

광주지역 빗물이용시설의 수질특성에 관한 연구

안상수[†] · 위환 · 윤상훈 · 장서은 · 정숙경 · 조영관 · 김은선

광주광역시 보건환경연구원 환경연구부

Characteristics on Water Quality of Rainwater Harvesting System in Gwangju

Sang-Su An[†], Whan Wi, Sang-Hoon Yoon, Seo-Eun Jang, Suk-Kyoung Jeong,
Young-gwan Cho, and Eun-Sun Kim

Gwangju Metropolitan Health & Environment Research Institute,
Department of Environmental Engineering, Gwangju 61986, Korea

Received February 26, 2016/Revised March 10, 2016/Accepted March 22, 2016

To investigate the characteristics of rainwater quality as pH, color, turbidity, EC (electronic conductivity) and heavy metals in Gwangju area, 43 samples were collected at initial rainfall amounts over 3 mm/day during March to October in 2015. For 32 samples over 5 mm/day rainfall amount, pH was 4.8~6.5, and turbidity, color and NH₃-N were 0.77~97.88 NTU, 4~16 degree, 0.6~12.0 mg/L, respectively, which are exceeding the drinking water standard. Heavy metals (except for Fe, Zn and Cu), volatile organic compounds and pesticides were not detected. Concentrations of color and turbidity in rainwater were decreased contrarily to the lapsed time at the storage, whereas the concentration of Zn was not so much changed compare to the initial state. Particulate matter (PM10) in air has the negative correlation with pH and positive correlations with turbidity, color and EC in rainwater. Seasonal variation showed that pH, DO, turbidity, color and EC in spring was lower than in summer with the influence of rainfall frequency and amount. Rainwater quality of pH, color and turbidity was lowered depending on the lapsed time for 10 days. pH was a little higher at concrete storage tank than at FRP storage tank because alkaline compound as CaCO₃ flow out of the concrete surface, whereas turbidity was a little higher at FRP storage tank than at concrete storage tank.

Key words: Rainwater harvesting system, Turbidity, Color, Concrete storage tank, FRP storage tank

1. 서 론

우리나라는 여름에는 남동계절풍의 영향으로 고온 다습하고 겨울에는 북서 계절풍으로 한랭 건조한 전형적인 대륙성 기후를 보이며 연도별, 계절별, 지역별, 강수량의 편차도 심하다. 또한 국토의 65%가 산악 지형으로 홍수의 위험성이 크고 갈수기에는 유출량이 적어 수자원의 이용 면에서 불리한 조건을 안고 있다.

그동안 증가하는 물 수요에 대처하기 위해 대형 댐 또는 저수지를 축조하여 수자원을 확보하는 정책을 추

진하였으나 환경파괴의 논란과 수몰주민의 반대 등으로 대형 댐 설치의 한계에 도달하였다. 대체 수자원의 개발과 함께 물 절약, 중수도 시설 의무화 등 물 수요 관리 정책을 추진하고 있으나 점차 증가하는 물 수요를 충족하기에는 부족한 실정으로 대체 수자원으로 빗물에 대한 관심이 증가하고 있다. 우리나라에 내리는 빗물 중 이용되지 않고 바다로 흘러가는 연간 400억 톤의 물을 이용하면 부족한 수자원을 대체할 수 있는 등 빗물의 활용이 강조되고 있다.¹⁻³⁾

빗물은 물 부족을 해결하기 위한 대체 수자원으로 가

[†]To whom correspondence should be addressed.

장 효과적인 방법으로 주목받고 있으며 세계적으로 많은 국가에서 그 이용사례가 증가하고 있으며, 빗물 모으기 운동이 확산되고 있다.^{4,5)} 최근 강우의 특성은 강우패턴 변화에 따른 강우상의 불균형으로 연간 강우량은 증가되고, 강우패턴은 순간적인 집중호우와 무강우일수증가 등의 이상기후 현상을 보이고 있다. 빗물의 수질은 그 특성상 기후상태와 대기오염의 영향을 가장 크게 받는다.⁶⁾ 대기오염과 관련해서는 빗물 자체의 수질보다는 산성우와 관련된 연구가 대부분이었으나²⁰⁾ 최근에는 빗물의 효율적인 이용을 위한 빗물이용시설의 수질과 집수방법에 관한 연구도 병행하여 이루어지고 있다.⁹⁾

빗물이용시설은 일정한 집수면을 거친 빗물을 저장조로 유입시켜 필요한 용도에 맞게 이용하는 시설이다. 대기중에 노출된 집수면은 각종 대기 침적물에 의해 오염물질이 축적되게 된다. 오염물질은 강우시 빗물에 씻겨 저장조로 유입되어 저장된 빗물 수질에 영향을 미친다.⁷⁾ 초기우수와 저장된 빗물은 빗물의 집수 특성상 수질의 변화가 클 것으로 예상할 수 있다. 저장된 빗물은 집수 시 콘크리트나 그 외의 지붕면을 통해 집수가 이루어지기 때문에 초기우수에 비해 오염의 정도가 클 것으로 예상된다. 이는 내리는 빗물은 대기오염의 정도에 따라 빗물의 수질이 결정되지만 저장된 빗물의 경우 대기오염 외에도 집수면의 오염 정도도 빗물의 오염도를 결정하는 중요한 요소가 된다.⁸⁾

본 연구에서는 공공시설이나 다량의 물을 소비하는 산업현장, 아파트단지 등에 빗물이용시설 확대를 위한 수질 자료를 제공할 목적으로 광주지역에 위치한 일부 빗물이용시설을 대상으로 초기우수와 저장된 빗물의 수

질을 조사하였고, 저장된 빗물은 저류일수 경과에 따른 수질 변화를 파악하였으며, 빗물이용시설의 집수면과 저장조 재질에 따른 수질분석을 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구대상 및 기간

광주지역 빗물이용시설 수질특성을 조사하기 위해 빗물이용시설을 설치 운영 중인 김대중컨벤션센터 1, 2와 광주보건환경연구원 옥상에 본 연구를 위해 제조한 초기우수 집수장치 및 빗물저장시설을 대상으로 2015년 3월부터 10월까지 김대중컨벤션센터의 빗물이용시설은 2주 1회, 광주보건환경연구원 옥상에 설치한 초기우수와 빗물저장시설은 43회 시료를 채취하여 분석하였다.

2.1.1. 초기우수 집수장치 및 빗물저장시설 제작

초기우수 수질조사를 위한 빗물집수장치는 가로×세로 1 m²의 아연도강판을 집수면으로 하였고, 5 L의 채수용기를 장치하여, Fig. 1과 같이 제조 설치하였다. 김대중컨벤션센터의 집수면과 같은 재질의 아연도강판 집수면은 옥상 바닥으로부터 1 m 높이에 위치되도록 하였고 집수면은 빗물의 원활한 배수를 위하여 약 5도의 경사를 이루도록 하였다.

2.1.2. 집수면과 저장조의 재질별 비교

빗물저장시설의 수질특성을 파악하기 위해 집수면이 콘크리트 재질로 된 광주보건환경연구원의 옥상 Fig. 2(a), 2(b)와 집수면이 아연도강판으로 된 김대중컨벤션센터 Fig. 2(c)의 빗물이용시설을 대상으로 하였으며, 집

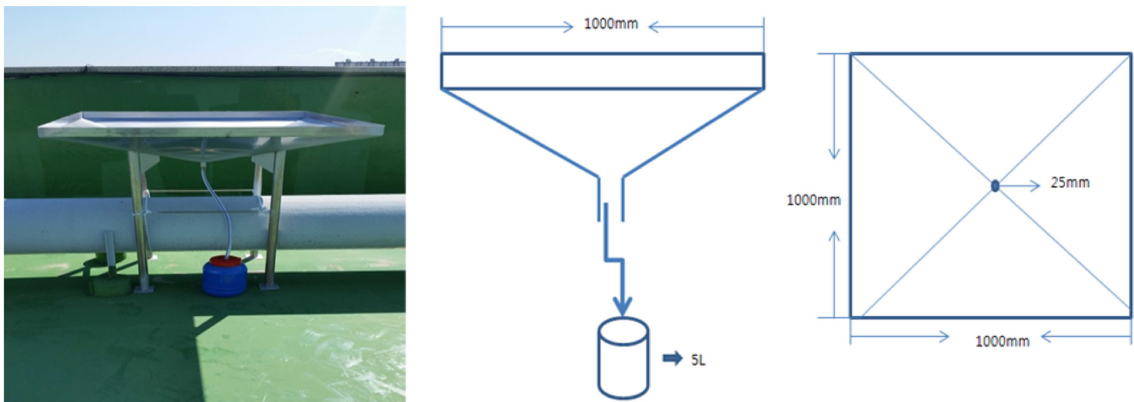


Fig. 1. The initial rainfall Harvesting device manufactured in this study.

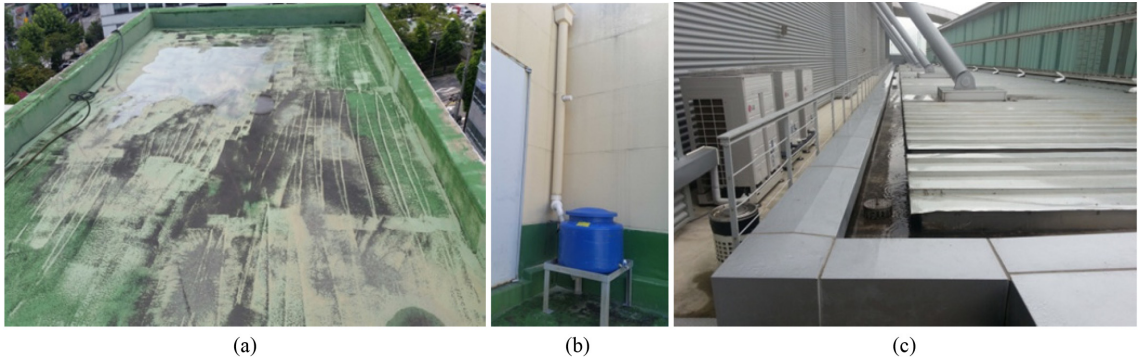


Fig. 2. The Roof of the collection surface (a) and FRP material storage rainwater tank (b) of Health and Environmental Research Institute in Gwangju and roof of galvanized steel of Kimdaejung convention center (c).

수면과 저장조 재질을 비교하기 위해 광주보건환경연구원에는 이번 연구를 위해 100 L의 빗물저장시설을 설치하였다.

2.2. 시료채취 및 시험방법

빗물 시료채취는 초기우수의 경우 강우시작부터 강우량이 1~3 mm일 때 채수하였고 저장된 빗물의 경우는 비가 내린 다음날 무균 채수병에 1 L을 채수하였으며, 현장에서 직접 수온과 수소이온농도(pH), 용존산소(DO), 전기전도도(EC)를 측정하였다.

연구대상 빗물은 생활용수로 사용하고 있지만 비상시 먹는물로 사용가능한가를 파악하기 위해 먹는물수질공정시험기준에 따라 심미적 영향물질, 유기물질, 무기물질 등 먹는물 수질기준항목에 포함된 46항목에 대하여 도 시험하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 초기우수와 저장된 빗물의 수질특성

3.1.1. 초기우수의 수질특성

광주지역에는 연구기간인 2015년 3월부터 10월까지 총강수량은 848 mm였으며, 3 mm 이상 비가 내린 날은 43일이었다. Fig. 3은 강우량에 따른 빗물의 이화학성분의 월별 평균 농도로 강우일수와 강우량에 따라 pH, 탁도, 색도, 전기전도도의 값이 변화를 보였다.

초기우수의 월별 평균 pH는 5.8~6.3으로 모두 약산성으로 나타났다. 이는 2가 양이온 성분들과 암모니아성 질소 등의 오염물질이 빗물에 씻겨 내리므로 강수량이 많아질수록 pH는 높아지는 경향을 보이며 공기 중의 산소포화에 의한 영향으로 판단된다.¹⁹⁾

초기우수의 월별 평균 탁도는 0.75~28.63 NTU로 초기강우 1 mm 이상에서 25.36 NTU 뿐만 아니라 10

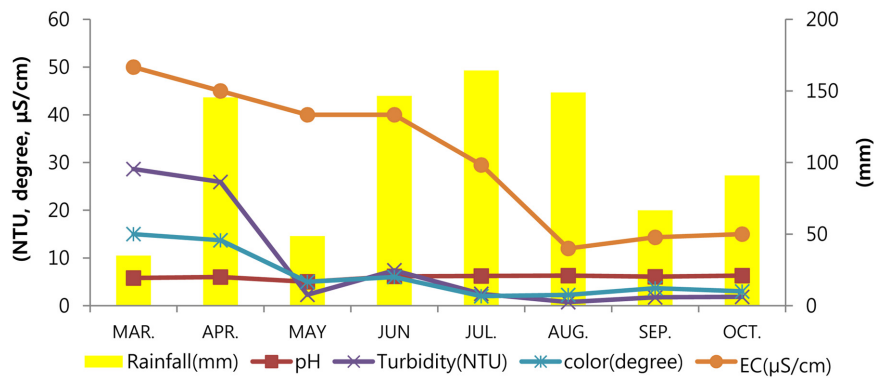


Fig. 3. The variation of pH, turbidity, color and EC by rainfall.

mm 이상에서도 0.58 NTU로 검출되었으며, 색도도 탁도와 유사하게 2~15도로 검출되었다. 이는 2015년 1월과 2월 강우빈도가 10회였고 강우량이 71 mm로 다른 달에 비해 적었으며, 2월(2회)과 3월(6회)의 열은 황사로 지붕면에 퇴적된 먼지 등의 영향으로 3월과 4월 빗물의 탁도와 색도가 증가한 것으로 판단된다. 따라서 빗물이 용시설을 설치할 때는 색도와 탁도를 고려하여 초기우수의 분리제거 등의 대책이 필요하다(Fig. 3).⁹⁾

대기나 강수 중 산성물질을 중화시키는 역할을 하는 월별 평균 암모니아성질소의 농도는 0.27~2.80 mg/L로 초기 우수에서 먹는물 수질기준인 0.5 mg/L를 초과하여 검출되었는데 이는 대기 중의 암모니아성질소의 농도의 영향으로 추정된다.⁶⁾

금속성분의 월별 평균 농도는 구리가 0.003~0.017 mg/L, 아연이 0.196~3.247 mg/L, 철이 N.D~0.013

mg/L 등과 같이 아연을 제외하고 먹는물 수질기준을 초과하지 않았으며, 아연의 경우 아연도강판으로 된 집수면의 재질의 영향^{8,12)}과 약산성인 빗물의 pH로 인해 용출된 것으로 판단된다. 건강상 유해영향 무기물질인 납, 비소, 수은, 셀레늄, 보론, 카드뮴, 6가크롬 등과 휘발성유기화합물 및 영양성분 등은 검출되지 않았다(Table 1).

3.1.2. 대기오염물질과 초기우수의 상관분석

빗물저장시설의 인근에 위치한 대기오염측정소에서 측정된 대기오염물질과 초기우수의 이화학적분 간의 상관성을 분석한 결과, pH와는 역상관 관계를 나타냈으나, 미세먼지(PM10)와 탁도, 색도, 전기전도도는 정상관성을 보였다. 즉, pH는 먼지의 영향이 적었지만 먼지의 농도가 높을수록 탁도, 색도, 전기전도도 또한 높은 농도를

Table 1. Water quality of metal element of rainwater in this study

Month/Item	NH ₃ -N (mg/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Fe (mg/L)
Mar.	0.22~0.34	-	-	-
mean (n=4)	0.27	-	-	-
Apr.	0.36~1.60	N.D~0.062	0.011~8.722	N.D~0.011
mean(n=8)	0.87	0.017	1.650	0.013
May.	0.52~1.51	N.D~0.009	0.045~4.367	N.D
mean(n=4)	1.02	0.003	1.498	N.D
Jun.	0.06~1.62	N.D~0.024	1.444~1.696	N.D
mean(n=4)	0.79	0.008	1.570	N.D
Jul.	0.63~2.80	N.D~0.017	1.500~4.989	N.D~0.008
mean(n=9)	2.80	0.015	3.247	0.004
Aug.	0.12~2.21	N.D~0.022	0.016~0.215	N.D~0.008
mean(n=9)	0.81	0.017	0.196	0.004
Sep.	0.28~0.94	N.D~0.015	0.055~0.607	N.D
mean(n=4)	0.89	0.013	0.331	N.D
Oct.	0.35~0.84	N.D~0.018	0.035~0.274	N.D~0.004
mean(n=3)	0.75	0.015	0.256	0.004

Table 2. Correlation coefficient of air pollutants and initial rainwater quality in Gwangju (n=43)

	Air pollutants				pH	Initial rainwater quality		
	PM-10	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Fe (mg/L)		Turbidity (NTU)	Color (degree)	EC (μS/cm)
PM-10	1							
Cu (mg/L)	0.374	1						
Zn (mg/L)	0.296	0.771	1					
Fe (mg/L)	0.829	0.765	0.5622	1				
pH	-0.324	-0.141	0.0058	-0.429	1			
Turbidity (NTU)	0.608	0.032	-0.190	0.428	-0.116	1		
Color (degree)	0.663	0.097	-0.172	0.498	-0.247	0.985	1	
EC (μS/cm)	0.820	0.004	0.007	0.600	-0.512	0.762	0.795	1

나타내는 것을 알 수 있었다(Table 2).

이러한 결과는 빗물에 함유된 성분과 대기오염 물질이 비슷하다는 연구결과²⁰⁾에서 나타난 바와 같이 이화학물질의 발생원이 동일하거나 비슷한 성질로 존재하기 때문인 것으로 생각된다.

3.1.3. 초기우수와 저장된 빗물의 수질특성 비교

일정한 집수면을 거친 빗물을 저장조로 유입시켜 필요한 용도에 맞게 이용하는 시설이 빗물이용시설이다. 이러한 빗물이용시설의 저장조 빗물은 집수 시 콘크리트나 그 외의 지붕면을 통해서 집수가 이루어지기 때문에 초기우수보다 대기오염외에도 집수면의 오염상태가 빗물의 오염도를 결정하는 중요한 요소가 된다.

초기우수와 저장된 빗물의 수질을 비교하면 초기우수의 pH는 4.8~6.5, 저장된 빗물의 pH는 5.8~7.1이었다. 한치복 등⁹⁾과 김영진 등¹⁰⁾의 경우에도 초기우수의 pH가 각각 4.3과 5.6에서 저장된 빗물의 pH가 각각 6.0과 8.0으로 증가하였는데 이는 빗물이 콘크리트와 아연도강판 집수면의 영향과 공기중의 산소와 접촉함으로써 pH가 상승한 것으로 판단된다(Fig. 5).

색도와 탁도의 경우도 초기우수보다는 저장된 빗물의

경우 농도가 감소하는 것으로 나타났으며, 초기우수의 평균 색도는 6도였지만 저장된 빗물의 경우 평균 2도로 저장된 빗물의 농도가 감소한 것으로 나타났다. 저류 초기의 아연농도는 0.117 mg/L로 저류시간 경과에 따른 농도 변화를 보면 감소하지 않고 계속 검출되는 것으로 보아 수중의 아연은 침전에 의한 제거가 되지 않지만 미량 검출되었다. 이러한 결과는 초기우수에 비해 대기오염물질의 영향을 받은 저장조의 빗물이 오염도가 높을 것으로 예상하였으나, 물 재이용시설 운영관리 업무지침²¹⁾에 따른 빗물이용시설의 유지관리로 저장조의 빗물이 초기우수보다 오염도가 낮아진 것으로 판단된다.

3.2. 강우시기별 저장된 빗물의 수질 특성

광주지역에 내리는 빗물의 강우시기별 수질특성을 파악하기 위해 봄철(3~5월), 여름철(6~8월), 가을철(9~10월)에 총 43회 측정된 평균값을 사용하였으며, Table 3에 나타내었다. 봄철, 여름철과 가을철에 376 mm, 476 mm, 158 mm의 강우량을 기록했다.

강우시기별로 조사된 평균 pH는 여름철과 가을철이 6.2로 봄철의 5.6보다 높게 나타났다. 반면에 탁도와 색도, 전기전도도, 용존산소는 봄철에 높게 나타났다. 탁

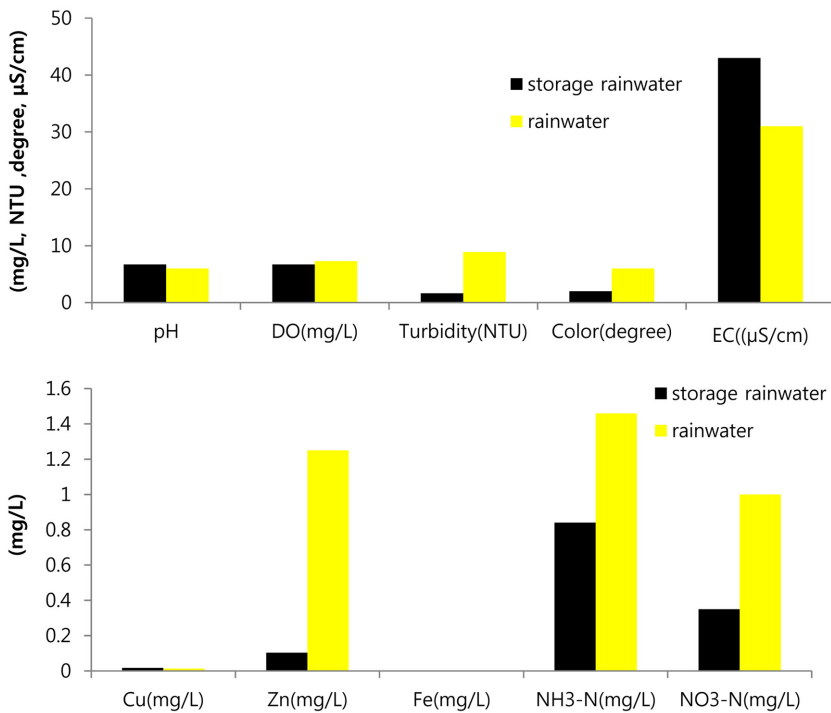


Fig. 4. Comparison on quality of initial rainwater and stored rainwater.

Table 3. The seasonal variation of rainwater quality in Gwangju

Item/ Season	pH	DO (mg/L)	Turbidity (NTU)	Color (degree)	EC (μ S/cm)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Fe (mg/L)
Spring	5.6	9	18.95	11	45	0.007	1.049	0.004
Summer	6.2	6	3.54	3	27	0.018	1.671	0.003
Autumn	6.2	7	1.80	3	15	0.014	0.294	0.002

도는 봄철에 각 18.95 NTU에서 여름철에 3.54 NTU로 낮아졌으며, 색도도 봄철에 11도에서 여름철에 3도로 감소하였다. 전기전도도(EC)의 경우도 봄철 45 μ S/cm에서 여름철 27 μ S/cm으로 감소하였으며, 용존산소(DO) 또한 봄철의 9 mg/L에서 여름철의 6 mg/L로 감소하였다. 이는 봄철 총 6회의 열은행사로 인한 대기오염의 영향으로 탁도와 색도의 농도가 높게 검출되었다. 또한 봄철에 비해 여름철에 강우 빈도와 강우량 증가에 따라 대기오염 세정효과로 여름철에 농도가 낮게 나타났으며, 용존산소의 경우는 기온 상승에 따른 포화율 감소의 영향으로 판단된다.

3.3. 저류시간 경과에 따른 저장조 빗물의 수질특성

빗물의 저류시간 경과에 따른 수질 변화를 파악하기 위해 2015년 8월 10일부터 19일까지 저장된 빗물을 10일간 매일 수질분석을 실시하였다. 저장조 빗물은 저류시간이 경과하면 자연 침전이나 화학적 반응 등을 통하여 수질이 안정되는 것으로 알려져 있다.^{11,12)}

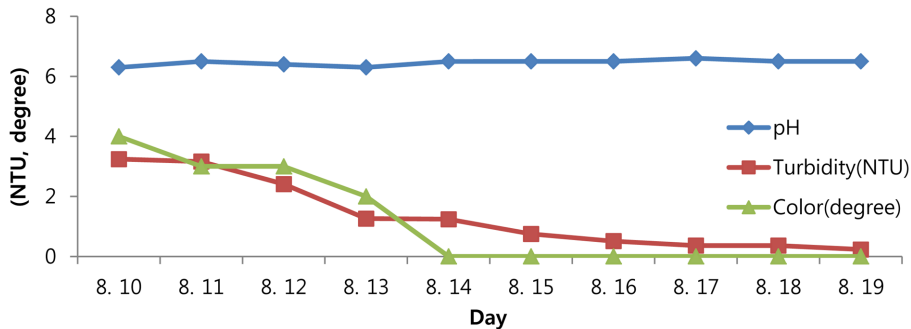
pH는 비가 그친 초기에는 5.9이었지만 저장조에 저장된 후 6.5로 증가하여 시간이 지남에 따라 일정 기간 동안 pH가 상승한다는 문헌과 유사한 결과를 얻을 수 있었다.^{13,14)}

저장 빗물의 1일째 색도는 4도로 시간이 지남에 따라 색도의 농도는 감소하여 측정을 시작 후 5일이 경과하

면 0도로 나타났다. 초기우수 탁도는 10.20 NTU로 매우 높은 수준이었으나 저장 빗물의 1일째 탁도는 3.4로 낮아져 침전 등의 영향으로 6일 경과후 1 NTU 이하로 낮아져 먹는물수질기준을 만족하기 위해서는 최소 6일 정도의 저류시간이 필요함을 알 수 있다(Fig. 5). 탁도는 혼탁의 정도에 따라 시각적으로 거부감을 줄 수 있고, 중금속이나 다른 오염물질과 흡착할 수 있는 매질로 작용하기 때문에 빗물의 수질관리에서 중요하게 다루어야 한다.

초기우수의 금속성분 중 아연의 농도는 0.117 mg/L로 빗물 저류 초기의 아연농도 0.131 mg/L와 거의 변화가 없어 지붕 집수면의 재질에 의한 영향과 집수지역의 대기환경과 집수면 표면에 침적된 오염물질의 영향을 받는 것으로 보인다.^{7,15)} 저류시간의 경과에 따른 농도 변화를 살펴보면 10일 경과후 농도가 초기 농도의 50% 수준으로 감소하지만 이후에도 계속 검출되고 1 mm 이하로 비가 내린 8일째 다시 증가하는 것은 수중의 아연은 침전에 의한 제거가 어려운 것으로 생각할 수 있다. 아연은 집수면이 아연도강판인 경우 콘크리트 보다 더 높은 농도로 검출되는 것으로 알려져 있는데¹⁶⁾ 빗물이 용시설 설계시 집수면이나 저장조 재질 선정에 있어 아연 용출에 주의를 기울여야 할 것으로 판단된다.

구리(0.010~0.037 mg/L), 아연(0.006~0.141 mg/L), 철(N.D~0.012 mg/L)은 농도의 큰 변화가 없고, 대기환

**Fig. 5.** The variation of aesthetic material concentration during the stored period of rainwater.

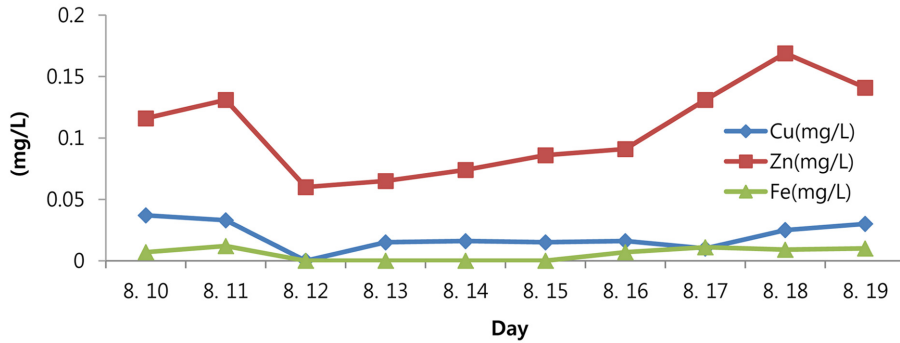


Fig. 6. The variation of metal element concentration during the storage period of rainwater.

경 등의 영향을 크게 받지 않은 것으로 나타났다(Fig. 6).

저류시간에 따른 암모니아성질소의 초기 농도는 2일째까지는 2.12~2.21 mg/L로 높았지만, 3일째부터는 0.44 mg/L로 낮아져 4일째에는 0.12 mg/L로 최저를 보이다 점진적으로 증가하여 0.70~0.78 mg/L 범위를 보였으며, 질산성질소는 초기 2일째까지 1.3~1.4 mg/L였다가 3일째부터 0.52~0.70 mg/L가 유지되었다 이는 저류시간 경과에 따른 침전의 효과로 판단된다(Fig. 7).

3.4. 집수면과 저장조 재질에 따른 수질 비교

본 연구에서는 빗물의 집수와 저장에 일반적으로 사용하는 집수면이 아연도강판 재질이고 저장조가 콘크리트로 된 경우(Roofing Materials 1)와 집수면이 콘크리트 재질이고 저장조가 FRP(Fibre-reinforced plastic)인 경우(Roofing Materials 2)의 2가지 형태를 비교하였다(Fig. 8).

pH는 집수면과 저장조가 콘크리트와 FRP 재질인 경우가 6.5이고 아연도강판과 콘크리트 재질인 경우 6.8로 접촉시간이 더 많은 콘크리트로 된 저장조가 더 높게 나

타났다. 일반적으로 초기우수의 pH가 4.0~6.0 정도의 범위를 나타내는 것과 비교해 볼 때 집수면을 거치고 저장조에 저장되는 동안 pH는 상승하여 알칼리성으로 변하였는데 이는 기존 연구에서도 집수면으로 거친 빗물의 pH는 지붕면 재질에 따라 7~9 범위를 나타낸다고 하였다.¹⁸⁾

색도와 탁도는 집수면 및 저장조 재질에 따라 큰 차이를 보이지 않았지만 저장조의 경우 콘크리트보다 FRP 저장조에서 탁도가 높게 검출되었다. 하지만 집수면과 저장조 재질을 달리하여도 색도와 탁도의 오염정도가 크지 않음을 알 수 있었다.

집수면과 저장조별 전기전도도의 측정결과 집수면의 경우 콘크리트 34 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 아연도강판의 경우 46 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 나타났으며, 저장조의 경우 콘크리트 47 $\mu\text{S}/\text{cm}$, FRP 25 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 저장조별 전기전도도의 차이는 콘크리트 포장 영향으로 이온들의 용출에 의한 결과라 여겨지며, 수돗물이나 지하수의 전기전도도 값보다는 낮은 범위로 나타났다.

용존산소의 경우 저장조에 따른 변화는 크지 않은 것

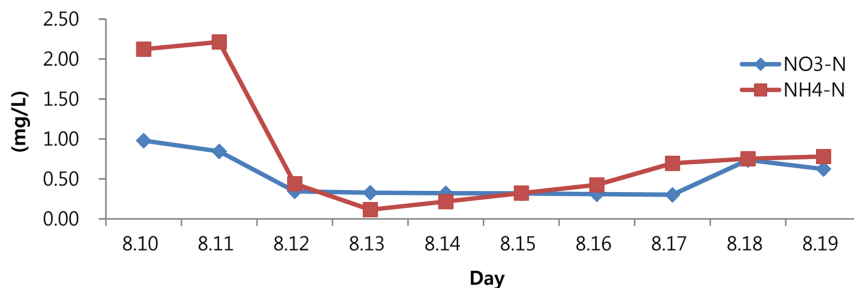


Fig. 7. The variation of ammoniac nitrogen and nitric nitrogen concentration during the storage period of rainwater.

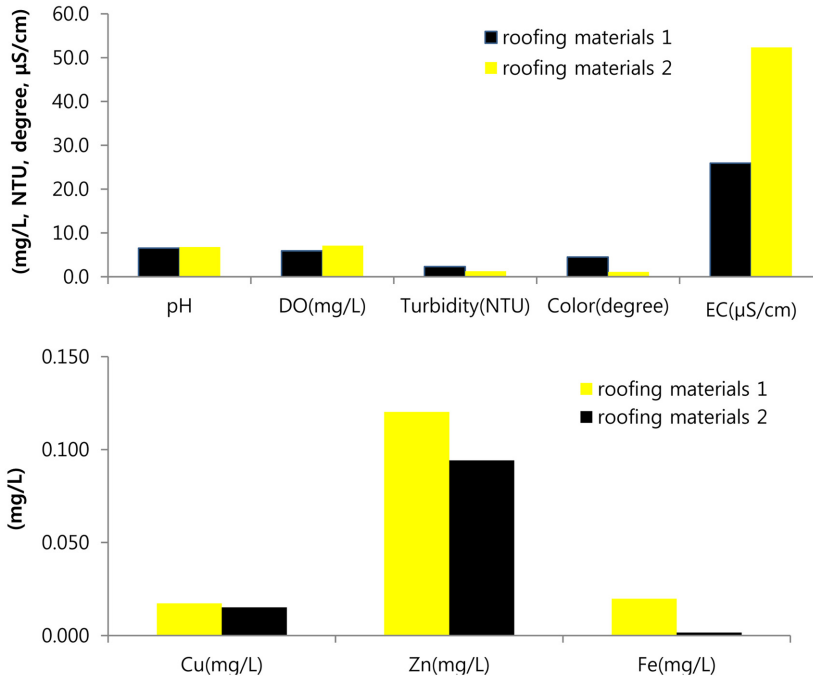


Fig. 8. Comparison of the harvested rainwater quality according to roofing materials.

으로 나타났으며, 금속성분에서는 아연도강판 집수면과 콘크리트 저장조가 콘크리트 집수면과 FRP저장조보다 아연농도가 높게 검출되었다 이는 아연도강판 재질에서 아연이 용출된 것으로 판단되며, 그 외 중금속은 미량 검출되었거나 불검출되었다.

4. 결 론

본 연구는 빗물이용시설 확대를 위해 광주지역의 빗물이용 현황과 빗물 수질 특성을 파악하고 초기우수와 저장된 빗물의 수질 특성과 계절변화에 따른 시기별 수질특성, 저류시간 경과에 따른 빗물의 수질변화를 조사하였다. 또한 빗물을 이용하기 위해서는 집수면과 저장조가 필요하므로 집수면과 저장조의 재질을 비교 분석하여 다음과 같은 연구결과를 얻을 수 있었다.

1. 초기우수를 대상으로 한 월별 평균 수질은 pH 5.8~6.3, 탁도 0.75~28.63 NTU, 색도 2~15도였으며, 금속성분 중 구리는 N.D~0.017 mg/L, 아연은 0.196~3.247 mg/L, 철은 N.D~0.013 mg/L로 아연을 제외하고 먹는물수질기준 이내였다. 이외에도 건강상 유해무기물질, 휘발성유기화합물, 농약성분 등은 전체 연구기간 중

검출되지 않았다. 또한 대기오염물질과 초기우수의 이화학적분 간의 상관성을 분석한 결과 pH와 역상관 관계를 나타냈으나, 미세먼지(PM10)와 탁도, 색도, 전기전도도는 정상관성을 보였다.

2. 초기우수와 저장된 빗물의 수질특성은 초기우수의 경우 pH 4.8~6.5에서 pH 5.8~7.1 증가하였고, 색도는 초기우수에서는 평균 6도이었으나 저장된 빗물의 경우 2도 이하로 나타났다. 탁도 또한 초기우수 8.88 NTU에서 1 NTU 이하로 검출되었다. 아연농도는 0.011~0.232 mg/L로 먹는물 수질기준인 3 mg/L에 미치지 못하였고, 구리, 철 등은 미량 검출되거나 불검출되었다.

3. 강우시기별 저장된 빗물의 수질특성은 봄철의 열은 황사로 인해 탁도, 색도 등이 여름철에 비해 높은 것으로 나타났으나, pH의 경우는 봄철(5.6)이 여름철(6.2)에 비하여 낮게 나타났다. 전기전도도(EC)는 봄철에 평균 45 μS/cm에서 여름철에 평균 27 μS/cm이었고, 용존산소(DO)는 봄철에 9 mg/L에서 여름철에 6 mg/L이었다.

4. 저류시간 경과에 따른 빗물 수질특성을 파악하기 위해 10일 연속 측정된 결과 pH는 초기우수 5.9에서 저장된 후 빗물은 6.5로 증가하여 지속되었고, 색도는 초기 4도에서 시간이 지남에 따라 감소하여 6일이 경과 후 검

출되지 않았다. 탁도는 초기에 3.24 NTU였으나 6일 경과 후 1 NTU 이하로 검출되어 색도와는 달리 완전히 제거되지 않음을 알 수 있었다.

5. 집수면 및 저장조 재질에 따른 수질 조사결과 pH 변화 범위는 콘크리트 저장조의 경우 6.0~7.0, 아연도강판의 경우 6.5~7.1로 나타나 대체로 유사하게 나타났다. 집수면 및 저장조 재질에 따른 수질 특성은 콘크리트 집수면을 통과한 빗물은 집수면에 침적되어 있는 입자상물질의 영향으로 pH가 초기우수보다 높게 나타났으며, 아연도강판의 집수면의 경우 아연이 상대적으로 높게 검출되었다. 저장조의 경우 콘크리트 저장조가 FRP 저장조보다 pH가 높았으며, 상대적으로 FRP저장조는 탁도가 높게 검출되었다.

감사의 글

이 연구는 2015년 환경부 환경분야 시험검사의 국제 적합성 기반구축사업과 광주녹색환경지원센터의 지원을 받아 완성되었기에 감사드립니다.

참고문헌

1. 이금화, 조화룡, “DEM을 이용한 한반도 지형의 경사도 분석”, *한국지리학회지*, **2002**, 3(1), 35-43.
2. 김건홍, 최계운, “인천도심내 빗물이용시설 설치 방안”, *인천지역 환경기술센터 보고서*, **2003**.
3. 최종영, “지하저류시설 설치에 따른 우수유출수 활용 방안”, *인천대학교 토목환경시스템공학과 석사학위논문*, **2004**.
4. 독고석, “외국의 빗물 이용사례”, 한국빗물모으기운동본부 광주전남지부 워크샵 발표자료. 2009.
5. 조범중, “우리나라 빗물이용의 역사와 문화”, *빗물학회*, **2007**, 1(1), 19-23.
6. F. J. Denener, and P. J. Crutzen, “A three-dimensional model of the global ammonia cycle”, *J. Atmospheric Chemistry*, **1994**, 19, 331-336.
7. 김건홍, 최계운, 김달환, “인천도심내 빗물이용시설 설치 방안”, 인천지역 환경기술센터 보고서 **2004**.
8. 한명실, 한무영, 김영진, “용출실험을 통한 빗물 집수과정에서의 수질영향인자 분석”, *한국물환경학회, 대한상수도학회, 2003 공동추계 학술발표회 논문집*, **2003**.
9. 한치북, 이택순, “창원지역 빗물의 계절변화 및 저류시간에 따른 수질변화”, *대한환경공학회지*, **2010**, 461-468.
10. 김영진, 김미형, 한무영, 이일용, “빗물이용시스템에서 빗물의 pH와 전기전도도에 관한 연구”, *상수도학회지*, **2002**, 16(1), 80-86.
11. 김영완, “빗물저장조에서 입자특성과 거동을 고려한 설계 방안”, *서울대학교 석사학위논문*, **2005**.
12. 문정수, 장재연, 한무영, “빗물이용시설에서 집수면 조건과 저장조에서의 체류시간이 빗물의 수질에 미치는 영향”, *대한상하수도학회한국물환경학회, 2006 공동추계 학술발표회 논문집*, **2006**.
13. 이창수, 지홍기, “효율적 우수이용을 위한 초기우수의 수질변화”, *한국환경과학회지*, **2003**, 12(3), 275-279.
14. 독고석, 한무영, “강우지속시간별 빗물수질특성 분석”, *하수도학회지*, **2003**, 17(6), 887-8912.
15. E. Sazaklia, A. Alexpoulosb, and M. Leotsinidis, “Rain-water harvesting, quality assessment and utilization in KefaloniaIsland Greece”, *Water Research*, **2007**, 41, 2039-2047.
16. 한무영, 이일룡, 김이호, 안현두, 김미형, “지붕 집수면이 유출수의 수질에 미치는 영향”, *대한상하수도협회, 한국물환경학회, 공동추계 학술발표회 논문집*, **2002**.
17. 김희강, 조기철, 이주희, 최민규, 마창진, 강충민, 여현구, “대기중 입자상물질에 있어서 이온성분의 입도별 계절변동”, *한국환경위생학회*, **1996**, 22(4), 55-61.
18. 김영진, 한무영, 이일룡, “콘크리트 집수면을 이용한 집수과정에서의 빗물수질변화에 관한 연구”, *한국물환경학회, 대한상하수도학회, 공동추계 학술발표회 논문집*, **2003**.
19. 한치북, “도심지역의 내리는 빗물과 받은 빗물의 수질특성에 관한 연구”, *창원대학교 박사학위 논문*, **2010**.
20. 송희봉, 이은경, 정동숙, 김인옥, 이명숙, 권병윤, 이경출, “대구지역의 빗물 중 화학적 성분의 계절별 및 지역별 농도분포”, *대한환경공학회지* **2006**, 522-525.
21. 환경부, “물 재이용시설 운영관리 업무지침”, 환경부 생활하수와-1742호 (2014.5.12).