

집중호우에 대비한 도시지역 이중배수 시스템 개발 및 평가 Development and Estimation of Double-Drainage System in Urban Areas against Localized High-Intensity Rainfall

김태범*, 김용인**, 심형보***, 양정석****

Tae Beom Kim, Yong In Kim, Yong In Kim, Jeong-Seok Yang

요 지

지난 백여 년 동안 인간은 과거의 그 어떤 선조들도 이루지 못한 지식과 기술의 발전을 통해 고도로 산업화된 사회를 이루었지만, 전 지구적으로 기후변화라는 부차적인 결과와 현실에 직면하고 있다. 이상기후 현상은 전지구 규모뿐만 아니라 일정한 소규모 지역에서도 관측되고 있으며, 국내에서는 특히 특정 지역에 국한되어 단시간에 발생하는 집중호우가 대표적인 사례이다. 현재까지 집중호우 발생 지역과 정도를 예측하기란 불가능한 상태이며, 산업화와 도시화가 진행될수록 그 피해는 더욱 증가할 것으로 예상된다. 따라서 집중호우에 대비한 도시 배수 시스템을 재점검할 필요가 있으며, 기존의 배수시설을 대체할 만큼 효율적인 배수구조물의 개발이 시급하다.

기존 도시지역의 측구형 수로관에는 마감불량, 정밀시공의 어려움, 이물질의 누적과 물고임, 노출로 인한 파손, 포장층 침투수 배수문제 등 많은 문제점들이 존재한다. 따라서 본 연구에서는 기존의 측구형 수로관의 단점을 보완하는 더욱 효율적인 집수정을 개발하고자 하였다. 집수정을 덮고 있는 포장층 상부면을 따라 흐르는 표면수를 처리할 뿐만 아니라, 포장층 내부로 스며드는 침투수를 처리 가능하도록 구조체 상부에 침투수 유입공을 설치하여, 표면수와 침투수를 동시에 고려하는 이중배수 시스템을 구성하였다. 본 연구에서 개발하는 집수정 구조체는 침투수에 의한 도로 및 구조체의 내구성 감소 및 겨울철 동파 현상을 방지할 수 있을 뿐 아니라, 단순공정, 시공성 향상, 유지비용절감 등 기존 배수 시스템과 비교해 많은 장점을 내포하고 있다.

본 연구에서 개발하는 이중배수 집수정의 효율 및 배수능력 평가를 위해서는 기존의 구조체와 차별되는 침투수 유입공에 대한 평가가 선행되어야 한다. 이를 위해서 침투수 유입공에 대한 실내 실험 장치를 구축하였으며, 반복 실험을 통해 침투수 유입공을 통한 배출 능력을 평가하고자 하였다. 또한 실험 결과를 바탕으로 구조체의 효능을 결정짓는 기준을 제시하고자 한다.

핵심용어 : 집중호우, 도시 배수 시스템, 집수정, 침투수, 실내 실험

1. 서 론

지난 백여 년 동안 인간은 과거의 그 어떤 선조들도 이루지 못한 지식과 기술의 발전을 통해 고도로 산업화된 사회를 이루었지만, 전 지구적으로 기후변화라는 부차적인 결과와 현실에 직면하고 있다. 이상기후 현상은 전지구 규모뿐만 아니라 일정한 소규모 지역에서도 관측되고 있으며,

* 정회원 · 주저자 · 국민대학교 건설시스템공학부 연구교수 · E-mail : geo108@naver.com

** 지성산업개발(주) 대표이사 · E-mail : yongin7512@hanmail.net

*** 한국철도기술연구원 선임연구원 · E-mail : hbsim@krti.re.kr

**** 정회원 · 교신저자 · 국민대학교 건설시스템공학부 부교수 · E-mail : jyang@kookmin.ac.kr

국내에서는 특히 특정 지역에 국한되어 단시간에 발생하는 집중호우가 대표적인 사례이다. 현재까지 집중호우 발생 지역과 정도를 예측하기란 불가능한 상태이며, 산업화와 도시화가 진행될수록 그 피해는 더욱 증가할 것으로 예상된다. 따라서 집중호우에 대비한 도시 배수 시스템을 재점검할 필요가 있으며, 기존의 배수시설을 대체할 만큼 효율적인 배수구조물의 개발이 시급하다.

일반적으로 도로의 노면에 내리는 우수를 배출시키기 위해서, 도로의 가장자리 또는 차도와 보도의 경계를 따라 도로의 진행방향과 평행하게 우수관로를 연속 매립하고 있다. 우수관로는 보통 바닥면과 측벽이 막혀있으며, 상부면은 스틸 그레이팅이나 여러 개의 유입공이 뚫려있는 콘크리트 마감재를 설치한다. 이러한 우수관로를 따라 통상적으로 약 20~25m 간격으로 별도의 집수정을 배치하고 있으며, 집수정을 거쳐 하수관으로 우수를 배출시키고 있다. 기존의 도로배수 시설은 우수관로의 우수 배출 가능 높이가 도로 표면과 일치하기 때문에, 도로 아래로 침투된 우수는 우수관로로 유입되지 못하고 도로 포장층 아래에 저수된다. 또한 도로 표면의 침하가 발생할 경우, 관로로 배출되지 못하는 우수는 포장층 아래로 침투되거나 표면에 고이는 현상이 발생된다. 도로 포장층 아래로 침투된 우수로 인해서 도로의 내구성은 떨어지게 되며, 겨울철에는 결빙으로 인해 도로의 일부분이 파손되기도 한다. 따라서 포장층 아래의 침투수를 배출시키기 위해서는 도로 가장자리의 우수관로 측면에 배출공을 추가적으로 시공해야 하지만, 기존의 우수관로는 초기 시공 후에는 영구 구조물이 되기 때문에, 유지보수를 위해서는 전체를 뜯어내야 하는 어려움이 있다. 이 뿐만 아니라, 기존의 우수관로는 도로 미관 확보를 위해 도로 경계석과 도로 포장층 경계선 양측에 맞춰 정밀하게 시공해야 하기 때문에, 공정이 까다롭고 시간도 많이 소요되고 있다. 특히 곡선부를 정밀 시공하기 위해서는 별도의 곡선수로관을 적용시키거나, 직선수로관을 절단하고 사이의 틈새를 메움 작업하는 등 시공이 어렵고 까다롭다. 또한 도로 가장자리를 따라 상부가 노출되어 있는 구조이기 때문에, 보행자나 차량으로 인한 충격에 그대로 노출되어 있으며, 변형이나 파손에 취약할 뿐만 아니라, 상부에 노출되어 있는 연속적인 그레이팅을 통해 쓰레기나 낙엽 등의 오염물과 토사가 우수관로 내로 쉽게 유입되고, 관로 내에 쌓여 우수의 배출 능력을 떨어뜨리게 된다. 최근에는 우수관로 내에 오염물과 토사를 줄이거나 제거하기 위한 연구가 시작되어, 우수관로 중간에 여과장치를 설치(양해립 등, 2011)하거나 우수관로의 경사를 조정(송양호와 이정호, 2014)하는 등 여러 가지 방법을 시도하고 있지만, 실제로 현장에 적용하기 위해서는 아직까지 미흡한 단계이다.

따라서 본 연구에서는 기존의 측구형 수로관의 단점을 보완하는 더욱 효율적인 집수정을 개발하고자 하였다. 집수정을 덮고 있는 포장층 상부면을 따라 흐르는 표면수를 처리할 뿐만 아니라, 포장층 내부로 스며드는 침투수를 처리 가능하도록 구조체 상부에 침투수 유입공을 설치하여, 표면수와 침투수를 동시에 고려하는 이중배수 시스템을 구성하였다. 이중배수 집수정의 효율 및 배수능력 평가를 위해서는 기존의 구조체와 차별되는 침투수 유입공에 대한 평가가 선행되어야 한다. 이를 위해서 본 연구에서는 침투수 유입공에 대한 실내 실험 장치를 구축하였으며, 반복 실험을 통해 침투수 유입공을 통한 배출 능력을 평가하고자 한다.

2. 이중배수 시스템 소개

도로 가장자리를 따라 연속 배치하는 기존의 우수관로를 대신하여, 길이가 짧고 단독 설치가 가능하며, 도로면 하부로 침투한 우수의 신속한 배출이 가능한 이중배수 시스템을 개발하였다. 본 시스템은 하부와 측면이 막힌 집수공간과 상부 덮개로 구성된다. 상부 덮개에는 표면수 배출을 위한 표면수 유입공과 침투수 배출을 위한 침투수 유입공이 존재한다. 표면수 유입공만 도로 표면에

노출되어, 경사진 도로면을 따라 표면수가 표면수 유입공으로 유입되며, 도로 표면의 투수성 포장층 아래 모래층을 집수정 상부 덮개 위로 도포하여, 모래층으로 침투된 우수를 침투수 유입공으로 유입시킨다. 집수공간 측면에는 연결공이 존재하여, 집수공간과 도로 하부의 우수분관이 연결관을 통해 연결되며, 집수공간에 모인 표면수 및 침투수는 연결관을 통해 우수분관으로 배출된다. 본 시스템을 구성하는 집수정은 도로 가장자리에 비연속적으로 설치되며 표면수 유입공만 지표에 노출되기 때문에, 도로 미관이 향상되고, 터파기와 매립 등 시공이 단순해지며, 공사 시간 단축과 자재 소모량 감소 등 기존 우수관로 시설물과 비교해 많은 장점을 지니고 있다. 특히, 독립적으로 설치되는 구조물이기 때문에, 우수관로 연결이나 곡선부 시공을 고려할 필요도 없다. 또한, 도로 포장층 하부로 침투한 우수가 침투수 유입공을 통해 배출되므로, 도로 상하부의 물고임 현상이 사라지게 되며, 따라서 도로 내구성 향상과 유지보수 비용의 절감 효과도 기대된다. 이와 더불어, 지표에 노출되어 있는 그레이팅의 면적이 기존 우수관로에 비해서 현저하게 줄어들어 오염물이나 토사의 유입도 상대적으로 감소되며, 구조물 대부분이 도로 포장층 아래에 매설되므로 변형이나 파손 가능성도 현저히 감소되어, 유지관리 측면에서도 매우 유리할 것으로 기대된다.

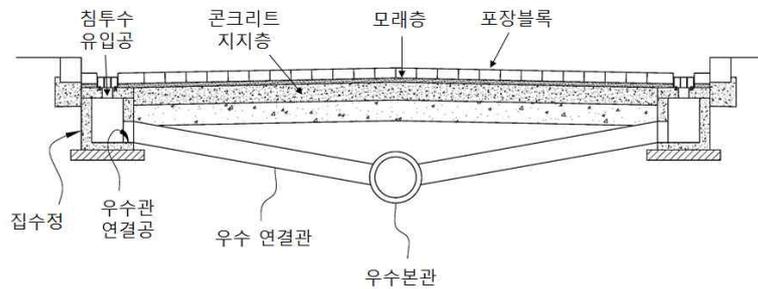


그림 1. 이중배수 시스템 횡단 개념도

3. 실험재료 및 방법

이중배수 시스템을 구성하는 집수정의 상부 덮개 콘크리트 구조물의 하중을 고려할 때 실내시험에 직접 적용하기는 불가능하기 때문에, 상부 덮개와 동일한 크기인 가로×세로×높이 1300mm×600mm×150mm의 스티로폼을 대용하여 실험을 진행하였다. 그림 2의 설계도면과 동일한 위치에 지름 100mm의 침투수 유입공을 타공한 후, 유입공 커버를 설치하였다. 본 실험은 집수정의 침투수 유입공 배수능력을 평가하기 위한 실험이므로, 그레이팅이 설치되는 표면수 유입공은 고려하지 않는다.

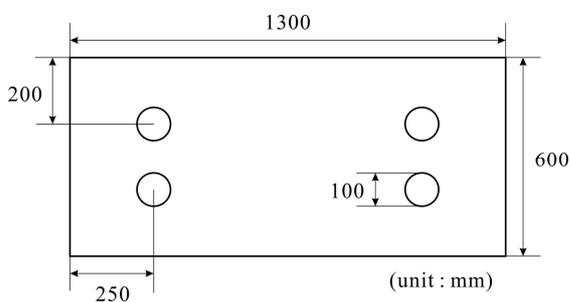


그림 2. 구조물 설계 평면도



그림 3. 드레인보드, 유입공 커버, 상부 집수체 설치

집수 하중과 압력을 충분히 버틸 수 있도록 두께 15mm의 두꺼운 아크릴판을 이용하여 내부 면적 1300mm×600mm의 상부 집수체를 제작하였다. 상부 집수체와 스티로폼을 결합한 후, 스티로폼 상부 표면에 드레인보드를 그림 3과 같이 설치하였으며, 그 상부에 부직포를 집수체 표면 전체에 포장하였다. 침투수 유입공 하부에 높이×상직경×하직경 54mm×120mm×100mm YL Science사의 30호 규격 실리콘 마개를 사용하여 폐공시킴으로써, 상부 집수체 내에 물을 저수하였다. 상부 집수체에 약 50mm, 75mm, 100mm 높이로 저수한 후, 4개의 침투수 유입공을 동시에 개공하여 완전 배수 경과시간을 획득하였으며, 각 수위에 따라 매 10번의 실험을 반복하였다. 모래 포장층이 존재하는 실험의 경우, 부직포 상부에 미사토를 이용하여 50mm 두께로 도포한 후, 상부 집수체에 모래 포장층에서부터 약 50mm, 75mm, 100mm, 125mm 높이로 저수한 후, 배수체적과 경과시간에 대한 결과를 획득하였다.

4. 실험결과

4.1 모래 포장층 부재시 배수성능 평가

그림 4는 모래 포장층 없이 부직포만 통과하여 상부 집수체의 물이 배출되었을 때의 배수체적과 경과시간 사이의 관계를 나타내고 있다. 가로축은 배수 경과시간을, 세로축은 배수체적을 나타낸다. 침투수 유입공을 통해 배출되는 체적을 절편이 0.0인 추세선으로 나타냈을 때, 그림 4와 같이 위로 오목한 비선형 형태를 나타내고 있으며, 다음 식(1)과 같은 2차 함수로 나타낼 수 있다. 이를 바탕으로 4개의 침투수 유입공을 통한 초당 배수량은 식(2)와 같다.

$$V = 6.77 \times 10^{-5} t^2 + 3.11 \times 10^{-3} t \quad (1)$$

$$Q = 13.54 \times 10^{-5} t + 3.11 \times 10^{-3} \quad (2)$$

1m² 면적에 시간당 100mm의 강우가 배수되지 않고 완전 집수되어있다고 가정한다면, 한 시간 후 0.1m³ 체적의 강우가 존재하게 되며, 본 실험의 경우 상부 집수체에 128mm 높이로 저수되었을 경우에 해당한다. 이 경우, 침투수 유입공을 통해 완전 배수되는데 걸리는 시간은 대략 22초에 해당한다.

4.2 모래 포장층 존재시 배수성능 평가

그림 5는 모래 포장층과 부직포를 통과하여 상부 집수체의 물이 배출되었을 때의 배수체적과 경과시간 사이의 관계를 나타내고 있다. 유입공을 통해 배출되는 체적을 절편이 0.0인 추세선으로 나타냈을 때, 그림 5와 같이 위로 오목한 비선형 형태를 나타내고, 다음과 같은 2차 함수로 나타낼 수 있다. 이를 바탕으로 4개의 침투수 유입공을 통한 초당 배수량은 식(4)와 같다.

$$V = 3.74 \times 10^{-6} t^2 + 8.64 \times 10^{-4} t \quad (3)$$

$$Q = 7.48 \times 10^{-6} t + 8.64 \times 10^{-4} \quad (4)$$

1m² 면적에 시간당 100mm의 강우가 배수되지 않고 완전 집수되어있다고 가정한다면, 0.1m³ 체적의

강우가 존재하게 되며, 본 실험의 경우 상부 집수체에 128mm 높이로 저수되었을 경우에 해당한다. 이 경우, 침투수 유입공을 통해 완전 배수되는데 걸리는 시간은 대략 85초에 해당한다.

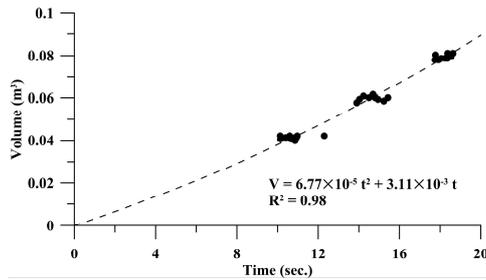


그림 4. 모래 포장층 부재시
배수체적 및 경과시간

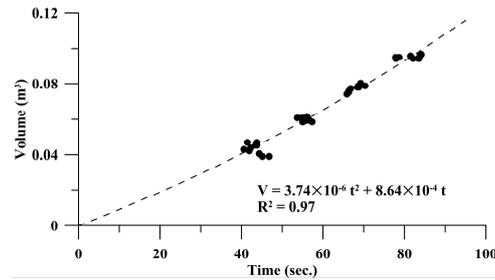


그림 5. 모래 포장층 존재시
배수체적 및 경과시간

4. 결론

본 연구에서는 도시지역 이중배수 시스템의 침투수 유입공에 대한 배수능력 평가 실험을 수행하였다. 침투수 유입공에 대한 평가 기준은 현재까지 설정된 바가 없기 때문에, 1m² 면적에 시간당 100mm의 강우가 배수되지 않고 완전 집수되어있다고 가정하였을 때 배수능력을 침투수 유입공에 대한 평가기준으로 제시하고자 한다. 그림 3에서 좌측과 우측에 위치하는 각각의 2개의 침투수 유입공을 1 set라고 설정한다면, 각각의 좌우 유입공 set를 통해 배출되는 체적은 동일하다. 따라서 좌측 또는 우측의 유입공 1 set를 통해 배출되는 경과시간과 배수체적의 관계는 식(1)과 식(3)의 1/2과 같다. 1 set에 대한 배수능력을 본 연구에서 제시한 평가 기준에 적용시켰을 때, 상부 집수체 반쪽에 256mm 높이로 저수되었을 경우에 해당한다. 이 경우, 침투수 유입공 1 set를 통해 완전 배수되는데 걸리는 시간은 모래층 부재시 대략 36초, 모래층 존재시 대략 143초에 해당한다. 수위 상승에 따른 수압 증가는 배수 속력 증가를 유발하며, 따라서 수위에 따른 배수 경과시간 사이의 관계는 비선형관계를 이루게 되기 때문에, 1 set 배수 경과시간은 2 sets 배수 경과시간의 2배 보다 빠르게 된다.

감사의 글

본 연구는 2013년도 정부(교육부) 재원 한국연구재단 기초연구사업 (No. 2013R1A1A2060622) 및 지성산업개발(주)의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고 문헌

- 송양호, 이정호 (2014). “우수관로 경사 조정에 따른 토사 퇴적 특성 분석.” **한국방재학회지**, 한국방재학회, 제14권, 제5호, pp. 341-350.
- 양해림, 정영만, 김용석, 양순용 (2011). “우수관로 퇴적토 분리를 위한 드럼스크린형 분리장치 개발.” **한국생산제조시스템학회 추계학술대회**, 한국생산제조시스템학회, 제14권, 제5호, pp. 341-350.