

## 빗물저장조에서 입자의 제거특성 및 운전과 설계시 고려사항

# Particle Removal in a Rainwater Storage Tank, and Suggestions for Operation & Design

문정수 · 유형근 · 한무영\*

Jungsoo Mun · Hyoungkeun Yoo · Mooyoung Han\*

서울대학교 지구환경시스템공학부

(2006년 12월 28일 논문 접수; 2007년 2월 8일 최종 수정논문 채택)

### Abstract

A rainwater utilization facility consists of its catchment area, treatment facility, storage tank, supply facility and pipes in general. The rainwater storage tank which occupies the largest area of the facility has been usually considered quantitatively for determining the storage capacity. Hence, there is little information on water quality improvement by sedimentation in a rainwater storage tank in operation.

In this study, we measured the rainwater quality in a rainwater storage tank in operation during late spring and summer, and showed water quality improvement of turbidity removal of 25~46% by sedimentation in a rainwater storage tank under a fixed water level without inflow and outflow after runoff ceased.

It is necessary to have a considerable distance between the inlet and outlet of the tank and, if possible, it is recommended that the design should allow for an effective water depth of over 3 m and supply rainwater near the water surface. The operation method which increases the retention time by stopping rainwater supply for insuring low turbidity is recommended when the turbidity of rainwater runoff is high. And also more efficient operation and maintenance of the rainwater utilization facility is expected through the tailored design and operation of the facility considering particle removal and behavior.

**Key words:** Rainwater, Rainwater storage tank, Particle, Sedimentation, Removal

**주제어:** 빗물, 빗물저장조, 입자, 침전, 제거

### 1. 서론

최근 들어 홍수, 가뭄 및 물부족과 같은 물문제가

대비하기 위해 빗물 저류의 필요성이 증가하고 있으며, 저류된 빗물을 이용하는 빗물이용시설이 확산되고 있는 추세이다. 환경부의 수도법에서는 2001년 3월 개정을 통해 지붕 면적이 2,400㎡ 이상이고 관랍

\*Corresponding author Tel: +82-2-880-8915, Fax: +82-2-885-7376, E-mail: myhan@snu.ac.kr (Han M.Y.)

석 수가 1,400석 이상인 종합운동장, 실내체육관 등 지붕 면적이 넓은 시설에 대해서 신축하거나, 이 규모 이상으로 증축·개축 또는 재축하는 시설물에 대해서는 빗물이용시설설치를 의무화하였다. 또한 서울시에서는 2005년 12월에 체계적이고 통합적인 빗물관리를 위해 빗물관리에 관한 조례를 제정하였으며, 2006년 3월에 빗물관리시설의 설치 및 지원에 관한 지침을 발표하였다. 이와 함께 소방방재청 및 건교부를 중심으로 빗물관리에 관한 법제화가 추진중에 있다.

빗물이용시설은 일반적으로 집수면, 처리시설, 빗물저장조, 공급 시설 및 배관 등으로 구성되며, 빗물저장조에 저장된 물은 화장실용수, 정원용수, 청소용수 등으로 활용되고 있다(한 등, 2005). 빗물이용시설에서 빗물의 수질은 강우패턴이나 대기조건과 같은 기후적, 지역적 환경과 함께 집수면 조건, 시스템의 구성, 빗물이용 환경등과 같은 시설의 설계와 운전방법 등에 의해 영향을 받는다(박, 1995; 한 등, 2003; Forster, 1996; Tanner, 2000; Polkowska et al., 2002). 빗물의 수질에 영향을 미치는 인자들 중에서 기후적, 지역적 환경은 제어하기가 어려우며, 수질개선을 위한 추가적인 설비는 빗물이용에 장애요인이 될 수 있다.

빗물이용시설에서 가장 큰 용량과 면적을 차지하는 빗물저장조는 주로 설계 용량을 결정하기 위한 수량적인 연구 대상으로 고려되어 왔으며(한 등, 2004), 단순히 빗물을 저장하기 위한 용도로 사용되고 있다. 현재 빗물저장조를 수량적 관점에서 뿐만 아니라 수질 관점에서 다루는 연구가 일부 진행되었으나(한 등, 2005; 김 등, 2005), 아직까지 실제 운영 중인 빗물저장조에서 침전에 의한 수질개선 효과에 대한 연구는 거의 이루어지지 않은 상태이다.

본 연구는 대학교 캠퍼스 내의 건물에 설치되어 있는 빗물이용시설을 대상으로 1) 운전 중인 빗물저장조의 수질을 분석하고, 2) 빗물유입 후 공급을 중단하여 수위를 일정하게 유지하면서 저장조에서 침전에 의한 입자 제거효율을 살펴보았으며, 3) 이러한 연구

결과를 바탕으로 입자의 제거를 고려한 빗물저장조의 설계 및 운전 방법에 대해 제안하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1. 연구대상시설

연구대상시설은 서울대학교 캠퍼스에 위치한 39동(대학원교육연구동) 건물에 설치되어 운영 중인 빗물이용시설이며, 빗물이용시스템 구성의 개요를 Fig. 1과 Table 1에 나타내었다. 39동 건물은 2005년 10월에 준공되었으며, 상주인구는 약 1,000여 명, 1일 물사용량은 120~150m<sup>3</sup>(화장실 물사용량은 60~90m<sup>3</sup>/일)정도이다. 빗물이용시설의 구성을 보면 집수면이 총 3,652m<sup>2</sup>이며 저장조는 250m<sup>3</sup> 규모의 본 저장조와 27m<sup>3</sup> 규모의 소형 저장조 및 4m<sup>3</sup> 용량의 공급탱크로 나누어 진다. 본 저장조로는 960m<sup>2</sup> 면적의 지붕집수면에서 집수된 빗물이 유입되며, 소형 저장조로는 지붕(1,868m<sup>2</sup>)과 건물 바닥면(824m<sup>2</sup>)에서 집수된 빗물이 유입된 후 일정수위에 도달하면(1.2m) 본 저장조로 자동 이송된다. 본 저장조는 2조로 구성되며, 철근콘크리트 재질로써 유효수심은 4.25m이다. 소형 저장조는 철근콘크리트 재질로써 유효수심이 1.8m이다. 본 저장조에 저류된 빗물은 공급탱크(4m<sup>3</sup>)를 거쳐 화장실로 공급된다. 공급탱크에는 빗물유입관과

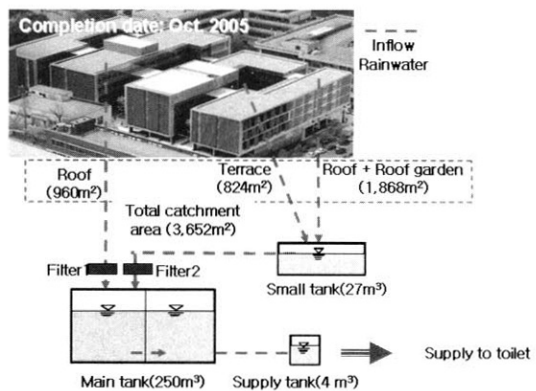


Fig. 1. Schematic diagram of rainwater utilization system in Building 39 at SNU.

Table 1. Summary of rainwater utilization system in building 39 at SNU

Catchment area (m <sup>2</sup> )	Tank volume(m <sup>3</sup> )	Retention time (day)	Water consumption (m <sup>3</sup> /day)	Catchment area
3,652	250	< 3	60~90 for toilet	Roof, garden roof, terrace

상수유입관이 설치되어 있어서 빗물을 우선으로 공급 하되, 빗물이 부족할 경우 상수를 공급할 수 있도록 하였다.

소형저장조 유입부에는 간이 스크린을 설치하였으며, 본 저장조 유입부에는 와류여과형 WFF100필터(mesh size 0.28mm, WISY 독일)와 침전형 AFS200필터(ELWA, 독일)를 설치하였다. WFF100필터로는 지붕에서 집수된 빗물이 유입되며, AFS200필터로는 평상시 지붕집수면의 빗물이 유입되다가 소형저장조의 수위가 일정 수위에 다다르면 자동으로 소형저장조의 빗물이 유입되게 된다.

2.2. 실험조건 및 분석방법

빗물저장조의 수질분석을 위해 2006년 5월부터 8월까지 4개월간 일주일에 한번 또는 한 달에 한 번씩

Table 2. Conditions for analysis of rainwater quality in the main storage tank

Period	Measurements	Sampling time
May ~ August 2006	Turbidity, pH, Temperature	Once in a week or month

본 저장조의 2개 조에서 탁도와 pH 및 수온을 측정 하였다(Table 2).

빗물저장조에서 침전에 의한 수질개선 효과 실험은 2006년 6월에서 8월까지의 3회의 강우사상을 대상으로 하였다. 3회의 강우는 ① 선행건기일수가 길고(13일) 강우량이 10mm 이하인 경우(case 1), ② 선행건기일수가 짧고(3일) 강우량이 10mm 정도인 경우(case 2), ③ 강우량이 300mm 이상인 경우(case 3)로 빗물의 탁도는 case 1에서 가장 높았으며, case 3에

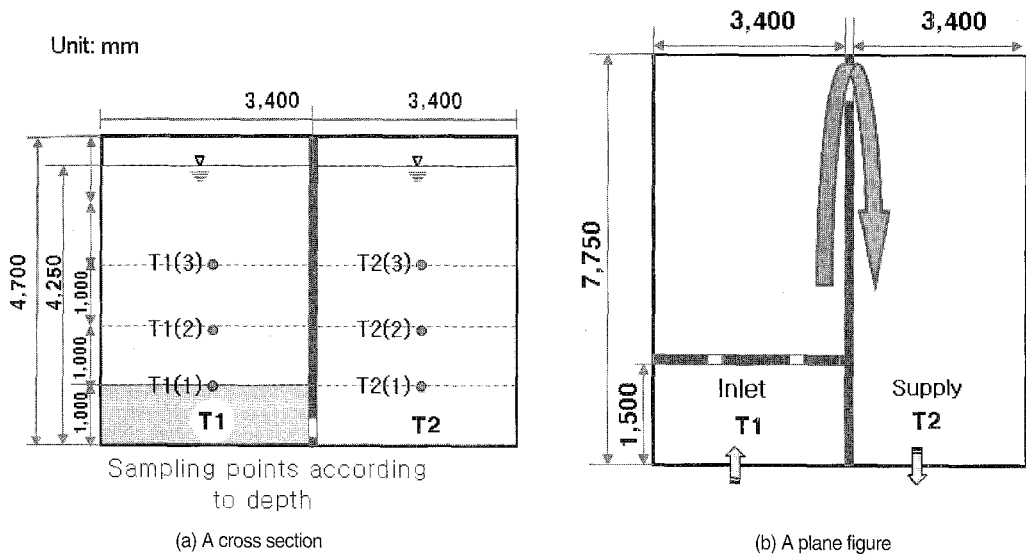


Fig. 2. Sampling points.

Table 3. Experimental conditions (Particle removal by sedimentation)

Case	Sampling period (Retention time)	Rainfall (Antecedent dry day)	Sampling points (Main tank)	Initial turbidity in rainwater tanks (NTU)	water level
1	9 Jun. 20:40~ 10 Jun. 9:10 (2hr)	6mm (13days)	T1(1)T2(1)	T1(1) 11.5 T2(1) 6.5	2.45m
2	11 Jul. ~ 15 Jul. (100hr)	10mm (3days)	T1(1) T1(2) T1(3) T2(1) T2(2) T2(3)	T1(1) 6.4 T2(1) 4.2	3.32m
3	31 Jul. ~ 4 Aug. (105hr)	over 300mm		T1(1) 2.1 T2(1) 1.4	3.15m

**Table 4.** Analysis of stored rainwater quality

Measurements	Devices
Turbidity	Turbidimeter (HACH 2100, USA)
pH	pH meter (HACH sension 1, USA)
Water temperature	pH meter (HACH sension 1, USA)

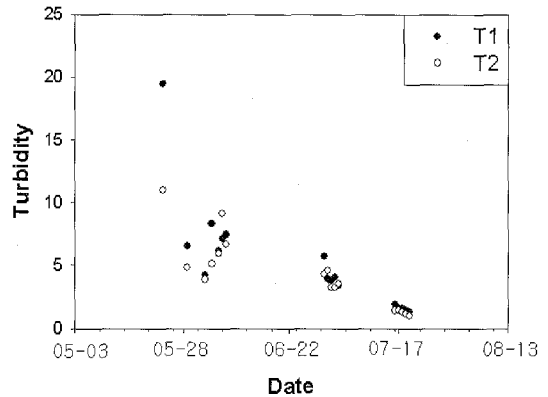
서 가장 낮았다. 3회의 강우시 저장조내로 빗물이 유입되다가 강우중단 후 빗물의 유입이 중단되면 빗물 공급을 중지하고 일정 수위를 유지하는 방법으로 운전하면서 저장조에서 침전에 의한 입자의 거동과 제거효율을 파악하였다. 실험시 저장조에서 빗물의 체류시간, 채수 위치, 저장조내 빗물의 초기 탁도, 저장조 수위를 Table 3에, 그리고 수질측정 항목 및 분석기기를 Table 4에 나타내었다.

거리에 따른 침전효과를 파악하기 위해서 저장조의 유입부(T1)와 유출부(T2)에서 채수하여 분석하였으며, 수심에 따른 침전효과를 파악하기 위해 유입부(T1)와 유출부(T2) 각각 저장조 바닥으로부터 1m, 2m 및 3m 위치에서 채수하였다(Fig. 2). T1에서 T2까지의 거리는 약 15m로 설계 되었다.

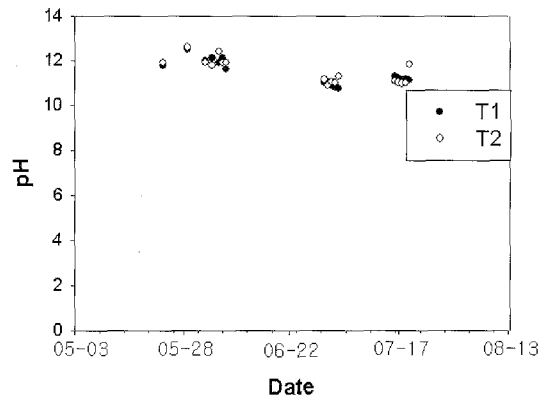
### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 빗물저장조의 수질분석

2006년 5월부터 8월까지 늦봄에서 여름철까지의 기간 동안 빗물저장조의 수질분석을 위해 주 1회 또는 월 1회 간격으로 탁도와 pH 및 수온을 측정하였다. 선행건기일수가 길고 강우량이 적은 5월에는 유입부(T1) 빗물의 탁도가 19NTU(Nephelometric Turbidity Unit)까지 높아졌으며, 선행건기일수가 짧고 강수량이 많은 7~8월에는 유출부에서 2NTU 내외로 낮아졌다(Fig. 3). pH는 측정기간 동안 10~12의 높은 값을 나타내었는데, 이는 대리석 바닥으로부터 유입된 빗물의 영향으로 판단된다(Fig. 4). 저장조내 빗물의 수온은 19~24°C 정도로 측정되었다. 저장조의 유출부(T2)에서 측정된 탁도도 선행건기일수와 강수량에 따라 1~11NTU의 범위를 나타내었으므로 수질개선을 위해 빗물저장조에서 침전에 의한 입자제거효율을 검토하였다.



**Fig. 3.** Turbidity of the stored rainwater.



**Fig. 4.** pH of the stored rainwater.

#### 3.2. 빗물저장조에서 침전에 의한 입자제거

빗물저장조에서 침전에 의한 입자제거효과를 살펴보기 위해 선행건기일수와 강우량이 다른 3회의 강우 직후 저장조에 유입되어 저류된 빗물을 대상으로 침전실험을 진행하였다. 먼저, 선행건기일수가 13일로써 비교적 길고 10mm 이하인 강우 발생시(case 1) 저장조에서 침전에 의한 입자의 제거율을 살펴보았다. 저장조에 유입과 유출이 없는 상태에서 12시간 동안 진행하였으며, 채수 위치는 저장조 유입부(T1)와 유출부(T2)에 인접한 곳으로 바닥으로부터 1m 지점으로 하였다. T1 및 T2의 초기 탁도는 각각 11.5, 6.5 NTU로써 거리에 따라 2배 정도 차이가 났다. 체류시간에 따른 제거율은 초기 2시간까지 빠르게 증가한 후 이후부터 완만히 증가하였다. 체류시간 12시간에서 T1과 T2의 탁도(제거율)는 각각 8.3NTU (25.8%) 4.1NTU(36.5%)로 나타났다(Fig. 5-6). 유

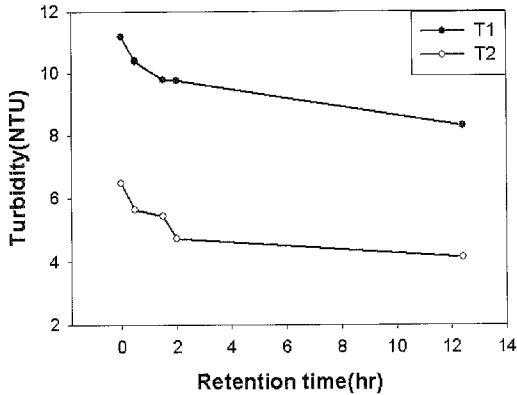


Fig. 5. Turbidity of T1 and T2 in case 1.

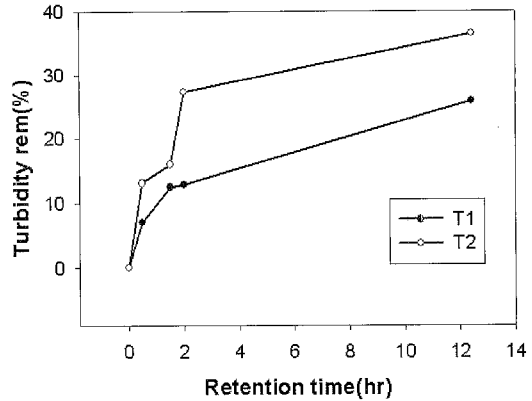


Fig. 6. Turbidity removal rate of T1 and T2 in case 1.

입수의 pH는 지붕집수면 유출수에서 6~8, 바닥과 지붕집수면 유출수가 합쳐진 빗물에서는 대리석 바닥의 영향으로 10.5~11.5 정도였다. 저장조의 경우 pH는 10.5~12, 수온은 19~21°C로 나타났다. 저장조의 pH가 10.5 이상으로 높게 나타났는데 본 연구 대상인 서울대학교 39동 건물의 물사용량이 사용가능한 빗물량 보다 상당히 많기 때문에 빗물이 지속적으로 공급되는 기간이 길지 않으므로 pH에 의한 문제가 크지 않을 것으로 사료되지만, pH 조정 필요시 대리석 바닥면 유출수를 저장조로 유입시키지 않거나 pH 조정 후 공급이 가능할 것으로 판단된다.

다음으로 선행건기일수가 3일로써 짧고 10mm 정도의 강우발생시(case 2) 저장조에서 침전에 의한 입자 제거에 대해 살펴보았다. 저장조에 유입과 유출이

없는 상태에서 100시간 동안 진행하였으며, 채수 위치는 저장조 유입부(T1)와 유출부(T2)에 인접한 곳으로 바닥으로부터 1m, 2m, 3m 지점으로 하였다. T1 및 T2의 초기 탁도는 각각 6.4, 4.2NTU로써 case 1에 비해 거리에 따른 차이가 작게 나타났다. 또한 저장조의 pH는 10~11.5이고, 수온은 21~24°C로 나타났다. 체류시간에 따른 제거율은 T1의 경우 바닥으로부터 2m, 3m 지점에서 초기 8시간까지 빠르게 증가한 후 이후부터 완만히 증가하였으며, 1m 지점에서는 30시간까지 빠르게 증가하였다(Fig. 7). T2의 경우 체류시간 24시간 경과 후 반응조내에 교란이 발생하여 이 때를 0시간으로 하여 체류시간에 따른 탁도 제거율을 살펴보았다. 바닥으로부터 1m, 2m, 3m 지점 모두에서 체류시간 약 30시간 후에 30~

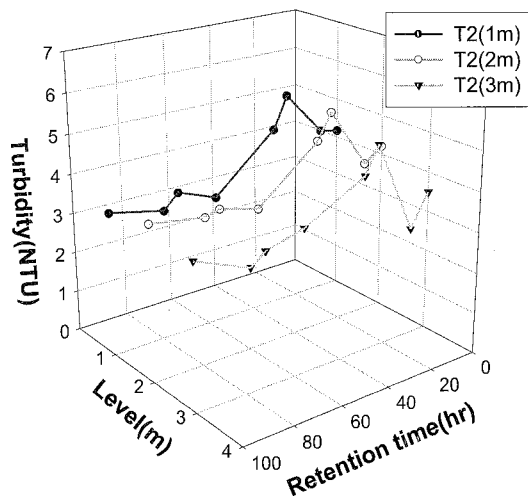
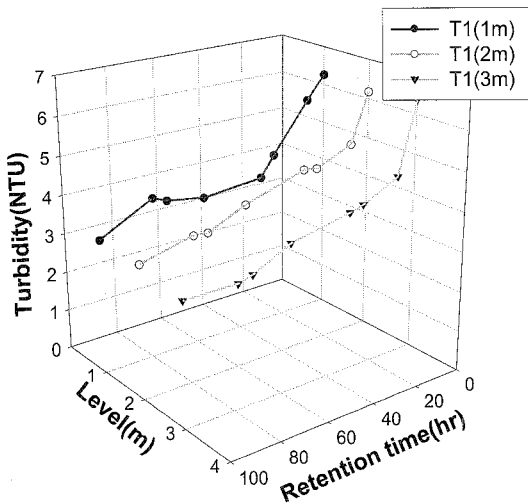


Fig. 7. Turbidity of T1 and T2 in case 2.

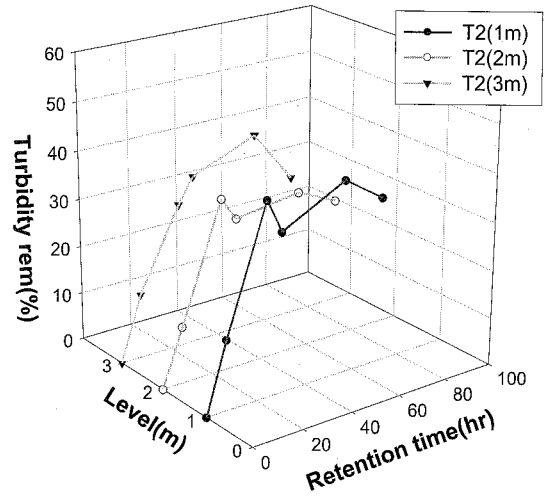
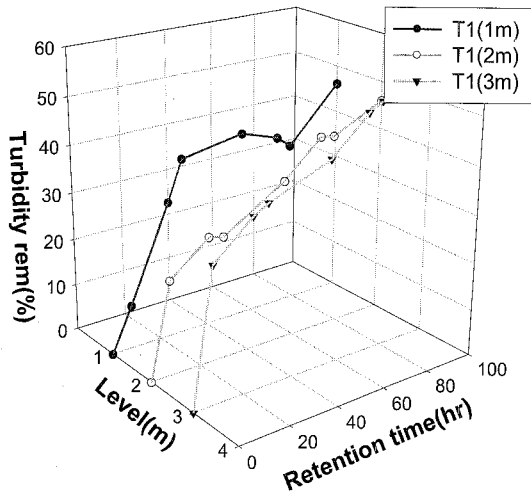


Fig. 8. Turbidity removal rate of T1 and T2 in case 2.

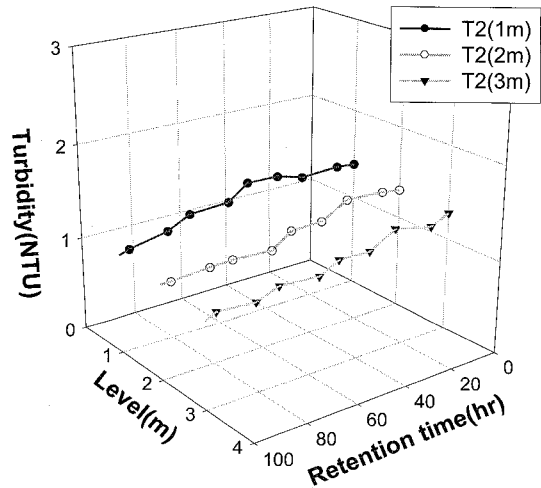
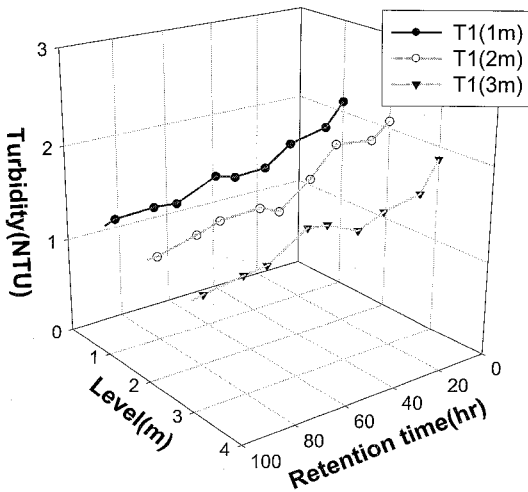


Fig. 9. Turbidity of T1 and T2 in case 3.

40%의 탁도제거율을 보였으며, 이후 약간의 빗물이 공급되는 영향으로 일부 침전효율의 저감현상이 나타나기는 하였으나 전체적으로 완만한 증가 추세를 보였다(Fig. 8). 따라서 case 2의 경우 저장조에서의 체류시간을 30시간 정도 확보하는 것이 입자제거를 위해 효율적인 것으로 판단된다.

마지막으로 300mm 정도의 많은 강우발생시(case 3) 저장조에서 침전에 의한 입자의 제거에 대해 살펴 보았다. 저장조에 유입과 유출이 없는 상태에서 105시간 동안 진행하였으며, 체수 위치는 case 2에서와 같다. T1 및 T2의 초기 탁도는 각각 2.1, 1.4NTU로

써 약간의 차이를 보였으며, 저장조의 pH는 11~11.5이고, 수온은 21~23°C로 나타났다. 탁도 제거율은 T1, T2 모두에서 체류시간에 따라 일정한 비율로 증가하는 경향을 보였다. 체류시간 105시간 이후 T1에서의 탁도(제거율)는 1.1~1.3(37~40%) 정도로 나타났으며, T2의 경우 탁도(제거율)는 0.8~1.0(23~34%) 정도로 나타났다(Fig. 9~10). 따라서 저장조로 유입되는 빗물의 탁도가 낮은 경우에도 침전에 의한 입자제거가 가능하지만, 강우량이 많은 경우 입자제거를 위한 체류시간의 확보 없이도 양호한 수질의 빗물공급이 가능할 것으로 판단된다.

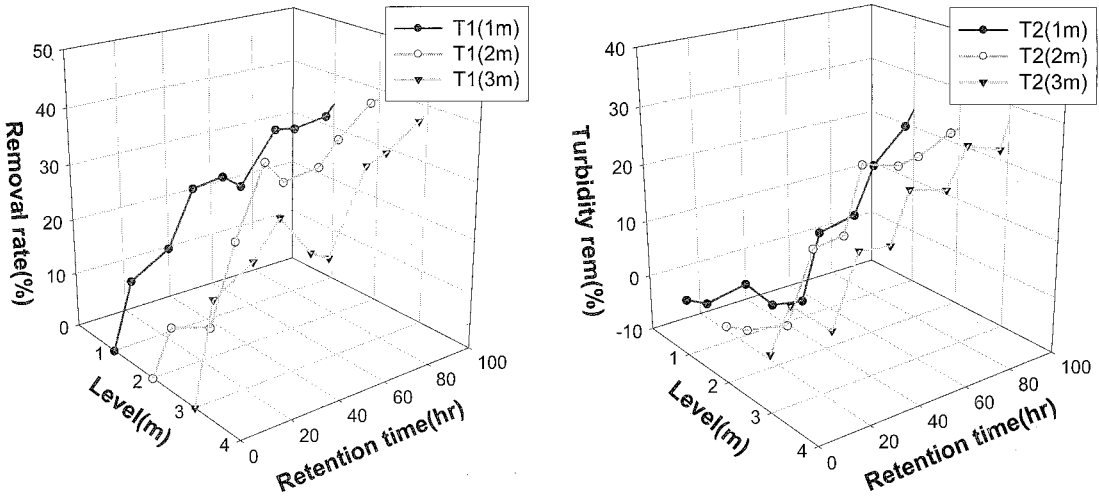


Fig. 10. Turbidity removal rate of T1 and T2 in case 3.

Table 5. Comparison of turbidity at T1(1m) and T2(1m) in case 1 and 3

	Case 1			Case3		
	retention time of 0hr	retention time of 12hr	removal rate (%)	retention time of 0hr	retention time of 105hr	removal rate (%)
T1	11.2	8.3	25.8	2.1	1.3	37.1
T2	6.6	4.1	36.5	1.4	1.0	26.7
T2/T1	0.59	0.50			0.66	0.77

### 3.3. 빗물저장조 설계와 운전시 고려사항

저장조에서 거리에 따른 입자의 제거효율을 파악하기 위해 case 1과 3을 대상으로 15m 정도의 거리를 갖는 T1과 T2에서의 탁도(제거율)를 비교하여 Table 5에 나타내었다. Case 1의 경우 T2/T1값이 체류시간 0시간과 12시간에서 각각 0.59 및 0.50으로써 유입부에서 유출부까지 15m의 거리차에 의해 50%까지의 탁도 저감 효과를 보였으며, case 3의 경우 T2/T1값이 체류시간 0시간과 105시간에서 각각 0.66 및 0.77로써 거리차에 의해 34%까지의 저감 효과를 보였다. 이러한 결과를 통해 선행건기일수가 길고 강우량이 적어서 오염도가 높은 경우(case 1)에는 특히 유출부와 유입부의 거리차에 의한 탁도 저감 효과가 크므로 저장조 설계시 유입부와 유출부의 거리차를 충분히 확보하는 것이 필요하다.

저장조내 수심에 따른 탁도의 차이를 파악하기 위해 case 2와 3에서 수심에 따른 탁도의 차이를 살펴보았다(Fig. 11). 탁도가 높을수록(case 2) 바닥으로부터

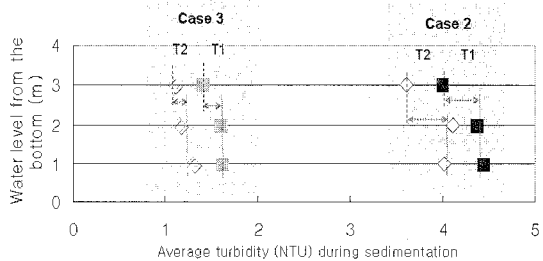


Fig. 11. Turbidity related to water levels in case 2 and 3.

3m 위치에서의 탁도와 1, 2m에서의 탁도 차이가 크므로 주변 여건이 가능한 범위내에서 저장조내 유효 수심은 3m 이상으로 설계하는 것이 좋으며, 적정 체류시간의 확보가 어려운 경우 floating suction 등을 이용하여 수면에서 가까운 위치의 물을 공급하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

빗물저장조에서 체류시간은 저장조내 초기 탁도가 6NTU 정도인 case 2의 경우를 고려했을 때 30시간 정도가 효율적일 것으로 판단되며, 초기탁도가 11NTU 이상으로써 오염도가 비교적 높은 case 1의

경우 2시간 정도의 짧은 체류시간에도 탁도 저감효과가 눈에 띄게 나타났다. 오염도가 높은 경우 운전시 체류시간에 의한 효과를 고려해야 하며, 유입부와 유출부의 거리차이에 의한 탁도 제거가 효과 크므로 이에 대해 함께 고려해야 할 필요가 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 대학교 캠퍼스 내의 건물에 설치되어 운전중인 빗물저장조를 대상으로 수질을 측정하였고, 선행건기일수와 강우량이 다른 3회의 강우시 발생한 유출수 유입 후 수위를 일정하게 유지하면서 저장조에서 침전에 의한 입자 제거에 대해 살펴보았으며, 그에 따른 빗물저장조 설계 및 운전시 고려사항 등을 파악하였다.

2006년 5월부터 8월까지 2개의 조로 구성된 빗물저장조에서 빗물의 수질을 측정한 결과, 유입조의 탁도는 1.3~19.5NTU 그리고 유출조에서는 1.0~11.0 NTU로 나타났다. 이렇게 다소 높게 측정된 탁도는 계절적인 요인과 함께 보행이 잦은 바다 집수면으로부터 유입된 입자들의 영향 때문인 것으로 판단된다.

선행건기일수와 강우량이 다른 3회의 강우에 대하여 저장조에 빗물유입 후 침전에 의한 제거효율을 살펴보면, 선행건기일수가 길고 강우량이 적은 경우 12시간의 짧은 체류시간에도 25.8~36.5%의 제거효율을 보였고, 선행건기일수가 짧고 강우량이 10mm인 경우는 100시간의 체류시간에 따라 34.4~46.2% 제거효율을 보였다. 강우량이 300mm 이상의 경우에는 체류시간이 길어질수록 입자의 제거율이 높아지기는 하였으나 유입수, 유출수의 탁도가 2NTU 이하로 큰 차이를 보이지 않았다.

저장조 설계시에는 유출부와 유입부의 거리차에 의한 탁도 저감 효과가 크므로 저장조에서 유입부와 유출부의 거리차를 충분히 확보하는 것이 필요하다. 탁도가 높을수록 바닥으로부터 3m 위치에서의 탁도와 1, 2m에서의 탁도 차가 크므로 주변 여건이 가능한 범위내에서 저장조내 유효 수심은 3m 이상으로 설계하는 것이 좋으며, floating suction 등을 이용하여

수면에서 가까운 위치의 물을 공급하도록 설계하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 또한, 비교적 탁도가 높은 빗물유출수의 유입시 공급을 중단하여 입자제거를 위한 침전시간을 확보하는 운전방법을 적용하는 것이 필요하다. 향후 입자의 제거 및 거동을 고려한 빗물저장조 설계와 운전의 최적화를 통해 더욱 효율적인 빗물이용시설의 운영이 가능해질 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구는 서울대학교 공학연구소와 서울시 분산형빗물관리사업단 및 건설교통부 건설핵심기술연구개발사업의 연구비지원(06건설핵심B02)에 의해 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

#### 참고문헌

1. 김영완 (2005) 빗물저장조에서 입자특성과 거동을 고려한 설계 방안, pp. 38-45, 서울대학교 석사학위논문.
2. 박순용 (1995) 건설침착이 지상오염농도에 미치는 영향, *한국기상학회지*, 31(2), pp. 97-115.
3. 한무영, 이순재 (2005) 갈피중학교 빗물이용시설에서의 저장 빗물 수질평가, *상하수도학회지*, 19(1), pp. 31~37.
4. 한무영, 이일용, 박상철 (2003) 건물의 지붕집수면이 유출 빗물의 수질에 미치는 영향, *상하수도학회지*, 17(3), pp. 460-466.
5. 한무영, 한명실, 김상래 (2004) 건축물에서 빗물저장조 용량 산정방법에 대한 고찰, *상하수도학회지*, 18(2), pp. 99-109.
6. Jurgen Forster (1996) Patterns of roof runoff contamination and their potential implications on practice and regulation of treatment and local infiltration, *Wat. Sci. & Tech.*, 33(6), pp. 39-48.
7. Polkowska, Z., Georecki Z. and Namiesnik J. (2002) Quality of roof runoff waters from urban region, *Chemosphere* 49, pp. 1275-1283.
8. Tanner P.A. (2002) Analysis of Hong Kong Daily bulk and wet deposition data from 1994 to 1995, *Atmospheric Environment* 33, pp. 1757-1766.