

염소 소독에 의한 저장빗물수질 유지효과 연구

박희수 · 김성표*[†]

고려대학교, 환경기술·정책협동

* 고려대학교, 환경공학과

The Study for the Long-Term Rainwater Storage Quality Effect after Chlorination

Heesoo Park · Sungpyo Kim*[†]

Program in Environmental Technology and Policy

* Department of Environmental Engineering

요 약

본 연구의 목적은 건물지붕에서 흘러내리는 빗물의 효용을 극대화하기 위해 시간에 따른 지붕 빗물의 성상을 분석하고, 소독하지 않은 저장 빗물과 염소 소독된 저장 빗물의 성상변화를 추적하는데 있다. 이를 위하여, 저장 빗물의 COD, T-N, T-P, 장내미생물, 일반미생물의 시간에 따른 변화를 염소 주입 농도별로 분석하였다. 소독된 저장 빗물의 경우 장내 미생물 및 일반 미생물은 염소 주입 후 2주 이내에 99% 저감을 확인하였다. 따라서, 지붕 빗물을 장기 보관할 경우, 소독 후 보관하는 것이 저장 빗물의 수질 유지에 도움을 주며 장기적으로 여러 용도에 사용하기 적합할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 건물지붕빗물, 빗물저장, 성상변화, 염소 소독

Abstract

The purpose of this study is to monitor the rainwater flowing from the roof of buildings and to maximize the effectiveness of the rainwater storage. This study also analyses the changes in rainwater characteristics before and after subsequent chlorination disinfection. The stored rainwater was disinfected by chlorine and then analyzed for COD, TN, TP, enteric bacteria, and general microbial population changes over time. There was an observed 99% reduction of enteric bacteria and common microbes within two weeks after chlorine injection. Thus, chlorine disinfection of rainwater improves water quality for long-term storage and future use.

Keywords : Chlorine disinfection, Roof-harvested water, Rainwater storage, Water quality

1. 서론

세계 인구 및 물 수요는 급격하게 증가하고 있으나, 지구 전체의 수자원량은 거의 변함이 없어서 1인당 사용 가능한 물의 양은 감소하고 있다.(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs and K-water, 2011). 2000년도의 Population Action International (PAI)의 보고서에 의하면 지구는 2050년까지 적어도 세계 인구의 4명중 한명은 만성적으로 청정수 부족에 시달리는 국가에서 살게 될 것이라고 한다(Lee, 2008). 이러한 상황을 극복하기 위해 인도, 태국 등의 개발도상국과 독일, 일본, 미국 등과 같은 선진국에서는 빗물이용 방안을 강구하고 있다(Lee, 2008). 우리나라의 경우 연평균 강수량은 1,245mm으로 세계 평균 연강수량인 880mm에 비해 높기에(Jeong,

2006), 여름철 집중되는 빗물에 대한 적절한 효율적 이용계획 수립 및 적절한 사용을 한다면 향후 수자원 부족 문제에 대해 좋은 대안 중 하나로 고려될 수 있을 것이다.

최근 들어 국내에서도 빗물 이용에 대한 관심이 증가하여 여러 적용사례를 찾아 볼 수 있는데, 이 중 대표적인 빗물 적용사례는 서울 광진구 주상복합단지에서 설치된 S 주상복합단지로, 건물의 지붕 등을 이용하여 빗물을 저장하여 사용하고 있다. 이 건물은 건물에 내린 빗물 중 67% (23,000m³)를 용수로 사용하였다고 보고 하였다(Han, 2009). 최근 들어 지자체에서도 일반 건물에서의 빗물 사용에 차츰 적극적으로 호응하고 있는데, 예를 들어 지역의 월드컵 경기장 4곳(인천, 대전, 전주, 서귀포)에서의 사용이 대표적인 예이다.

[†] Corresponding author : ub1905ub@kroea.ac.kr

그러나, 지금까지의 지붕 빗물에 대한 연구는 주로 대규모 상가나 학교 같은 큰 건물 위주로 실시되어 왔고, 가정 단위 내 지붕 빗물을 모으고 이를 이용하는 기술에 대한 연구는 아직 미미한 수준이다. 국내 연구에서 실제 지붕 빗물에서 초기 우수(약 15분)에 빗물 오염 전체 부하에 약 60%에 해당하는 오염물질 을 포함하고 있어 빗물 저장을 통한 재이용을 위해선 초기 우수 배제가 필요하다고 제안하였다(Kim et al., 2012).

가정에서 빗물을 저장하여 사용하는 경우 가장 우려 되는 문제 중에 하나는 저장 기간 경과에 따른 미생물 번식 문제 이다(Kim at al., 2010). 따라서, 보통 저류시설을 지하에 매설하여 빗을 차단해 미생물 번식을 억제하는 것이 가장 일반적 방법이다(Kim, 2011). 그러나, 이러한 방법은 초기 빗물 수질에 영향을 받으므로 미생물 번식억제 효과를 정량적으로 기대하는데 어려움이 있다.

따라서, 본 연구의 목표는 빗물 저장 후 일반적인 가정용 염소소독 주입의 유무를 통해 장기적 빗물 저장시 수질유지에 얼마나 도움을 주는지 알아보는 것이다. 이를 위해, 첫째 초기 우수 (15분내) 이후 수

집된 우수의 수질 성상 [유기물(COD), 영양염류(TN, TP) 및 미생물 농도] 비교, 둘째 초기우수가 제외된 지붕 빗물의 수질성상 및 미생물의 변화를 소독처리를 하지 않은 빗물저장수와 가정에서 쉽게 사용할 수 있는 소독제를 사용한 빗물저장수로 나눠서 장기간 (약 50일)에 걸쳐 빗물 성상 변화를 모니터링 하였다.

2. 연구방법

2.1 지붕 우수 시료 채취

본 연구에서는 빗물 시료 채취지역을 향후 실제 빗물 저장시설 설치가 용이한 지역을 감안하여 고려대학교 세종캠퍼스 과학기술대학교 인근 4개 건물의 홈통을 선정하였다(Fig. 1). 본 연구팀은 2012년 9월에 강우시 연구 대상지역의 홈통을 통해 나오는 빗물의 초기 15분의 우수를 배제하여 채취하였으며, 10월까지 약 50 여일간 13회에 걸쳐 저장 빗물의 성상 변화 모니터링을 실시하였다. 빗물은 멸균된 채수통을 이용하여 홈통에서 직접 시료를 채취 하였다.



Fig. 1 The location of the target area and sampling point

2.2 저장 빗물 모니터링 방법

연구 대상지역에서 채취한 빗물 성상변화를 저장

기간에 따라 모니터링 하였다. 전술한 바와 같이 각각의 시료 위치구에서 빗물이 나오기 시작한 시점부터 15 분간의 빗물과 15분 후의 샘플로 각각 나눠서

채취하여 초기 15분의 빗물과 초기 빗물을 제외한 빗물의 성상을 확인하였다. 각 시료 위치구에서 채취된 초기 빗물을 제외한 시료는 크게 세 개로 나누어 준비하였다. 소독처리를 하지 않은 빗물, 차아염소산 나트륨 (NaOCl) 5 mg/L(최종 농도)를 주입한 빗물, NaOCl 20 mg/L를 주입한 빗물로 나뉘었다. 모니터링은 약 50일간 실시하였으며 실험기간 동안 각각 주2회 총 13회 차례 샘플 수집 후 성장변화를 모니터링하였다. 시료 채취한 빗물을 멸균처리가 된 2000 mL 유리병에 옮긴 후 인큐베이터를 이용하여 20°C에서 보관하며 성장변화를 관찰하였다(Fig. 2).

2.3 저장 빗물 성상 분석 방법

저장 빗물의 성상분석은 크게 유기물 및 영양염류

분석과 미생물 분석으로 나뉘 실시하였다. 영양염류 측정에는 T-N, T-P, 유기물 분석은 COD를 실시하였다. T-N, T-P는 수질공정시험법(제14항-1 흡광광도법, 제17항-1 아스코르빈산환원법)에 준하여 실시하였으며, COD는 HACH사의 DR 2010을 이용하여, COD Test Kit Low Range(0 to 150 ppm) 방법으로 측정하였다. 미생물 분석은 일반미생물, 장내미생물과 일반 및 장내 내성미생물중의 테트라사이클린 (tetracycline)내성균 분석을 실시하였다. 장내세균과 종속영양 미생물 측정에는 Agar MacConkey와 Agar R2A 배지 위에 배양시켜 평판계수법으로 계수하였다. Tetracycline 내성균 분석을 위한 배지 내 tetracycline 농도는 5 mg/L 을 이용하였다.

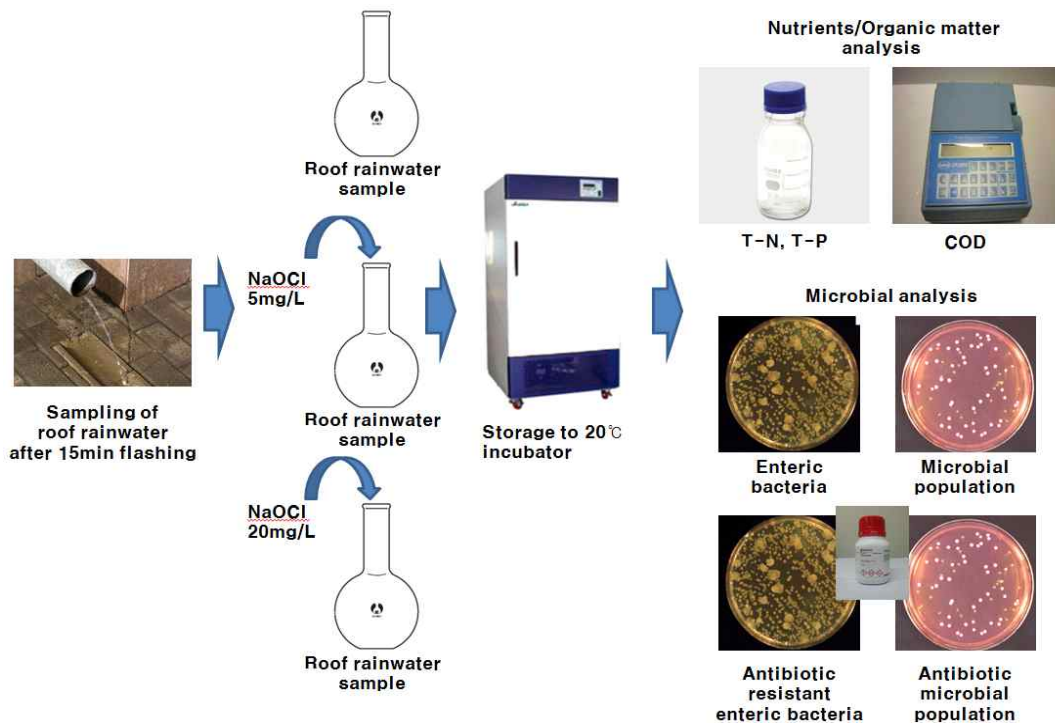


Fig. 2 Monitoring of storage rainwater

3. 결과 및 고찰

3.1 빗물 초기 성상

위에서 언급한 것처럼, 저장빗물의 영양염류 및 유기물 분석(T-N, T-P, COD)과 미생물분석(일반 미생물에 대해 저장기간에 따른 성장변화를 분석하였다. 각각의 홈통에서 지붕 빗물 유출수와 초기 15분간의 우수를 배제한 후 채취한 지붕 빗물 유출수의 초기 성

상은 Table 1과 같다.

본 저자의 선행 연구(Kim.외 2011)와 마찬가지로, 초기우수가 배제한 지붕 빗물은 초기우수가 포함된 지붕 빗물에 비해 오염물질의 농도가 비교적 낮게 나타났다. 예를 들어, 초기우수를 배제한 지붕빗물에서의 영양염류 농도의 경우(T-N, T-P COD), 초기우수가 포함된 지붕 빗물의 영양염류농도의 약 10% - 60% 정도임을 확인하였으며 장내 미생물의 경우 90% 이상 차이가 나는 것을 확인하였다.

Table 1. A comparison of characteristic rainfall water and rainfall water excepted first rain fall

Item	Rainfall water		Rainfall water excepted first rain fall	
	Range		Range	
T-N (mg/L)	7.8	~ 12.8	0.61	~ 7.67
T-P (mg/L)	0.17	~ 0.26	0.00	~ 0.12
COD (mg/L)	3.1	~ 7.7	1.26	~ 4.86
Enteric Bacteria (CFU/mL)	4700	~ 6900	1319	~ 5690
Microbial Population (CFU/mL)	500	~ 1800	11	~ 256

3.2 빗물 성상 변화 비교

3.2.1 T-N

모아진 빗물 내 T-N의 초기 농도는 2.57 ~ 7.67 mg/L (평균 3.40 mg/L)으로 나타났다. 정도의 차이는 있지만 저장된 빗물내에서의 T-N의 농도는 Fig.3과에서 보여지듯이 전체적으로 저장기간이 경과함에 따라 감소함을 알 수 있었다. 염소를 주입하지 않은 경우(0 ppm)에는 전체 50여일 동안 총 16%가 감소한 것으로 나타났다. 염소를 주입하였을 때 T-N 농도는 염소주입 초기에 급격히 감소하여, 약 50일이 경과한 이후에는 초기 농도 대비 각각 36% (5 mg/L), 78% (20 mg/L) 감소하였다.

보편적으로 빗물 내에서 총질소(T-N)에는 암모니아성 질소(NH₄-N)와 질산성 질소(NO₃-N) 등이 포함되어 있다(Kim at al., 2011). 암모니아를 포함하고 있는 빗물에 산화제인 염소를 주입하면 암모니아는 산화되어 질소가스(N₂)로 바뀔 수 있다(Kim at al., 2004). 이전 연구에서 빗물내에서의 암모니아가 총 질소내에 약 40%를 이루기에(Kim at al., 2011) 염소 주입을 증가시킬수록 암모니아 감소를 통한 T-N 감소가 이루어진 것으로 판단된다. 다만, 본 실험에의 빗물 저장 시스

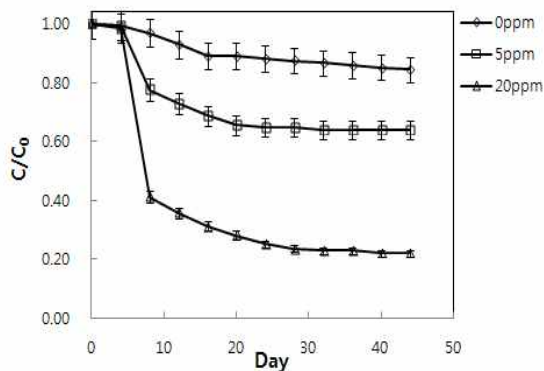


Fig. 3 Effect of storage time on T-N reduction

템에는 혼합 장치가 없었기에 초기 염소와 암모니아 반응 이후, 잔류 물질의 반응이 장기간에 걸쳐 서서히 이루어진 것으로 판단된다.

3.2.2 T-P

모아진 빗물 T-P의 초기 농도는 0.02 ~ 0.10 mg/L (평균 0.02 mg/L)의 범위를 나타냈다. T-P의 경우에도 염소 주입 초기에 T-P의 감소가 상대적으로 컸으며 그 이후 저장기간에 지남에 따라 감소되는 것을 확인하였다(Fig. 4). 염소를 주입하지 않은 저장빗물은 25%가 감소하였으며 5 mg/L의 염소를 주입한 경우 41%, 20 mg/L를 주입하였을 때는 52%의 감소하였고 이는 T-N의 감소율보다는 상대적으로 낮았다. T-P의 경우 초기 농도가 다른 오염물질에 비해 상대적으로 매우 낮았기 때문에 적은 양이 감소했음에도 높은 감소율로 나타났다. 염소 주입증가에 따른 T-P 감소증가 이유는 명확하지 않으나, 염소를 사용하여 소독을 하였기에 저장수내의 pH가 증가 되어 저장된 빗물에 남아있는 양이온 (Ca²⁺ 등)과 반응하여 화학적 침전을 이루어 인이 제거 되는 효과를 나타낸 것이라 판단된다. 왜냐하면 비록 본 실험에서 pH를 50일 동안 측정하지는 못하였으나, 염소 20 mg/L을 투입한 저장조의

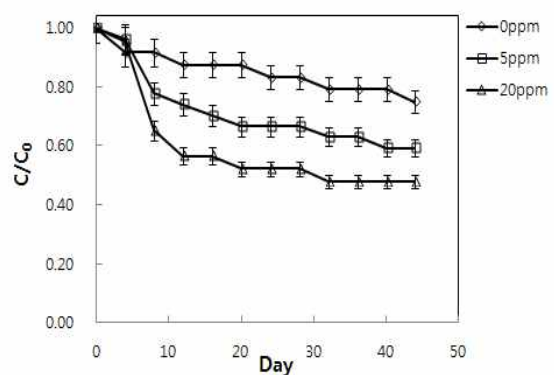


Fig. 4 Effect of storage time on T-P reduction

경우 약 일주일간 동안 pH가 평균 1.0 (pH 6.5에서 7.5)정도 증가하는 경향이 관찰되었기 때문이다.

3.2.3 COD

모아진 빗물에서 측정된 COD의 초기 농도는 약 1.26 ~ 4.86mg/L (평균 2.62 mg/L)의 범위로, 앞의 두 오염물질과 마찬가지로 저장기간에 따라 점차 감소하였고 염소 주입 첫날 COD의 감소폭이 크게 나타났다 (Fig. 5). 염소를 주입하지 않았을 때 39%의 감소하였고 염소 주입 농도가 5 mg/L 때 49%, 20 mg/L 때는 60%의 감소가 되는 것으로 확인하였다. 이는 위에서 언급하였듯이 염소는 산화제의 기능을 가지고 있으며, 염소와 빗물간의 산화반응으로 인해 COD 성분이 제거되며 또한 염소 주입의 농도가 높을수록 COD 감소폭이 높아진 것으로 판단된다(Treatment and management of environmentally friendly treated wastewater, 2005).

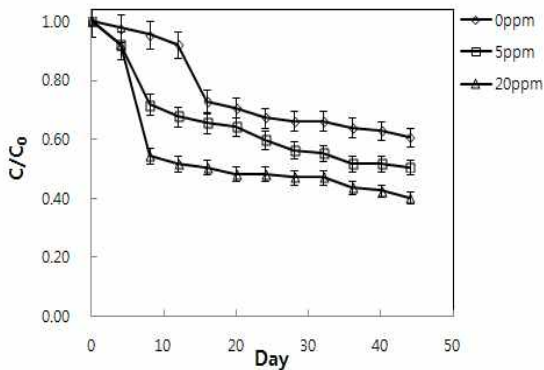


Fig. 5 Effect of storage time on COD reduction

3.2.4 일반 미생물 및 장내 미생물

초기우수를 배제한 지붕 빗물에서 일반 미생물과 장내 미생물을 각각 R2A, MacConkey plate를 이용하여 산정하였다. 일반 미생물 콜로니(CFU)는 1319 ~ 5690 CFU/mL (평균 3600 CFU/mL) 정도로 발견할 수 있었으며 장내 미생물 콜로니는 15 ~ 256 CFU/mL (평균 80 CFU/mL)의 정도의 범위정도에 포함됨을 확인하였다. 앞의 오염물질들과 마찬가지로 저장기간이 경과함에 따라 오염물질 농도가 감소하였다. 일반 미생물은 염소 소독을 하지 않은 경우 59% 감소되었으며 염소 주입농도가 5, 20 mg/L 일때는 저장후 약 2주가 지난 시점에서 99% 감소를 확인하였다(Fig. 6). 장내 미생물은 염소 소독을 하지 않았을 때 저장 한 달 후에 99% 감소하였으며 염소를 주입하였을 때는 농도에 관계없이 염소 주입 10일 후 99% 감소하였다

(Fig. 7). 저장한 빗물내에 미생물 성장에 필요한 영양 요소가 적어 자연적으로 감소한 것으로 판단된다. 적절한 수준의 염소 초기 주입은 미생물 성장 억제에 도움을 줄 수 있는 것으로 판단된다.

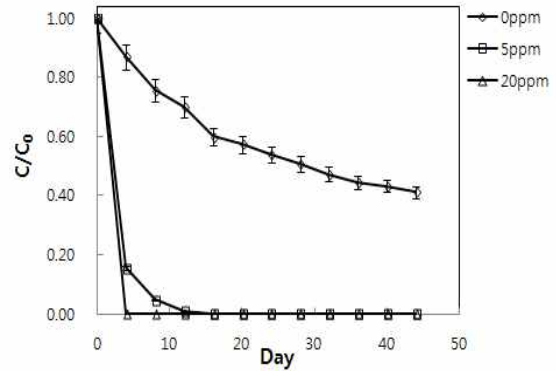


Fig. 6 Effect of storage time on heterotrophic bacteria reduction

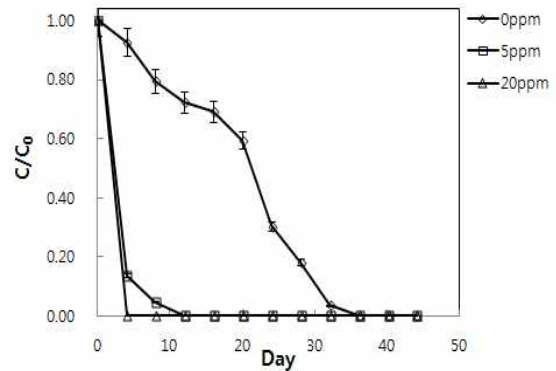


Fig. 7 Effect of storage time on enteric bacteria reduction

3.2.5 항생제 내성균을 가진 일반 미생물 및 장내 미생물

항생제 내성균이라 함은 항생제에 저항 할 수 있는 미생물을 지칭하며, 이는 공중 보건학적으로 보았을 때 인간에게 좀 더 큰 위협을 줄 수 있는 잠재력이 있다. (Seol, 2010) 항생제의 한 종류인 Tetracycline에 내성을 가지고 있는 일반 미생물과 장내 미생물은 일반 미생물과 장내 미생물에 대비해 매우 낮은 수치로 나타났다. 항생제에 내성을 가진 일반 미생물 콜로니(CFU)는 88 ~ 312 CFU/mL (평균 154 CFU/mL) 정도로 발견할 수 있었으며(Fig. 8) 항생제에 내성을 가진 장내 미생물 콜로니는 0 ~ 33 CFU/mL (평균 24 CFU/mL)로 나타났다(Fig. 9). 항생제 내성을 가진 일반 미생물은 염소 소독을 하지 않은 경우 60%가 감소되었으며 염소를 주입하였을 때는 5, 20mg/L 모

두 저장 10일 이후에 99% 감소하였다. 장내 미생물의 경우 염소를 주입한 것과 주입하지 않은 빗물 모두 빗물 저장 15일 후 99% 감소하는 것으로 나타났다.

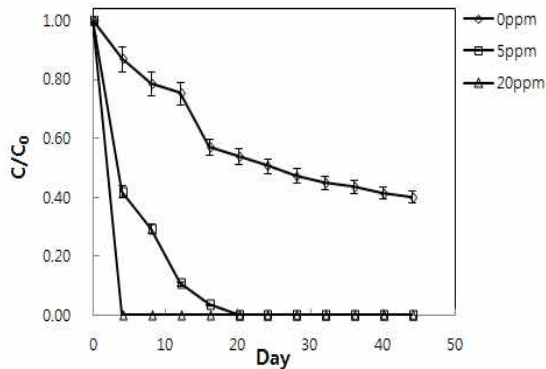


Fig. 8 Effect of storage time on heterotrophic bacteria reduction to antibiotic resistance

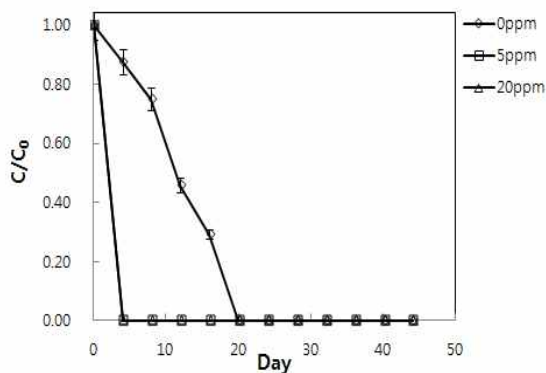


Fig. 9 Effect of storage time on enteric bacteria reduction to antibiotic resistance

4. 결론

인구의 증가에 따른 청정수의 감소로 인해 수자원 확보 개념의 변화가 요구되고 있으며 이에 따라 빗물의 재이용에 대한 관심이 급증하고 있다. 따라서 본 연구에서는 초기 우수를 배제한 지붕 빗물을 저장하여 염소소독에 따른 빗물의 성상변화를 모니터링 하였다. 이에 대한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 조사 연구대상 지역에서 배수관을 통해 배출되는 초기 15분의 우수를 제외한 빗물 시료를 채취 후 저장하여 영양염류 및 미생물에 대해서 측정된 결과, 염소를 주입하였을 경우 평균 80%가 감소된 것으로 나타났다.
- 2) T-N, T-P, COD는 염소주입 초기에 급격한 감소

를 보였으며 저장 약 50일 후 T-N 57%, T-P 46%, COD 55% 감소하였다. 이는 염소주입으로 인해 NH3-N의 감소, T-P 침전, COD 산화 등이 원인으로 판단된다.

- 3) 일반 미생물 및 장내 미생물은 염소를 주입한 초기에 99% 감소함을 보였다. 항생제에 내성을 가진 일반 미생물 및 장내 미생물 또한 염소 주입 초기에 99% 감소된 것을 확인하였다.
- 4) 초기 우수가 배제된 빗물에 일정량의 염소를 주입하는 것은 빗물을 장기 보관할 때 수질개선에 도움을 줄 수 있는 것으로 판단되었다. 향후 빗물 장기 저장시 적정 수준의 염소농도 결정을 위한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

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

Reference

- Lee, TG (2008), Foreign rainwater utilization practices, Public Officials Benefit Association, 43(476), pp. 42-57.
- Jeong, CS and Goo, BS (2006), Statistical data of Korea water resource managements, *J. of Korean Society of Civil Engineers*, 54(7), pp. 130-138.
- Han, MY and Mun, JS (2009), An economical analysis of the rainwater harvesting(RWH) system at the S Residential and Commercial Complex, *J. of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, 25(12). pp. 173-181
- Kim, JU (2004). *Effect of chlorination on the DBPs formation in the discharged wastewater*, Master's Thesis, Daejeon University, Deajeon, Korea.
- Kim, SP, Kim, DC, Oh, JS, Kim, LH, and Min, KS (2011). The basic study for the roof-harvested rainwater quality characteristics as a function of rainfall duration, *J. of Korean Wetlands Society*, 14(1), pp. 11-20.
- Kim, CK (2011). A study on the rainwater quality monitoring and the improvement, collection and storage system, *J. of Korean Society of Clean*

- Technology*, 17(4), pp. 353-362.
- Kim, DC, Oh, JS, Kim, LH, Min, KS, and Kim, SP (2012). The fate of pollutants in effluent of roof-harvested rainwater as a function of time, *J. of Korean Society on Water Quality*, pp. 492-493.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs and K-water (2011). *Water for the Future*, K-water Company, pp. 10-15. Deajeon, Korea
- Seol, KH, Lee, SG, Kim, HW, Ham, JS, Jang, AR, Han, GS, Kim, DH, and Oh, MH (2010). Analysis of microorganisms and antibiotic resistance in dairy farms and raw milk, *J. of Korean Dairy Technology and Science Association*, 28(2), pp. 7-11.
- 논문접수일 : 2013년 09월 04일
 - 심사의뢰일 : 2013년 09월 17일
 - 심사완료일 : 2013년 10월 15일