유출용적에 비해 많은 오염부하량을 나타내고 많은 유출용적을 갖은 강우이벤트에서는 유출용적에 비해 상대적으로 적은 오염부하량을 나타내는 것을 의미한다. 그러므로 적절한 횟수의 모니터링을 통해 유출용적과 오염부하량의 적합한 회귀식을 산정한다면 추후 모니터링을 실시하지 않고도 유출용적만 측정하여 유출용적에 따른 비점오염부하량을 예측할 수 있을 것이라 생각

된다. 또한 비점오염물질은 강우에 의한 유출량뿐만 아니라 계절을 포함하여 여러 요인에 따라 유출특성이 달라져 복합적인 연구가 필요하다. 하지만 본 연구에서는 비점오염물질에 직접적으로 영향을 미치는 유출용적만으로 오염부하량을 예측하여 보다 쉽게 접근할 수 있다는 방법을 제시하였다. 추후에 더 다양한 모니터링 자료가 확보된다면 유출량 뿐 아니라 계절의 영향을 고려한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

경기도보건환경연구원(2001). 비점오염원 관리방안.
 김옥선, 김홍철, 김종오(2000). 남강댐 상류유역의 유출량과 오염부하량의 관계. 환경보전 연구소보, 8, pp. 45-53.
 김운중(2004). 탐진강 유역의 유출량과 오염부하량의 상관관계 분석. 조선대 건설기술연구, 24(2), pp. 61-82.
 김이형, 이선하(2005). 주차장 및 교량 강우유출수의 중금속 오염물질 특성과 동적 EMCs. 수질보전 한국물환경학회지, 21(4), pp. 385-392.
 김중은, 안건혁, 이창무(2003). 하천유역 토지이용과 비점오염물질 발생강도간의 상관관계분석. 대한국토·도시계획학회지, 38(2), pp. 203-216.
 김철, 김석규(2001). GIS를 이용한 황룡강 유역의 유출량 및 오염부하량 산정. 한국GIS학회지, 5, pp. 33-46.
 김철민, 이소영, 이은주, 김이형(2008). 교통 관련 토지이용에서의 중금속 오염원단위 산정. 한국방재학회논문집, 8(6), pp. 155-160.
 박혜경, 신유나, 변명섭, 김범철, 이우세(2005). 팔당호의 유기물 수지산정 및 내생산유기물 기여도 평가. 공동춘계 학술발표회 논문집, 한국물환경학회·대한상하수도학회, pp. 119-122.
 박혜경, 이유희, 정동일(2004). 강우기 및 평수기의 팔당호 유기물 수지산정. 한국유수학회지, 37(3), pp. 272-281.
 신동수, 신현석, 박태주, 강두기, 유재정, 윤영삼(2008). 낙동강 유역내 공업지역에서의 유출량과 비점오염부하량 조

사 및 상관관계 분석에 관한 연구. 공동춘계 학술발표회 논문집, 한국물환경학회·대한상하수도학회, pp. 289-290.
 위승경, 김이형, 정용준, 길경익(2008). 교량 강우유출수내 비점오염물질의 유출특성 및 상관성. 수질보전 한국물환경학회지, 24(3), pp. 378-382.
 이관영(1995). 소도시 배수구의 오타부하량 추정에 관한 연구. 상하수도학회지, 9(1), pp. 89-95.
 이병수, 길경익(2008). 식생피도가 식생여과대의 질소 및 인 처리효율에 미치는 영향. 수질보전 한국물환경학회지, 24(4), pp. 499-503.
 이병수, 정용준, 박무종, 길경익(2008). 경안천 유역 농촌지역의 비점오염원 배출 특성에 관한 연구. 수질보전 한국물환경학회지, 24(2), pp. 169-173.
 이춘식, 박현건(2000). 상류하천의 유출량 변화가 호소수 수질에 미치는 영향. 한국수처리학회지, 8(1), pp. 35-41.
 정상만, 임경호, 최정현, 김재한(1998). 대청댐 상류 주요지점에서의 유출량과 오염부하량의 상관관계 분석. 학술발표회 논문집, 대한토목학회, pp. 27-30.
 환경부(1995). 비점오염 조사연구사업 보고서.
 환경부(2005). 비점오염원관리 업무편람.
 환경부(2008). 수질오염공정시험법.
 APHA, AWWA and WEF (1998). Standard Method for Examination of Water and Wastewater, 20th edition, Washington D.C., U.S.A.
 Brezonik, P. L. and Stadelmann, T. H. (2002). Analysis and predictive models of stormwater runoff volumes, loads, and pollutant concentrations from watersheds in the Twin Cities metropolitan area, Minnesota, USA. Water Reserch, 36, pp. 1743-1757.
 Lee, H., Lau, S. L., Kayhanian, M., and Stenstrom, M. K. (2004). Seasonal first flush phenomenon of urban stormwater discharges. Water Reserch, 38, pp. 4153-4163.
 Sansalone, J. J. and Cristina, C. M. (2004). First flush concepts for suspended and dissolved solids in small impervious watersheds. J. of Environ. Eng. ASCE, 130(11), pp. 1301-1314.