

비닐하우스에서 모은 빗물의 수질평가 연구 : 제주도 사례

Evaluation of the qualities of rainwater collected from the top of vinyl house : A Case Study in Jeju Island

이봉주^{1*} · 문상호¹ · 김용철¹ · 김기표² · 강봉래² · 고기원² · 박기화¹

Lee, Bong-Joo^{1*} · Moon, Sang-Ho¹ · Kim, Yong-Cheol¹ · Kim, Gee-Pyo² · Kang, Bong-Rae²

Koh, Gi-Won² · Park, Ki-Hwa¹

1 한국지질자원연구원, 2 제주특별자치도 환경자원연구원

(2008년 2월 29일 접수 ; 2008년 5월 27일 채택)

Abstract

Recently there has been a great deal of interest in promotion of the utilization of rainwater. In this paper, we compared qualities of the rainwater collected from the top of vinyl houses to those of precipitated rainwater itself in Jeju Island. The pH of the collected rainwater was acidic and lower than the precipitated one. As a storm progresses, the pH of the collected water gradually increases. Ranges of EC of the precipitated and collected rainwater were 1-118 and 1-475 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Most of Cl and turbidity values of the collected rainwater were less than 20 mg/L and 20 NTU, while those of the precipitated rainwater were less than 10 mg/L and 5 NTU. Differences in qualities between precipitated and collected rainwater indicate that qualities of the collected rainwater should be changed by the first flush effects, and imply that long term continuous monitoring for the qualities of collected rainwater is essential to quantify the first flush phenomenon more accurately.

Key words : rainwater, water qualities, artificial recharge, groundwater

주 제 어 : 빗물, 수질, 인공함양, 지하수

1. 서론

최근 들어 미래의 수자원 부족에 대한 우려와 함께 새로운 수자원 개발을 위한 노력이 활발하게 진행되고 있으며, 대체 수자원으로서의 빗물에 대한 새로운 인식이 요구되고 있다. 제주도에서는 비닐하우스나 유리 온실 시설에 의한 농경지 침수문제를 해결하고, 함양면적 감소에 따른 지하수 함양량 감소문제를 적극적으로 해결하기 위해 2001년 1월에

개정된 제주도 개발 특별법(현행 제주국제자유도시특별법)에 '인공함양정 설치'를 국내 최초로 제도화하였다. 이에 따라 2005년 12월 현재까지 65개의 지하수 인공함양정 시설이 설치되어 있으며, 이들 시설을 통해 연간 약 545천m³의 빗물이 지하수로 함양되고 있다(박원배와 고기원, 2006).

대체 수자원으로서의 빗물의 활용도를 높이기 위해서는 빗물의 수질을 일정 수준 이상 유지 관리하여야 하며, 이를 위해서는 집수면에서 모은 빗물의 씻김 현상(first flush

* Corresponding author Tel: +82-42-868-3073, E-mail: lbj@kigam.re.kr (Lee, B. J.)

phenomenon)에 대한 연구가 필요하다. 일반적으로 콘크리트 지붕이나 비닐하우스 등의 집수면을 통하여 강우 초기에 모은 빗물은 강우 후기의 빗물에 비해 상대적으로 오염된 특성을 보인다. 이에 따라 초기의 모은 빗물을 저류시설에 저장하기 전에 일정 시간동안 분리 배제시켜 실제 이용되는 빗물의 수질을 향상시키려는 연구가 활발하다(Yaziz et al., 1989; Zobrist, 2000; 한무영 등, 2002; 한무영 등; 2003).

이 연구의 목적은 제주도 북서부 한림지역에 위치한 제주농산물 원종장에서 내린 빗물과 비닐하우스 집수면을 통해 모은 빗물의 수질을 자동계측기를 이용하여 시계열적으로 측정·분석하고 그 결과를 비교함으로써 강우 기간동안의 내린 빗물과 모은 빗물의 수질 변화 범위와 차이를 평가하는 것이다. 또한 내린 빗물의 수질을 배경 수질로 하여 비닐하우스 집수면을 통해 모은 빗물의 수질이 강우기간 동안 어떻게 변화하는지를 파악하여 강우 초기의 집수면 씻김 현상에 의해 나타날 수 있는 빗물의 오염 정도와 오염 지속 정도를 알아보고자 하였다. 이 외에 계측기를 이용한 시계열적 빗물의 수질 측정에서의 문제점을 지적하고 분석하였다. 내린 빗물과 모은 빗물의 시계열적 수질 측정이 이루어진 제주도 애월읍 봉성리에 위치한 농산물 원종장에는 비닐하우스를 이용한 빗물 집수 시설과 모은 빗물을 인공 함양시키기 위한 시추공이 설비되어 있으며, 2개 함양정을 통하여 년간 약 50천m³의 빗물이 지하수로 함양되고 있다.

2. 연구지역 주변 환경

제주지역 지질특성에 적합한 지하수 인공함양 기법을 개발하기 위하여 제주도에서는 농산물 원종장 내에 2개 함양정을 설치하고, 이를 통해 비닐하우스에서 모은 빗물을 지하로 주입시키고 있다. 연구 대상이 된 제1함양정은 5개의 비닐하우스로부터 집적되는 빗물이 함양되고 있다. 1개 비닐하우스는 14개의 하우스 돔으로 구성되어 있다(Fig. 1).



Fig. 1. Location of Wonjongjang and its rainwater harvest system.

제주 북서부에 위치한 원종장은 해발고도 약 270m의 중산간 지역으로서 연평균 강우량은 1,500mm 정도이다. 해안에서 원종장까지의 직선거리는 약 6km이나 바다와 접하는 제주의 특성상 해무(aerosol)에 의한 모은 빗물과 내린 빗물의 수질 변화 가능성이 높다. 실제 고지대의 용천수(spring)에서도 해무(aerosol)의 영향이 확인된다 (이봉주 외, 2002). 원종장 주변지역은 주로 목장지와 농경지로 활용되고 있으며, 인근에는 가축 분뇨 처리장이 위치하고 있다. 따라서 이들 오염원으로부터 발생된 분뇨 등 오염물질이 건조기에 대기 중에 부유하다가 비닐하우스 집수 시설의 표면에 부착될 가능성이 많다. 김학성·정용승 (2007)은 동아시아에서의 광역적인 대기오염 이동 경로에 제주도가 놓여 있어 제주도가 동아시아 광역 대기 오염에서도 자유롭지 못함을 지적하였다.

3. 연구 방법

강우 초기의 씻김 현상과 이에 따른 빗물의 오염 정도를 알아보기 위해 아래와 같이 내린 빗물과 모은 빗물의 성분을 시계열적으로 측정하고 그 결과를 비교 분석하였다. 여기서 내린 빗물이란 비닐하우스 집수면을 거치기 전의 강우 그 자체로 모은 빗물의 배경 수질을 파악하기 위해서 측정 분석하였으며, 모은 빗물은 비닐하우스 집수 시설을 통과한 후의 빗물을 의미한다. 내린 빗물의 수질을 시계열적으로 측정하기 위해 천막용 비닐을 이용하여 4m × 10m 크기의 집수면을 제작·설치하였으며, 이로부터 내린 빗물의 수질을 연속적으로 측정하였다(Fig. 2-a). 무강우 기간 동안에는 내린 빗물 채집장치인 천막의 청결 유지를 위해 1일 1회 표면 세척을 원칙으로 하였다. 집수면 세척은 원종장의 지하수를 이용하였다. 모은 빗물의 수질 측정은 원종장 내 1개 비닐하우스 집수 시설에서 1개 돔(dome)의 표면을 통과한 후의 빗물을 대상으로 하였다(Fig. 2-b).

빗물의 시계열적 수질 측정에는 wet-measurement 방식의 Hydrolab DS5를 이용하였다(Fig. 2-c). Hydrolab DS5는 온도, EC, 수위, NO₃-N, Cl, pH, DO와 탁도를 연속적으로 측정할 수 있는 장비이며, 그 제원은 표 1과 같다. Hydro DS5에 의한 빗물의 수질 측정은 Fig. 2-c에서와 같이 빗물이 담긴 플라스틱 용기에서 이루어 졌으며, 강우가 지속되는 동안에는 계속해서 공급되는 빗물에 의해 용기의 물이 대체 되도록 하였다. Hydrolab DS5의 수질 측정 간격은 20분으로 설정하였으며, 센서 점검 및 보정은 월 1회 실시하였으며, DS5 가동에 필요한 12V 직류 전원은 자동차용 배터리를 이용하였다. DS5 측정 자료의 유의미성을 검증하기 위해 내린 빗물, 모은 빗물, 지하수 시료에 대하여 수 차례 현장 및 실내 수질 분석을 실시하였다. 한편, 연구 기간 중의 강우 사건을

Table 1. Specifications of Hydrolab DS5

Sensor	Range	Accuracy	Resolution
Temperature	-5 to 50 °C	± 0.10 °C	0.01 °C
EC	0 to 100 mS/cm	±1% of reading ; ±0.001 mS/cm	0.0001 units
pH	0 to 14 units	± 0.2 units	0.01 units
NO ₃ -N	0 to 100 mg/L-N	Greater of ±5% of reading or ±2 mg/L-N (typical)	0.01 mg/L-N
Depth(25m)	0 to 25 m	± 0.05 m	0.01 m
Cl	0.5 to 18,000 mg/L	Greater of ± 5% of reading or ± 2 mg/L (typical)	0.0001 units
Turbidity	0 to 3000 NTU	± 1% up to 100 NTU, ± 3% up to 100-400 NTU, ± 5% from 400-3000 NTU	0.1, up to 400 NTU; 1.0, 400-3000 NTU
LDO	0-30 mg/L	± 0.01 mg/L for 0-8 mg/L; ± 0.02 mg/L for greater than 8 mg/L	0.01 or 0.1 mg/L

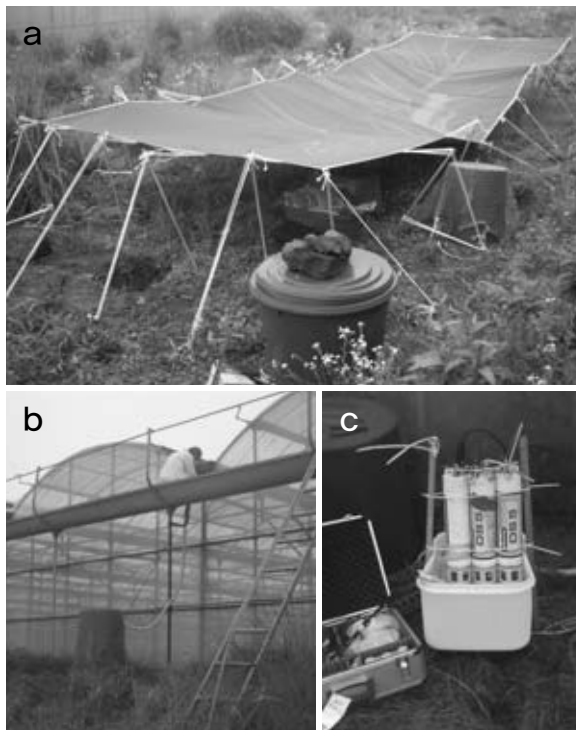


Fig. 2. Equipments and measurements of rainwater qualities with Hydrolab DS5. (a) Catchment facility for precipitated rainwater(size: 4m x 10m), (b) harvesting system of rainwater from roof runoff of the vinyl house (c) Hydrolab DS5 used to measure rainwater qualities.

판별하기 위해서 원종장 내에 설치된 강우량계의 자료를 활용하였다. 강우량은 1시간 간격으로 측정하고 있다.

4. 결과 해석 및 토의

야외 현장에서 계측기를 이용하여 내린 빗물과 모은 빗물의 수질을 시계열적으로 측정하는 과정에서 몇 가지 문제점이 부각되었다. 우선 수질 측정기 Hydrolab DS5의 측정 방

식이 습식(wet-measurement)으로 무강우 기간에도 센서를 보호 관리하기 위해 수조 설치가 불가피하며, 이에 따라 Hydrolab DS5의 측정치는 강우 전에는 수조에 채워진 물의 수질을 반영하고, 강우가 시작되면서부터 수조의 물이 빗물로 완전 대체되기 전까지는 수조의 물과 빗물의 혼합 수질을 반영하게 된다. 빗물이 수조의 물을 대체한 이후에는 당연히 빗물만의 수질을 측정하게 된다. 이에 따라 강우 초기의 빗물 수질을 온전히 대변하지 못하는 단점이 있다. 둘째, 집수면의 면적 차이에 의해 발생하는 문제점이다. 즉, 내린 빗물 집수면의 면적과 모은 빗물의 집수면 면적이 다르면 수조로의 빗물 유입량과 속도가 달라지므로 이에 따라 계측기가 수질 변화를 감지하는 시간과 수질 측정치에서 차이를 보일 수 있다. 이러한 문제점들은 이 연구에서의 수질 측정 자료의 분석과 해석이 지극히 제한적임을 지시한다. 그러나 내린 빗물과 모은 빗물의 상대적인 수질 비교만으로도 강우 초기의 씻김현상과 모은 빗물 분리 배제의 필요성을 가늠하려는 예비연구 목적을 충족시키므로 이들 측정 자료를 분석하고 해석하고자 하였다.

모은 빗물과 내린 빗물의 수질 측정은 2007년 6월 23일부터 시작되었으나, 분석에 이용된 자료는 7월 1일부터 9월 3일까지의 측정 자료이다. 측정 항목은 온도, EC, 수위, NO₃-N, Cl, 탁도, LDO, pH 등이었으나, 온도, 수위, NO₃-N 그리고 LDO는 분석 대상에서 제외하였다. NO₃-N 성분은 빗물의 초기 오염 상황을 판단하는 데 있어서 중요한 요소 중 하나이긴 하나, 금번 예비연구의 분석 항목에서 제외시킨 것은 모은 빗물의 측정치가 불안정하게 나타났기 때문이다.

4.1. 결과 해석

4.1.1 강우

Fig. 3은 원종장 내에 설치된 강우량계를 이용하여 측정한 2007년 7월 1일부터 9월 3일까지 1시간 간격의 강우량

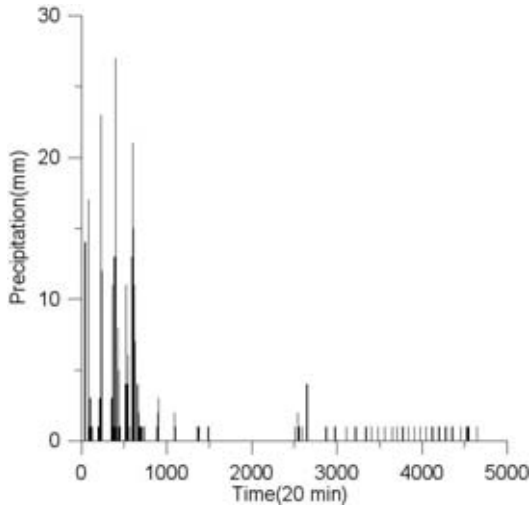


Fig. 3. In situ precipitation from July 1, 2007 to September 3, 2007.

자료로서 측정 분해능은 1 mm이다. 측정 기간동안의 총강우량은 384 mm 이며, 시간당 강우량은 최소 1 mm에서 최대 27 mm이다. 시간당 최대 강우량은 7월 6일에 관측되었다. 대부분의 강우는 7월 10일 이전 시점에 집중되어 있음을 볼 수 있다. 강우 지속시간은 1시간이 42회, 2시간 5회, 3시간 8회, 4시간 연속강우는 5회를 기록하였으며 7월 10일에는 11 시간 동안 강우가 지속된 것으로 확인된다. 총 강우량을 강우 횟수로 나누면 강우 사상 1회의 평균 강우량은 5.4 mm에 이른다.

4.1.2 pH

Fig. 4는 7월 1일부터 14일까지의 강우에 대한 내린 빗물과 모은 빗물의 pH 변화를 나타낸 것으로 전체적으로는 내린 빗물보다 모은 빗물의 pH가 낮은 값을 보이며, 대체로 강우 초기에 pH의 변화 폭이 가장 크다. 일반적으로 모은 빗물의 pH는 집수면의 성질에 의해 많이 규제되는 것으로 알려져 있다. 독고석과 한무영(2003)은 콘크리트 집수면의 경우 콘크리트의 석회성분으로 인해 강우 초기 모은 빗물의 pH가 10 부근으로 급격하게 상승하는 경향을 보이는 반면에 페인트 집수면을 통과한 빗물은 pH 변화가 거의 없음을 보고하였다. 그러나 이 연구에서의 결과는 이와 달리 강우 초기 비닐하우스에서 모은 빗물의 pH는 대부분 급격하게 하강하는 양상을 보이다가 강우가 지속되면서 상승하는 양상을 보인다. 관련 자료는 확인하지 못하였으나 비닐하우스 자체가 콘크리트 집수면과는 달리 빗물의 수질에 직접적인 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

내린 빗물과 모은 빗물 양측 관측지에서 초기 강우에 의해 pH 변화가 명확히 인지되는 측정지만을 선별하여 도시해 보면 내린 빗물보다 모은 빗물의 pH가 낮고 대부분 5.6

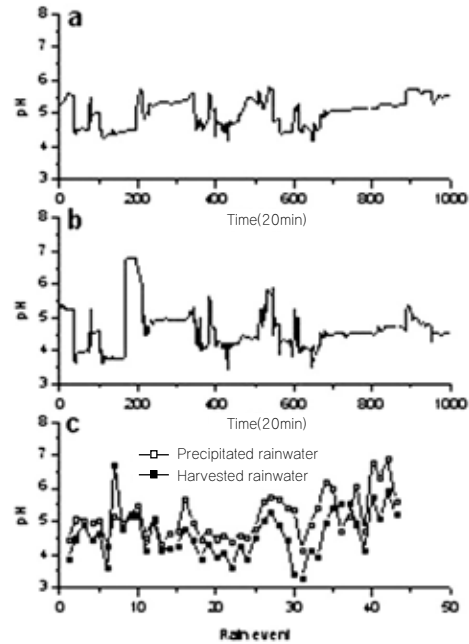


Fig. 4. Variations of pH. (a)precipitated rainwater, (b)collected rainwater and (c)differences in pH between the early precipitated and collected rainwater.

이하의 산성비임이 확실히 인지된다(Fig. 4-c). 강우 기간 동안 현장에서 거의 동시에 측정된 내린 빗물과 모은 빗물의 pH가 1.5 이상의 차이를 보여 내린 빗물과 모은 빗물의 pH 값 차이는 집수면 오염물질에 의한 결과임을 지시한다. 내린 빗물에 비해 모은 빗물의 pH가 낮은 이유에 대해서는 추후 연구되어야 할 사항이나, 우선 비닐하우스 표면에 침적된 물질 중의 황산산화물과 질산산화물에 의한 pH 감소 가능성이 높을 것으로 판단된다. 일반적으로 빗물의 pH 변화는 집수면의 침적물, 대기 중의 오염물질과 지역적 요인 그리고 집수 현장의 조건에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다 (Tanner, 1999).

4.1.3 전기전도도

전기전도도는 용액 내의 총 이온의 양을 나타내는 지표로서 일반적으로 빗물의 경우 오염 정도가 높을수록 많은 이온 성분들이 용해되어 전기전도도가 높아지며 대체로 10-100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위의 값을 갖는다(최금찬 등, 1998). 내린 빗물의 전기전도도 변화는 주로 대기 중의 부유분진이 강우에 의하여 세정(wash out)되어 빗물 중에 입자상 물질의 혼입에 의한 것으로 황사기간 중의 빗물의 전기전도도는 172-254 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 에 이르는 것으로 보고된 바 있으며, 강우에 의한 입자들의 포집은 관성충돌, 확산, 침착, 열영동과 증기영동에 의한 것으로 알려져 있다(이민희 등, 1989).

이 연구에서 내린 빗물의 전기전도도는 1-118 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 범위

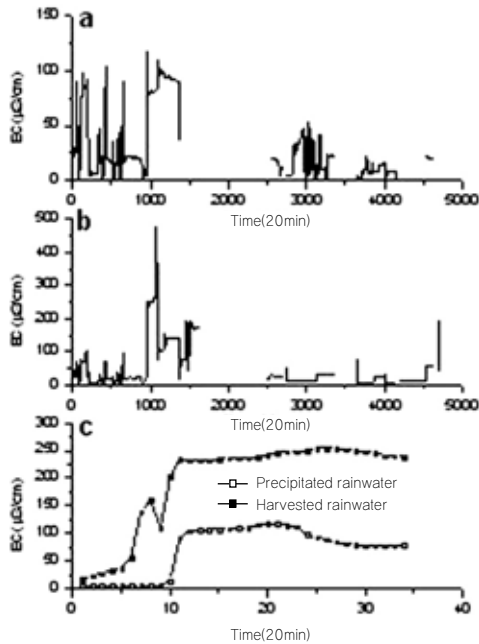


Fig. 5. Variations of electric conductivity. (a)precipitated rainwater, (b)collected rainwater and (c)sequential variations in EC of the precipitated and collected rainwater from rainfall event on July 14, 2007.

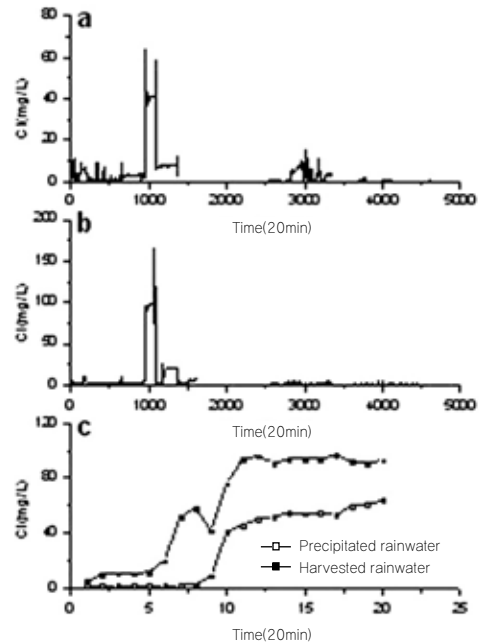


Fig. 6. Variations of chloride concentration. (a)precipitated rainwater, (b)collected rainwater and (c)variations in chloride concentration of the precipitated and collected rainwater from rainfall event on July 14, 2007.

의 값을 보이며, 모은 빗물의 경우 1-475 μ S/cm 범위의 값을 보인다. 전기전도도 변화 범위와 크기에 있어서 모은 빗물이 내린 빗물에 비해 상대적으로 넓고 높은 경향을 보이는 편이다(Fig. 5). 7월 14일 강우에 의한 내린 빗물과 모은 빗물의 전기전도도 측정 결과에서도 모은 빗물이 내린 빗물보다 높은 전기전도도 값을 보인다(Fig. 5-c). 강우 이후의 빗물의 전기전도도 변화는 대체로 급격하게 높아졌다가 급격하게 낮아지는 양상을 주로 보이며, 내린 빗물에 비해 모은 빗물의 전기전도도 변화 폭이 크다. 내린 빗물과 모은 빗물 모두 공통적으로 장마 전보다 장마 이후에 전기전도도가 낮게 나타나고 있어, 빗물의 전기전도도와 pH가 상관관계가 있음을 시사한다.

4.1.4 Cl

모은 빗물의 Cl 농도는 최대 167mg/L이며, 내린 빗물은 64mg/L 로서 먹는 물 기준 농도(250mg/L)보다 낮다. 이와 같은 최대 측정치는 특정 시점의 값들로서 내린 빗물의 경우 대부분 10mg/L 이하, 모은 빗물은 약 20mg/L 값을 보인다(Fig. 6).

내린 빗물에 비해 모은 빗물의 농도가 높은 편으로서 수조에 의한 영향과 집수면에 침적된 Cl 관련 물질의 영향을 고려할 수 있다. 그러나 강우 이벤트별 반응이 미약하고 그 경향성이 분명하지 않아 모은 빗물을 제어하는 지시자로서

의 기준 인자로는 pH나 전기전도도 그리고 탁도에 비해 적절하지 못한 것으로 평가되었다. 7월 14일 강우에 의한 Cl의 변화 양상이 전기전도도의 변화 양상과 유사한 것으로 보아 이들 간의 상관관계가 유추된다(Fig. 6-c).

4.1.5 탁도

일반적으로 모은 빗물의 제어 기준 인자로서 탁도가 자주 이용되는데, 이는 빗물을 이용하는데 빗물의 혼탁한 정도가 심리적인 거부감을 줄 수 있고, 중금속이나 기타 오염물질이 흡착할 수 있는 매질을 제공하기 때문이다.

Fig. 7은 연구기간 중의 강우량과 함께 내린 빗물, 모은 빗물의 탁도 변화를 나타낸 것이다. 내린 빗물의 탁도 측정치 중 최대는 18.2NTU이지만 거의 대부분은 5NTU 이하로서, 우리나라 중수도의 탁도 수질 기준인 10NTU 보다 양호함을 보인다. 반면에, 모은 빗물의 경우 최대 732NTU까지의 측정치를 보이나 대부분의 경우는 20NTU 이하이다. 관측 이후 7월 중순까지 탁도 변화와 강우 세기가 외견상 관련성이 있어 보긴 하나, 7월 중순 이후 강우 세기와 무관하게 탁도 변화를 보이고 있어 양자간의 상관관계 파악이 어렵다. 이는 7-8월의 잦은 강우로 인하여 집수면에 침적되는 먼지 등의 오염 물질의 양이 줄었기 때문인 것으로 판단된다.

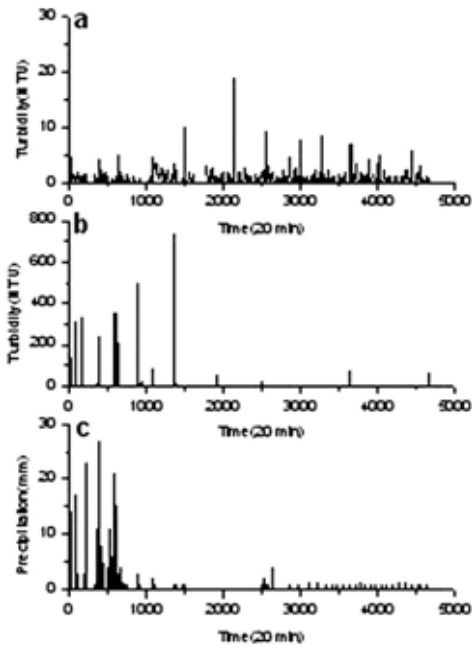


Fig. 7. Changes in turbidity and precipitation, (a)precipitated rainwater, (b)collected rainwater and (c)precipitation.

4.2. 집수면의 씻김현상

빗물의 pH 변화는 집수면의 침적물, 대기 중의 오염물질과 지역적 요인 그리고 집수 현장의 조건에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Tanner, 1999). 또한, Minoura and Iwasaka(1997)에 의하면, 빗물의 pH 감소에는 황산이온과 질산이온이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 보고하였다. 황산산화물과 질산산화물은 화석 연료의 연소에 의한 결과물로서 산성비의 대표적인 원인 제공자이다. 이 연구에서 강우 초기 모은 빗물의 pH는 대부분 5.6보다 낮은 값을 보이며, 내린 빗물에 비해서도 상대적으로 낮은 값을 보이고 있어 모은 빗물이 내린 빗물보다 오염되어 있음을 지시한다. 내린 빗물보다 모은 빗물의 pH가 낮은 것은 집수면에 침적된 오염물질에 의한 결과 즉 집수면의 씻김 현상의 결과인 것이 확실시된다. 실제 현장에서의 내린 빗물과 모은 빗물에 대한 동시적인 측정 결과, 내린 빗물과 비교하여 모은 빗물의 pH가 1.54 낮으며, 1회의 측정 결과이긴 하나 모은 빗물의 산성화는 전술한 집수면 오염 물질에 의해 촉진되었을 가능성을 보여준다. 추후 집수면 오염물질에 대한 시료 채취 및 분석 그리고 현장에서의 실험 등을 통하여 이를 확인하여야 할 것이다.

Fig. 5-c)에서와 같이 모은 빗물이 내린 빗물의 전기전도도보다 일률적으로 높은 것은 우선 수조로의 빗물 유입속도 차이에 의한 것으로 해석할 수도 있다. 그러나, 빗물 수질 관측기간이 황사와는 무관한 7-8월의 우기인 점을 고려하면 모은 빗물의 전기전도도는 비닐하우스 집수면에 침적된 물

질이 빗물에 의해 세정되어 용해된 결과로 볼 수 있다. 따라서 관측 기간 동안의 내린 빗물과 모은 빗물의 전기전도도 차이 역시 집수면에 침적된 물질의 씻김 현상의 결과임을 지시한다. 내린 빗물과 모은 빗물의 과도한 탁도 차이 역시 모은 빗물의 수질이 집수면 씻김 현상의 영향을 받고 있음을 나타낸다.

결론적으로, 이번 연구에서 모은 빗물의 수질을 바탕으로 한 집수면의 씻김 현상의 정량적 평가에는 무리가 있었으나, 내린 빗물과 모은 빗물의 탁도, pH, EC 등의 수질 변화 범위와 관측치의 차이에 근거하면 강우 초기의 집수면 씻김 현상은 인정할 수밖에 없다. 씻김 현상에 의한 모은 빗물의 수질 변화 범위가 넓은 편이며, 이는 인공함양용 빗물의 활용에 있어 모은 빗물의 수질을 지속적으로 모니터링할 필요가 있음을 지시한다.

4.3. 분리 배제 시간

모은 빗물의 경우 집수면에 대한 씻김 현상으로 인하여 강우 초기에는 오염농도가 높지만 강우가 지속됨에 따라 집수면이 점차 깨끗해지므로 오염농도 역시 낮아진다(한무영 등, 2003). 이러한 지수적 감소 특성은 강우 초기에 오염된 모은 빗물을 분리 배제하는 시간을 설정하는데 있어서 주요한 기준을 제공하게 되며, 대표적 기준 인자는 빗물의 탁도이다. 씻김 현상에 의한 모은 빗물의 탁도 변화는 강우 이전의 집수면에 침적된 오염물질의 양과 강우 세기 그리고 강우 지속시간에 의해 규제받는다(Sator and Boyd, 1972).

이 연구에서 측정된 내린 빗물이나 모은 빗물의 탁도 변화의 양상은 앞서 언급한 것처럼 지수적인 감소 형태가 아니라 주로 급격한 상승과 하강, 즉 단위 시간 동안 순간 변화하는 양상을 주로 보인다(Fig. 7). 이러한 탁도 변화는 우선 수질 측정 간격이 20분으로 설정되어 있어 탁도의 지수적 감소 양상을 기록하지 못하였거나 강우 강도가 일정하지 못하여 야기되는 변화 양상 등의 다양한 이유를 추정할 수 있다. 추후 수질 측정 간격을 좁혀나가면서 기록되는 변화 양상을 비교하여 최적의 측정 시간 간격을 설정할 필요가 있다.

모은 빗물의 탁도는 대부분의 경우 20NTU 이하 상태를 보였다. Fig. 8은 모은 빗물의 분리 배제 시간을 추정하기 위해 탁도 계급 크기(rank)를 20NTU로 하여 작성한 히스토그램이다. 관측기간 동안 20NTU 이상의 탁도를 기록한 횟수는 23회로서, 이들 관측치 중 강우 시작 시점을 기준으로 20NTU 이상의 탁도가 지속된 시간은 60분이 3회, 40분 4회 그리고 20분 16회로 확인되었다. 이러한 결과는 초기 강우의 씻김 현상으로 인해 오염된 빗물을 분리 배제하는데 필요한 시간이 길지 않음을 시사한다.

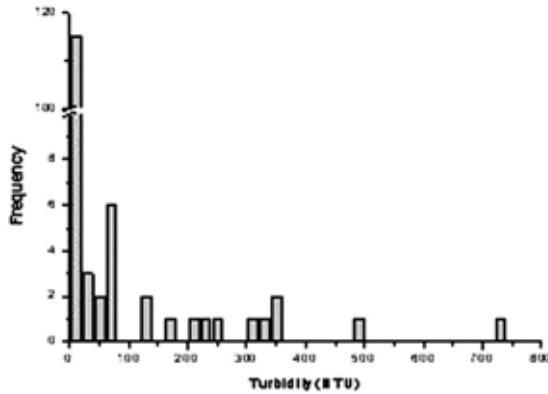


Fig. 8. Turbidity histogram of the collected rainwater.

5. 결론

제주 북서부의 한림지역에 위치한 원종장의 비닐하우스에 설치된 빗물집수시설을 이용하여 모은 빗물의 수질을 측정하고, 이를 내린 빗물의 수질과 비교 분석하였다. 연구 결과를 종합하면 다음과 같다.

1. 강우 초기의 모은 빗물의 pH는 내린 빗물보다 1.5 이상 낮은 산성이며, 모은 빗물이 내린 빗물보다 전기전도도 변화 폭과 범위가 크게 나타난다. Cl 농도는 내린 빗물에 비해 모은 빗물이 높은 편이나, 강우 사상별 반응 정도가 미약하고 그 경향성이 분명하지 않아 모은 빗물과 내린 빗물의 구분에 효과적이지 못하다. 내린 빗물의 탁도의 대부분은 5 NTU이하로서 우리나라 중수도 탁도 수질 기준인 10 NTU 보다 양호하며, 모은 빗물의 탁도 역시 대부분 20 NTU 이하를 보인다.
2. 내린 빗물과 모은 빗물의 수질 항목별 변화 범위와 크기 차이는 집수면 씻김현상에 의한 결과로 해석된다.
3. 강우 기간동안의 20 NTU 이상의 탁도가 지속된 시간은 60분이 3회, 40분 4회 그리고 20 분이 16회로 대부분 20분 이하이며, 이는 강우 초기의 모은 빗물을 배제하는데 필요한 시간이 길지 않음을 지시한다.
4. 모은 빗물의 수질이 집수면 씻김현상에 의해 내린 빗물에 비해 수질 변화 폭과 크기에 있어 차이를 보이나, 이러한 현상이 강우 초기에 국한되어 있어 수질 개선의 여지가 충분한 것으로 판단된다.
5. 7-월의 우기 동안의 자료 분석 결과만으로 연구지역의 빗물의 수질 특성에 대해 일률적으로 단정하기는 어려우며, 추후 봄철의 황사 기간을 포함한 장기적인 관점에서 지속적인 관측과 분석이 필요하다.



사 사

이 논문은 한국지질자원연구원 기본사업인 “청정 대용량 지하수자원확보 기술개발(08-3211)” 과제의 일환으로 수행되었습니다. 논문의 오류를 지적하고 의견을 주신 심사위원 들께 감사드립니다.

참고문헌

1. 독고석, 한무영 (2003) 강우지속시간별 빗물수질특성 분석, *상하수도학회지*, 17, pp.887-891.
2. 박원배, 고기원 (2006) 제주도의 빗물이용과 활성화를 위한 관리제도, *지반환경*, 7, 21-27.
3. 이민희, 한진석, 한의정, 신찬기 (1989) 황사현상시 강수의 화학적 성분에 관한 연구, *한국대기보전과학회*, 5, 1-11.
4. 이봉주, 문상호, 박기화, 고동찬, 고기원, 2002, 제주도 용천수의 수리지화학적 특성, *지질학회지*, 38, 421-439.
5. 최금찬, 김창환, 조정구, 박정호 (1998) 부산시 일부지역에 대한 초기 및 후속 강우의 이온성분 특성, *한국대기보전학회지*, 14, 361-368.
6. 한무영, 이일용, 김미형, 김영진 (2002) 빗물이용시스템에서 빗물의 pH와 전기전도도에 관한 연구, *상하수도학회지*, 16, 80-86.
7. 한무영, 이일용, 박상철 (2003) 건물의 지붕 집수면이 유출빗물의 수질에 미치는 영향, *상하수도학회지*, 17, 460-466.
8. Minoura, H. and Iwasaka, Y. (1997) Ion concentration changes observed in drizzling rains, *Atmospheric Research*, 45, 165-182.
9. Sartor, J., and Boyd, G. (1972) *Water pollution aspects of street surface contaminants*(Report No. EPA-R2_72-081), U. S. Environmental Protection Agency.
10. Tanner, P. A. (1999) Analysis of Hong Kong daily bulk and wet deposition data from 1994 to 1995, *Atmospheric Environment*, 33, 1757-1766.
11. Yaziz, M. I., Gunting, H., Sapari, N. and Ghazali, A. W. (1989) Variation in rainwater Quality from roof catchments, *Water Resources*, 23, 761-765.
12. Zobrist, J., Muller, S. R., Ammann, A., Bucheli, T. D., Mottier, V., Ochs,
13. Schoenenberger, M., Eugster, R., and Boller, M. (2000) Quality of roof runoff for ground infiltration, *Water Resources*, 34, 1455-1462.