



## 3D 프린터를 이용한 회전 버킷이 부착된 저류조의 모형 실험

### Scaled Down Experiment of Retention Basin with a Rotatable Bucket Using 3D Printer

박성직\* · 이창구\*\* · 이제명\*\*\* · 최 원\*\*\*\*,†

Park, Seong-Jik · Lee, Chang-Gu · Lee, Jemyung · Choi, Won

#### Abstract

Recently climate change and urbanization have been increased surface runoff, resulting in flooding. Retention basins have been constructed to control urban flooding by reducing peak flow rate. Recently, the retention basin plays a role in controlling combined sewer overflows (CSOs) as well as urban flooding. In this study, the retention basin with a rotatable bucket was suggested and scale down experiments was performed for the optimum design of the retention basin. Scaled down model was produced using a 3D printer after it was designed as law of similarity. Two times for operating a rotary bucket is required to sweep out the sediments deposited on the bottom of the basin. Optimized dimensions for the retention basin were width of 5 m, height of 5 m, bucket radius of 0.5 m, and bottom slope of 5.0 %. It can be concluded that the results obtained from this study can be used to design the retention basin with a rotatable bucket which does not require energy to operate.

**Keywords:** Retention; Rotatable Bucket; Similarity Law; Scaled Down Experiment; 3D Printer

#### 1. 서 론

급격한 도시화로 인해 불투수 면적의 증가로 우수유출량이 급증하였다. 특히, 1970년대 이후 급격한 산업화에 따른 도시화로 인하여 직접 유출량이 증가하고 침수 피해는 과거에 비해 급격하게 증가하였다. 도시화 진행에 따른 유출량 증가와 홍수도달시간 단축 등에 따른 도시지역의 홍수피해를 저감시키기 위한 우수유출 저감 시설이 도입되었다 (Choi et al., 2012). 우수유출 저감 시설인 저류조는 유출량을 일시적으로 저장하였다가 홍수가 지난후 조금씩 하류로 방류하여 홍수 방지 역할을 한다. 최근에 우수 저류조는 강우시 하수처리장을 거치지 않고 직접 수역으로 방류되는 합류식하수관거 월류수 (combined sewer overflows, CSOs)를 처리하기 위한

목적으로 저류조의 역할이 강조되고 있다 (Kong et al., 2004). CSOs의 수계에 미치는 오염부하는 일반적인 비점오염원 발생부하의 2배 가량이며, 기존 하수에 포함된 다량의 유기물, 고형물, 병원성 미생물 등의 유해물질이 처리되지 않고 방류시 하천수질 및 수생태계에 심각한 영향을 미칠 수 있다 (Kim et al., 2006). 농업 분야에서도 상습 침수 지역에 대한 홍수 제어 및 가뭄 대비 농업 용수 확보를 위한 우수 저류조의 활용에 대하여 제기되었다 (Maeng and Hwang, 2015).

저류조에 대한 연구는 수리 수문 해석을 통하여 저류조의 위치와 규모를 결정하는 연구를 중심으로 수행되었다. Kim et al. (2005)은 강우량 및 유출량 해석을 통하여 저류지 용량을 산정하였다. 저류조에 관한 연구시 수리·수문 해석을 위하여 대표적 도시유출 해석 모형인 SWMM (Storm Water Management Model)이 주로 사용되었는데 빗물저류조의 배치 유형 또는 설치 위치에 따른 침투 유출 저감 효과 분석 (Han et al., 2012) 및 지하저류조 설치에 따른 침수 피해 저감효과에 따른 분석 (Choi et al., 2012)이 수행되었다. Lee et al. (2013)은 SWMM을 이용한 지하저류조의 최적위치 선정에 관한 연구를 수행하였고, Ryu and Lee (2012)는 SWMM을 이용하여 수리 수문 해석을 실시하고 지하저류조 최적위치 및 규모 선정에 관한 최적화에 유전자 알고리즘을 적용하였다. Lee et al. (2012)는 CSOs 오염부하저감목표를 달성하기 위하여 SWMM 모델을 이용하여 저류조 용량을 결정하는 연구를 수행하였다. 기존의 연구는 저류조의 적정 위치, 규모, 설치 개수 등에 대한 연구와 저류조 설치에 따른 홍수 피

\* Department of Bioresources and Rural Systems Engineering & Institute of Agricultural Environmental Science, Hankyong National University

\*\* Department of Civil and Environmental Engineering, Rice University, Houston, Texas, United States

\*\*\* Division of Environmental Science and Technology, Kyoto University, Japan

\*\*\*\* Department of Rural Systems Engineering, Research Institute for Agriculture & Life Sciences, Seoul National University

† Corresponding author

Tel.: +82-2-880-4715 Fax: +82-2-873-2087

E-mail: fembem@snu.ac.kr

Received: December 29, 2016

Revised: February 16, 2017

Accepted: February 17, 2017

해 효과에 대한 분석이 주로 수행되었지만 저류조 내에 퇴적된 토사의 세척 시스템 설계 및 운영에 관한 연구는 수행되지 않았다.

보통의 저류조는 퇴적된 토사를 제거하기 위해서 인력에 의한 청소, 고압의 살수 시스템, 게이트 형태의 수문을 이용해 수위차를 이용해 청소하는 형태인데, 토사가 많이 발생하는 지역에서는 그대로 적용하기에는 비용 및 효율적인 측면에서 부적합하다. 반면에 중력에 의해 회전하는 버킷에 의해 저류조 바닥에 퇴적된 토사를 제거하기 때문에 유지관리 측면에서 매우 효율적이다. 또한 하나의 unit이 독립적으로 운영되기 때문에 필요에 따라서 쉽게 확장도 가능하다.

본 연구에서는 유지 관리가 편리하고 에너지가 적게 소요되는 회전식 버킷이 부착된 저류조의 최적 설계를 위해서 모형 제작 및 실험을 수행하였다. Geometric, kinematic 그리고 dynamics 상사법칙을 모두 만족하도록 3D 프린터를 이용하여 저류조 모형을 제작하였다. 실험은 세척 횟수, 바닥 경사도, 회전 버킷의 크기에 따른 토사의 세척 효과를 분석하고, 설계 제원을 최적화 하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 대상 저류조

저류조 바닥의 침전물을 세척하는 방식으로 기존의 게이트 방식이 아닌 중력에 의한 회전식 버킷을 저류조의 한쪽 끝 상단에 설치하여, 물의 위치에너지를 이용하는 방식으로 설계하였다. 버킷은 비대칭 형태를 취하도록 하여, 추가적인 외부의 에너지 공급 없이 중력에 의해서 자동으로 작동되도록 하였다. 본 연구의 대상인 저류조는 국내에 일반적으로 설치되어 있는 저류조의 제원을 참고하여 폭은 5 m, 길이는 20 m

로 한정하였으며, 버킷의 설치 높이는 5 m로 고정하였다. 저류조 경사의 기울기를 증가시킬 경우 세척의 효과를 높일 수 있지만, 경사도가 증가할 경우 지하 저류조에 매설에 따른 굴착 깊이가 깊어지고 공사비가 증가하기 때문에, 일반적으로 지하 저류조의 설치 시 경사도 5%를 최대 기준값으로 설정하였다. 저류조의 세부 형태는 Fig. 1에 표시하였으며, 관련된 변수들의 수치는 Table 1과 같다.

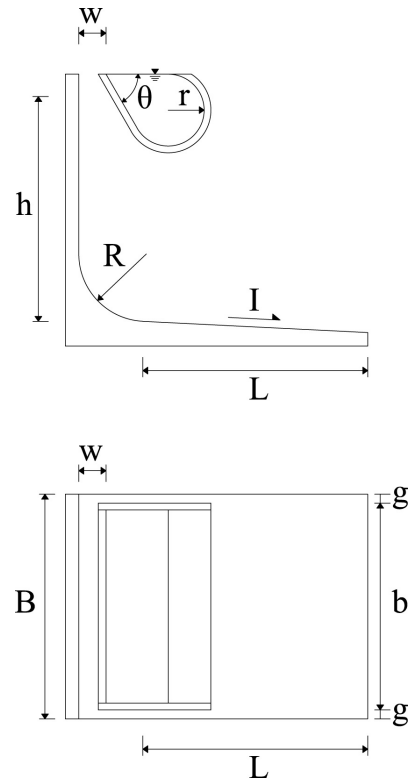


Fig. 1 Side and top views of retention basin with a rotatable type of bucket

Table 1 Variables related to a rotatable type of retention basin

Parameter	Abbreviation	Dimension	Etc.
Length of water basin	L	20.0 m	
Radius of water basin	R	1.5 m	
Height of water basin	h	5.0 m	
Distance between vertical wall and rotatable bucket	w	0.5 m	
Radius of rotatable bucket	r	0.3 m, 0.4 m, 0.5 m	
Angle of rotatable bucket	$\theta$	$\pi/3$	
Slope of the bottom of water basin	I	3 %, 4 %, 5 %	r = 0.5 m
Width of water basin	B	5.0 m	
Effective width of water basin	b	4.6 m	
Margin of water basin	g	0.2 m	

## 2. 모형 제작

저류조의 스케일 실험을 진행하기 위해서는 유체와 부유사의 상사 법칙에 따라서 제작하였다. 저류조 스케일 축소 모델은 3D 프린터를 이용하여 제작하였다. 3D 프린터는 물체가 놓이는 배드가 움직이는 방식과 배드는 고정이고 노즐이 움직이는 두 가지 방식으로 프린팅 방식을 분류할 수 있다. 일반적으로 배드가 움직이는 방식의 3D 프린터가 이론 상 안정적이고 정밀하게 물체를 제작할 수 있기 때문에, 본 연구에서는 배드가 움직이는 FINEBOT Z420 (TPC Mechatronics Corp., Incheon, South Korea) 제품을 선정하였다. 3D 프린터에 공급되는 플라스틱의 종류는 크게 ABS와 PLA로 구분할 수 있다. ABS는 용융점이 높기 때문에, 구조물이 대형화되면 큰 온도편차가 발생할 수 있다. 따라서 PLA를 공급물질인 필라멘트로 선택하였다. 그리고 곡선 부분의 정밀 출력을 위해 레이 어간 두께는 0.06 mm로 설정하였으며, 빠르고 정밀한 출력을 위해 생산품의 밀도는 20 %로 설정하였다.

물체를 출력하는 배드 크기를 고려하여 구조물의 출력 스케일을 1/30로 정하였다. 저류조의 바닥에 가라앉은 침전물을 제거하기 위해서, 버킷을 최대 2번까지 이용할 수 있다는 가정하여, 실험 후 흘러내리는 침전물과 용수의 용량을 합한 양의 2배에 해당하는 Storage를 구조물의 끝단에 설치하였다. 3D 프린터로 구조물을 출력을 위해서 AUTOCAD software 2010 (Autodesk, Inc., San Rafael, CA, USA)을 사용하여 구조물을 3D 솔리드로 제작하였다. AUTOCAD에서 생성된 STL 파일을 3D 프린터가 인식할 수 있는 g-code로 변환하기 위하여 Cura 14.01 (Ultimaker, Geldermalsen, Netherlands)을 이용하였다. 부분 출력된 구조물의 연결은 상업용 순간접착제를 이용하였다. 이 때, 구조물간 연결이 자연스럽게 연결

될 수 있도록 빈 공간은 일반 플라스틱 퍼티로 작업하였다. 또한, 표면장력에 의한 왜곡을 감소시키기 위하여 고운 사포 (#200)로 구조물의 전 표면을 매끈하게 손질하였고, 실험 전 시중에서 일반적으로 판매하는 유리발수 코팅제를 도포하였다. 완성된 구조물의 형태는 Fig. 2와 같다.

## 3. 모형 실험

3D 프린터로 제작된 모형을 이용하여 수리 실험을 진행하기 위해서는 모형 크기에 적합한 입자의 크기를 결정할 필요가 있다. 사각형 형태의 수로에서 유체의 흐름은 중력에 의한 자유표면 흐름을 보일 것이다. 이러한 현상은 유체에 대한 관성력과 중력의 비인 Froude 수를 이용한 유사법칙을 이용하여 구현할 수 있다. Froude 수와 관계된 유사법칙은 다음과 같다.

$$\Delta F = V_r L_r^{-1/2} \quad (1)$$

여기에서  $\Delta F$ 는 Froude 상사 넘버,  $V_r$ 은 실 규모와 축소 모델과의 속도 비율, 그리고  $L_r$ 은 실 규모와 축소 모델과의 길이 비율이다.

저류조에서 초기 유체의 속도는 버킷의 높이로 인해서 상당히 빠르지만, 유사를 만난 이후로는 속도가 감소하기 시작한다. 시간이 흐름에 따라서 더욱 더 많은 유사와 부딪치게 되기 때문에 속도는 기하급수적으로 감소한다. 그리고 출구부에 다가갔을 때 유체의 속도는 상당히 저하된다. 따라서 전체적으로 평균한 Froude 수는 대체적으로 작은 값을 보일 것이다. Einstein and Chien (1956) 및 Henderson (1966) 등은 구조물 내에서 Froude 수가 1이나 그 근처에 있게 되면 다음의

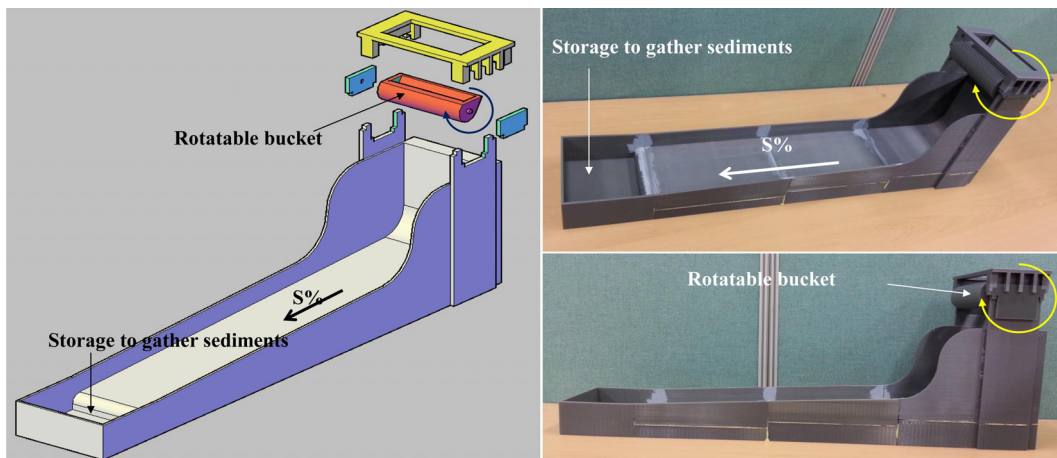


Fig. 2 Schematic diagram and experiment setup

법칙을 따른다고 경험적으로 제안하였으며, 다음과 같다.

$$\Delta F = V_r Y_r^{-1/2} \quad (2)$$

여기에서  $Y_r$ 은 실 규모와 축소 모델과의 세로 비율이다.

또한 저류조에서 유사의 이동은 유체의 점성과 밀접한 관련이 있다. 점성과 관련된 유사법칙은 Reynolds 수를 이용하여 유도할 수 있다. 그렇지만 유체의 흐름에서 Froude 수와 Reynolds 수를 동시에 만족시키려면 유체의 점성을 고려하여 실험이 진행되어야 하기 때문에 현실적으로 적용 불가하다. 그러므로 현실적으로는 Manning 식의 조도계수를 조절함으로써 이러한 문제를 해결할 수 있다. Allen (1947)은 유체가 난류성 흐름을 보일 때, 다음과 같은 식을 제안하였다.

$$\Delta M = V_r^{-1} n_r^{-1} R_r^{2/3} S_r^{1/2} \quad (3)$$

여기에서  $\Delta M$ 은 점성 상사,  $n_r$ 은 조도 비율,  $R_r$ 은 평균 동수 반경의 비율,  $X_r$ 은 실 규모와 축소 모델과의 가로 비율, 그리고  $S_r$ 은  $Y_r/X_r$ 이다.

그렇지만 위의 식에서 유체에 영향을 미치는 조도계수는 다양한 외부 경계조건에 의해서 변할 수 있기 때문에, Strickler (1923)는 다음과 같은 경험식을 제안하였다.

$$n_r = D_r^{1/6} \quad (4)$$

여기에서  $D_r$ 은 실 규모와 축소 모델에서 입자(모래)의 크기 비율이다.

위에서 언급한 두 개의 상사 법칙을 동시에 만족시키기 위해서는 다음 식을 고려할 수 있다.

$$\Delta F \Delta M = R_r^{2/3} D_r^{-1/6} X_r^{-1/2} \quad (5)$$

다음으로는 하상에 존재하는 입자의 침식을 유발하는 유사법칙을 적용하기 위하여, Shields의 법칙을 응용할 수 있다. Shields는 유입함수 ( $F_s$ )와 입자의 Reynolds 수 ( $R_c^*$ )에 기초하여 모델과 실제구조물간에 동일하게 유지되도록 조정하여야 한다고 제안하였다.

$$F_s = \frac{\tau_0}{\gamma(S_r - 1)D} = \frac{u^{*2}}{g(S_s - 1)D} \quad (6)$$

$$R_c^* = \frac{u^* D}{\nu} = \frac{\sqrt{\tau_0 \rho D}}{\nu} \quad (7)$$

여기에서  $\tau_0$ 은 바닥의 전단 응력,  $\gamma$ 는 유체의 비중,  $S_s$ 는 유체와 모래의 상대밀도,  $D$ 는 모래의 지름,  $u^*$ 는 유체의 전단 응력,  $R_c^*$ 는 모래의 전단 Reynolds 수,  $\nu$ 는 동점성력, 그리고  $\rho$ 는 유체의 밀도이다.

그렇지만 Novak et al. (1981) 등은 입자의 Reynolds 수가 3.5 이상이 되면, 점성의 효과는 무시하여도 된다고 하였다. 그리고 입자들 사이에 작용하는 상호작용은 입자의 형상인자에 의해서만 결정될 수 있다고 설명하였다. 따라서 유사이동과 관련한 상사법칙은 다음 식으로 정리될 수 있다.

$$\Delta F_s = (S_s - 1)^{-1} D_r^{-1} Y_r^2 X_r^{-1} \quad (8)$$

여기에서  $\Delta F_s$ 는 Shields의 상사법칙이다.

Park (2008)은 집중강우가 있을 때 부유유사의 양을 측정하였는데 농촌지역에서는 때때로 14,450 mg/L에 달할 수도 있다고 보고하였다. 부유입자의 밀도는 일반적으로 2,650 kg/m<sup>3</sup>으로 가정할 수 있다. 또한 본 연구에서 다루는 저류조의 높이는 5 m로 고정이기 때문에, 이를 이용하여 산술적으로 계산하면, 초기 강우 시 저류조의 바닥에 쌓이는 SS의 높이는 2.73 cm가 계산된다. 따라서 본 연구에서는 악조건을 고려하여 3.00 cm를 부유사의 침전 높이로 가정하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 부유사 입자 크기 및 퇴적 높이의 결정

올바른 유사 실험을 위해서는 상사법칙에 준하는 부유사의 크기를 결정할 필요가 있다. 입자의 크기가 작으면 작을수록 입자 사이에 점착력은 증가할 것이고, 모형과 실물사이에 입자의 상사법칙을 만족하는 적당한 조건을 찾는 것이 어려워질 수 있다. 위에서 언급한  $\Delta F \Delta M$ 과  $\Delta F_s$ 가 모두 1에 가깝다면 흐르는 유체의 전체적인 성질은 kinematic 유사법칙과 dynamic 유사법칙을 동시에 만족하는 형태 일 것이다. 또한 원형과 모형사이에 길이의 비율은 이미 30으로 세팅이 되어 있기 때문에, 수평과 수직 길이비율을 의미하는  $X_r$ 과  $Y_r$ 도 30으로 가정할 수 있다.

위에서 언급한 이유들에 근거하여 실험을 위한 입자의 크기는 0.16 mm로 가정하였다. 그리고 이러한 입자는 #100체를 이용하여 취득하였다. 최종적으로 결정된 입자크기를 이용하여 다시  $\Delta F \Delta M$ 과  $\Delta F_s$ 를 계산하면 1.30과 4.79를 얻을 수 있다.  $\Delta F \Delta M$ 의 경우 1.0을 약간 초과하기 때문에 모형의 조도가 원하는 값보다 약간 클 수 있다. 그리고  $\Delta F_s$ 의 경우도 1을 초과하지만 두 경우 모두 공학적인 의미에서는 아주 크게

다르지 않기 때문에, 실험에 미치는 영향은 미비하다고 볼 수 있다. 따라서 본 모형은 geometric, kinematic 그리고 dynamics 상사법칙을 모두 만족한다.

위에서 언급하였듯이 침전한 부유사가 저류조에 쌓이는 총 높이는 3 cm로 이미 가정하였다. 모형과 실물 사이의 길이 스케일 비율을 30으로 적용하면, 실험에서 저류조 바닥에 쌓이는 입자의 높이는 대략적으로 1 mm로 결정될 수 있다. 실제 구조물에서 침전된 부유사를 청소하는 시점은 저류조에 남아있는 물을 전부 배제되고 부유사는 습윤 상태를 유지하는 시점으로 정하였다. 따라서 실험에 사용될 입자는 두께 1 mm에 해당하는 양을 무게로 환산한 다음, 그 입자를 전부 물에 침수시킨 후, 모형에 균일하게 뿌려서 실험을 진행하였다 (Fig. 3a).

## 2. 유사 이동

회전하는 버킷을 1회 이용할 경우 저류조 내에 위치한 유사물을 전부 제거하는 것이 불가능 하였다. 따라서 유사의 제거를 위해 회전식 버킷은 최소한 2회 이상 사용하는 것으로 설정하였다. Fig. 3은 버킷의 반지름이 0.5 m이고 바닥의 경사는 5.0 %인 경우 버킷에 의한 단계별로 유사의 움직임 관찰

한 것이다. 시간에 따른 유체의 이동은 유사의 이동을 야기하고 점차적으로 출구 부분에서 유사의 균집을 초래한다. 따라서 출구 부분으로 갈수록 유체의 흐름이 급격하게 감소하였다. 또한 Fig. 3b에서 저류조 바닥의 중앙 부분은 유사의 이동이 많고 가장자리 부분은 유사의 이동이 적은 것을 알 수 있다. 이로부터 가장자리는 수직 벽 마찰의 영향으로 유체의 흐름이 저하되었다는 것을 유추할 수 있었다. 회전 버킷의 두 번째 이용 시 저류조에 남아있는 유사의 양은 거의 미미하였다 (Fig. 3c).

## 3. 유사 세척 효율

유사를 제거하기 위한 시나리오로는 회전 버킷의 크기 변경과 저류조 바닥 경사를 변경하는 두 가지 경우로 가정하였다. Fig. 4는 이에 대한 결과를 보여준다. Fig. 4 (a)는 저류조 바닥 경사는 5.0 %로 유지한 상태에서 버킷의 반지름의 변화에 따라서 세척전 대비 저류조에 남아 있는 유사의 비율을 나타내었다. 버킷의 반지름이 커질수록 남아있는 유사의 양은 줄어들었으며, 선형에 가깝게 감소함을 알 수 있었다. 실험결과 반지름이 0.5 m일 경우 대부분의 유사를 제거할 수 있음을 알 수 있었다. 이를 바탕으로 이번에는 반지름을 0.5 m로 고



Fig. 3 State of the sediment on the bottom of the retention basin depending on the cleaning process step (the radius of bucket: 0.5 m and the bottom slope: 5.0 %)

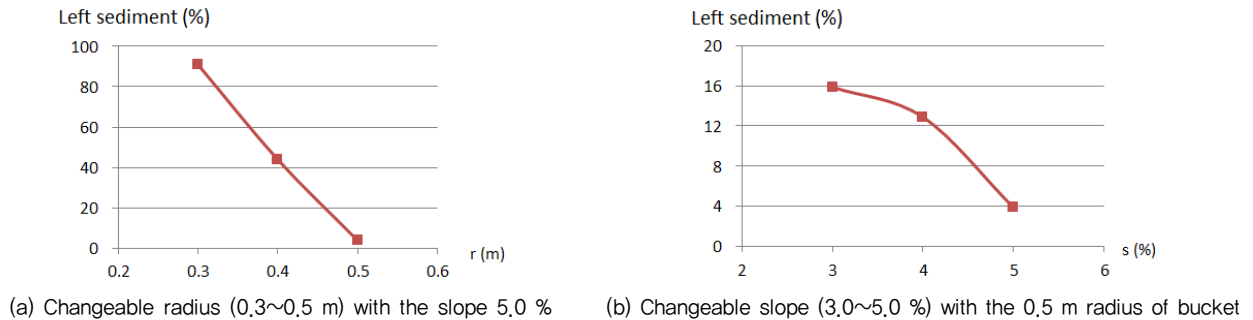


Fig. 4 The total percentage of sediments left after cleaning processes



정하고 바닥면의 경사를 최소 자연흐름 경사인 2.0%보다 큰 3.0%부터 5.0%까지 변화시키면서 남아있는 유사의 상대적인 양을 관찰하였다 (Fig. 4b). 실험결과 경사도의 변화는 버킷 크기의 변화보다는 변화폭이 적었지만, 남아있는 유사를 제거하기 위해서는 최소한 5.0% 이상 유지해야 한다는 것을 알 수 있었다. 따라서 저류조 바닥의 경사보다는 버킷의 용량에 따라서 제거 능력이 크게 향상됨을 이해할 수 있었다. 특정 지역에서는 흙의 역학적 특성이 매우 달라서 정적 토사로부터 우수에 의해 유출되는 유사의 양이 매우 클 수 있다. 이런 경우는 저류조 바닥의 경사를 조절하기 보다는 회전하는 버킷의 용량을 늘리는 방향에 초점을 맞추어 설계하여야 할 것으로 보인다. 또한 관찰 결과 유사 이동에 의한 유체의 도수현상 (hydraulic jump)은 발견되지 않았다. 최종적으로 제안하는 저류저의 형태는 폭이 5 m, 높이가 5 m, 버킷의 반지름은 0.5 m, 경사는 5.0%를 추천한다. 만약 더욱 큰 저류조의 용량이 필요하다면, 본 연구에서 제안하는 저류조를 폭 방향으로 연속적으로 연결하여 설치하는 것을 추천한다.

#### IV. 결 론

유지관리가 쉽고 에너지가 소요되지 않는 회전식 버킷이 부착된 저류조를 제안하고자 한다. 최적 설계를 위하여 3D 프린터를 이용하여 축소모형을 제작하였고, 유사 이동 실험을 수행하였다. 유체의 움직임 및 유사이동은 *geometric, kinematic* 그리고 *dynamics* 상사법칙을 모두 만족하도록 저류조 모형의 제작 및 실험을 수행하였다. 저류조의 형상은 폭과 높이가 모두 5.0 m, 길이는 20 m이며, 저류조의 세부형태는 바닥의 경사도 및 회전 버킷의 크기를 변화시켰다. 저류조 실험을 위한 입자의 크기 결정을 위해서는 부유사 상사 법칙을 이용하였다. 실험결과 저류조의 유체 흐름은 도수 없이 전반적으로 균일한 흐름 형상을 보였지만, 바닥의 중앙에서의 유속은 가장자리보다 큰 것으로 관찰되었다. 또한 한 번의 낙수로는 바닥에 있는 침전물을 모두 제거할 수 없으므로, 낙수는 최소한 연속적으로 2회 이상 실시하는 것이 필요하다. 최종적으로 제안하는 저류저의 형태는 폭이 5 m, 높이가 5 m, 버킷의 반지름은 0.5 m, 경사는 5.0%를 추천한다. 또한 실험을 통해서 버킷과 버킷 뒤에 설치된 수직 벽 사이의 간격은 50 cm 이상 필요하였다. 저류조의 확장시 저류조를 폭 방향으로 연속적으로 연결하여 설치하는 것을 추천한다. 본 연구 결과는 회전 버킷이 부착된 저류조의 설계 시 기본 고려사항으로 활용될 것으로 판단되며, 추후 현장 여건을 반영한 저류조 설계의 최적화에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

#### 사 사

본 연구는 환경부의 환경정책기반공공기술개발사업에서 지원받았습니다 (과제 번호 2015000200001). 또한 서울대학교 신입교원 정착연구비의 지원을 받아 수행하였습니다.

#### REFERENCES

- Allen, J., 1947. *Scale models in hydraulic engineering*. Longmans, Green & Co Ltd. London.
- Choi, H. G., K. Y. Han, J. E. Yi, and W. H. Cho, 2012. Study on installation of underground storage facilities for reducing the flood damage. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation* 12(4): 115-123.
- Einstein, H. and N. Chien, 1956. Similarity of Distorted River Models with Movable Beds. *Transactions of the American Society of Civil Engineers* 121: 440-462.
- Henderson, F. M., 1966. *Open-channel flow*. Macmillan, New York, 522 pp.
- Han, M. Y., S. Y. Kum, J. S. Mun, and D. G. Kwak, 2012. The Effect of Decentralized Rainwater Tank System on the Reduction of Peak Runoff-A Case Study at M Village. *Journal of Korea Water Resources Association*, 45(1): 65-73.
- Kim, J. K. and I. H. Ko, 2006. Modeling of Discharge Characteristics of Combined Sewer Overflows (CSOs) from a Small Urban Watershed in Daejeon City. *J. of KSEE* 28(6): 654-660.
- Kim, L. H., B. S. Lee, and S. Y. Kwon, 2005. Optimum Capacity of Retention Basin for Treating Nonpoint Pollutants and Its Removal Efficiency in Industrial Complex Areas. *Journal of Korean Wetlands Society* 7(3): 75-85.
- Kong, M. K., K. H. Bae, and W. Y. Kang, 2004. Optimal Sizing of Intercepting Flow for Reducing Pollution Loads Causes by CSOs. *Journal of the Korean Society of Water and Wastewater* 18(4): 418-424.
- Lee, E. H., Y. S. Lee, J. G. Joo, and J. H. Kim, 2016. Development of Operation in Urban Offline Detention Reservoirs. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation* 16(1): 227-236.
- Lee, J. H., Y. H. Song, and D. J. Jo, 2013. Determination of Optimal Locations of Urban Subsurface Storage considering SWMM Parameter Sensitivity. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation* 13(4): 295-301.
- Lee, K. Y., W. S. Choi, Y. J. Lee, W. S. Koo, and C. S. Song, 2012. Study on the determination of optimum size of storage tank and intercepting capacity for CSOs reduction in urban area. *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, 26(6): 735-745.
- Maeng, S. J. and J. H. Hwang, 2015. Use of rainwater retention

- basin for securing agricultural water to prevent drought. *Rural Resources*, 57(4): 10-15.
13. Novak, P. and J. Cabelka, 1981. *Models in hydraulic engineering: Physical principles and design applications*. Pitman, London.
  14. Park, S., 2008. *Impact of the geochemical characteristics and potential contaminants source of surrounding soil on contamination of a reservoir in an island (The case of a reservoir in Baengyeong island)*. Kwangwoon university, Department of environmental engineering, A thesis for a doctorate.
  15. Ryu, S. H. and J. H. Lee, 2012. Determination of Optimal locations and size of storage in the Urban sub-surface using genetic algorithm. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation* 12(3): 285-290.
  16. Stickler, A., 1923. *Beitrage zur Frage der Geschwindigkeits - Formel und der Rauheitszahlen fur Strome*. Kanale und Geschlossene Leitungen, (Some contributions to the question of a velocity formula and roughness data for streams, canals and closed conduits), Mitteilungen des Eidgenossischer Amtes fur Wasserwirtschaft, Bern, Switzerland, No. 16g.