

갈미중학교 빗물이용시설에서의 저장 빗물수질평가

Evaluation of Stored Rainwater Quality at Galmoe Middle School Rainwater Harvesting System

한무영 · 이순재*

Moo-Young Han · Soon-Jai Lee*

서울대학교 지구환경 시스템공학부

(2004년 9월 21일 논문 접수: 2005년 1월 20일 최종 수정논문 채택)

Abstract

One of the major obstacles confronted in promoting the rainwater harvesting is the concerns of acid rain and heavy metals. Although there are many data concerning the quality of rainwater precipitation for the study of acid rain, the study on the quality of stored rainwater has been limited.

In this study, we monitored the quality of stored rainwater at Galmoe middle school, where a rainwater harvesting system is installed and in use for more than two years. We measured water quality parameters such as pH, Electro Conductivity(EC), Dissolved Oxygen(DO), and some metals (aluminium (Al), chromium(Cr), manganese(Mn), zinc(Zn), copper(Cu), arsenic(As), cadmium(Cd), lead(Pb)). The monitoring period was during one year from September 9th 2003 to August 5th 2004.

It was observed that the average pH of stored rainwater is neutral. DO is similar to tap water and EC is lower than tap water. Metal Concentrations are within the concentration specified in Drinking Water Quality Standard. Overall, the stored rainwater quality is good enough for sundry use and there's no threat of acid rain and air pollution, if the rainwater harvesting system is well designed and maintained.

Key words: Acid rain, Rainwater, Rainwater Harvesting, Stored rainwater quality

주제어: 산성비, 빗물, 빗물이용, 저장빗물의 수질

1. 서 론

우리나라는 예로부터 빗물을 모아 사용해왔고, 측우기와 같은 계측기를 이용하여 강우량을 측정하여

기록으로 남기는 등, 과학적인 빗물관리의 역사를 가지고 있다. 많은 사람들이 막연하게 '산성비는 나쁜 것, 공기가 오염되어 빗물은 사용할 수 없다' 라고 생각할 뿐 실제 빗물의 이용 측면에서의 빗물 수질에 대해서는 관심을 갖지 않았다. 자연상태의 빗물은

*Corresponding author Tel: +82-2-880-7375, FAX : +82-2-885-7376, E-mail: sjlee@waterfirst.snu.ac.kr (Lee, S.J.)

pH가 5.6이며 오염물질이 거의 함유되지 않으나, 대기오염물질 및 먼지 등의 입자상 물질로 인해 내린 빗물의 pH가 5.6 이하로 나타나는 경우가 많이 있다 (Tanner, 2000). 또한 집수면을 거치면서 집수면의 여러 오염물질이나 집수면 재질의 영향으로 인해 빗물의 pH가 바뀌고 수질도 악화되는 경우도 있다 (Polkowska et al., 2002). 그렇지만 빗물을 이용할 때는 저장조에 저류하여 사용하는데, 이때 침전 가능한 대부분의 물질이 침전되고 일부 용존상태의 물질만 남아있게 된다.

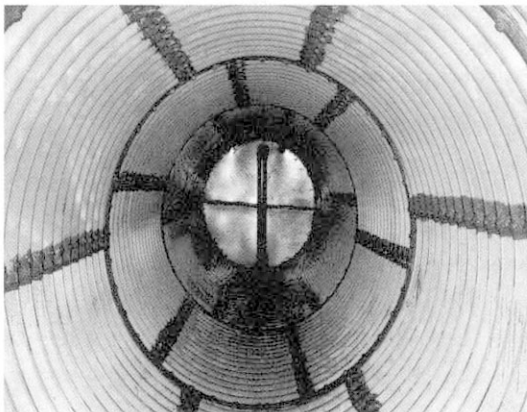
학생들을 대상으로 실시한 산성비에 대한 의식조사결과를 살펴보면, 빗물에 대한 거부감을 갖는 것은 산성비 및 존재할지도 모르는 중금속등의 대기오염성분 때문이다(한재영 등, 2000).

본 연구는 실제 사용중인 학교 빗물이용시설을 대상으로 1년여간 수질을 모니터링한 결과를 통해 산성비 및 빗물내의 중금속에 대한 문제를 살펴보았다.

2. 연구내용 및 방법

2.1. 연구대상 빗물이용시설

갈피중학교는 경기도 의왕시에 위치한 신설중학교이다. 2003년 3월 학교의 완공과 함께 빗물이용시설이 설치되어 현재까지 연못유지용수, 청소용수 등으로 이용되고 있다. 생태연못을 통해 환경교육을 실시하며 핸드펌프를 사용하여 빗물을 이용할 수 있도록 하였다.



Tank A - Non Concrete Paving

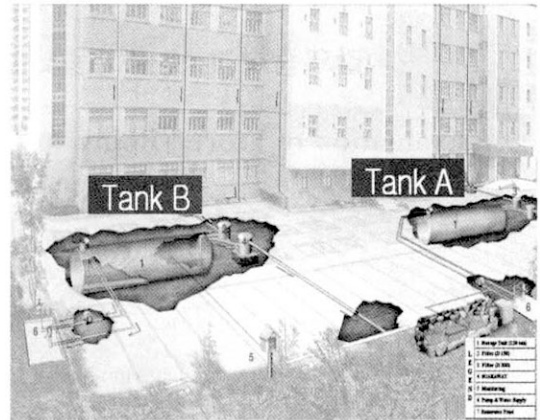
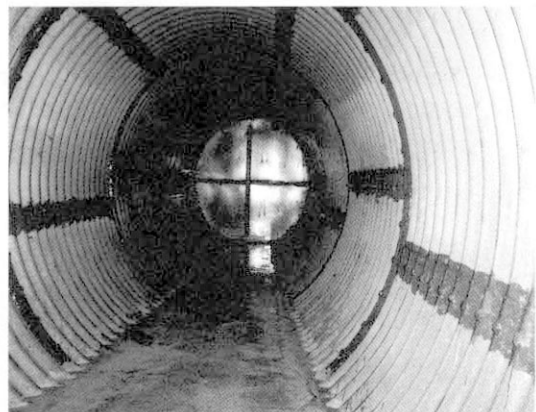


Fig. 1. Theme map for Rainwater Harvesting System.

빗물이용시설은 지붕 집수면(1,713m²), 홈통, 집수관, 협잡물제거 필터, 저장조 2기, 연못, 핸드펌프 등으로 이루어져 있다(Fig. 1). 빗물 저장조는 파형강관으로 제작되었으며 60톤 규모의 저장조 2기가 설치되어 있다. 빗물은 지붕에서 집수되어 홈통과 집수관을 통해 협잡물 제거 필터를 거치도록 설계되어 있으며 필터를 거친 빗물은 저장조로 유입되어 저류된다. 저장조 2기 중 Tank A는 파형강관 그대로 두고 Tank B에는 저장조 하부에 바닥 콘크리트 포장을 하여 콘크리트에 의한 빗물의 수질변화를 살펴보고자 하였다(Fig. 2).

2.2. 연구 방법

연구대상 시설의 저장빗물을 대상으로 pH, EC,



Tank B - Concrete Paving

Fig. 2. Difference between Tank A and Tank B.

DO를 주 1회~월 1회 측정하고 알루미늄 및 중금속 7종(Mn, Zn, Cd, Cr, Cu, As, Pb)을 3개월에 한번씩 측정하였다. pH와 EC는 Thermo-orion 550A pH meter를 이용하여 측정하였으며, DO는 Istek 215D DO meter를 사용하여 분석하였다. 금속류 8종은 ICP-MS법으로 분석되었으며 Perkin-Elmer ELAN 6100을 이용하였다. 빗물은 빗물이 사용되는 수도꼭

지 말단부에서 채수되었다.

3. 결 과

각각의 항목에 대한 측정결과는 Table 1에 나타내었다.

Table 1. The Results of pH, EC and DO

Date	pH			EC			DO			Season
	Tank A	Tank B	Aver.	Tank A	Tank B	Aver.	Tank A	Tank B	평균	
9/9	8.6	8.4	8.5	48.4	45.2	46.8				Fall
9/16	8.5	8.3	8.4	30.7	45.6	38.1				
9/23	7.6	7.5	7.6	39.6	43.1	41.4				
9/30	7.3	6.8	7.1	49.9	45.8	47.9	6.8	7.0	6.9	
10/7	7.2	7.0	7.1	55.2	48.3	51.8	6.7	7.0	6.9	
10/14	6.9	6.5	6.7	74.0	55.0	64.5	7.3	7.4	7.4	
10/21	6.7	-	6.7	76.0	-	76.0	7.8	-	7.8	
10/28	-	6.8	6.8	-	50.8	50.8	-	8.2	8.2	
11/4	6.7	-	6.7	52.9	-	52.9	8.1	-	8.1	
11/11	6.5	-	6.5	55.1	-	55.1	6.2	-	6.2	
11/18	8.4	7.7	8.1	46.6	79.4	63.0	6.5	8.0	7.3	
11/24	7.1	7.3	7.2	64.2	82.5	73.4	8.0	8.5	8.3	
Fall Average	7.4	7.36	7.4	53.9	55.1	54.5	7.2	7.7	7.4	
12/1	6.9	6.7	6.8	53.3	111.4	82.4	7.6	6.8	7.2	Winter
2/3	6.9	7.3	7.1	73.0	94.5	83.8	7.9	8.0	8.0	
Winter Average	6.9	7.0	7.0	63.6	102.9	83.1	7.8	6.9	7.4	
3/5	6.9	7.2	7.1	101.5	63.9	82.7	8.5	8.0	8.3	Spring
3/18	7.1	7.2	7.2	76.8	93.8	85.3	9.1	9.2	9.2	
4/1	6.7	6.6	6.7	87.2	102.2	94.7	7.0	7.8	7.4	
4/15	7.3	7.3	7.3	56.5	68.7	62.6	6.9	7.4	7.2	
4/29	7.0	7.1	7.1	53.9	75.2	64.6	7.1	7.5	7.3	
5/13	7.3	7.24	7.3	65.1	69.5	67.3	6.5	6.8	6.7	
5/27	7.2	7.0	7.1	59.1	79.7	69.4	6.1	6.5	6.3	
Spring Average	7.1	7.1	7.1	71.4	79.0	75.2	7.3	7.6	7.5	
6/11	7.2	7.2	7.2	51.4	156.9	104.2	6.0	6.4	6.2	Summer
6/25	7.3	7.3	7.3	52.0	80.3	66.2	6.2	6.4	6.3	
7/8	7.4	7.3	7.4	58.3	66.8	62.6	6.3	6.5	6.4	
7/22	7.5	7.3	7.4	49.3	68.3	58.8	6.1	6.4	6.3	
7/30	7.8	7.96	7.9	50.3	65.2	57.8	6.9	7.0	7.0	
8/5	7.8	8.1	7.9	49.8	54.0	51.9	7.0	7.2	7.1	
Summer Average	7.5	7.5	7.5	51.6	66.9	59.4	6.4	6.7	6.5	
Average	7.2	7.2	7.2	60.1	76.0	68.0	7.2	7.2	7.2	

주: -로 표기한 부분은 수량부족으로 채수할 수 없음을 나타냄.

겨울철(12월~2월) 측정자료는 펌프를 이용한 채수가 아닌, 실제 저장조 바닥 빗물을 채수한 것임.

3. 1. pH

pH의 측정결과는 Fig. 3에 나타난 것과 같다.

모니터링 기간인 2003년 9월 9일부터 2004년 7월 31일까지 측정된 결과를 살펴보면 pH의 변화범위는 Tank A의 경우 6.5~8.6, Tank B의 경우 6.8~8.4로 나타났다. 하부에 콘크리트 포장을 했던 Tank B의 pH가 대체로 유사하거나 더 높게 나타났다. 일반적인 내린빗물의 pH가 4~6 정도의 범위를 나타내는 것과 비교해 볼 때 집수면을 거치고 저장조에 저장되는 동안 pH가 중성으로 변화했음을 나타낸다. 기존의 연구에서는 집수면을 거친 빗물의 pH는 지붕면재질에 따라 7~9범위를 나타낸다고 하였다(한무영, 2003). 그렇지만 집수면을 거치면서 상승된 빗물의 pH는 저장조에서 CO₂ equilibrium에 의해 천천히 평형을 이루게 되며 우리가 사용하는 동안의 pH는 중성범위를 나타내게 된다.

3.1.1. pH의 계절적 변화

측정 데이터를 통해 빗물저장조 내 빗물의 계절에 따른 pH변화의 상관성을 살펴보기 위해 측정데이터를 계절별로 분류하였다. 편의상 '봄'은 3월~5월, '여름'은 6월~8월, '가을'은 9월~10월, '겨울'은 11월~2월까지로 나누었다.

Table 1의 실제 측정데이터에서 나타나듯이 2003년 10월~2004년 2월 사이에는 극심한 가을-겨울가뭄으로 채수가 불가능한 경우가 있었으며, 저장조의 빗물은 가을에 유입된 빗물을 그대로 저장해 둔 것이다. 측정기간 중 '가을'의 저장빗물의 평균 pH는 7.4이었으며 '겨울'의 평균 pH는 7.0, '봄'의 평균 pH는 7.1, '여름'의 평균 pH는 7.5로 나타났다. pH의 측정결과를 통해 살펴볼 때 pH의 계절적 변화는 미미한 것으로 나타났다.

3.1.2. 콘크리트 포장 여부와 pH 변화

연구의 목적으로 두개의 저장조 내부를 각각 다르게 시공하였다. Tank A는 파형강판 그대로 두고, Tank B에만 하부에 콘크리트 포장을 실시하였다. Tank A와 Tank B의 pH 차이는 미미하였고 기존의 여러 연구 결과와 같이 빗물의 pH는 7 정도로 중성의 값을 나타냄을 알 수 있다. 이는 산성비에 대한 우려로 빗물의 pH를 인위적으로 중성-알칼리성으로 바꾸고자 할 때 굳이 빗물 저장조의 재질을 콘크리트로 하지 않아도 저장빗물의 pH는 평균 7 이상의 값을

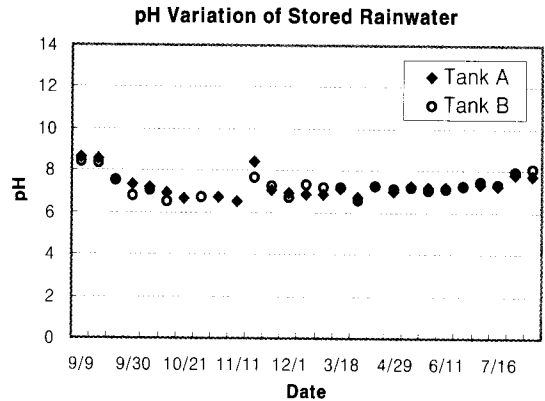


Fig. 3. pH Variation of Stored Rainwater.

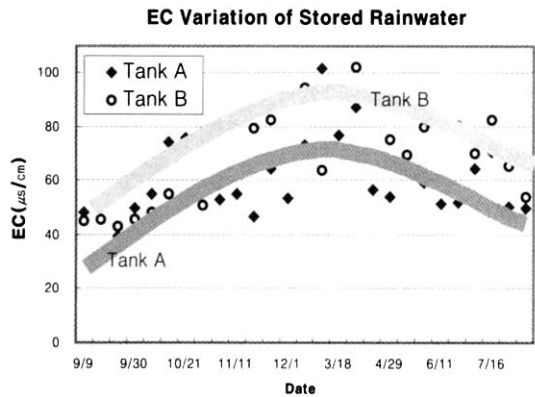


Fig. 4. Electro Conductivity Variation of Stored rainwater.

나타낸다는 것을 알 수 있다.

3. 2. 전기전도도(EC)

전기전도도는 용액내의 총 이온의 양을 나타내는 지표로 사용되며, 저장빗물 중의 용존물질의 총체적 성분변화를 알아내기 위해 측정되었다. EC의 측정결과는 Fig. 4에 나타난 것과 같다.

저장빗물의 EC는 측정일별로 편차가 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 한무영 등(한무영, 2003)이 실시한 집수빗물과 지붕면 유출빗물의 실험결과와 일치한다. 또한, 빗물이용시설의 평균 EC는 66.8µs/cm이었다. 이는 수도물의 EC 140µs/cm와 비교해서 매우 낮은 값이다.

3.2.1. EC의 계절적 변화

측정기간 중 '가을'의 저장빗물의 평균 EC는 54.5µs/cm이었으며 '겨울'의 평균 EC는 83.1µs/cm,

‘봄’의 평균 EC는 75.2 μ s/cm, ‘여름’의 평균 EC는 59.4 μ s/cm로, 겨울철의 EC가 가장 높게 나타났다. 겨울철의 경우, 강수량 및 저장 빗물량이 적어 강우에 포함된 각종 무기성 물질들의 농도가 증가되고 채수 시 저장조 하단의 물이 채수된 결과라 여겨진다.

3.2.2. 저장조별 EC의 차이

저장조 A, B의 EC를 비교해보면 Tank A에 비해 Tank B의 EC가 전반적으로 더 높게 나타남을 알 수 있다. 이는 Tank B의 콘크리트 포장 영향으로 몇몇 양이온들의 용출에 의한 결과라 여겨진다. 그렇지만 Tank A, B 모두 EC값에 큰 차이는 없었으며, 수돗물이나 지하수의 전기전도도 값보다는 낮은 범위에 있었다.

3.3. 용존산소(DO)

용존산소는 물속에 녹아있는 산소의 양을 의미하며 용존산소의 측정결과는 Fig. 5에 나타난 것과 같다.

용존산소는 평균 6.3mg/L로 나타났으며 계절별 차이는 크지 않았다. 본 연구에서 용존산소는 시료채취 후 실험실로 운반하여 측정하였기 때문에 수온에 따른 DO변화를 정확히 볼 수 없었다.

3.3.1. DO의 계절적 변화

측정 기간 중 용존산소의 변화범위는 최대 9.17mg/L에서 최소 6.1mg/L 범위 내에 있었으며 평균 DO는 6.3mg/L로 나타났다. 물속에 용존되는 산소량은 수온에 따라 변화하며 결과로 기온이 낮아지는 가을~초봄까지의 DO가 약간 높게 측정된 것으로 여겨진다. 그렇지만 저장조가 지하에 매설되어 있

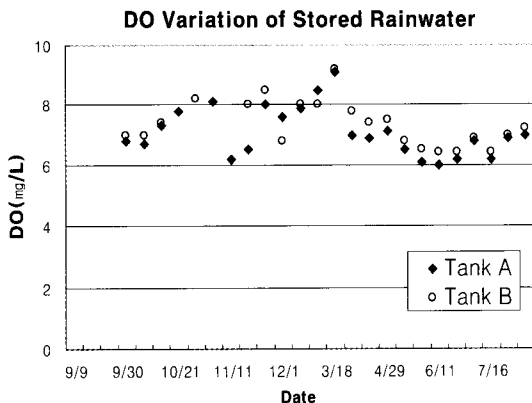


Fig. 5. DO Variation of Stored Rainwater.

어 저장조 내부의 기온의 큰 차이는 없었다.

3.3.2. 저장조별 DO의 차이

저장조에 따른 DO의 변화는 크지 않았으며 전반적으로 높은 DO값을 나타냈다.

3.4. 알루미늄 및 중금속

대기오염에 따라 빗물의 이용시 문제가 될 수 있는 몇몇 중금속을 측정해 보았다. 대상항목은 알루미늄, 크롬, 망간, 구리, 아연, 비소, 납, 카드뮴 등 8가지로 정했다. 이는 음용수 수질기준에서 주요 검출대상이 되는 항목이며 여러 가지 금속 항목 중 빗물에서 주로 검출되는 항목들을 채택한 것이다. 측정결과를 Fig. 6과 같다.

3.4.1. 알루미늄(Aluminum)

알루미늄은 중금속에 해당하지 않으며 독성 또한 크지 않다. 평균 알루미늄 농도는 64.3ppb이며, 이는 음용수 수질기준 0.2ppm과 비교해 볼 때 매우 낮은 값이며, 빗물이용시설 설치 초기에는 알루미늄농도가 매우 높았으나 지속적으로 사용함에 따라 계속 낮아지는 것을 알 수 있다. 한명실 등(한명실, 2003)은 빗물이 콘크리트 집수면을 거치면서 콘크리트내에 존재하는 알루미늄이 용출되어 알루미늄의 농도가 증가한다고 하였다.

3.4.2. 크롬(Chrome)

크롬은 인체 독성이 큰 중금속으로 저장빗물의 크롬농도는 최대 8ppb 정도이며 대체로 검출한계 이하로 검출되는 등 매우 낮은 값으로 나타났다. 이는 음용수 수질기준인 0.05ppm과 비교해 볼 때 수질기준 이하로 나타났다.

3.4.3. 아연(Zinc)

아연은 모니터링 기간동안 음용수 수질기준을 초과하는 경우가 3회 있었다. 이는 아연이온이 대기중에서 유입되었거나 저장조 재질에 의한 영향이라고 볼 수 있다. 그러나 본 연구대상 지역은 대기오염의 영향을 적게 받는 지역이며, 저장조 별 값의 차이가 큰 것을 볼 때, 아연농도가 높은 이유는 저장조 재질(강판) 때문이라고 여겨진다. 바닥을 콘크리트로 덮지 않은 탱크 A(3.9ppm)와 덮은 탱크 B(0.6ppm)의 값을 비교하면 금속표면과의 접촉 면적이 많은 탱크 A에서는 아연이 많이 용출되었다. 즉, 강판의 내부 표면으로부터 아연이 용출되면서 아연농도가 높아 진

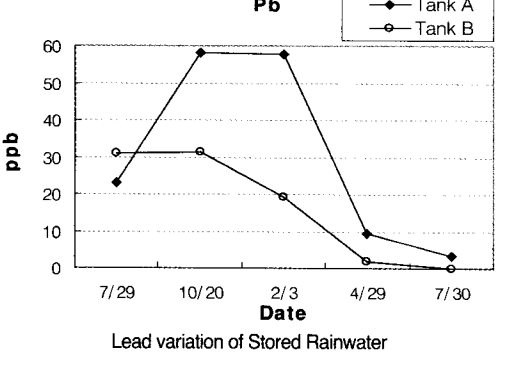
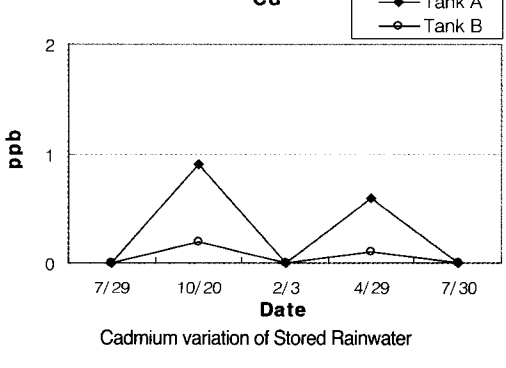
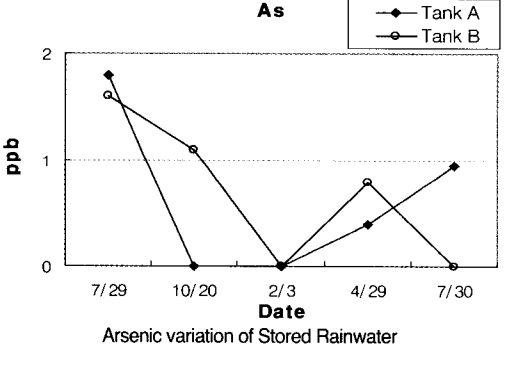
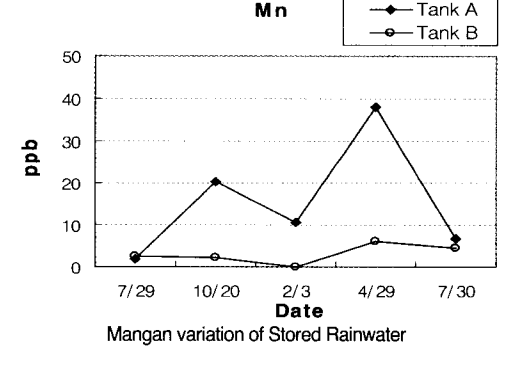
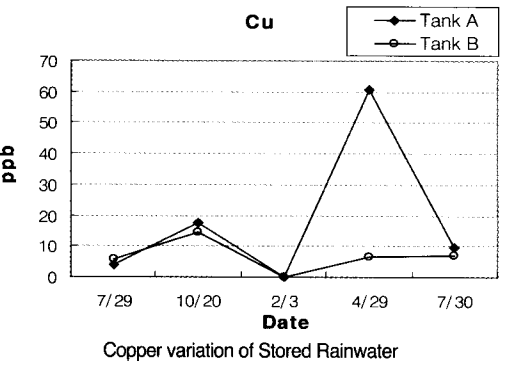
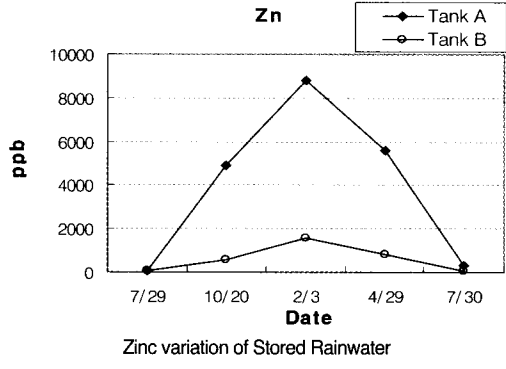
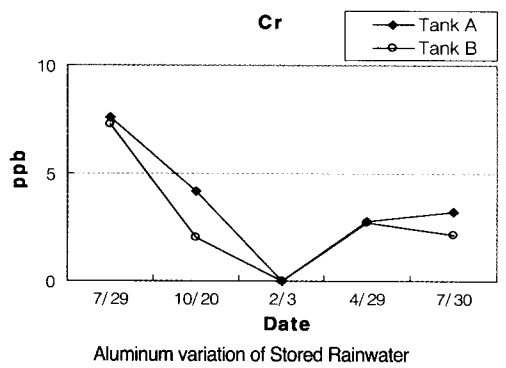
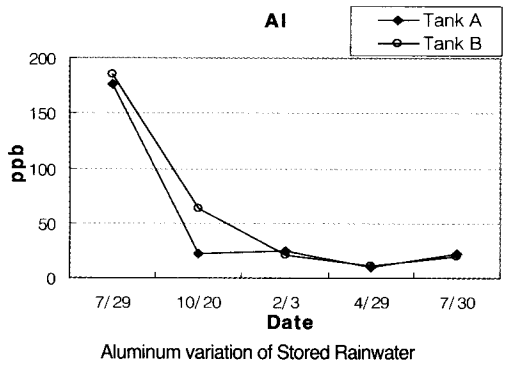


Fig. 6. Metal Variation of Stored Rainwater.

것이다. 이것은 강판의 표면에 적절한 코팅을 하고 그 코팅이 손상되지 않도록 유지하면 해결이 가능하다. 또한 겨울에 농도가 증가하는 이유는 동절기의 수질의 변화를 알아보기 위한 실험용으로 약간의 빗물을 남겨 두다보니, 체류시간이 길어져서 용출되는 양이 많아지고 희석되는 빗물의 양이 적기 때문인 것으로 판단된다. 이것은 겨울에 모아둔 물을 남김없이 이용하여 장기간 보관하지 않는 것으로 해결이 가능하다. 그러나 이와 같은 농도는 비음용수로 사용하는 데는 전혀 문제가 없다.

3.4.4. 구리(Copper), 망간(Mangan), 비소(Arsenic), 카드뮴(Cadmium) 및 납(lead)

측정기간 중, 구리의 평균 농도는 13ppb였으며 음용수 수질기준 1ppm을 초과한 적이 한번도 없었다. 망간의 음용수 수질기준은 0.03ppm인데 측정기간 중 2004년 1월의 Tank A의 빗물에서 음용수 수질기준을 초과하여 검출되었으나 단 1회 측정의 결과이므로 지속적인 측정을 통하여 오차여부를 확인해 볼 필요가 있을 것이다. 본 측정 기간 중 망간 농도는 저장조의 재질 및 집수면의 상태에서 기인하였을 것으로 예상된다. 비소의 평균 농도는 0.7ppb로써 비소의 음용수 수질기준 0.05ppm과 비교하여 매우 낮은 값을 알 수 있다. 카드뮴의 평균 농도는 0.2ppb로써 음용수 수질기준 0.01ppm과 비교하여 매우 낮은 값을 알 수 있다. 또한, 납의 평균 농도는 28.9ppb이며, 측정기간 중 음용수 수질기준 0.05ppm을 2회 초과했다. 이 또한 겨울철 수량의 부족과 긴 저장 기간에 기인한 것으로 생각된다.

4. 토 의

용존산소 측정시 온도와 유기물 함량 등 값의 변화를 줄 수 있는 요인들을 고려하지 않았기 때문에 정확한 값을 찾을 수 없었으므로, 향후 연구를 통해 보완해 나가야 할 것이다. 빗물이용시설의 용도가 허드렛물, 연못유지용수 등이므로 중수도 수질기준과의 비교연구가 필요하다. 본 연구의 전기전도도 및 중금속 결과는 후속연구를 통해 장기적이며 보완적인 연구가 수행될 예정이다.

5. 결 론

저장빗물의 pH는 평균 7.2로, '내린빗물은 산성이고 저장빗물은 중성'이라는 기타 여러 논문의 결과와 일치하였으며 실제 대규모 빗물이용시설에도 적용되는 것임을 확인하였다. 빗물이용시설에서 pH의 계절적인 변화는 미미하였으며, 저장조의 재질에 의해 pH가 변화되는 것은 아닌 것으로 여겨진다. 빗물내의 대부분의 금속성분은 대체로 음용수 수질기준에 비해서 매우 낮은 값으로 측정되었으나, 겨울철에 오래 보관하였을 때 납과 아연함량은 음용수 수질기준을 초과한 경우가 몇 차례 있었다. 중금속과 전기전도도의 결과를 통해, 유입빗물량이 적고, 저장기간이 긴 경우에 양호한 빗물수질확보를 위해서는 저장조 재질의 선택시 용출여부를 고려할 필요가 있다.

본 연구를 통해, 빗물이용시설에서 많은 사람들이 우려하는 산성비 문제나 중금속오염문제는 기우(杞憂)에 불과함을 알 수 있다. 또한 본 연구의 결과는 향후 빗물이용시설을 설치할 때 저장빗물의 수질에 대한 기초자료로 사용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- 한명실, 한무영, 김영진 (2003), 용출실험을 통한 빗물집수 과정에서의 수질영향인자 분석, 대한상하수도학회 한국 물환경학회 공동 추계학술발표회 논문집, pp. 153-156.
- 한무영(2000), 대체수자원으로서의 빗물활용방안, 상하수도학회지 14(3), pp. 207-210.
- 한무영, 이일용, 박상철 (2003), 건물의 지붕집수면이 유출 빗물의 수질에 미치는 영향, 상하수도학회지, 17(3), pp. 460-466.
- 한무영, 이순재, 한명실, 김영진(2004), 사용중인 빗물이용 시설에서의 수질인자 검토-pH 및 중금속, 한국 물환경학회 대한상하수도학회 공동 춘계학술발표회 논문집, pp. 205-208.
- 한재영, 정영선, 노태희 (2000), 산성비, 오존층, 온실효과에 대한 고등학생들의 개념, 한국과학교육학회지, 20(3), pp. 364-370.
- Polkowska, Z., Gorecki, Z., and Namiesnik, J. (2002), Quality of roof runoff waters from an urban region, *Chemosphere* 49, pp. 1275-1283.
- Tanner, P.A.(2000), Analysis of HongKong Daily bulk and wet deposition data from 1994 to 1995. *Atmospheric Environment* 33, pp. 1757-1766.