

## 흙 지붕 표층 두께에 따른 빗물의 유출 수질 평가

박종석<sup>†</sup> · 심춘석 · 문병석\*

전남대학교 토목공학과

\*서남대학교 토목공학과

### Assessments of Rainwater Runoff Quality from Soil Roofs According to Layer Thickness

Jongseok Park<sup>†</sup> · Chunseok Sim · Byoungseok Moon\*

Department of Civil Engineering, Chonnam National University

\*Department of Civil Engineering, Seonam University

(Received 18 February 2011, Revised 27 April 2011, Accepted 27 April 2011)

#### Abstract

This study aimed at analyzing the runoff quality by the layer thickness and material of soil roof to make best use of the rainwater falling on it in terms of safety and efficiency and resulted in the following assessments. It turned out that the concentrations decreased more in T-N, NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N, T-P and PO<sub>4</sub>-P in roof rainwater except 30 cm for the RW1 soil roof after passing through it than those of first rainwater. On the other hand, the concentrations in rainwater passing through gravel roof turned out to be equal or same to those of the first rainwater. As a result of analysis of metallic stuff in runoff, there was no indication of Cd, Cr, Mn and Pb as well. The concentration of Cu, Fe and Zn in rainwater through soil roof became less than that of the first rainwater. In this research, the soil roof showed the good efficiency in lowering the concentration of such components as nitrogen, phosphorus and metals. Based on the results from this work, more practical study would be required further in the future in relation to soil roof when installing the rainwater-utilizing facilities.

**keywords** : Gravel roofs, Rainwater, Runoff quality, Soil roofs

## 1. 서론

흙 지붕은 건물의 허용적재하중 범위 내에서 지붕이나 옥상과 같은 인공지반 상부에 흙을 덮어 잔디나 초목을 식재하는 것을 말하지만, 단순히 지붕 위에 흙을 덮어 올려놓은 것이 아니라 파괴된 토양 생태계를 옥상에 복원하는 의미를 가지고 있다. 유럽에서는 vegetated roofs, green roofs, living roofs, eco roofs 등으로 불리우며, 우리나라에서는 옥상 녹화, 옥상 정원 등으로 불리운다. 또한 국내에서는 옥상 녹화 시스템의 유형에 대한 구분이 명확하게 이루어지고 있지 않으나 유럽에서는 옥상 녹화 시스템의 적용 목적에 따라 자연 발생형(spontaneous green roofs), 저관리·경량형(extensive green roofs), 관리·중량형(intensive green roofs)로 분류하고 있다(FLL, 2002; Köhler et al., 2003). 자연 발생형은 인위적인 처치 없이 외부에서 꽃씨 등이 날아와 지붕이나 옥상에 자연적으로 발생하는 것이며, 저관리·경량형은 낮은 토심(30 cm 이하)에 최소의 하중으로 지피 식물과 야생 초화류를 식재하는 옥상 녹화이다. 그리고 관리·중량형은 높은 토심(40 cm 이상)에 교목식재

가 및 조경시설물 설치가 가능한 옥상 녹화이다.

옥상 녹화는 일반적으로 대기 온도 조절 및 공기 정화와 같은 환경개선효과, 심미적 건강 혜택을 제공할 뿐 아니라 다양한 효과를 가지고 있다. 예를 들어, 건물의 균열을 예방하고 소음을 차단하는 등의 기술적인 이점과 도시의 열섬 현상을 막아주며, 단열효과까지 있어서 건축물의 냉·난방비를 절감할 수 있다. 그리고 인구 밀도가 높은 도시 지역의 녹색 공간을 창출하는 중요한 역할을 하고 있다(김미아와 정동양, 2006; 손재룡 등, 2003; Berndtsson et al., 2009; English Nature, 2003). 특히 옥상 녹화의 최근 연구 결과 도시의 강우 유출 저감 효과와 빗물 재활용을 위한 강우 유출 수질의 개선 효과가 높다(박종석과 정동양, 2007; Berndtsson, 2010; Berndtsson et al., 2009; Köhler, 2004). 이는 옥상 녹화가 도시 지역의 홍수범람을 예방하는 미니 댐의 역할을 할 수 있는 기능을 가지고 있으며 더불어 불투수층의 옥상면과 대기 중 오염물질을 제거하여 옥상면에서 유출되는 비점오염원을 저감시키는 역할을 할 수 있다. 하지만 옥상 녹화가 불투수층의 옥상에서 유출되는 오염물질의 농도를 항상 감소시키는 것은 아니다. 예를 들어, 토심이 40 cm 이상이고 교목식재가 가능한 관리·중량형 옥상녹화인 경우 비료와 토양 입자에서 방출되는 영양물질을 통해 유출수의 오염물질 농도가 더 증가될 수 있다

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.

victorypjs@nate.com

(Emilsson et al., 2006).

현재 세계적으로 부족한 물 문제를 해결하기 위하여 다양한 방법들이 시도되고 있지만 가장 효과적인 방법의 하나로 주목받고 있는 것이 빗물의 재활용으로, 최근 우리나라에서도 부족한 수자원 문제를 해결하기 위한 대체수자원의 개발과 지속가능한 도시개발 및 생태도시건설의 한 가지 방안으로 빗물의 중요성이 부각되고 있다. 하지만 빗물 이용에 있어서 무엇보다 중요한 것은 안정적인 수질 확보 방안이다. 초기 빗물은 대기 중의 오염물질을 포함하고 있기 때문에 빗물의 효율적인 활용을 위해서는 빗물의 오염 정도를 알아보는 연구가 선행되어야 할 것이다. 더 나아가 빗물의 안정적인 수질 확보를 위하여 흙 지붕을 통한 수질 특성을 평가하는 것은 환경적인 측면에서 중요한 의미를 가지게 된다. 하지만 현재 빗물 관련 연구는 옥상의 불투수층을 통과한 후 빗물 저류조에 저류한 빗물의 수질을 분석하는 연구가 대부분이며(정구복 등, 2007; 최정주 등, 2008; 한무영과 이순재, 2005; 한치복과 이택순, 2010), 옥상의 투수층(흙 지붕)을 통과한 빗물의 수질을 분석한 연구는 미흡한 편이다(이재훈 등, 2008; 한무영 등, 2003).

따라서 본 연구는 빗물 활용에 중요한 빗물의 수질 안정성을 확보하기 위하여 두께를 다르게 포설한 흙 지붕과 자갈 지붕을 통과한 빗물의 수질을 분석하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 실험 장소 및 장치

본 연구에서는 저관리·경량형 흙 지붕을 pilot 규모로 제작하여 흙 표층의 두께별, 지붕면의 재료별에 따른 빗물 유출수의 수질을 분석하였다. 실험 장치는 광주광역시 북구

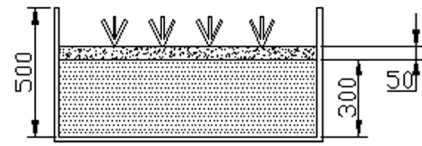


Fig. 2. Sectional view of 35 cm soil roofs system.

소재 전남대학교의 공대 3B동 옥상에 Fig. 1과 같이 1000 mm×1000 mm×500 mm로 제작된 아크릴 상자에 흙과 잔디 35 cm(a), 흙과 잔디 25 cm(b), 자갈 10 cm(c)를 포설하였다. 일반적으로 저관리·경량형 흙 지붕은 토심이 30 cm 이하이기 때문에 본 실험에서는 토심을 30 cm (S30)와 20 cm (S20)로 제작하였으며, 지붕면의 재료별 특성을 분석하기 위하여 자갈을 10 cm (G10)로 제작하였다. 유출수의 채수는 아크릴 상자 하단부에 유출구(4곳)를 제작하여 토심을 통과한 빗물을 채수하였으며, pilot 지붕면과 접촉하지 않은 빗물은 보통 우량계(Ø 200 mm)로 집수하였으며, Fig. 2는 Fig. 1(a)의 내부단면도를 나타낸 것이다.

### 2.2. 실험 기간 및 분석

실험 기간은 2010년 7월 1일부터 7월 30일까지이며, 연구기간동안 3번의 강우사상이 발생하였다(Table 1). 본 연구는 흙 지붕과 자갈 지붕의 초기 강우 처리 효율을 알아보기 위하여 흙 지붕과 자갈 지붕을 통과한 초기 유출수를 기준으로 1회 샘플링하여 측정·분석하였다. 빗물 유출수의 수질분석에서 T-N, T-P, NO<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P, pH는 standard Methods와 HACH DR-4000에 준하여 측정하였으며, NH<sub>4</sub>-N은 HACH manual의 Nessler 방법을 이용하여 측정하였다. 또한 중금속은 대기오염에 따라 빗물에서 주로 검출되는 Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn 등 7개 항목을 ICP-MS

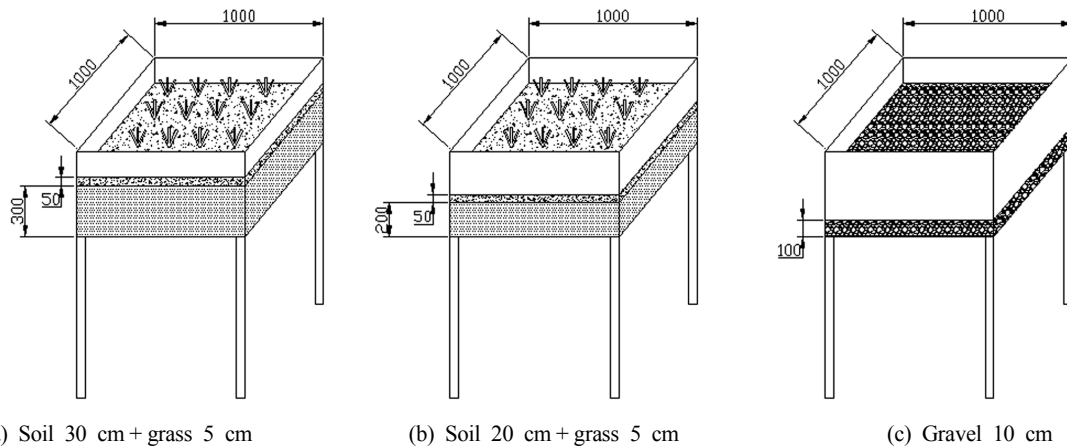


Fig. 1. Soil roofs system.

Table 1. Rainfall information

Rainfall event	Rainfall date (2010)	Duration time (hr)	Total rainfall (mm)	Antecedent dry day (day)
RW1	7.11. 02:00-17:00	15	191	8
RW2	7.15. 21:00-7.16. 15:00	19	61	4
RW3	7.24. 16:00-7.25. 02:00	11	28.5	7

(Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry)를 사용하여 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 흙 지붕의 표층 두께별, 지붕면의 재료별로 유출되는 빗물의 수질을 분석하였다. 각각의 항목에 대한 측정결과는 Table 2에 나타난 것과 같으며, Fig. 3과 Fig. 4는 측정결과의 범위값과 평균값을 나타낸 것이다. 그리고 Cd, Cr, Mn, Pb는 측정결과 검출되지 않았다.

#### 3.1. 내린 빗물 수질

흙 지붕과 자갈 지붕을 통과한 유출수 수질을 파악하기 전에 내린 빗물의 수질을 분석하였다. 분석은 흙 지붕 30 cm에서 유출이 시작되기 전까지의 강우를 기준으로 실시하였다. 이러한 이유는 유출수와 내린 빗물의 수질을 비교하기 위해서이다.

강우사상 RW1(7월 11일)은 총강우량 191 mm, 지속시간 15시간, 선행건기일수 8일이며, T-N 4.14 mg/L, T-P 0.08 mg/L, pH 6.21로 나타났다. 그리고 강우사상 RW2(7월 15~16일)는 총강우량 61 mm, 지속시간 19시간, 선행건기일수 4일이며, T-N 3.06 mg/L, T-P 0.018 mg/L, pH 5.58로 나타났으며, 강우사상 RW3(7월 24~25일)은 총강우량 28.5 mm, 지속시간 11시간, 선행건기일수 7일이며, T-N 1.95 mg/L, T-P 0.04 mg/L, pH 5.52로 나타났다. 전체적으로 내린 빗물의 수질은 RW1이 RW2와 RW3에 비해 상대적으로 오염 농도가 높게 나타났으며, RW2와 RW3는 오염물질에 따라 농도의 변화가 각각 다르게 나타났다. 오염물질에 따라 농도의 변화가 다르게 나타난 이유는 선행건기일수의 차이 때문이라고 판단된다.

#### 3.2. 질소와 인

질소와 인의 측정결과는 Fig. 3에 나타난 것과 같다. 연구결과 내린 빗물의 T-N은 1.95~4.14 mg/L, 평균 3.05 mg/L,

흙 지붕 20 cm에서 0.46~1.32 mg/L, 평균 0.90 mg/L으로 70.4% 감소하였으며, 흙 지붕 30 cm에서 0.47~0.64 mg/L, 평균 0.55 mg/L으로 내린 빗물과 비교하여 82.0% 감소하였다. 자갈 지붕 10 cm에서 1.99~4.93 mg/L, 평균 3.62 mg/L으로 내린 빗물의 초기 T-N보다 18.6% 증가한 것으로 나타났다. 그리고 내린 빗물의 NO<sub>3</sub>-N은 1.03~2.15 mg/L, 평균 1.64 mg/L, 흙 지붕 20 cm에서 0.13~0.60 mg/L, 평균 0.33 mg/L으로 79.8% 감소하였으며, 흙 지붕 30 cm에서 0.09~0.13 mg/L, 평균 0.11 mg/L으로 내린 빗물과 비교하여 93.0% 감소하였다. 자갈 지붕 10 cm에서 1.11~2.35 mg/L, 평균 1.83 mg/L으로 내린 빗물의 초기 NO<sub>3</sub>-N보다 11.6% 증가한 것으로 나타났다. 또한 NH<sub>4</sub>-N 역시 NO<sub>3</sub>-N가 나타낸 유형과 유사하게 흙 지붕을 통과한 후 내린 빗물의 초기 농도보다 감소하였으며 자갈 지붕을 통과한 후 NH<sub>4</sub>-N 농도는 내린 빗물의 초기 농도보다 증가한 것으로 나타났다. 즉, 내린 빗물에 포함된 유기 질소는 잔디와 흙을 통과하면서 질산화 및 흡수에 의해 감소하는 것으로 판단된다. 또한 자갈 지붕을 통과하면서 유출수의 오염물질이 증가한 것은 초기 강우의 강하시 대기 중 대기오염물질을 씻어내는 역할을 하기 때문으로 판단된다. 하지만 흙과 잔디를 통과하면서 복잡한 질소 변화에 관한 연구 결과는 부족한 편이다. Mason 등(1999)은 NO<sub>3</sub>-N가 감소하는 것은 흙 지붕을 통과하면서 질산화의 결과로 NH<sub>4</sub>-N가 감소하는 것이라고 주장하였다. 또한 한치복과 이택순(2010)의 연구에서 내리는 빗물과 저류조 빗물의 수질을 비교하면서 저류조 빗물은 콘크리트 지붕면을 집수면으로 이용하였다. 연구 결과 본 연구의 자갈 지붕을 통과한 후 빗물의 NH<sub>4</sub>-N와 NO<sub>3</sub>-N가 내린 빗물의 초기 농도보다 증가하는 것처럼 NH<sub>3</sub>-N와 NO<sub>3</sub>-N가 증가한 것으로 나타났다.

내린 빗물의 T-P은 0.04~0.08 mg/L, 평균 0.046 mg/L, 흙 지붕 20 cm에서 0.32~0.01 mg/L, 평균 0.113 mg/L으로 68.8% 감소하였으며, 흙 지붕 30 cm에서 0.15~0.004 mg/L, 평균 0.052 mg/L으로 내린 빗물과 비교하여 89.2% 감소하였다. 하지만 자갈 지붕 10 cm에서 0.04~0.09 mg/L,

Table 2. The results of nutrients, pH and heavy metals

	July 11, 2010				July 15-16, 2010				July 24-25, 2010			
	RW1	S20	S30	G10	RW2	S20	S30	G10	RW3	S20	S30	G10
T-N	4.14	1.32	0.64	4.93	3.06	0.93	0.54	3.93	1.95	0.46	0.47	1.99
T-P	0.08	0.01	0.004	0.09	0.018	0.009	0.003	0.02	0.04	0.32	0.15	0.04
NO <sub>3</sub> -N	2.15	0.6	0.13	2.35	1.73	0.26	0.12	2.02	1.03	0.13	0.09	1.11
NH <sub>4</sub> -N	2.31	0.32	0.32	2.63	1.04	0.23	0.18	1.07	1.08	0.25	0.15	1.1
PO <sub>4</sub> -P	0.06	0.01	0.09	0.06	0.014	0.009	0.008	0.015	0.011	0.009	0.007	0.011
pH	6.21	7.28	7.53	6.47	5.58	7.39	7.32	6	5.52	7.54	7.56	6.1
Cd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cu	0.087	0.026	0.02	0.098	0.053	0.018	0.018	0.061	0.062	0.023	0.017	0.062
Fe	0.17	0.05	0.04	0.21	0.12	0.027	0.022	0.17	0.13	0.029	0.024	0.14
Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zn	0.24	0.12	0.05	0.25	0.109	0.065	0.034	0.14	0.053	0.032	0.031	0.061

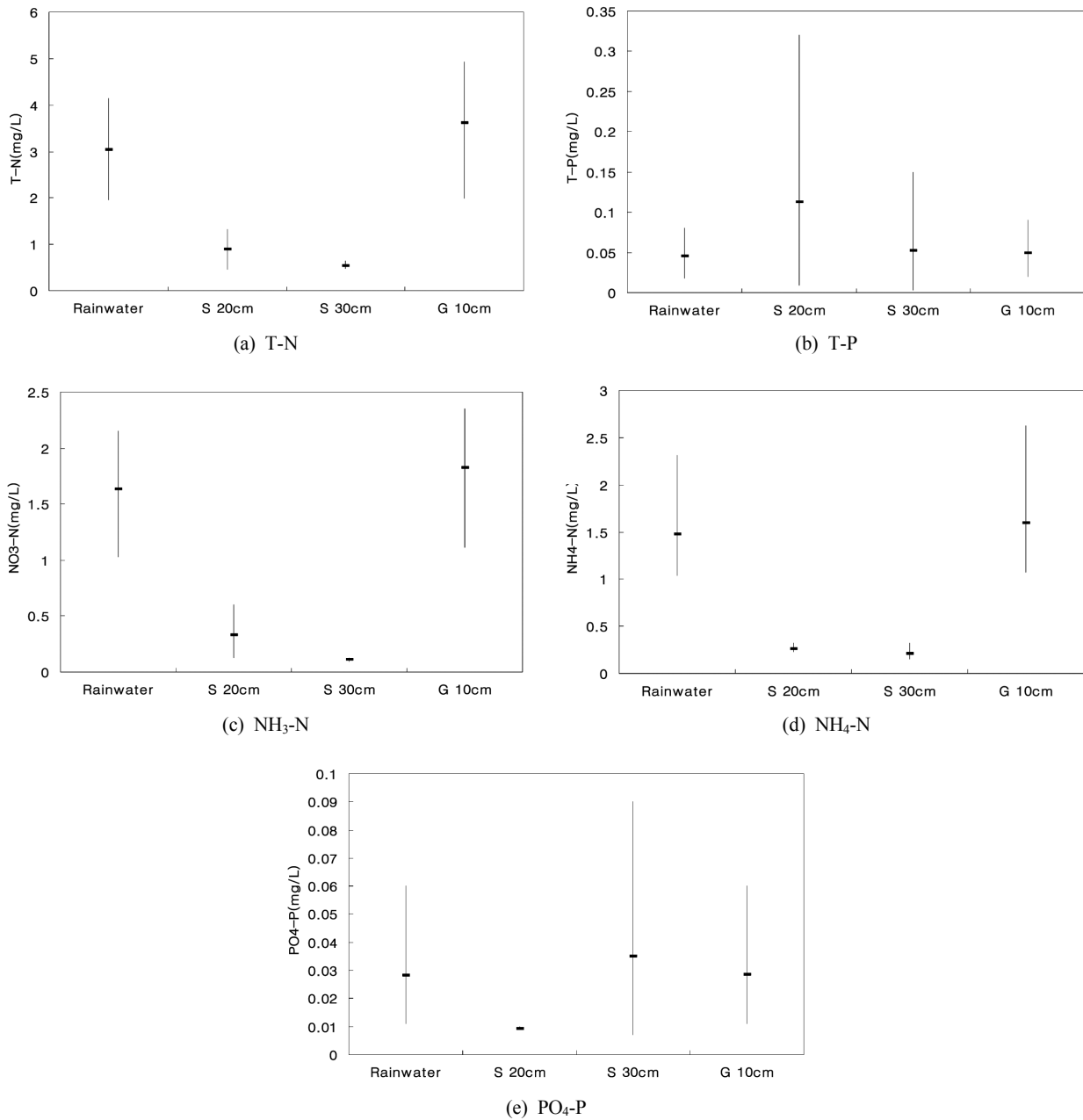


Fig. 3. Range and average values for nutrients in soil roofs 20 cm, 30 cm and gravel roofs 10 cm runoff and rainwater.

평균 0.05 mg/L으로 내린 빗물보다 8.7% 증가한 것으로 나타났다. 그리고 내린 빗물의 PO<sub>4</sub>-P은 0.011~0.060 mg/L, 평균 0.028 mg/L, 흙 지붕 20 cm에서 0.009~0.010 mg/L, 평균 0.009 mg/L, 흙 지붕 30 cm에서 0.007~0.090 mg/L, 평균 0.035 mg/L, 자갈 지붕 10 cm에서 0.011~0.060 mg/L, 평균 0.029 mg/L으로 나타났다. 하지만 내린 빗물의 PO<sub>4</sub>-P는 강우사상 RW2와 RW3에서 흙 지붕을 통과한 후 초기 내린 빗물의 농도보다 감소하였지만, 강우사상 RW1에서 흙 지붕 30 cm을 통과한 후 초기 내린 빗물의 농도보다 증가한 것으로 나타났다. 이러한 원인은 실험에 사용된 흙 시료가 인위적 관리를 하였던 곳에서 채취하였기 때문으로 판단된다. 즉, 인의 유출은 비료 및 토양물질의 구성과 관련이 있다는 것이다. 그리고 자갈 지붕을 통과한

후 초기 내린 빗물의 농도와 같거나 증가한 것은 질소의 유출과 마찬가지로 강우가 대기 오염물질을 씻어내는 역할을 하기 때문으로 판단된다. Mason 등(1999)은 관리·중량형 흙 지붕(intensive roofs)을 통과하면서 PO<sub>4</sub>-P가 증가한다고 주장하였지만 본 연구에서는 pilot 규모의 자갈 지붕과 저관리·경량형 흙 지붕을 사용하였기 때문에 PO<sub>4</sub>-P의 증감이 나타났다고 결론짓기는 어렵다. 이 부분은 향후 지속적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

### 3.3. pH와 중금속

pH와 중금속의 측정결과는 Fig. 4에 나타난 것과 같다. 빗물의 pH는 5.52~6.21, 평균 5.77으로 산성을 나타내며, 흙 지붕 20 cm에서 7.28~7.54, 평균 7.40, 흙 지붕 30 cm

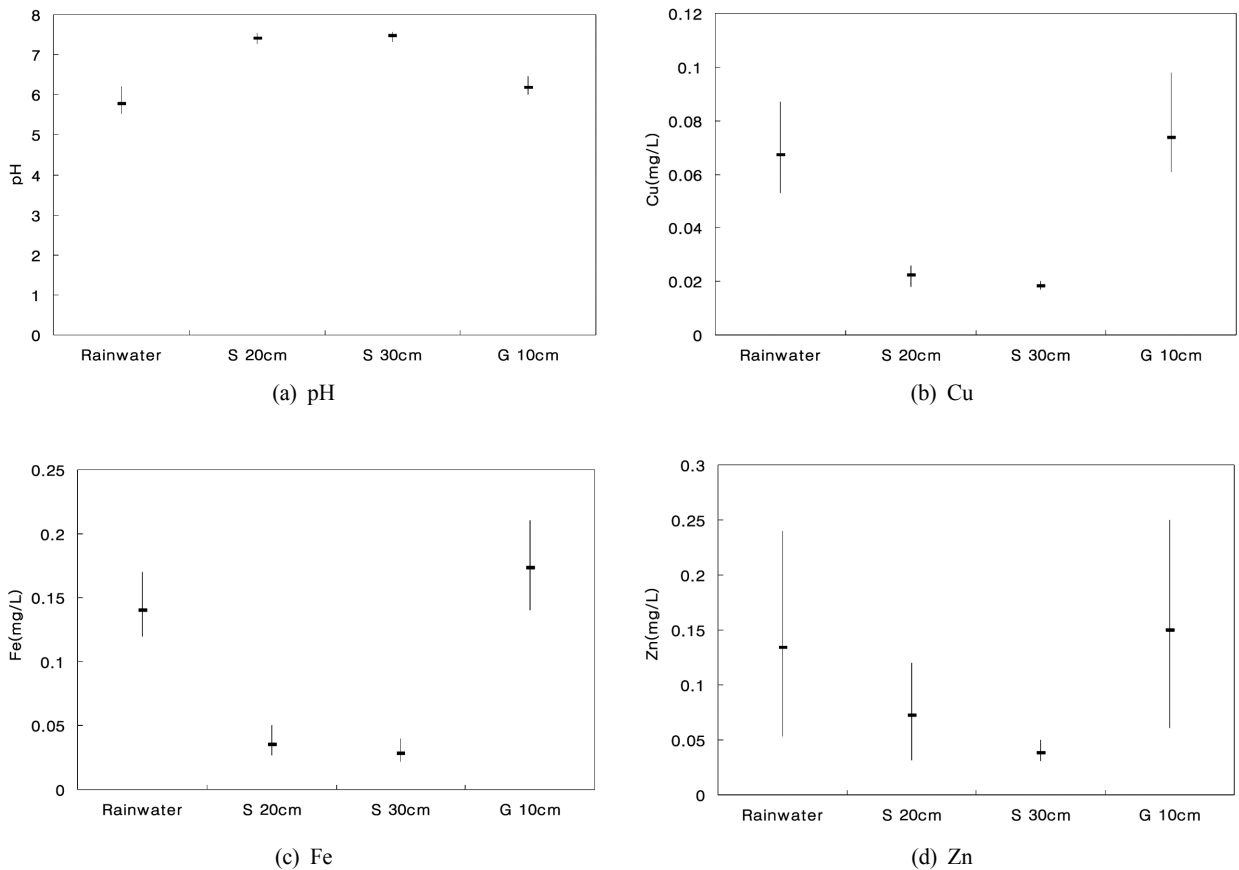


Fig. 4. Range and average values for heavy metals and pH in soil roofs 20 cm, 30 cm and gravel roofs 10 cm runoff and rainwater.

에서 7.32~7.56, 평균 7.47으로 흙 지붕에서는 두께와 상관 없이 중성으로 나타났다. 하지만 자갈 지붕 10 cm에서 6.0~6.47, 평균 6.19으로 내린 빗물과 유사한 산성으로 나타났다. 이러한 결과 내린 빗물의 pH가 흙 지붕을 통과하면서 중성으로 변화하였음을 알 수 있다. 기존의 연구 결과를 살펴보면 내린 빗물의 pH는 4~5이며, 흙 지붕을 통과한 빗물의 pH는 7~7.5으로 나타나 본 연구와 유사하였다(한무영 등, 2003). 또한 자갈 지붕과 기와를 비교하였을 때(이재훈 등, 2008) pH의 범위는 비슷하였지만, 자갈 지붕과 콘크리트 포장면을 비교하였을 때(김영진 등, 2003; 한치복 등, 2009) pH는 상당히 다르게 나타났다. 이는 빗물이 콘크리트 포장면을 지나면서 알칼리성인 집수면의 영향으로 pH가 자갈 지붕보다 증가한 것으로 판단된다.

중금속 측정결과, Cd, Cr, Mn, Pb는 검출되지 않았다. 하지만 Cu는 내린 빗물에서 평균 0.067 mg/L으로 나타났으며, 흙 지붕 20 cm에서 평균 0.022 mg/L으로 66.8% 감소하였으며, 흙 지붕 30 cm에서 평균 0.018 mg/L으로 내린 빗물과 비교하여 72.8% 감소하였다. 하지만 자갈 지붕 10 cm에서 평균 0.074 mg/L으로 9.4% 증가한 것으로 나타났다. Fe는 내린 빗물에서 평균 0.140 mg/L으로 나타났으며, 흙 지붕 20 cm에서 평균 0.035 mg/L으로 74.8% 감소하였으며, 흙 지붕 30 cm에서 평균 0.029 mg/L으로 내린 빗물과 비교하여 79.5% 감소하였다. 자갈 지붕 10 cm에서 평균

0.173 mg/L으로 23.8% 증가한 것으로 나타났다. 마지막으로 Zn은 내린 빗물에서 평균 0.134 mg/L으로 나타났으며, 흙 지붕 20 cm에서 평균 0.072 mg/L으로 46.0% 감소하였으며, 흙 지붕 30 cm에서 평균 0.038 mg/L으로 내린 빗물과 비교하여 71.4% 감소하였다. 하지만 자갈 지붕 10 cm에서 평균 0.150 mg/L로 나타나 내린 빗물과 비교하여 12.2% 증가한 것으로 나타났다. 실험결과 Cu, Fe, Zn 모두 흙 지붕을 통과하면서 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 흙 지붕의 토심이 클수록 중금속의 오염농도가 상대적으로 감소하는 것으로 보아 토심에 따라 중금속 농도 변화가 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 이러한 결과로 비추어 볼 때 향후 빗물이용시설에 흙 지붕 적용을 고려해야 할 것이다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 빗물의 안전하고 효율적인 이용을 위하여 흙 지붕의 표층 두께와 지붕면의 재료별에 따른 유출 빗물의 수질을 분석하고자 흙과 잔디 35 cm, 흙과 잔디 25 cm, 자갈 10 cm를 포설한 3가지 종류의 다른 지붕을 사용하여 조사한 후 다음과 같은 결과를 얻었다.

내린 빗물의 T-N, NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N는 흙 지붕을 통과한 후 초기 내린 빗물의 농도보다 감소하였고, 자갈 지붕을 통과한 후 초기 내린 빗물의 농도보다 증가한 것으로 나타났다.

즉, 내린 빗물에 포함된 유기 질소는 잔디와 흙을 통과하면서 질산화 및 흡수에 의해 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 자갈 지붕을 통과하면서 유출수의 오염물질이 증가한 것은 초기 강우의 강하시 대기 중 대기오염물질을 씻어내는 역할을 하기 때문으로 판단된다. 그리고 T-P는 흙 지붕을 통과한 후 초기 내린 빗물의 농도보다 감소하였고, 자갈 지붕을 통과한 후 초기 내린 빗물의 농도와 같거나 증가한 것으로 나타났다. 그리고 PO<sub>4</sub>-P는 흙 지붕을 통과한 후 초기 내린 빗물의 농도보다 감소하였으며(RW1의 흙 지붕 30 cm 제외), 자갈 지붕을 통과한 후 초기 내린 빗물의 농도와 같거나 증가한 것으로 나타났으며, 실험결과 인의 유출은 비료 및 토양물질의 구성과 관련이 있는 것으로 판단된다.

또한 내린 빗물의 pH는 5.7이었고 흙 지붕을 통과한 후 pH는 7.4로 나타나 흙 지붕을 통과한 후 중성으로 변화하였음을 알 수 있었으며, 자갈 지붕을 통과한 후 pH는 6.2로 나타나 지붕면에 따른 pH의 변화를 알 수 있었다. 그리고 내린 빗물의 중금속 측정결과, Cd, Cr, Mn, Pb는 검출되지 않았으며, Cu, Fe, Zn은 흙 지붕을 통과한 후 초기 내린 빗물의 농도보다 감소하였고, 자갈 지붕을 통과한 후 초기 내린 빗물의 농도보다 같거나 증가한 것으로 나타났다.

본 연구를 통해 흙 지붕을 통과한 유출수의 수질을 분석함으로써 흙 지붕이 초기 강우의 오염물질 농도를 감소시켜 수질 환경개선 효과가 높다는 것을 알 수 있었다. 향후 본 연구 결과자료를 사용하여 빗물이용시설을 설치할 때 저관리·경량형 흙 지붕과 연계한 실질적인 연구가 필요할 것이다.

### 참고문헌

김미아, 정동양(2006). 지붕 표층 마감 재료가 흙 지붕 내부에 미치는 온도 변화. *한국기술교육학회지*, 6(2), pp. 3-14.  
 김영진, 한무영, 이일룡(2003). 콘크리트 집수면을 이용한 집수과정에서의 빗물수질변화에 관한 연구. *공동주택 학술발표회 논문집*, 한국물환경학회·대한상하수도학회, pp. 161-164.  
 박종석, 정동양(2007). 경사면 흙 지붕의 강우 저류 효과 및 유출 특성. *한국기술교육학회지*, 7(1), pp. 41-54.  
 손재룡, 박태은, 신지용, 이동원, 이경희(2003). 옥상정원의 이용실태 조사 및 활성화에 관한 연구(1). *학술발표논문*

집, 대한건축학회, pp. 175-178.  
 이재훈, 동효선, 박주석(2008). 옥상 녹지공간에 따른 강우 저류효과 및 유출특성 분석. *공동주택 학술발표회 논문요약집*, 대한상하수도학회·한국물환경학회, pp. 229-230.  
 정구복, 이종식, 김원일, 김진호, 윤순강(2007). 수원지역 빗물의 중금속 함량 평가. *한국환경농학회지*, 26(2), pp. 116-123.  
 최정주, 오정익, 현경학(2008). 공동주택단지 빗물이용시설의 수질조사. *공동주택 학술발표회 논문집*, 한국물환경학회·대한상하수도학회, pp. 411-412.  
 한무영, 김준규, 박상철(2003). 장마기간 동안의 옥상녹화를 통한 빗물의 수량 및 수질 특성. *공동주택 학술발표회 논문집*, 대한상하수도학회·한국물환경학회, pp. F53-F56.  
 한무영, 이순재(2005). 갈피중학교 빗물이용시설에서의 저장 빗물수질평가. *상하수도학회지*, 19(1), pp. 31-37.  
 한치복, 이택순(2010). 창원지역 빗물의 계절변화 및 저류시간에 따른 수질변화. *대한환경공학회지*, 32(5), pp. 461-468.  
 한치복, 이택순, 서규태, 문병현(2009). 창원 지역 내린 빗물의 수질 특성 조사. *한국수처리학회지*, 17(3), pp. 151-158.  
 Berndtsson, C. J. (2010). Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological Engineering*, 36, pp. 351-360.  
 Berndtsson, C. J., Bengtsson, L., and Jinno, K. J. (2009). Runoff water quality from intensive and extensive vegetated roofs. *Ecological Engineering*, 35, pp. 369-380.  
 Emilsson, T. U., Berndtsson, C. J., Mattson, J. E., and Rolf, K. (2006). Nutrient runoff from extensive vegetated roofs after fertilization with conventional and controlled release fertilizer. *Ecological Engineering*, 29, pp. 260-271.  
 English Nature (2003). Green roofs: their existing status and potential for conserving biodiversity in urban areas. *English Nature Research Reports*, Report no 498, English Nature, Northminster House, Peterborough, UK.  
 FLL (2002). Guideline for the Planning, Execution and Upkeep of Green-Roof Sites. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., Bonn, Germany.  
 Köhler, M. (2004). Energetic effects of roofs to the urban climate near to the ground and to the buildings surfaces. *International Green Roof Congress*, pp. 72-78.  
 Köhler, M., Schmidt, M., and Larr, M. (2003). Roof gardens in Brazil. *Rio 3-World Climate & Energy Event*, pp. 455-460.  
 Mason, Y., Ammann, A. A., Ulrich, A., and Sigg, L. (1999). Behavior of heavy metals, nutrients, and major components during roof runoff infiltration. *Environmental Science and Technology*, 33(10), pp. 1588-1597.