

도시지역 비점오염물질의 유출특성에 관한 연구 - 달서천 및 대명천을 중심으로 -

장 성 호 · 박 진 식*
밀양대학교 환경공학과, 경운대학교 보건환경학과
(2005년 4월 18일 접수; 2005년 12월 22일 채택)

A Study on the Runoff Characteristics of Non-point Source in Urban Watershed - Case Study on the Dalseo and Daemyung Watershed -

Seong-Ho Jang and Jin-Sick Park*

Department of Environmental Engineering, Miryang National University, Miryang 627-702, Korea

*Department of Health & Environmental, Kyungwoon University, Gumi 730-739, Korea

(Manuscript received 18 April, 2005; accepted 22 December, 2005)

This study was conducted to identify the runoff characteristics of non-point source according to rainfall in Dalseo and Daemyung watershed. Land-uses of the Dalseo and Daemyung watershed were surveyed to urban 72.1% and mountainous 6.7%, and urban 49.3% and mountainous 20.5%, respectively. Mean runoff coefficients in each area were estimated to Dalseo watershed 0.49 and Daemyung watershed 0.16. In the relationship between the rainfall and peak-flow correlation coefficients(r) were determined to Dalseo watershed 0.9060 and Daemyung watershed 0.5620. In the relationship between the antecedent dry period and first flow runoff correlation coefficients(r) were determined to Dalseo watershed 0.7217 and Daemyung watershed 0.2464. In the relationship between the rainfall and watershed loading, exponent values of SS in Dalseo and Daemyung watershed were estimated to 0.54 and 0.496, respectively.

Key Words : Non-point source, Rainfall, Peak-flow, Antecedent dry, Period, Runoff

1. 서 론

공공수역으로 유입되는 오염물질의 발생원은 크게 가정하수 및 공장폐수로 구성되는 점오염원과 농지에 살포된 비료 및 농약, 대기오염물질의 강하물, 지표상 퇴적오염물질, 합류식 하수관거, 월류수 내 오염물질 등의 주로 강우시 강우유출수와 함께 유출되는 비점오염원으로 구분 할 수 있으며, 점오염원의 경우 일정한 지점에서 일정한 양이 지속적으로 발생되어 강우에 따른 영향이 크지 않은 반면 비점오염물질은 일반적으로 강우시 유출되기 때문에 발생량 및 배출특성의 파악이 어려울 뿐만 아니라 발생량이 매우 불규칙하며 많은 종류의 오염물

질을 함유하고 있다. 또한 시간에 따른 부하량의 변동폭이 크며, 강우초기에 오염물질이 배출되는 first flush현상이 나타난다¹⁻³⁾.

도시지역은 많은 인구와 산업시설의 집중으로 인하여 오염물질의 발생량이 크고, 지붕, 도로 같은 불투수성 표면이 많아서 강우유출수가 대부분 표면으로 유출되어 비점오염물질의 유출율이 임야, 농지 등의 타 토지이용보다 크며, 일반적으로 도시지역 비점오염물질로는 주로 거리의 오물, 대기로부터의 낙진, 교통수단의 배기가스와 타이어가루 및 제동장치에서 마모되어 나오는 금속성분 등이며, 도시지역에서의 비점오염원의 유출량은 개발전의 산지에 비해 BOD와 SS가 각각 92배, 24배 이상 유출되는 것으로 조사되었다. 도시지역 강우에 의한 유출수의 일반특성은 BOD와 영양물질 농도는 가정하수보다 낮으나, 박테리아 농도는 비교적 높으며, 대부분의

Corresponding Author : Seong-Ho Jang, Department of Environmental Engineering, Miryang National University, Miryang 627-702, Korea
Phone: +82-55-350-5435
E-mail: jangsh@mnu.ac.kr

금속성 물질과 일부 유기 독성물질의 농도는 높아 공공수역의 수질에 미치는 영향이 크므로 강우시 도시지역에서의 비점오염물질의 유출특성을 조사·연구하는 것은 매우 중요하다⁴⁾.

따라서 본 연구에서는 주변에 공단이 위치해 있으며, 도시를 관류하는 대구시 도시하천인 달서천과 대명천을 대상으로 토지이용현황, 강우사상에 따른 유량 및 BOD, COD, SS, T-N 및 T-P 등의 오염물질에 대한 유출특성을 조사하여 비점오염원의 적절한 관리방안 마련을 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 조사방법

2.1. 시료채취 및 분석

일반적으로 비점오염원 유출은 토지이용, 강우강도 및 지형·지질적인 특성에 따라 영향을 받기 때문에 강우시 비점오염물질의 유출특성이 충분히 나타날 수 있도록 상류, 중류, 하류지역으로 구분하여 현장조사 시 Fig.1과 같이 유출 수문특성이 나타날 수 있도록 5단계(A, B, C, D, E) 시료분석을 시행하였다. 한편, 비강우시는 일정한 시간간격(3~6시간)으로 2회 시료를 채취·분석하여 평균값으로 산정하였다.

또한 계절적인 특성을 고려하여 현장조사 2002년 10월 ~ 2003년 7월까지 이루어졌다. 강우시 현장조사는 30mm 이상일 때 수행하는 것이 비점오염원의 특성이 나타나기 때문에 강우량이 적정량 이상일 때 현장조사를 실시하여야 하지만 우리나라 강우특성상 10월에서 3월간에는 한 강우사상에서 30mm 이상인 경우가 거의 없으며, 강우횟수도 적어 강우사상이 있는 경우 우선 현장조사를 실시하였으나, 3월 이후부터 현장조사 때는 비점오염원의 유입이 예상되는 30mm 이상의 강우가 예측될 때 현장조사를

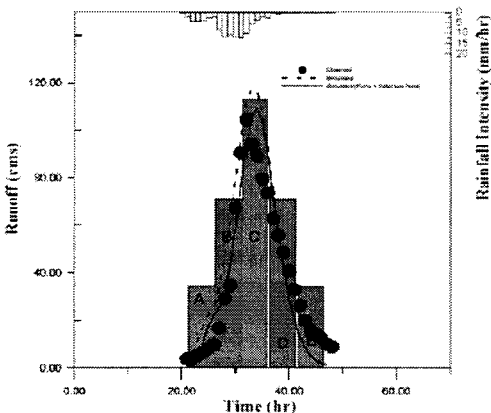


Fig. 1. Hydrology curve of rainfall-Runoff.

시행토록 하였으며, 조사지점을 Fig.2에 나타내었다.

현장조사시 유량은 현장에서 유속을 측정하여 계산하였으며, BOD, COD, SS, T-N, NO₃-N, NH₃-N, T-P, TOC 등의 수질분석은 시료를 실험실로 운반한 다음 즉시 분석하거나 냉장보관 하면서 분석하였다. 그리고 즉시 분석을 실시하지 않은 경우는 수질오염공정시험법에 준하여 시료 전처리를 실시하여 시료의 변질을 방지하는 조치를 취한 다음 분석하였으며, 분석은 수질오염공정시험법⁵⁾과 Standard Method⁶⁾에 준하여 분석하였다.

2.2. 유출계수

유출계수는 유역에 일정기간동안 내리는 강우량으로 인해 발생하여 그 유역의 출구를 통과하는 유출량의 총강우량에 대한 비율을 뜻하며, 유역의 특성(토지이용, 지형 및 지질 등)이 주요한 영향 인

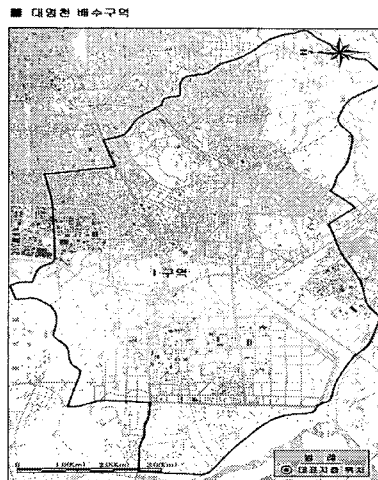
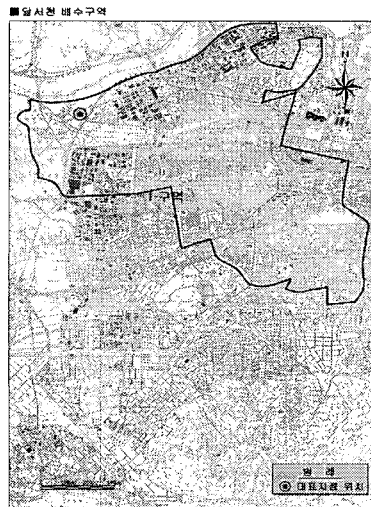


Fig. 2. Location of sampling points.

자가 되며 다음과 같은 관계식으로 산출하였다.

$$C = \frac{r_d}{\sum_{m=1}^M R_m}, \quad V_d = \sum_{i=1}^N Q_i \cdot \Delta t$$

C = 유출계수, V_d = 총유출량(m^3)

Q_i = i 번째 유출량(m^3/sec)

Δt = 측정시간 간격(sec)

r_d = 유출고(Depth of Runoff)

= V_d /유역면적

$\sum_{m=1}^M R_m$ = 총강우량(Total Rainfall)(mm)

2.3. 토지이용 현황

달서천은 대구3공단, 서대구공단이 위치하고 있으며, 대구광역시 서구의 도심지역을 관류하고, 배수구역 전체는 도시 72.1%, 임야 6.7% 순으로 구성되며, 주요 토지이용은 도시지역이다. 그리고 대명천은 성서공단이 위치하고 있으며, 대구광역시 달서구지역인 도심지역을 관류하고 있고, 배수구역 전체는 도시 49.3%, 임야 20.5%의 순으로 구성되며, 주요 토지이용은 도시지역이다. 달서천 및 대명천의 토지이용현황을 Table 1에 나타내었다. 환경부의 자료⁷⁾에 의한 달서천의 발생부하량은 109,418.4kg/일, 배출부하량 8,458.1kg/일, 유출율 7.7%, 단위면적당 발생부하 3,327.2kg/일/ km^2 이며, 대명천의 경우 발생부하량 39,248.8kg/일, 배출부하량 5,631.6kg/일, 유출율 14.3%, 단위면적당 발생부하 598.5kg/일/ km^2

로 조사되었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 배수구역별 유출계수

강우사상에 따른 강우특성을 조사하기 위하여 현장조사시 배수구역을 상·중·하류로 구분하였으며, 현장조사 기간 중 각 배수구역별 강우특성을 Table 2에 나타내었다.

달서천의 평균강우량은 29.1mm, 평균 최대강우강도는 6.6mm/hr, 평균 선행무강우일수는 3.5일, 평균 유출고는 11.7mm, 평균유출계수는 0.49로 나타났으며, 대명천의 평균강우량은 33.4mm, 평균 최대강우강도는 7.9mm/hr, 평균 선행무강우일수는 5.5일, 평균 유출고는 5.0mm, 평균유출계수는 0.16로 나타났으며, 달서천 및 대명천에서의 유출계수는 각각 0.49와 0.16으로 조사되어 달서천에서의 유출계수가 다소 높게 조사되었는데, 이는 달서천구역이 대명천구역보다 도시지역의 토지이용이 높기 때문인 것으로 판단되며, 기존문헌에 의한 유출계수 0.40~0.70(돌, 벽돌의 포장면, 불량한 상태)보다는 다소 낮은 값을 보이는 것으로 조사되었다^{8~9)}.

3.2. 강우 및 유량 분석

일반적으로 비점오염원의 발생량은 강우강도, 선행무강우일수, 강우지속시간, 유출량, 유출강도 등 다양한 인자들에 의해서 복합적으로 영향을 받는다. 이중 강우강도, 선행무강우일수, 강우지속시간 등의 수문인자들은 우선적으로 단일강우사상에 의한 유

Table 1. Land use of the watershed (Units : $10^3 m^2$, %)

Watershed	Total	Paddy field	Crop field	Mountainous	Urban	Etc.
Dalseo watershed	22,097 (100.0)	562 (2.5)	212 (1.0)	1,475 (6.7)	15,942 (72.1)	3,906 (17.7)
Daemyung watershed	50,401 (100.0)	1,320 (2.6)	5,328 (10.6)	10,338 (20.5)	24,857 (49.3)	8,558 (17.0)

Table 2. Rainfall characteristics of the storm event in each site

Watershed	Storm Event	Rainfall (mm)	Rainfall intensity (mm/hr)	Rainfall duration time(hr)	Antecedent dry period (day)	Rnnoff height (mm)	Runoff coefficient
Dalseo Watershed	02. 10. 06(1st)	27	6.5	10	1	8.6	0.29
	03. 06. 06(2nd)	15	1.5	24	3	14.6	0.98
	03. 05. 06(3rd)	29	6	35	6	15.2	0.52
	03. 07. 17(4th)	45.5	12.5	19	4	8.3	0.18
Daemyung Watershed	02. 10. 06(1st)	27	6.5	10	1	3.3	0.12
	03. 05. 06(2nd)	29	6	35	6	6.6	0.23
	03. 06. 11(3rd)	32	6.5	17	11	7.1	0.23
	03. 07. 17(4th)	45.5	12.5	19	4	3.1	0.07

출량, 유출강도에 영향을 미치고 궁극적으로는 비점 오염원 부하에 영향을 미친다.

현장조사시 나타난 실측자료를 통해 강우와 유량과의 관계를 살펴보고자 첫째, 대표지점별 강우사상당 강우량, 침투유량의 현황 파악 및 지점별 강우량과 침투유량의 상관관계를 분석하고, 둘째, 대표지점별 선행무강우일수, 초기유량유출의 현황 파악 및 지점별 선행무강우일수와 초기유량유출과의 상관관계를 분석하였다. 상관관계 분석은 두 변수간에 어느 정도의 관계가 존재하는가에 대한 수치적인 값을 제공하며 상관성이 높으면 높을수록 두 변수들은 더 많은 관계가 있음을 의미한다. 여기서 상관계수(correlation coefficient : $-1.0 \leq r \leq +1.0$) 값이 0.6 이상이면 변수들 간의 상관성이 높은 것으로, 0.4 ~ 0.6 범위이면 상관성이 보통인 것으로, 0.4 이하의 상관성이 없는 것으로 분석하였다. 그리고 상관계수의 부호가 (-)이면 반비례 관계를 나타낸다.⁹⁾

현장조사시 나타난 강우량과 침투유량의 현황을 살펴보면 달서천에서 1차, 2차, 3차, 4차 조사시 강우량과 침투유량의 현황을 살펴보면 조사지점의 강우사상당 강우량은 15~45.5mm 범위였으며, 침투유량은 8.406~10.004 m³/sec 범위이었으며, 강우사상당 강우량과 침투유량의 상관관계 분석에서 상관계수(r)는 0.9060을 나타내었다. 따라서 강우사상당 강우량에 비례하여 침투유량도 증가하는 상관성은 높게 나타났다.

그리고 선행무강우일수와 초기유량유출의 현황을 살펴보면 조사지점의 선행 무강우일수는 1~26일 범위였으며, 초기유량유출은 3.836~9.207 m³/sec 범위이었으며, 선행무강우일수와 초기유량유출과의 상관관계 분석에서 상관계수(r)는 (-) 부호에 0.7217을 나타내었다. 따라서 선행무강우일수가 길어짐에 따라 반비례하여 초기 유량유출이 낮게 나타나는 상관성은 높게 나타나는 것으로 조사되었다.

대명천에서 1차, 2차, 3차, 4차 조사시 강우량과 침투유량의 현황을 살펴보면 강우사상당 강우량은 27~45.5 mm 범위였으며, 침투유량은 7.5703~11.8621 m³/sec 범위이었으며, 강우사상당 강우량과 침투유량의 상관관계 분석에서 상관계수(r)는 0.5620을 나타내었다. 따라서 강우사상당 강우량에 비례하여 침투유량도 증가하는 상관성은 보통으로 나타났다.

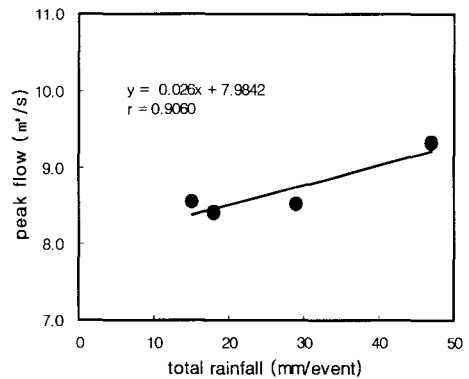
그리고 대명천에서 선행무강우일수와 초기유량유출의 현황을 살펴보면 전체 지점(K-1)의 선행 무강우일수는 1~11일 범위였으며, 초기유량유출은 4.7868~5.8696 m³/sec 범위였으며, 선행무강우일수와 초기유량유출과의 상관관계 분석에서 상관계수(r)는 0.2464를 나타내었다. 따라서 선행무강우일수가 길어

짐에 따라 반비례하여 초기유량유출이 낮게 나타나는 상관성은 없는 것으로 나타났다.

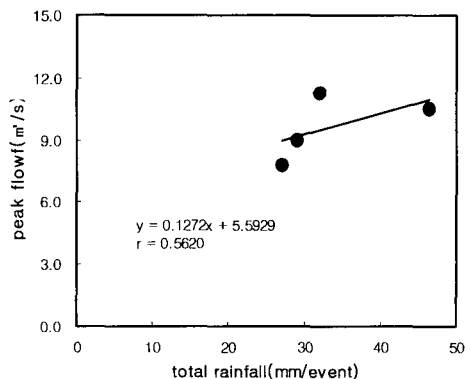
Table 3과 Fig. 3 그리고 Fig. 4에 배수구역별 유량현황을 나타내었다.

Table 3. Folw in each site

Watershed	Storm Event	First Flow Runoff (m ³ /s)	Peak Flow (m ³ /s)	Dry Weather Flow (m ³ /s)
Dal-seo	1st	9.207	10.004	3.7904
	2nd	7.4517	8.5321	4.0639
	3rd	4.9458	8.5224	4.3134
	4th	5.1081	9.2701	5.2316
Daemyung	1st	4.7868	7.5703	3.3490
	2nd	5.6314	9.1172	4.9958
	3rd	5.2714	11.8621	5.2251
	4th	5.8696	10.8046	6.1956

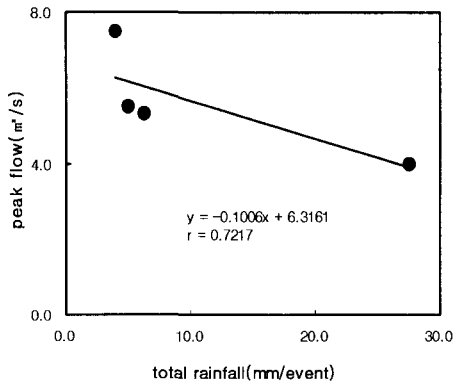


(a) Dalseo watershed

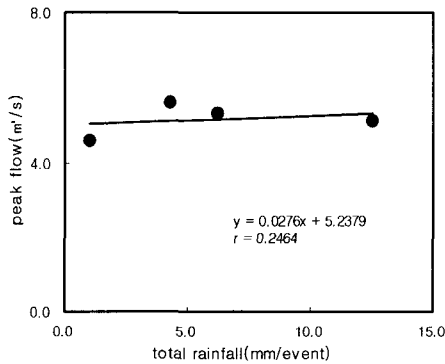


(b) Daemyung watershed

Fig. 3. Comparison of Total Rainfall and Peak Flow.



(a) Dalseo watershed



(b) Daemyung watershed

Fig. 4. Comparison of Antecedent dry period and First Flow Runoff.

3.3. 우수유출수의 수질특성

일반적으로 유출규모에 의한 오염유출의 차이는 각 오염지표별로 특징이 있다. 비점오염원의 유출특성중의 하나가 초기강우시 오염물질유출(first flush) 현상이며, 이 현상은 하도내의 중단면을 기준으로 보았을 때 상류에서 유출된 오염물질이 유하거리에 따라 차례로 도달하여 고농도 상태가 계속되는 것이다. 도달하기까지의 시간은 하도의 길이와 유하속도로 결정되고, 그 사이에 소류력이 증가하여 유수중의 오염물질농도가 높아지고 최고치를 기록하게 된다. 유출수수질변동의 대부분은 입자성 물질에 의한 것으로 측정되고, 입자성 물질의 대부분은 점오염원에서 유입되는 것으로 알려져 있다.

대부분의 오염물질은 우수유출시 농도가 증가하는 경향을 보이는 것으로 조사되었으며, 강우에 의한 오염물질 유출 특성을 파악하기 위해 누적오염부하량 비를 이용하였다. 누적오염 부하량비를 표현하는 방법은 강우기간 중 이산시간 동안의 유량 $Q(t)$ 에 대한 누적유량 $\Sigma Q(t)$ 비인 $Q(t)/\Sigma Q(t)$ 를 x축

으로 하고, 이산시간 동안의 오염부하량 $L(t)$ 에 대한 누적오염부하량 $\Sigma L(t)$ 비인 $L(t)/\Sigma L(t)$ 를 y축에 도시하여 그래프의 기울기가 1보다 크면 초기유출현상이 강한 것이며, 기울기가 1보다 작은 경우는 그 반대이다. 대개의 경우 입자성 물질의 경우 강우초기에 유출되는 정도가 커 기울기가 1보다 크며 용존성 물질은 강우지속시간 동안 일정하게 유출되는 경향이 있기 때문에 기울기가 1에 접근한다. 조사기간에 나타난 누적 우수유출량에 따른 누적 비점오염물질 유출특성을 분석하면 달서천의 경우 BOD, COD, SS의 항목에서 강우초기에 다량의 오염물질이 유출되는 초기유출현상을 보였으며 영양물질인 T-N과 T-P는 비교적 균일한 유출특성을 나타내었다. 그리고 대명천의 경우 3, 4차조사시 모든 항목에서 강우초기에 다량의 오염물질이 유출되는 초기유출현상을 보였으며, 1차조사시에는 모든 항목이 균일한 유출특성을 나타내는 것으로 조사되었다.

3.4. 강우와 하천부하량의 상관관계

강우시 하천에서의 부하량 유출특성은 유역의 개발상황, 강우조건 등에 따라 다르나 그 특성은 강우시의 부하량-유량곡선을 통해서 알 수 있다. 일반적으로 누가유량과 누가 부하량과의 관계 그래프를 작성하면 동일 하천에 대해서는 수질항목에 관계없이 거의 유사한 경향을 나타낸다. 누가 부하량과 누가 유량을 양대수지에 그리면 직선에 가까운 구간에 대하여 회귀식을 구할 수 있으며, ΣL 과 ΣQ 를 유역면적으로 나눌 경우 하천의 유역면적 규모차를 배제한 관계식이 되어 하천간의 비교가 가능해진다.

$$\Sigma L = a \cdot (\Sigma Q)^n$$

$$\Sigma L/A = b \cdot (\Sigma Q/A)^m$$

여기서, ΣL : 누가부하량(kg)

ΣQ : 누가유량(m³)

A : 하천의 유역면적(ha)

상기 식을 이용하여 각 소수계별 강우시 누적유량과 오염물질 누적부하량의 관계를 그래프로 나타내었으며, 그에 따른 회귀식을 산출하여 Table 4에 나타내었다. 이 회귀식은 강우횟수, 강우단계적용에 따라 변화가 예측되어진다. 회귀결과에 의하면 달서천은 SS항목의 경우 지수값이 0.54로 가장 높게 나타났다. 모든 항목에서 지수값이 0.4~0.5 정도로 나타나 강우시 유출유량의 영향에 반비례하는 것으

Table 4. Relation between to the rainfall and watershed loading

Item	BOD	COD	SS	T-N	T-P
Dalseo watershed	$y = 0.019x^{0.4429}$	$y = 0.0369x^{0.4263}$	$y = 0.0115x^{0.5407}$	$y = 0.0415x^{0.4157}$	$y = 0.0019x^{0.4077}$
	$R^2 = 0.9153$	$R^2 = 0.9214$	$R^2 = 0.9064$	$R^2 = 0.9039$	$R^2 = 0.9506$
Daemyung watershed	$y = 0.0113x^{0.4431}$	$y = 0.0186x^{0.4542}$	$y = 0.01x^{0.4961}$	$y = 0.0219x^{0.4153}$	$y = 0.0025x^{0.4151}$
	$R^2 = 0.9486$	$R^2 = 0.9589$	$R^2 = 0.9576$	$R^2 = 0.9125$	$R^2 = 0.9416$

로 나타났으며, 대명천은 SS항목의 경우 지수값이 0.496으로 가장 높게 나타났으며, 모든 항목에서 지수값이 0.4~0.5 정도로 나타나 강우시 유출유량의 영향에 반비례하는 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 도시지역을 관류하는 달서천과 대명천을 대상으로 강우사상에 따른 유량 및 BOD, COD, SS, T-N 및 T-P 등의 오염물질에 대한 유출 특성을 분석하기 위하여 강우시 수질조사 및 분석을 실시하였으며 그 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

- 1) 달서천의 평균 최대강우강도는 6.6mm/hr, 평균 유출고는 11.7mm, 평균유출계수는 0.49로 나타났으며, 대명천의 평균 최대강우강도는 7.9mm/hr, 평균 유출고는 5.0mm, 평균유출계수는 0.16로 조사되었다.
- 2) 배수구역별 강우사상당 강우량과 침투유량의 상관관계 분석에서 달서천의 상관계수(r)는 0.9060로 높게 나타났으나, 대명천의 상관계수(r)는 0.5620으로 보통으로 나타났으며, 선행무강우일수와 초기유량유출과의 상관관계 분석에서 달서천의 상관계수(r)는 (-) 부호에 0.7217, 대명천의 상관계수(r)는 0.2464로 나타났다.
- 3) 우수유출수의 수질특성은 달서천의 경우 BOD, COD, SS의 항목에서 초기유출현상을 보인 반면 T-N, T-P는 비교적 균일한 유출특성을 나타내었으며, 대명천의 경우 3, 4차조사에서 모든 항목에서 강우초기에 다량의 오염물질이 유출되는 초기 유출현상을 보였으며, 1차조사시에는 모든 항목이

균일한 유출특성을 나타내는 것으로 조사되었다.

- 4) 강우와 하천부하량과의 상관관계분석에서 달서천과 대명천에서 SS항목의 지수값이 각각 0.540과 0.496으로 가장 높게 나타나, 모든 항목에서 지수값이 0.4~0.5 정도로 나타나 강우시 유출유량의 영향에 반비례하는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- 1) 이종태, 2002, 초기강우에 의한 도시지역에서의 비점오염물 부하특성, 한국물환경학회·대한상하수도학회 공동춘계학술발표회 논문집, 73-77.
- 2) 방기웅 외, 1997, 도시소유역에서의 비점오염원 유출특성에 관한 연구, 한국수질보전학회지, 13(1)호, 79-99.
- 3) 김성수, 김종석, 방기연, 권은미, 정옥진, 2002, 경안천유역의 강우사상별 비점오염원 유출특성 및 원단위 조사, 대한환경공학회지 24(11), 2019-2027.
- 4) 환경부, 1996, 비점오염원 조사연구사업보고서, 571pp.
- 5) 최규철, 김무식, 유근우, 황재석, 수질오염공정시험법주해, 1999, pp. 497-527.
- 6) APWA, AWWA and WEF, 1992, Standard methods for examination of water and wastewater, pp. 9-205.
- 7) 환경부, 2003, 낙동강수계 비점오염원 관리방안 마련을 위한 조사사업, pp. 135-279.
- 8) 최의소, 2001, 상하수도공학, 청문각, pp. 20-21.
- 9) 환경부, 1995, 수질정보종합관리시스템개발, 220pp.