

강우지속시간에 따른 건물지붕빗물의 성상특성변화에 대한 기초 연구

The Basic Study for the Roof-Harvested Rainwater Quality Characteristics as a Function of Rainfall Duration

김 성 표* / 김 두 철** / 오 준 식*** / 김 이 형**** / 민 경 석*****

Sungpyo Kim* / Doocheol Kim** / Junsik Oh*** / Lee Hyung Kim**** / Kyung Suk Min*****

요약 : 본 연구의 목적은 더 나은 빗물관리를 위해 건물지붕에서 흘러내리는 빗물의 성상을 분석하고, 그 자료를 축적하는데 있다. 이에 빗물 유출수 성상을 분석한 결과(pH, COD, TSS, T-N, T-P, NH₄-N, NO₃-N, 장내세균, 일반미생물, 납, 카드뮴, 구리)지붕 유출수에서 흘러나오는 빗물의 성상이 직접 받은 빗물에 비해 약 2 ~ 3배 가량 더 오염되었고 (미생물 지수의 경우는 100배 이상) 초기 10분 동안 내린 오염물질량이 30분 모니터링한 빗물 오염물질량의 60% 이상 차지하고 있음을 알 수 있었다. 또한, 통계 요인분석을 통해 빗물 유출수 분석 항목들을 상대적으로 가까운 지표(변수)들로 구분 지을 수 있었다. 본 연구진은 이러한 지속적인 건물지붕빗물의 모니터링이 국내의 안전하고 경제적인 빗물 저장시설을 설치하는데 도움을 줄 거라 예상한다.

핵심용어 : 빗물관리, 건물지붕빗물, 빗물수질, 빗물저장

Abstract : The aim of this study is to accumulate the data about the roof-harvested rainwater quality characteristics for the better rainwater management. According to the results of rainwater quality indicators (pH, COD, TSS, T-N, T-P, NH₄-N, NO₃-N, enteric bacteria, heterotrophs, Pb, Cd, Cu), the rainwater qualities of the first flush of roof-harvested was the most polluted about 2 or 3 times (more than 100 times in microbial contamination) compared to the qualities of directly collected rainwater. In the first 10 min flush, over the 60% amounts of contaminant were released from the roof during 30 minute rainwater monitoring. Through statistical factor analysis, relatively close items(variables) can be categorized. It is expected that the continuous monitoring of the roof-harvested rainwater will help to design the safe and economical rainwater storage system in Korea.

Keywords : Rainwater management, Roof-harvested rainwater, Rainwater quality, Rainwater storage

1. 서 론

최근 들어 기후변화 및 기상이변 등에 의한 물 순환 구도의 변화는 장래의 수자원 확보 개념의 변화를 요구하고 있다. 다시 말해 기후변화에 의

한 빈번한 가뭄이나 홍수는 안정적이고 깨끗한 지표수나 지하수의 확보를 어렵게 하고 더 나아가 이를 정수하여 가정으로 공급하는 전통적인 물 공급 개념 외에 다른 대안을 요구하고 있다. 요약하면, 미래의 물 기술 중 중요한 기술은 전통

+ Corresponding author : ub1905ub@korea.ac.kr
* 정회원 · 고려대학교 · 환경공학과 · 교수 · E-mail : ub1905ub@korea.ac.kr
** 정회원 · 고려대학교 · 환경공학과 · 석사과정 · E-mail : doa31@korea.ac.kr
*** 비회원 · 고려대학교 · 환경공학과 · 석박사통합과정 · E-mail : azimuth602@korea.ac.kr
**** 정회원 · 공주대학교 · 건설환경공학과 · 교수 · E-mail : leehyung@konju.ac.kr
***** 비회원 · 경북대학교 · 환경공학과 · 교수 · E-mail : ksmn@knu.ac.kr

적인 취수 및 물 공급개념에 상응하는 대체 수자원 확보 및 공급시스템기술의 확보를 포함하게 될 것으로 보인다. 이러한 대체 수자원 및 새로운 공급 체계로 새롭게 부각되는 부분이 바로 빗물을 이용한 대체 수자원 확보 및 물 공급이다. 이러한 개념에서 최근 지붕에서 직접 모아진 빗물을 이용하여 여러 가지의 생활용수로 이용하는 연구가 점차 주목 받고 있다(Amin and Han 2009; Lye 2009). 이렇게 지붕에서 확보된 물을 효율적으로 관리하고 이용하기 위해서는 기본적으로 지붕에서 모아진 빗물의 성상에 대한 전반적인 지식을 요구하나, 아직까지 이에 대한 연구는 상당히 미비한 실정이다. 현재까지 빗물 성상에 대한 연구 중 대부분의 연구는, 빗물 내에서의 중금속과 미생물의 오염부분에 초점을 맞추고 있다. Simmons 등 (2001)은 뉴질랜드 오클랜드 4 도시지역 중 125 개의 지붕 빗물에서의 중금속 [납(lead), 구리(copper), 아연(zinc)]농도를 측정하였다. 결과에 따르면, 이 샘플 중 납(lead)의 경우 약 14%의 샘플, 구리의 경우 약 2%의 샘플, 아연의 경우 약 1%의 샘플이 먹는 물 허용 기준을 초과하였다. Gromaire 등 (2001)은 지붕 덮개 재질(zinc sheet, slate, interlocking tiles, flat tiles) 및 거터(guttering)재질(zinc, copper, cast iron)에 따른 채수된 빗물 내에서의 중금속 농도 변화 부분을 조사하였다. 그는 연구 기간 동안 우기시 합류식 하수관거에서 발견된 카드뮴(cadmium), 납(lead), 아연(zinc)의 80% 이상이 지붕에서 비롯된 오염물질이라는 것을 밝혀냈다. 지붕에서 받아들인 빗물에서의 미생물 오염 농도의 변화는 그 폭이 상황에 따라 큰 것으로 알려져 있다. Amin and Han (2011)의 또 다른 연구에 따르면, 지붕에서 채취한 빗물 내 미생물 농도는 총대장균, 대장균 및 일반 미생물의 수는 각각 1500~2000 CFU/100mL, 900~1850 CFU/100mL, 6500 CFU/mL 이었고, 총 대장균(Total Coliform)은 약 2000 CFU/mL 정도로 보고하였다. Simmons 등 (2001)이 보고한 지붕에서 모아진 빗물에서는 *Salmonella*, *Aeromonas* 및 *Cryptosporidium* 같

은 병원성 세균들이 검출되기도 하였다. 전술한 바와 같이, 대부분 지붕 빗물에 대한 성상 연구는 주로 빗물 내에 중금속 및 미생물 농도에 초점이 맞추어져 있고, 보통 평균값으로 제시 되어 있어 강우지속 시간에 대한 자료는 상당히 제한적이다. Lee 등 (2011)에 의하면 초기 5분 우수에서의 미생물 및 중금속 오염물질의 농도가 상당히 높은 것으로 알려져 있다. 따라서, 시간변화에 따른 지붕 빗물의 성상변화가 예상되는바 이에 대한 전반적인 빗물 성상 변화 연구가 필요하다.

또한 국내에서의 지붕 빗물 성상에 대한 연구는 국내 소수의 연구진에 의해 진행되어 지붕빗물을 수자원 형태로 실제 사용 할 수 있는지에 대한 자료 축적과 검증 할 수 있는 양이 상당히 부족한 편이다. 따라서 본 연구의 목적은 1) 강우지속 시간별 빗물 성상 변화에 대한 자료를 축적하고, 또한 초기 우수량을 배제하기 위한 유출되는 오염물질량의 변화를 살펴보고, 3) 조사된 빗물 측정 항목 간에 상관관계를 통계적으로 분석하여, 측정 항목간의 상관관계와 그의 유출기원을 알아보는데 있다. 이러한 실험 자료 수집은 추후 빗물시설 유출시설 및 저장시설 설계 지침을 만드는데 도움을 줄 것으로 사료된다.

2. 연구방법

2.1 대상지역의 현황 및 구조

본 연구에서는 빗물 시료 측정지역을 고려대학교 세종캠퍼스 과학기술대학교 뒤편에 위치하고 있는 건물 지붕으로 선정하였다. 이 건물은 2006 년도에 완공이 되었으며, 총 면적이 72.24 m² (17.2 m x 4.2 m)이고, 건물 뒤편에 위치하고 있는 두 개의 배수구를 통해 강우를 배출하고 있다 (그림 1). 본 연구팀은 강우시 연구 대상지역에서 두 개의 배수구를 통해 나오는 빗물을 일정한 시간에 따라 채취하여 그 빗물의 성상을 분석하였고, 동시에 빗물 자체의 수질을 살펴보기 위하여 직접 빗물을 받아 배수구에서 나오는 빗물 수질과 비교 분석하였다.



(a) 연구대상 지역



(b) 배수구 A



(c) 배수구 B

그림 1. 대상지역의 위치 및 시료 채취 지점

2.2 빗물 성상 모니터링

연구 대상지역의 빗물의 성상을 분석하기 위하여 2011년 6월부터 7월까지 두 달 동안 총 4회의 모니터링이 실시되었다. 배수구 A, B에서 빗물 채취 간격은 5분 간격으로 각각 5 ~ 7회 실시하였다. 빗물 시료는 멸균처리가 된 300 mL 유리병을 사용하여 채취하였다. 빗물 분석은 크게 수질기본 분석, 영양소 분석, 미생물 분석, 중금속 분석으로 총 4가지로 나뉘어 분석하였다. 이를 세분해 보면, 수질기본 분석은 pH, COD, TSS, 영양소 분석은 T-N, T-P, NH₄-N, NO₃-N, 미생물 분석은 장내세균 (MacConkey), 종속 영양 미생물(R2A), 중금속 분석 Pb(납), Cd(카드뮴), Cu(구리)에 대한 수질분석을 실시하였다. pH는 Thermo사의 Scientific Orion 4-star pH/ISE

Meter를 사용하여 측정하였고, COD는 HACH사의 COD Test Kit Low Range(0 to 150 ppm)를 이용하여 측정하였으며, 사용한 측정기기는 HACH사의 DR 2010 이다. T-N, T-P는 수질공정시험법(제14항-1 흡광광도법, 제17항-1 아스코르빈산환원법)에 준하여 실시하였으며, NH₄-N, NO₃-N은 Ion Chromatograph(ICS-900, DIONEX)를 이용하여 분석하였다. 중금속은 AA(AA-6800, SHIMADZU)를 이용하여 분석하였고, 그 외 장내세균이나 종속영양 미생물은 각각 Agar MacConkey와 Agar R2A 배지 위에 배양시켜 평판계수법으로 계수하였다.

2.3 통계분석 : 주성분 분석(PCA) 및 요인분석(Factor Analysis)

본 연구에서 빗물의 성상의 변수지표가 어떤

요인(Factor)에 의해 어느 정도 표현될 수 있는가를 알아보기 위해 요인 분석을 실시하였다. 이를 위해, 인자 분석시 주성분 분석(PCA)을 이용하였으며, 인자 추출에서는 고유값(eigenvalue) 1보다 큰 인자만을 선택하였고 Varimax 방식으로 회전하여 같은 요인에 높게 적재된 변수를 통해, 변수 간의 상관관계성을 살펴보았다. 이를 위해 통계 프로그램인 SPSS(Statistical Package for the Social Sciences) version 12.01을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 빗물 성상 모니터링

전술한 대로, 빗물은 pH, COD, TSS, T-N,

T-P, NH₄-N, NO₃-N, 장내세균, 일반미생물, Pb(납), Cd(카드뮴), Cu(구리) 등 총 12개 항목을 통해 분석하였다. 빗물 배수구 A, B에서 채취한 빗물에 대해서 각각 채취 시간에 대한 평균값을 산정하여 수질 측정 항목별로 채취시간에 대한 농도변화 추이를 살펴보았다. 분석에 대해 선택된 항목들은 기본적으로 이전 선행연구에서 많이 연구된 분야인 중금속과 미생물 부분을 포함하였다.

한편 중금속 측정 항목 중 Pb(납), Cd(카드뮴), Cu(구리)는 채취한 모든 빗물에서 검출이 되지 않았기에 본 연구결과에서 제외하였고, 나머지 9개의 항목에 대해서만 논의 하였다. 표 1에는 지붕 유출수의 빗물 성상과 직접 빗물성상을 비교하였다.

표 1. 빗물과 지붕 빗물 유출수 간의 성상 비교

항목	빗물		지붕 빗물 유출수	
	범위	평균	범위	평균
pH	5.27 ~ 6.53	5.9	5.9 ~ 7.6	6.6
COD	0 ~ 9	3.8	0 ~ 67	9
TSS	1.47 ~ 3.86	3.0	2.2 ~ 22.5	10.1
T-N	0.01 ~ 0.04	0.1	0 ~ 0.5	0.2
T-P	0 ~ 6	2.7	0 ~ 22	7
NH ₄ -N	0 ~ 1.4	1.4	1.7 ~ 6.5	4
NO ₃ -N	0.1 ~ 0.8	0.5	0.1 ~ 9.7	1.2
장내세균	불검출	불검출	0 ~ 46,120	7,286
일반미생물	60 ~ 680	365	90 ~ 208,000	51,094

위의 표에서 제시한 것처럼, 지붕빗물 유출수는 대략 평균적으로 항목별로 2 ~ 3배의 오염도를 보였고, 미생물의 오염도의 경우 수백 수천배의 오염도를 나타내었다. 다음은 항목별로 시간에 따른 지붕유출수의 성상변화를 나타낸 것이다.

3.3.1 pH

대상지역에서 측정된 pH 범위는 6.7 ~ 7.3

(평균 6.9)의 범위를 나타냈다. pH의 경우 시간에 따른 평균값의 변화가 거의 없는 것을 확인할 수 있었고(그림 2), 초기 강우에서부터 약 10분 정도까지는 pH가 거의 같거나 약간 증가하는 경향을 보였으며, 이후로는 pH가 감소하는 경향을 보였다. 정확한 원인은 알 수 없으나, 아마도 초기 우수에서의 pH의 변화는 배출구에서의 쌓여 놓아진 오염물질과 상관관계가 있을 것으로 판단된다.

3.3.2 COD 및 TSS

대상지역에서 측정한 COD 농도는 3.1 mg/L ~ 7.7 mg/L (평균 5.6 mg/L)의 범위를 나타내었다. 대체적으로 시간이 경과함에 따라 대부분의 오염물질의 농도가 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 초기 강우에서부터 약 10분 정도까지는 오염물질의 농도가 유지됨을 알 수 있었다. 이는 강우에 의하여 큰 입자상 물질이 다량 유입된 결과로 보여진다(그림 3). 한편 TSS의 농도는 3.6 mg/L ~ 10.8 mg/L (평균 6.2 mg/L)의 범위를 나타내었다. 전반적으로 경향은 COD와 비슷하였으며, 초기강우에 의한 TSS의 농도가 높음을 알 수 있었다(그림 4).

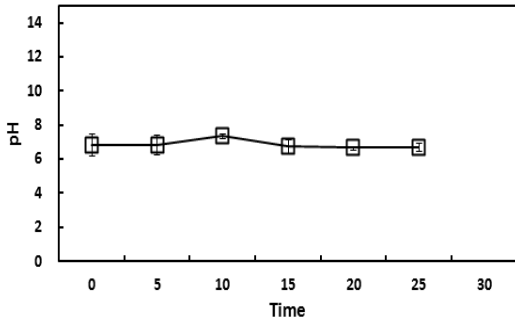


그림 2. 시간별 지붕유출수내 pH 변화 추이 (error bar: standard deviation)

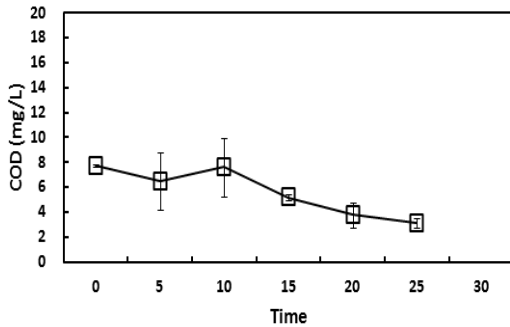


그림 3. 시간별 지붕유출수내 COD 변화 추이 (error bar: standard deviation)

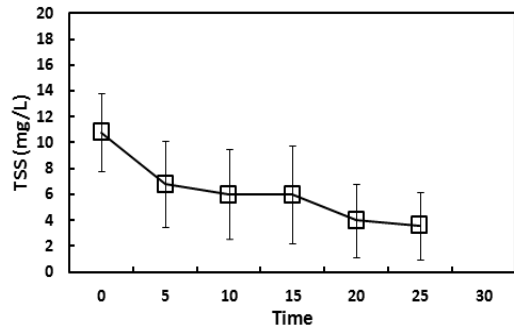


그림 4. 시간별 지붕유출수내 TSS 변화 추이 (error bar: standard deviation)

3.3.3 T-N 및 T-P

대상지역에서 측정한 T-N 농도는 7.8 mg/L ~ 12.8 mg/L (평균 9.8 mg/L)이고, T-P 농도는 0.17 mg/L ~ 0.26 mg/L (평균 0.22 mg/L)이었다. 시간이 경과함에 따라 오염물질의 농도가 감소함

을 알 수 있었고, 마찬가지로 초기강우에 의해 발생하는 오염물질의 농도가 가장 높음을 알 수 있었다(그림 6). 그리고 T-N의 농도의 경우 각 샘플별 T-N농도 변화 폭이 커 standard deviation 이 큰 폭으로 나타났다(그림 5).

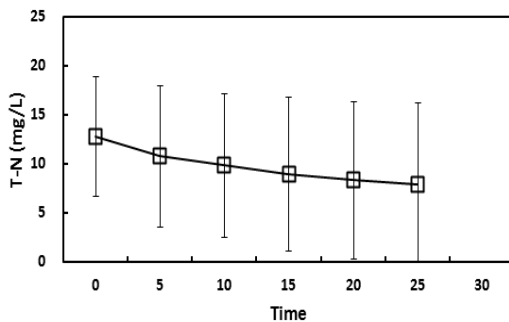


그림 5. 시간별 지붕유출수내 T-N 변화 추이 (error bar: standard deviation)

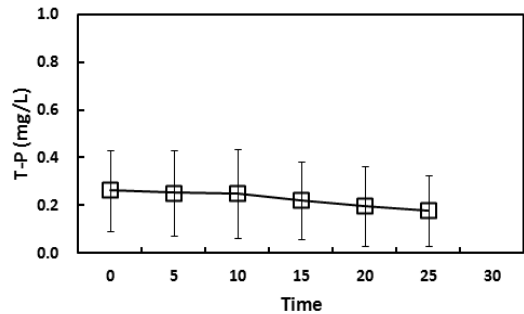


그림 6. 시간별 지붕유출수내 T-P 변화 추이 (error bar: standard deviation)

3.3.4 NH₄-N 및 NO₃-N

대상지역에서 측정된 NH₄-N 농도는 2.9 mg/L ~ 5.5 mg/L (평균 4.2 mg/L)의 범위를 나타냈다. 대체적으로 시간이 경과함에 따라 오염물질의 양이 서서히 감소하는 경향을 나타냈다(그림 7). NO₃-N 농도는 0.6 mg/L ~ 3.1mg/L (평균 1.3 mg/L)의 범위를 나타내었다(그림 8). 시간에 따른 빗물에서의 오염물질의 감소추세가 총질소의 변

화와 비슷한 경향을 나타냈다. 4회의 빗물 시료 채취를 통해 질산성 질소와 암모니아성 질소의 농도를 비교한 결과 암모니아성 질소의 농도가 크며 이로부터 무기질소(Dissolved Inorganic Nitrogen, DIN) 중 암모니아성 질소가 주요한 질소 종이라는 것을 확인하였다. 또한 TN 값의 시간에 따른 농도변화를 살펴보면 빗물에서의 유기 질소가 상당 부분 유지되는 것을 알 수가 있었다.

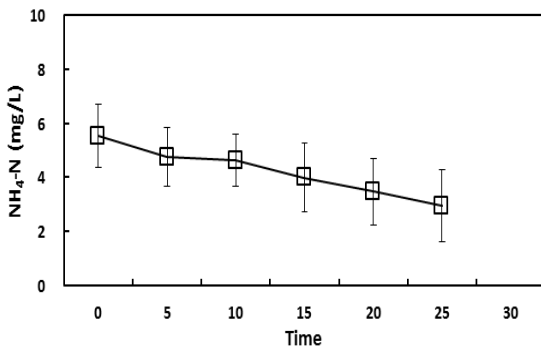


그림 7. 시간별 지붕유출수내 NH₄-N 변화 추이 (error bar: standard deviation)

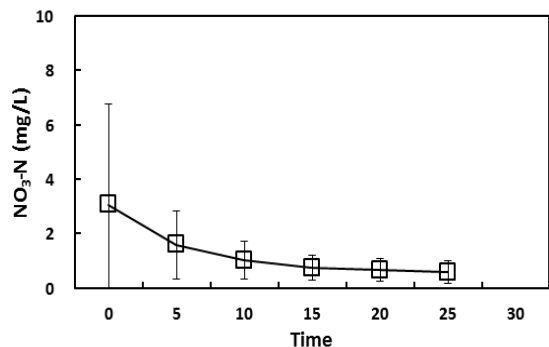


그림 8. 시간별 지붕유출수내 NO₃-N 변화 추이 (error bar: standard deviation)

3.3.5 장내 세균과 일반 미생물

빗물에서 장내 세균과 일반 미생물을 각각 MacConkey, R2A plate를 이용하여 산정하였다. 장내세균 콜로니(CFU)는 500 CFU/mL ~ 1800 CFU/mL (평균 1,000 CFU/mL)정도를 발견할 수

있었다(그림 9). 일반 미생물 콜로니는 최소 4700 CFU/mL ~ 6900 CFU/mL (평균 6,000 CFU/mL)의 정도의 범위정도에 포함됨을 알 수 있었다(그림 10).

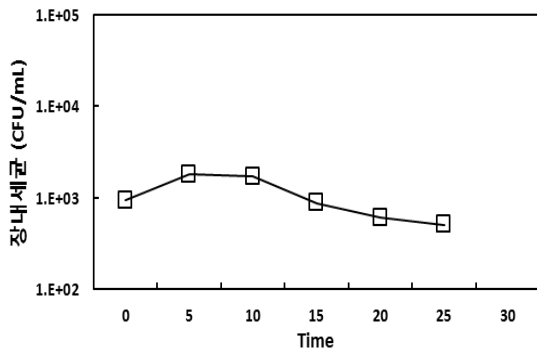


그림 9. 시간별 지붕유출수내 장내세균 변화 추이 (error bar: standard deviation)

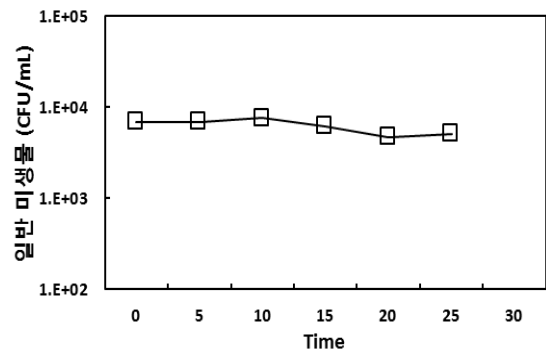


그림 10. 시간별 지붕유출수내 일반 미생물 변화 추이 (error bar: standard deviation)

3.2 시간별 누적 오염물질 산정

그림 11은 지붕 유출수에서 나오는 30분 동안의 유량과 각각 오염물질 항목의 농도를 고려하여 총 30분간을 100%로 하였을 때, 오염물질 부하량의 변화를 본 것이다. 대략 초기 10분 정도의 초기 우수에서 모든 9개 항목의 60% 이상이 제거됨을 알 수 있었다. 특히, 장내 세균의 경우 초기 10분에 80% 이상의 오염 부하량을 가지고 있음을 알 수 있었다. 따라서 향후 오염빗물의 저장 시설을 설계하는데 있어 초기우수 배제시설이 필수적인 것으로 판단되었다.

3.3. 분석 항목별 상관관계

현재까지 지붕 빗물 유출수 이용을 위한 명확한 수질기준은 없다. 물론 향후에 이를 어떤 용도로 쓰느냐에 따라, 현재 사용되는 하천수나 수도물 수질측정 항목 또는 중수도 수질 기준이 하나

의 수질 지표가 되겠지만, 지붕 빗물 유출수는 기본적으로 하천수나 지표수와 비교시 물의 이동경로가 상당히 다르기 때문에 분석항목 선택에 대한 연구는 추후 더 진행되어야 할 것으로 생각된다. 이와 더불어 지붕 유출수 수질 분석항목간의 뚜렷한 상관관계를 도출 할 수 있다면, 향후 이를 이용한 설계시 유용하게 사용될 수 있는 부분이 있으리라 생각된다. 따라서 본 장에서는 추후 지붕 유출수의 수자원 설계 지침서를 만들 때 도움을 주기위해, 분석에 사용된 총 9개 항목의 시간별 각각의 자료간의 상호연관성을 요인 분석을 통해 알아보았다.

우선 고유값(eigenvalue) 1 이상인 값을 기본으로 하여 인자를 추출하였다. 인자 추출결과 3개의 인자가 고유값 1(그림 12)을 넘으며, 누적기여율이 79.4%에 달함을 알 수 있었다(표 2). 즉 3개의 인자로 빗물 성상을 설명하는데 큰 무리가 없음을 알 수 있었다.

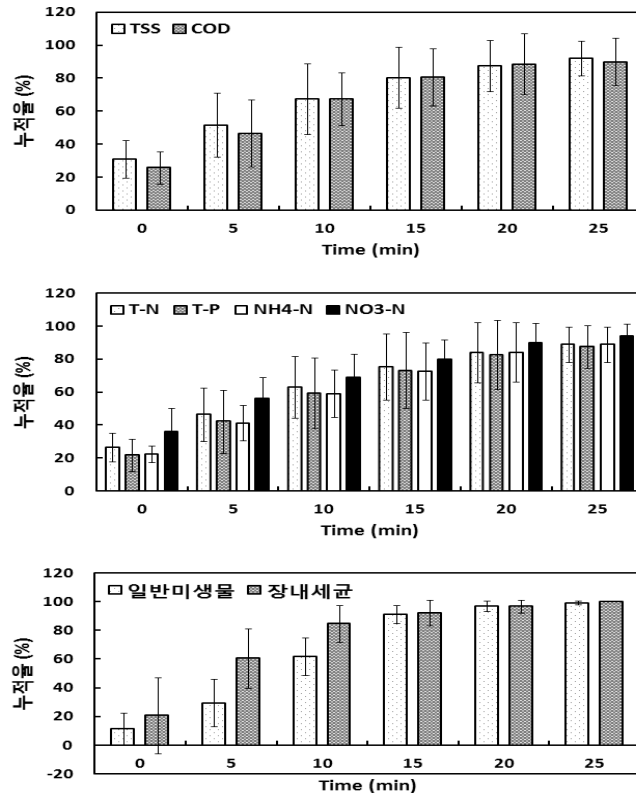


그림 11. 지붕 유출수 시간에 변화에 따른 오염물질 누적부하량

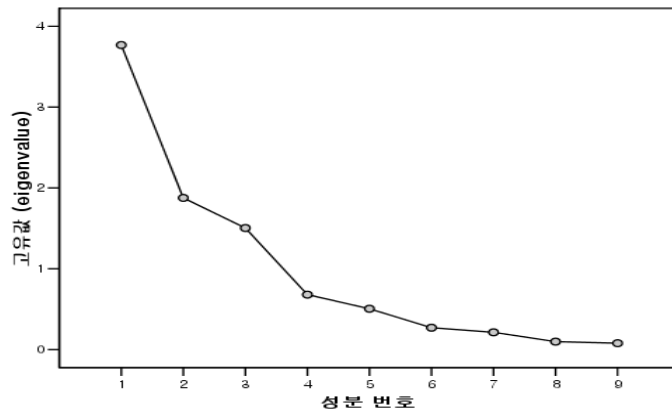


그림 12. Scree Plot 을 통한 인자 추출

표 2. 주성분 분석을 이용한 누적% 분산

성분	초기 고유값		
	전체	% 분산	% 누적
1	3.768	41.863	41.863
2	1.877	20.858	62.721
3	1.505	16.717	79.438
4	.681	7.562	86.999
5	.506	5.617	92.616
6	.271	3.017	95.633
7	.215	2.384	98.017
8	.099	1.098	99.115
9	.080	.885	100.000

표 3은 Varimax 방식으로 4회 반복하여 요인 별로 변수에 대한 성분 점수를 계수행렬로 나타낸 결과이다. 즉, 각 9개의 변수들에 높게 적용된 변수들은 모두 그 요인과의 상관관계가 높은 것을 의미하며, 또한 서로간의 상관관계도 높은 것을 의미한다. 그러나 여기서 각각의 요인들이 무엇을 의미하는지는 정확히 알 수 없으므로 변수간의 상관관계를 보고 각각 요인들의 의미를 추정해야 한다. 제 1요인에서는 일반미생물, T-N, T-P, 장내 세균수, 암모니아성질소(NH₄-N)의 상관관계가 크을 알 수 있었다. 이를 유추해보면, 기본적으로 지붕에 축적되어 있는 고양이나 쥐, 또는 조류 같은 동물의 분변성 오염물질이 제 1요인과 관련이

있는 것으로 판단되었다. 제 2요인에서는 COD와 TSS가 큰 상관관계를 가진 것으로 판단되었다. 이는 제 2요인이 고형 오염물질인 TSS가 COD 농도에 영향을 주는 고형물 유기오염물질과 관련 있는 인자로 판단되었다. 마지막 3요인은, 질산성 질소(NO₃-N)와 pH가 영향을 주는 것으로 나타났는데, 이는 어느 정도 암모니아의 농도도 상관인 있는 것(0.551)으로 나타났다. 기본적으로 빗물에서의 질산염 농도는 매우 낮으므로(표 1), 지붕 유출수에서 질산염의 상승은 암모니아가 질산화 과정을 통해 증가되고 이에 따라 pH 변화에 영향을 주는 프로세스가 요인 3과 관련 있는 것으로 추측되었다.

표 3. 요인별 성분 점수 계수행렬

	성분		
	1	2	3
pH	-.197	-.572	.698
COD	-.270	.815	-.022
TSS	.084	.810	.151
T-N	.897	.265	.104
T-P	.890	-.348	-.054
NH ₄ -N	.616	.059	.551
NO ₃ -N	-.073	.211	.799
장내세균	.883	-.025	-.077
일반미생물	.924	-.146	-.181

4. 결론

최근 들어 기후변화 및 기상이변 등에 의해 축발된 물 순환 구도의 변화는 장래의 수자원확보 개념의 변화를 요구되고 있으며, 전통적인 취수 및 물 공급개념을 치환할 수 있는 대체 수자원확보 및 공급기술의 확보가 미래의 기술로 관심이 증대되고 있다. 따라서 본 연구에서는 강우지속 시간별 빗물 성상 변화에 대한 자료를 축적하고, 또한 초기 우수량을 배제하기 위한 유출되는 오염물질량의 변화와 조사된 빗물 측정 항목 간에 상관관계를 통계적으로 분석하여, 측정항목간의 상관관계와 그의 유출기원을 알아보는데 있었다. 이에 대한 연구 결과를 요약하면

- 1) 조사 연구대상 지역에서 두 개의 배수관을 통해 배출되는 빗물 시료를 채취하여 12가지 수질항목에 대해서 측정한 결과, 측정되지 않은 중금속을 제외한 직접 받은 빗물에 비해 평균적으로 2 ~ 3배의 농도 또는 미생물의 경우 수백 수천배가 높은 것으로 나타났다.
- 2) 시간에 따른 빗물성상에 대한 모니터링 결과, 초기강우에 의한 오염물질 발생량이 가장 높았으며 시간이 경과함에 따라 발생량

이 점차 감소함을 보였다. 이에 건물 지붕 내에서 발생하는 비점 오염물질에 의한 빗물의 오염임을 알 수 있었다.

- 3) 강우 시작 후 30 분 동안의 오염물질 측정에서 유량을 고려한 오염물질 부하량 계산에서 초기 10분에서의 오염물질부하량의 60% 이상을 차지하는 것으로 나타났다. 따라서 향후 빗물의 저장시설을 설계하는데 있어 초기우수 배제시설이 필수적인 것으로 판단되었다.
- 4) 통계적인 요인 분석을 통해 항목 9개에 대한 연관성을 살펴본 결과, 각 항목은 크게 3개의 요인으로 설명 가능 하였다. 제 1요인에서는 일반미생물, T-N, T-P, 장내 세균수, 암모니아성질소(NH₄-N)의 상관관계가 큼을 알 수 있었는데 이는 동물의 분변성 오염물질과 관련이 있는 것으로 판단되었다. 제 2요인에서는 COD와 TSS가 큰 상관관계를 가진 것으로 판단되었는데 이는 고형물 유기오염물질과 관련 있는 인자로 판단되었다. 3번째 요인은, 질산성질소(NO₃-N)와 pH가 영향을 주는 것으로 나타났는데 이는 어느 정도 암모니아의 농도와 관련이 있는 것으로 나타났다. 이는 암모니아가 질산화과정을 통해 질산염이 증가되고 이에 따라 pH

변화에 영향을 주는 프로세스가 요인 3과 관련 있는 것으로 추측되었다.

감사의 글

본 연구는 환경부가 출연하고 한국환경산업기술원에서 위탁 시행한 에코이노베이션기술개발사업(과제번호: 413-111-004)에 의한 비점오염원 관리기술연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- Amin, M. T. and Han, M. Y. 2009. Roof-harvested rainwater for portable purposes: application of solar collector disinfection. *Water Research* 43(20): 5225-5235.
- Amin, M. T. and Han, M. Y. 2011. Improvement of solar based rainwater disinfection by using lemon and vinegar as catalysts. *Desalination* 276(1-3): 416-424.
- Gromaire, M. C., Garnaud, S., Saad, M., Chebbo, G. 2001. Contribution of different sources to the pollution of wet weather flows in combined sewers. *Water Research* 35(2): 521-533.
- Lee, J. Y., Kim, H. J., Han, M. Y. 2011. Quality assessment of rooftop runoff and harvested rainwater from a building catchment. *Water Science and Technology* 63(11): 2725-2731.
- Lye, D. J. 2009. Rooftop runoff as a source of contamination: A review. *Science of the Total Environment* 407(21): 5429-5434.
- Simmons, G., Hope, V., Lewis, G., Whitmore, J., Gao, W. 2001. Contamination of potable roof-collection rainwater in Auckland, New Zealand. *Water Research* 35(6): 1518-1524.

- 논문접수일 : 2011년 10월 05일
- 심사의뢰일 : 2011년 10월 07일
- 심사완료일 : 2012년 01월 13일