대형 실내 강우시뮬레이터 활용을 위한 운영모형 개발

김학수, 금호준, 김예림, 주재승, 이보람, 이훈석
국립재난안전연구원 방재기준평가센터
e-mail: hskim73@korea.kr

Development of Operation Models for Use of a Large-scale Laboratory Rainfall Simulator

Hak-Soo Kim, Ho-Jun Keum, Ye-Rim Kim, Jae-Seung Joo, Bo-Ram Lee, Hoon-Seok Lee
National Disaster Management Research Institute, Disaster Prevention Assessment Center

요 약

본 논문에서는 국립재난안전연구원에 구축되어 있는 대형 실내 강우시뮬레이터(NDMI RS) 운영체계를 소개한다. RS 운영체계는 RS 및 RS 검·보정 자동화시설, RS/검·보정 자동화시설 운영시스템으로 구성되어 있다. RS 검·보정 자동화시설을 활용해 강우강도와 등분포를 검보정하였고, RS 검·보정에 사용된 75개 강우시나리오를 바탕으로 RS 제어변수별 강우강도 및 등분포 사이의 관계를 규명하여 RS 운영모형을 개발하였다.

1. 서론

기후변화는 가속화되고 있으며, 기후변동성은 증가하고 있다. 이상기후 영향에 따른 국지성 집중호우 피해는 늘어나고 있으며, 도시홍수를 포함한 기존 풍수해는 대형화 국면으로 접어들고 있다. 풍수해로 피해가 컸던 2008년부터 2017년까지 자연재난 유형별 피해를 살펴보면, 집중호우로 인한 인명피해는 124명으로 전체 자연재난으로 발생한 인명피해 중 가장 큰 비중(약 82%)을 차지하였으며, 재산피해는 약 1조5천억 원으로 전체 자연재난 피해의 약 43%에 달했다(행정안전부, 2018).

도시홍수는 인명과 재산피해뿐만 아니라 사회 인프라 파괴, 인류의 경제 및 문화 활동을 위축시키는 사회발전의 위해요소로, 도시홍수를 효과적으로 예방, 관리 및 저감시키기 위해서는 기후변화와 변동성에 대한 이해와 도시 불투수 지역에서 유출특성에 대한 진보된 해석이 필요하고, 이를 바탕으로 기존 도시방재시설 설계기준에 대한 불확실성 및 비현실성을 개선하기 위한 노력이 요구된다.

외국(미국, 영국 등)에서는 변화하는 재난특성이 반영된 설계기준을 마련하기 위해 대도시 침수 모의실험과 수치해석을 동시에 수행하여 도시방재시설 설계기준을 재설정하고 있다. 국내의 경우, 실증실험 기반시설이 부족하여 국내 유역특성이 반영된 도시방재시설 해석연구가 원활히 진행되지 못하였으나, 최근 국립재난안전연구원에 실증실험센터 도시홍수실험동이 구축('16.10)됨으로써 도시침수 해석, 평가, 저감을 위한 실증실험 연구분야의 초석이 마련되었다. 본 논문에서는 도시홍수 실증실험을 위해 구축된 강우시뮬레이터(Rainfall simulator, RS, 이후 RS) 운영체계를 소개하고, RS 운영체계를 실증실험에 적용하기 위해 개발된 RS운영모형의 개발과정과 적용성을 검토하고자 한다.

2. 강우시뮬레이터 운영체계

RS 운영체계는 RS 및 RS 검·보정 자동화시설, RS/검·보정 자동화시설 운영시스템으로 구성되어 있다. RS는 저류 및 침투시설 등과 같은 도시방재시설 성능검증 및 도시침수 관련 실증실험연구를 추진하기 위해 구축한 국내 최대 규모 강우재현시설이다(30m×30m). RS는 강우노즐 회전속도 및 회전대기시간, 펌프압력, 노즐형태 및 규격 등 조건에 따라 강우강도 조절이 가능하다(20mm/hr~250mm/hr). 노즐이 회전하며 강우를 분사하는 노턴방식과 고정위치에서 아래로 분사되는 방식을 선택적으로 사용할 수 있으며, 9개(10m×10m @ 9개)의 강우구역을 개별운영할 수 있다(그림 1).

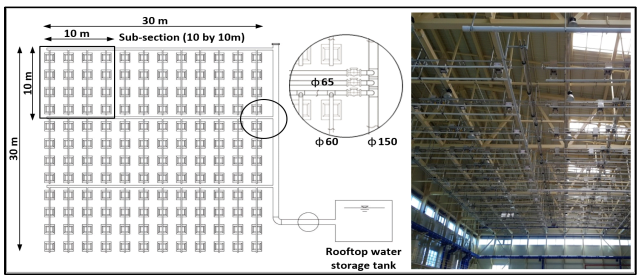

그림 1. 국립재난안전연구원 강우시뮬레이터(NDMI RS) 구조

RS 검·보정 자동화시설(10m X 10m)은 RS에서 발생되는 강우를 계측하고 검·보정할 수 있는 시설로 소형우량계(100개, 간격 1개/1m^2), 자료 송수신을 위한 통신장비, 데이터베이스 등을 갖추고 있다(그림 2). RS/검·보정 자동화시설 운영시스템에서는 RS 운영(펌프압력, 노즐회전속도 등)과 RS 검·보정 자동화시설의 자료를 처리하기 위한 원격제어가 가능하고 취득된 자료는 시스템 내부에서 저장 및 처리된다.

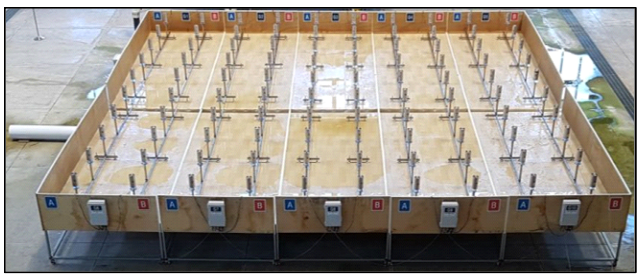

그림 2. RS 검·보정 자동화시설(내부: 소형우량계)

3. 강우시뮬레이터 검·보정과 운영모형 개발

RS 성능은 자연상태의 강우를 얼마만큼 유사하게 재현할 수 있는가에 달려 있고, RS를 강우유출 실증실험 연구에 활용하기 위해서는 RS로 재현된 인공강우에 대한 검·보정 절차가 필요하다. 검·보정은 RS 제어변수(펌프압력, 노즐종류, 노즐회전속도, 노즐회전 대기시간 등)와 강우강도(Rainfall intensity) 및 등분포(Rainfall uniformity) 사이의 관계를 정량화함으로써, 재현 강우의 불확실성을 최소화하여 RS를 활용한 실증실험 해석결과의 신뢰성을 높이기 위한 절차이다.

강우 지속시간별 강우강도의 정확성과 강우의 공간적 균등성을 최대화하기 위해 RS를 검·보정하였고, RS 제어변수로 펌프압력(Nozzle or pump pressure, NP), 노즐 회전속도(Oscillation velocity, OV), 노즐 대기시간(Time delay, TD)을 사용하였다. 펌프압력은 수조에서 RS의 노즐까지 유량을 공급하는 압력으로, 압력 제어범위는 1.3kg/cm^{2}에서 7.0kg/cm^{2}까지 0.1kg/cm^{2}씩 증가시킬 수 있다. 노즐 회전속도는 노즐이 좌우로 왕복하는 속도를 의미하며, 6.25rpm에서 31.25rpm까지 1.25rpm씩 증가시킬 수 있다. 마지막으로, 노즐 대기시간은 Spary box 끝단에 노즐을 정지시켜 강우분사를 지연시키는 시간으로 0초에서 10초까지 0.1초씩 증가시킬 수 있다.

RS 검·보정에서는 압력조건 3개(1.3, 1.4, 1.5kg/cm^2), 회전속도 5개(6.25, 12.50, 18.75, 25.00, 31.25rpm), 지연시간 5개(0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0초)를 조합한 75개 강우 시나리오를 사용하였다. 또한, 부채꼴 형태 분사 노즐(오리피스 직경 7.5mm)을 사용하였고, RS 1개 단위구역(10m×10m)에 강우를 발생시켜 RS 검·보정 자동화시설(10m×10m)을 활용하여 강우강도와 등분포를 검·보정하였다. 강우 등분포의 정도는 CuC(Christiansen uniformity coefficient)(Christiansen, 1942) 지표를 활용하여 평가하였다.

강우강도는 RS 제어변수 조합에 따라 45mm/hr부터 182mm/hr까지 재현되었고, 강우 등분포는 강우강도 182mm/hr에서 가장 높고(CuC 78.4%), 45mm/hr에서 가장 낮게(CuC 71%) 나타났다. 또한 강우강도가 증가할수록 등분포성이 커지는 경향을 보였다. 대형 RS의 경우 CuC가 70%이상일 때, 공간분포가 균일하다고 평가되므로(Luk et al., 1993), 연구원의 RS는 다양한 강우시나리오에 대해 공간적으로 균일한 강우를 재현할 수 있는 것으로 평가되었다.

RS 검·보정에 사용된 75개 강우시나리오를 바탕으로 제어변수별 강우강도 및 등분포 사이의 관계를 규명하여 RS 운영모형(Operation model)을 개발하였다. 이를 위해, 강우강도와 등분포 및 제어변수 간 상관분석(선형, 비선형)을 수행하였고, 상관성이 높은 두 제어변수(TD, OV)에 대해 다중회귀분석(선형, 비선형) 후 높은 결정계수(Coefficient of determination)를 가지는 회귀식을 운영모형으로 채택하였다. 그림 3은 펌프압력(NP)이 1.5kg/cm^{2}에서의 RS 운영모형을 도식적으로 표현한 것이다.

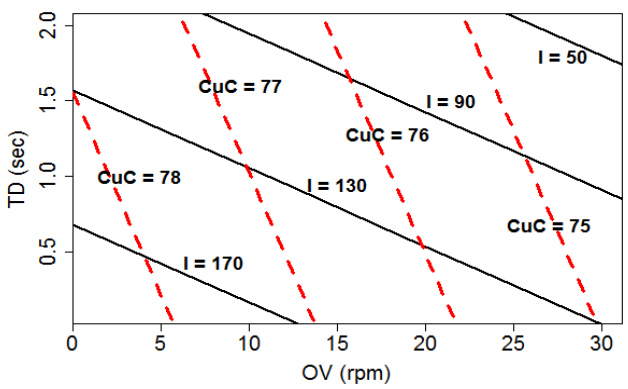

그림 3. 국립재난안전연구원 강우시뮬레이터(NDMI RS) 운영모형

4. 강우시뮬레이터 운영체계·모형 활용방안

RS 운영체계는 홍수피해 해석을 위한 실증실험 원천기술로 도시침수 안전성 평가를 비롯한 도시방재시설물(우수유출저감시설, 지하공간 침수방지시설 등) 설계기준 개선 연구에 활용되어질 수 있다. 또한, 개발된 RS 운영모형은 최고의 등분포 조건(CuC)을 가지는 특정 강우강도(Rainfall intensity, I)를 재현할 수 있는 제어변수(TD, OV)를 선택하기 위한 가이드라인으로 활용될 수 있다.

참고문헌

[1] 행정안전부, 2017 재해연보, 2018.

[2] Christiansen J. E., Irrigation by sprinkling. California Agriculture Experiment Station Bulletin, no. 670, 1942.

[3] Luk S. H. and Abrahams A. D., Parsons AJ, Sediment sources and sediment transport by rill flow and interrill flow on a semi-arid piedmont slope, Southern Arizona, Catena 20(1/2), pp. 93-111, 1993.