

도시지 침수피해 저감을 위한 지능형 빗물 배제시스템의 실규모 성능 평가

김정건*, 최상현**, 송현호*, 정연지*, 김용인*, 박성원**

*지성산업개발(주)

**인천대학교 건설환경공학부

e-mail:jsdc2012@naver.com

Real-scale performance evaluation of an intelligent stormwater drainage system for improving urban flood inundation

Jung Gun Kim*, Sang-Hyun Choi*, Hyun Ho song*, Yeon Ji Jeong*, Yong In Kim
*, Sung Won Park**

*Jisung development company

**Dept. of Civil and Environmental Engineering, Incheon National University

요약

최근 기후변화로 인한 강우 패턴 변화로 서울 및 수도권을 포함한 국내 여러 지역에서 도시홍수 및 침수 피해가 나날이 심각해지고 있다. 이러한 문제의 해결을 위해 대형 관로 및 빗물 터널 건설 등의 다양한 대응 방안이 논의되고 있으나 막대한 예산과 시간이 소요됨에 따라 실효성 있는 빗물 배출 관리 시스템의 필요성이 강조되고 있다. 본 연구는 실규모의 지능형 빗물 배제 시스템과 IoT 센서 기술을 활용하여 시계열데이터베이스(TSDB)를 구축하고, 이를 배출 유량 예측 모델에 적용시켜 실시간으로 빗물의 흐름을 모니터링하고 관리하는 시스템을 개발하여 도시 배수시스템의 효율성을 분석하였다. 본 연구에서는 지능형 빗물 배제 시스템을 실규모 테스트베드에 적용하여 성능 평가를 수행하였다. 최소 30 mm/hr에서 최대 250 mm/hr 사이의 다양한 강우 강도 시나리오를 설정하고 인공강우 시뮬레이션을 통해 배수 및 저류 성능을 측정하였으며, 기존 원형수로 대비 배수 성능 및 저류 성능의 향상 정도를 분석하였다. 또한 랜덤 포레스트(Random Forest)와 XGBoost 기반의 앙상블 모델과 딥러닝 기반의 예측 모델을 활용하여 실제 배출 유량과 모델이 예측한 배출 유량을 분석하였다. 또한, IoT 센서를 활용하여 실시간 데이터 전송 및 분석은 데이터 오차율 및 전송률을 평가하여 시스템의 신뢰성을 검증하였다. 연구 결과 기존 원형수로 대비 배수 성능이 약 10 % 이상 향상되었으며, 저류 성능 또한 10 % 이상 증가하는 것으로 나타났다. 빗물 유량 예측 모델은 높은 정확도를 나타냈으며, 전반적으로 앙상블 모델은 훈련 데이터에서 더 높은 성능을, 딥러닝 모델은 테스트 데이터에서 높은 성능을 각각 나타냈다. 본 연구를 통해 개발된 지능형 빗물 배제 시스템은 도시 침수 예방 및 효율적인 배수 관리에 기여할 수 있는 기술로 평가된다. 향후 연구에서는 다양한 강우 조건 및 도시 환경에서의 빗물 관리의 적용성을 검토할 예정이다.

2. 연구 목표

1. 서론

최근 기후변화로 인해 강우패턴이 변화하고 있다. 이로 인해 서울 및 수도권을 포함한 국내 다수 지역에서는 도시홍수가 발생하고 있으며 침수로 인한 피해가 점점 심각해지고 있는 상황이다. 이에 따라 정부는 침수 대응 시스템을 개발하여 돌발 홍수가 발생하는 특정지역, 유역 중심 및 전국을 대상으로 정보를 수집하고 제공하고 있으나 초기 빗물 배수시설에 대한 정보는 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 실규모 실험을 통해서 지능형 빗물 배제 시스템의 배수성능을 평가하고 IoT센서를 활용한 실시간 모니터링 기술을 기반으로 시계열 데이터베이스 구축하여 실시간 빗물 흐름의 모니터링 및 관리 시스템을 구현하였다.

본 연구는 실규모에서 지능형 빗물 배제 시스템과 IoT 센서 기술을 활용하여 강우 시 빗물의 유출량에 대한 시계열 데이터베이스(TSDB, Time Series Database)를 구축하고, 이를 배출유량 예측 모델에 적용하여 빗물 배수 흐름을 모니터링 하는 시스템을 개발하였다. 특히, 다양한 강우시나리오에 따른 강우 상황을 구현할 수 있는 실규모 테스트베드를 설치하고, 기존 기술인 원형수로 대비 지능형 빗물배제 시스템의 배수유량 및 저류성능을 비교하였다. 지능형 빗물배제 시스템이 기존 기술 대비 배수유량 및 저류성능을 10% 이상 향상시키고, IoT 센서를 통한 실시간 모니터링 데이터의 정확도는 90% 이상 확보하는 것을 목표로 설정하여 배수시스템의 효율성을 실험적으로 검증하고자 하였다.

3. 연구방법

4. 결론

3.1 배수유량 및 저류성능 테스트

지능형 빗물배제 시스템의 배수유량 및 저류성능을 정량적으로 평가하기 위해 실험실 규모와 실규모에서 강우강도 시나리오 (30 ~ 250 mm/hr)를 설정하고 인공강우를 재현하여 배수 및 저류성능을 실험을 수행하였다 [그림 1][그림 2]. 이때 실험실 및 실규모 테스트베드 실험 모두 기존 기술인 원형수로와 개발 기술인 지능형 빗물 배제시스템을 동일 조건으로 설치하여 비교 수행하였다.

실규모 테스트 진행결과 기존 원형수로 대비 배수성능은 약 10% 이상 향상되었으며 저류성능도 10% 이상 증가하였다. 빗물 유량 예측 앙상블 모델은 Training set에서 딥러닝 모델은 Test set에서 각각 높은 성능을 나타낸 것으로 확인되었다. 이에 따라 향후 시스템 고도화를 통해 도심지 빗물 배수 성능의 확대가능성을 확인하였으며 개발되는 지능형 빗물 배제시스템을 통해 도심지 침수피해를 저감시킬 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 한국환경산업기술원 「2024년 중소환경기업 사업화 지원사업(과제번호 : B0080425002876)」의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] J. Ahn, S. Yeom, S. Park, T. H. T. Nguyen, "Evaluation of Infiltration Rainwater Drainage (IRD) System with Fully 3-D Numerical Simulation Approach", *Applied Science*, Vol.11, No.19, 9144, Oct., 2021.
- [2] L. Breiman, "Random Forests", *Machine Learning*, Vol.45, No.1, pp.5-32, Oct., 2001.
- [3] T. Cover, P. Hart, "Nearest Neighbor Pattern Classification", *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol.13, No.1, pp.21-27, Jan., 1967.
- [4] J. H. Friedman, "Greedy Function Approximation: A Gradient Boosting Machine", *Annals of Statistics*, Vol.29, No.5, pp.1189-1232, Oct. 2001.
- [5] T. K. Ho, "The Random Subspace Method for Constructing Decision Forests", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.20, No.8, pp.832-844, Aug. 1998.
- [6] R. E. Horton, "An approach toward a physical interpretation of infiltration-capacity", *Soil Science Society of America Journal*, Vol.5, No.1, pp.399-417, Jan., 1941.
- [7] W. H. Green, G. A. Ampt, "Studies on soil physics: The flow of air and water through soils", *Journal of Agricultural Science*, Vol.4, No.1, pp.1-24, March 2009.



[그림 1] 지능형 빗물 배제시스템 성능 평가를 위한 실험실 규모 인공강우 실험 장치



[그림 2] 지능형 빗물 배제시스템 성능 평가를 위한 실규모 인공강우 실험 장치

3.2 배출유량 예측 모델 검증

배출유량 예측 모델은 랜덤 포레스트 및 XGBoost 기반 앙상블 모델과 딥러닝 기반의 예측 모델을 활용하였으며 실제 배출유량과 모델이 예측한 배출 유량의 비교 분석을 수행하여 배출유량 예측 모델의 정확도를 측정했다. 또한, 데이터 오차율 및 전송률에 대한 평가를 통해 시스템 신뢰성 검증을 수행했다.