빗물저류시설에서 수리학적 흐름특성과 입자의 거동

Hydraulic characteristics and particle behavior in rainwater retention facilities

유형근*, 문정수**, 한무영***

Hyoungkeun Yoo, Jungsoo Mun, Mooyoung Han

요 지

빗물 유출량 제어를 위한 빗물 저류 시설에서 지금까지는 저류되는 용량이 주된 관심사였다. 많은 물을 순간적으로 저류하여 지체시킴으로서 유출량을 감소시키는 것이 목적이었다. 하지만 이러한 빗물저류시설은 저류기능 뿐만 아니라 침전에 의한 수질개선효과도 가지고 있다. 이렇게 저류된 물을 갈수기에는 화장실 용수나 잡용수로 사용할 수도 있고, 수질 개선을 통하여 하수 오염 부하량의 경감효과까지 노릴 수 있다. 이러한 수질개선 효과를 알아보기 위해서는 빗물 저류시설의 수리학적 흐름특성과 입자의 거동파악이 필수적이다. 본 연구에서는 CFD(Computational Fluid Dynamic)를 이용하여 빗물저류시설 중 하나인 빗물저장조의 수리학적 흐름특성 및 입자의 거동을 살펴보았다. 빗물저장조는 유출입패턴이 불규칙하다. 이를 크게 네 가지 경우로 나누어 살펴보면, 유입만 있고 유출이 없는 경우(Case 1), 유입과 유출이 동시에 있는 경우(Case 2), 유출입이 모두 없는 경우(Case 3), 유출만 있고 유입이 없는 경우(Case 4)로 살펴 볼 수 있다. 기존의 수량 측면에만 한정되었던 빗물 저류 시설에 대한 연구를 수자원 절약과 수질 개선을 통한 하수도 오염 부하량 감소의 측면을 덧붙여 빗물 저류 시설의 목적 범위를 확장할 수 있다.

핵심용어 : 빗물저류시설, CFD, 수리학적 흐름 특성, 입자의 거동, Calm-inlet

1. 서 론

빗물 유출량 제어를 위한 빗물 저류 시설에서는 저류되는 용량이 주된 관심사였다. 많은 양의 빗물을 순간적으로 저류하여 지체시킴으로써 유출량을 감소시켜 하수관거의 통수능을 확보하는 것이 목적이었다. 하지만, 이렇게 저류된 물은 갈수기에는 화장실 용수, 청소용수 등 잡용수로 사용하여 수자원 이용량을 절감하고 상수 사용을 절약할 수 있을뿐더러 수질 개선을 통하여 하수 오염 부하량 경감 효과까지 노릴 수 있다(한 등 2005, 문 등 2007). 이런 관점에서 빗물 저류 시설은 수량에만 치우친 연구에서 끝나는 것이 아니라 수자원 및 상수 절약 및 하수도 오염 부하량 감소의 측면의 연구도 이루어 져야 한다. 빗물 저류 시설의 물을 사용하기 위해서는 입자 제거를 통한 수질 개선을 도모해야 하며 이를 위해 빗물 저류 시설에서의 수리학적 흐름특성과 입자의 거동 파악이 필수적이다. 본 연구에서는 빗물 저류 시설 중의 하나인 빗물저장조에서, Calm-inlet의 유무와 빗물 유출입 패턴에 따른 수리학적 흐름특성과 입자 거동의 차이를 살펴보았다.

Calm-inlet은 유입부 쪽을 둥글려서 흐름 유입시 스플래쉬되어 입자가 재 부상할 수 있는 가능

* 비회원·서울대학교 건설환경공학부 석사과정·E-mail : yhkeun99@naver.com

** 비회원·서울대학교 건설환경공학부 박사과정·E-mail : jsmun21@snu.ac.kr

*** 정회원·서울대학교 건설환경공학부 정교수·E-mail : myhan@snu.ac.kr

성을 최대한 줄인 것으로서(그림 1) 독일의 빗물저류시설에 많이 쓰이는 유입부 구조물이다. 또한, 빗물저장조는 유출입패턴이 불규칙하다. 이를 크게 네 가지 경우로 나누어 살펴보면, 유입만 있고 유출이 없는 경우(Case 1), 유입과 유출이 동시에 있는 경우(Case 2), 유출입이 모두 없는 경우(Case 3), 유출만 있고 유입이 없는 경우(Case 4)로 살펴 볼 수 있다.

2. 연구 방법 및 재료

본 연구에서는 CFD(Computational Fluid Dynamics) 프로그램 중의 하나인 FLUENT 6.3.26을 이용하여 빗물저장조의 수리학적 흐름특성과 입자의 거동을 모의하였으며 연구대상으로 서울대학교내 윗버들골에 설치되어 있는 PC 콘크리트 빗물저장조를 선정하였고(그림 1) 모의 조건은 표 1과 같다.

표 1. 모의 조건

항 목	비 고
Solver	Segregated
흐름	Unsteady(1st-Order Implicit Formulation)
Model	Multiphase Eulerian Model (흐름특성분석) Discrete Phase Model (입자거동분석)
난류모형	k - ε 모형
물의 밀도	998.2 kg/m 3
물의 점성	0.001003 kg/m-s
공기의 밀도	1.225 kg/m 3
공기의 점성	1.7894 × 10 -5 kg/m-s
유입구 조건 및 유속	Velocity Inlet (0.6 m/s)
유출구 조건	Pressure outlet
입자 유입 조건	Unsteady, anthracite
모의 시간	60초

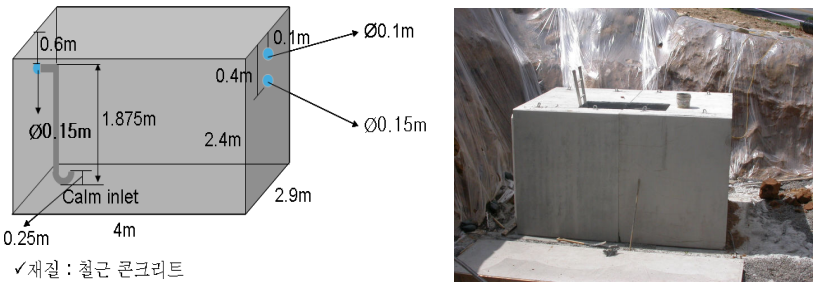


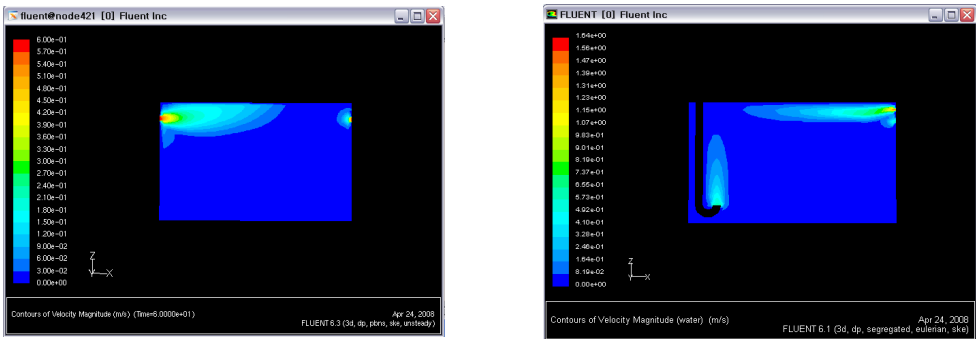
그림 1. PC 콘크리트 빗물저장조

계산 수행 시간 간격은 해가 발산되지 않고 수렴하는 범위 내에서 되도록 큰 값을 사용하여 계산시간을 최대한 단축시킬 수 있도록 0.01초의 값을 사용하였다. 본 연구에서는 정수장 침전지 유입 관거 최대 유속인 0.6m/s(김홍석 등 2003)를 채택하여 빗물저장조에서 calm-inlet 설치시와 비설치시의 차이를 모의하였으며 빗물저장조 유출입 패턴에 따른 차이를 살펴보았다.

3. 연구 결과

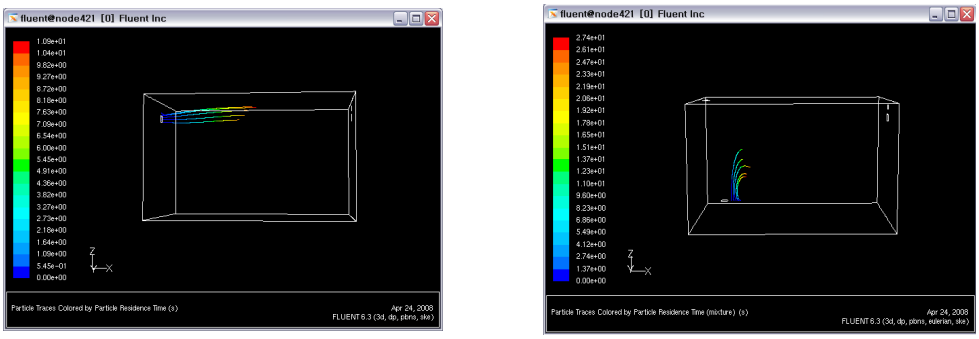
3.1 calm-inlet의 유무에 따른 수리학적 흐름특성과 입자의 거동 차이

빗물저장조에서 calm-inlet의 역할은 유입시 유속을 완화하여 슬러지의 재부상을 최소화하는데 의의가 있다. 본 연구에서는 calm-inlet의 유무에 따른 수리학적 흐름 특성과 입자의 거동을 살펴보았다. 모의 결과, calm-inlet이 없는 경우 유입, 유출부에 0.6m/s의 강한 유속장이 형성되었으며 입자의 거동을 살펴 본 결과 유입되는 입자가 저장조 아랫부분을 거치지 않고 곧바로 유출부 쪽으로 빠져나가려는 경향을 보였다.(그림 2, 3) 또한, calm-inlet이 있는 경우 유입부 유속이 유출부에 영향을 적게 주는 것으로 나타났으며, 입자 또한 calm-inlet 없을시와 비교하여 유입부 흐름이 유출부 쪽에 영향을 덜 미치는 경향을 보였다.



a. calm-inlet이 없는 경우 b. calm-inlet이 있는 경우

그림 2. calm-inlet의 유무에 따른 수리학적 흐름특성 차이



a. calm-inlet이 없는 경우 b. calm-inlet이 있는 경우

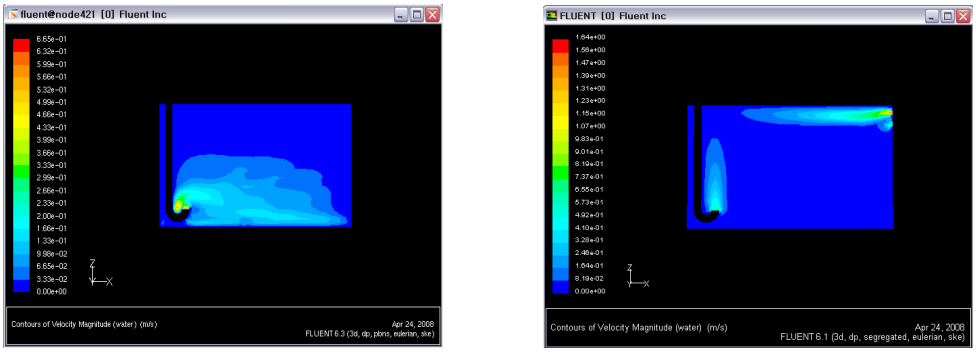
그림 3. calm-inlet의 유무에 따른 입자 거동 차이

3.2 유출입 패턴에 따른 수리학적 흐름특성과 입자의 거동 차이

3.2.1 유입이 있는 경우

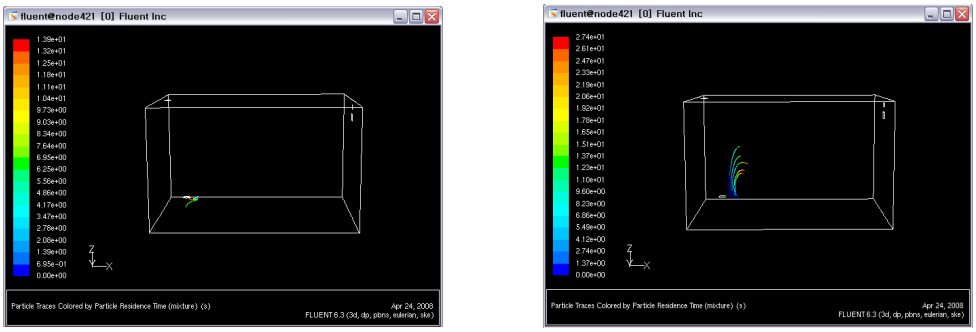
유입이 있는 경우를 서로 비교하여 보면, 유입이 있고 유출이 없는 경우(case 1)와 유입이 있고 유출이 있는 경우(case 2)와 로 나누어 볼 수 있다. 유입부에서는 두 가지 모두 0.6m/s의 강한 유속장을 형성하고 있으며 case 1의 경우는 유출이 없기 때문에 저장조내 흐름이 넓은 범위에서 와

류를 형성하였다.(그림 4) 이 경우에 유입부 부근에 shaft wall, 정류벽 등을 두어 흐름을 안정화 시킬 필요가 있다. 또한, 입자 거동 분석 결과 case 1의 경우는 유출이 없기 때문에 침전되는 양상을 보였으며, case 2의 경우는 저장조 상부로 부상하는 경향을 보였다.(그림 5)



a. case 1 b. case 2

그림 4. 유입이 있는 경우(case 1과 case 2)의 수리학적 흐름특성 차이

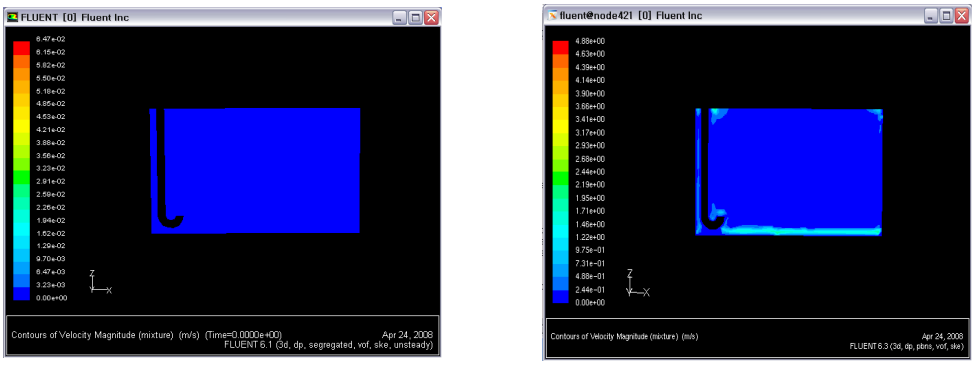


a. case 1 b. case 2

그림 5. 유입이 있는 경우(case 1과 case 2)의 입자의 거동 차이

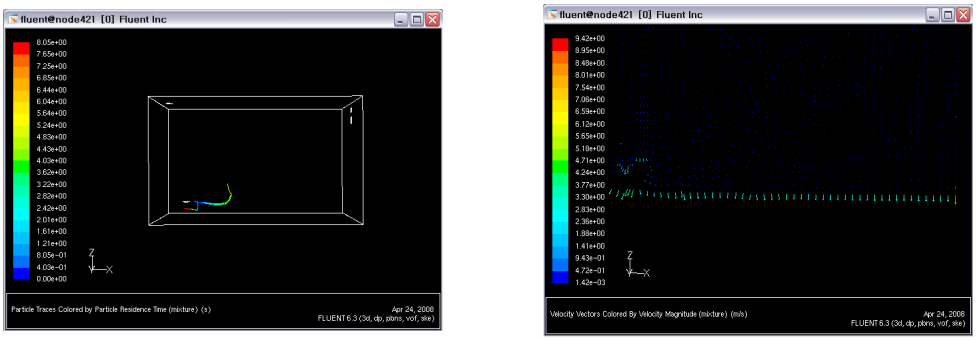
3.2.2 유입이 없는 경우

유입이 없는 경우를 서로 비교하여 보면 유입이 없고 유출도 없는 경우(case 3), 유입이 없고 유출이 있는 경우로 나누어 볼 수 있다. 유입부에서는 유속장이 없고, case 3의 경우는 1차 독립침강(Stokes' Law)으로서 흐름이 존재하지 않아 전영역이 사수부로 확인 되었으며 case 4의 경우는 저장조 하단부에 단락류가 발생하여 저장조 바닥으로 향하는 흐름이 존재하였다.(그림 6) 이는 유입이 없는 상황에서 유출만 일어났기 때문인 것으로 판단된다. 또한, case 3의 경우는 입자의 거동을 모의하지 않았으며 case 4의 경우 입자의 일부는 단락류를 따라 아랫방향으로 향하고 다른 일부는 유출부로 향하는 경향을 보였다.(그림 7)



a. case 3　　b. case 4

그림 6. 유입이 없는 경우(case 3과 case 4)의 수리학적 흐름특성 차이



a. case 4의 입자 거동　　b. case 4의 단락류 방향

그림 7. case 4의 입자 거동과 단락류 방향

4. 결 론

흐름 특성과 입자 거동 모의 결과 유입부 유속 흐름이 유출부에 영향을 미칠 가능성이 높아 calm-inlet의 설치가 필요할 것으로 판단된다. 또한, case 1부터 case 4까지 흐름 특성과 입자 거동 모의 결과 유입부 흐름을 안정화시키기 위하여 저장조내 구조물, 즉 shaft wall, 정류벽을 설치해야할 필요성이 있는 것으로 판단된다. 본 연구에서는 빗물저류시설의 또 다른 측면, 즉 수질개선에 의한 수자원 이용 및 상수 사용량 절약 가능성을 살펴보았다. 추후 실제 빗물저류시설에서의 현장 실험을 통해 모델링을 검증하고 보완하며 저장조내 구조물 설치에 대한 모의도 이루어 져야 하겠다.

감 사 의 글

본 연구는 건설교통부 건설핵심기술연구개발사업의 연구비지원(06건설핵심B02)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 김홍석, 한무영 역 (2003). 정수시설의 종합설계와 유지관리.
2. 노성진(2001). CFD를 이용한 장방형 침전지내 흐름의 수치모의, 서울대학교 대학원, 건설환경공학부, 석사논문
3. 문정수, 유형근, 한무영(2007). 빗물저장조에서 입자의 제거특성 및 운전과 설계시 고려사항, 상하수도학회지, 21권 1호, pp. 131-138.
4. 한무영, 이순재(2005). 갈뫼중학교 빗물이용시설에서의 저장 빗물 수질 평가, 상하수도학회지, 19권 1호, pp. 31-37.