

도심지 침수 피해 저감을 위한 고도화된 빗물 배제 시스템의 적용성 평가

김정건*, 최상현*, 송현호*, 권민선*, 김용인*, 박성원**

*지성산업개발(주)

**인천대학교 건설환경공학부

e-mail:jsdc2012@naver.com

Evaluation of the applicability of an advanced storm water drainage system for urban flood mitigation

Jung Gun Kim*, Sang-Hyun Choi*, Hyun Ho Song*, Kwon Min Sun*, Yong In Kim *,
Sung Won Park**

*Jisung development company

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

요약

최근 기후변화로 인한 강우 패턴의 급격한 변화로 국내 대도시에서 단시간 집중호우로 인한 침수 피해가 심화되고 있다. 대규모 하수관로 확장이나 빗물 터널 건설과 같은 대응책은 막대한 비용과 긴 공사 기간으로 인해 즉각적 대응에 한계가 있으므로, 저영향개발(LID) 기법을 활용한 실효성 높은 빗물 관리 기술의 도입이 필요하다. 본 연구는 강우 시 투수 포장의 표면 유출수와 침투수를 동시에 집수·배제할 수 있는 지능형 빗물 배제 시스템을 테스트베드(집수면적 68.92 m²)에 설치하여 실 규모 현장 시험을 통해 물순환 개선에 따른 침수 저감 성능을 과학적으로 검증하였다. 실험은 극한강우를 재현하기 위해 인공적으로 100 mm/hr의 강우 강도를 1시간 간격으로 2회 연속 분사하는 시나리오를 적용하였으며, 이를 통해 시간에 따른 유출 유량을 센서로 측정하였다. 수집된 유출 유량 자료를 통해 유출곡선지수(CN)를 산정하고, 강우 중심 시점과 평형유출 도달 시점 간의 지체 시간(Lag time), 지역 배수율, 총 부유물질(TSS) 제거율 등 주요 수리 특성과 수질 개선 효율을 분석하였다. 실험 결과, 지능형 빗물 배제 시스템은 강우 시 초기 유출량을 감소시켜 침수율을 완화하는 데 뚜렷한 효과를 보였으며, 유출 강도 억제 효과를 확인하였다. 또한 강우 종료 후 하부 기층에 저장된 빗물을 장시간에 걸쳐 배수함으로써 총배수량이 원형수로 대비 크게 나타났다. 따라서 지능형 빗물 배제 시스템은 도심 집중호우 조건에서 단기적 침수율 억제와 장기적 배수 안정성 확보를 동시에 달성할 수 있는 기술임을 입증되었으며, 저영향개발(LID) 기법으로의 적용 가능성과 도시 물순환 관리 정책에 기여할 수 있는 기술임이 확인되었다.

가 탁월하나 집중호우 시에는 단시간에 다양한 빗물을 배제하기 어려운 한계가 있다[2, 3, 4]

1. 서론

도시화로 인한 불투수 면적의 증가는 강우 유출량을 급격히 증가시키며, 도심지 하천의 수질 악화와 도시 홍수 피해를 가중시키는 주요 원인으로 지목되고 있다[1, 5]. 또한 최근 기후변화로 인해 강우의 단시간 집중도가 높아지고, 돌발성 폭우가 빈번해지면서 서울 및 수도권을 포함한 대도시에서 도로 및 저지대 침수가 사회적 문제로 대두되고 있다. 이에 따라 기존의 하수관로 확장, 대규모 빗물 터널, 인공 저류지 설치 등의 전통적 대응책이 추진되고 있으나, 이를 방법은 막대한 건설비와 장기 공사 기간, 그리고 도시기반시설의 간접 문제를 수반해 신속한 대응이 어렵다[1, 6]. 저영향개발(LID) 기법은 이러한 한계의 대안으로 주목받고 있으며, 강우를 분산, 저류, 침투시켜 자연에 가까운 물순환을 회복하는 데 효과적임이 여러 연구를 통해 보고되고 있다[7, 8]. 특히 투수성 포장은 초기 강우 유출 저감과 지하수 함양 효과

2. 연구 목표

본 연구의 목표는 도심지 극한강우 조건에서 침수 피해를 효과적으로 저감할 수 있는 지능형 빗물 배제 시스템의 물순환 개선 성능을 과학적으로 검증하고, 이를 통해 저영향개발(LID) 기법으로서의 타당성을 입증하고자 하였다. 이를 위해 지능형 빗물 배제 시스템에 극한강우 시나리오를 재현하여 배수·저류 및 물순환 개선 효과를 핵심 수리·수질 지표를 산정함으로써 지능형 빗물 배제 시스템의 개선 효과를 확인하고자 하였다. 또한 물순환 성능 지표를 토대로 본 시스템이 저영향개발 기법으로써 향후 도시 물순환 관리 정책에 적용이 가능한 시스템으로 발전시킬 수 있음을 제시하고자 한다.

3. 연구방법

3.1 실규모 현장 실험을 통한 성능 검증

한국그린인프라 저영향개발센터의 주차장형 테스트베드(집수 면적 68.92 m²)에 지능형 빗물 배제 시스템을 설치하여 인공강우 실험을 반복 수행하였다[그림 1]. 100 mm/hr 강우 강도(유입유량 115 L/min으로 연속 강우 2회, 간격 60 분)의 극한강우 시나리오를 재현하여 기준 원형수로 대비 배수·저류 및 물순환 개선 효과를 정량적으로 평가하였다. 실험 수행 전 투수 포장 및 하부 기층의 물성을 확보하기 위해 투수블력의 현장 표면 침투 시험(ASTM C1701)을 수행하여 공극 막힘과 재료 성능을 확인하였다. 시험 중에는 전자식 유량계와 수위계를 설치해 유입·유출 유량을 1분 간격으로 연속 계측하고, 강우 개시·종료 시각 등은 전산 로그로 자동 저장하였다.



[그림 1] 실규모 인공강우 실험 장치

3.2 성능 평가 지표 및 산정 방법

평가 지표로는 유출곡선지수(CN), 지체시간(Lag time), 단위 유출량 저감율(L/hr·m²), 평균 유출계수, 지연 배수율, 총 부유물질(TSS) 제거 효율을 설정하였다. 유출곡선지수는 강우량과 누적 유출수 깊이를 이용하여 산출하였으며, 지체시간은 강우 중심 시점과 평형유출 도달 시점 간의 시간차로 정의하였다. 평형유출은 10분 이동평균 변화율이 1% 미만으로 떨어질 때로 규정하였고, 지연 배수율은 강우 종료 후 1시간 정지 기간과 추가 관측 기간 동안 배출된 유량을 총 유출량 대비 비율로 계산하였다.

4. 결론

성능 검증 결과 지능형 빗물 배제 시스템은 강우 시 구간별 유출량을 감소시켜 평형유출량도 10~15% 낮게 유지되어 유출 강도 억제와 첨두유출을 완화하는 데 뚜렷한 효과를 보였다. 강우가 끝난 후에도 하부 기층에 저장된 빗물을 장시간에 걸쳐 방류함으로써 총 배수량은 원형수로보다 많았지만 평균 지연배수율

은 약 26.5% 수준으로 투수 포장과 하부 기층의 저류 공간을 확보할 수 있는 장점이 확인되었다. 이러한 결과는 지능형 집수정이 도심 집중호우 조건에서 단기적인 첨두유출 억제와 장기적인 배수 안정성 확보를 동시에 달성할 수 있는 효율적 빗물 관리 기술임을 보여준다.

감사의 글

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

참고문헌

- [1] 김용인, 김정건, 송창근, 박성원, “인공지능기술기반의 이중 빗물배수시스템의 배출 패턴 분석과 증강”, 한국산학기술학회 논문지, 제 26권 제 4호, pp. 718–726, 4월 2025년.
- [2] 국토교통부, “건전한 도시물순환 인프라의 저영향개발 및 구축·운영기술(LID),” 국토교통부 연구보고서, 2018.
- [3] 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.
- [4] B. O. Brattebo, D. B. Booth, “Long-term stormwater quantity and quality performance of permeable pavement systems,” Water Research, Vol.37, No.18, pp.4369–4376, Dec., 2003.
- [5] K. Kumar, J. Kozak, L. Hundal, A. Cox, H. Zhang, T. Granato, “In-situ infiltration performance of different permeable pavements in an employee-used parking lot: A four-year study,” Journal of Environmental Management, Vol.167, pp.8–14, Jan., 2016.
- [6] L. A. Rossman, W. C. Huber, “Storm Water Management Model Reference Manual, Volume 1 – Hydrology (Revised),” U.S. Environmental Protection Agency, EPA/600/R-15/162A, Jan., 2016.
- [7] Lee, Y.-T., Ho, M.-C., Chiou, Y.-S., and Huang, L.-L., “Assessing the Performance of Permeable Pavement in Mitigating Flooding in Urban Areas,” Water, Vol.15, No.20, 3551, Oct., 2023.
- [8] Kim, H., and Kim, G., “An Effectiveness Study on the Use of Different Types of LID for Water Cycle Recovery in a Small Catchment,” Land, Vol.10, No.10, 1055, Oct., 2021.