

# 빗물받이 청소용 흡입 자동 시스템 개발

양태희, 한지혁, 이원재, 김성관  
 공주대학교 기계공학과  
 e-mail:yang03@smail.kongju.ac.kr

## Development of Automatic Suction System for Cleaning Raindrains

Tae-Hui Yang, Ji-Hyuk Han, Won-Jae Lee, Sung-Gaun Kim  
 Dept. of Mechanical Engineering, Kongju National University

### 요약

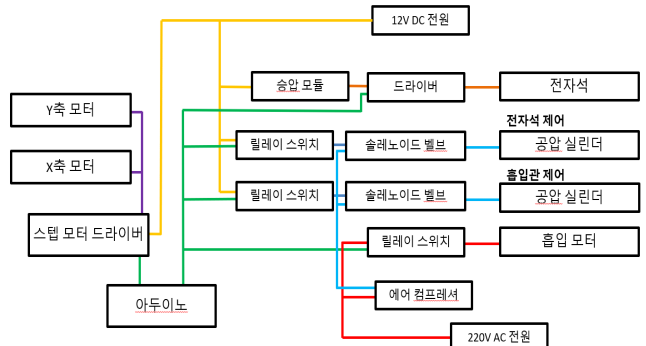
집중호우 발생 시 빗물받이의 막힘으로 인한 침수피해는 극대화된다. 이는 빗물받이의 노후화, 관리 미흡 등으로 발생된 결과이다. 본 논문은 이를 보완하기 위한 빗물받이 청소 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 흡입관, 공압실린더, 전자석으로 이루어져 있으며, 차량 측면에 설치되어 빗물받이 내 이물질을 제거하는 역할을 한다. 시스템의 유효성을 확인하기 위해 구성된 시제품은 기존대비 최대 23배 빠른 작업시간을 구현할 수 있었다. 구성된 시스템은 작업자의 노동강도 저하 및 작업시간 단축을 기대하며 이에 따른 경제적인 유지보수가 가능하다. 또한 침수피해 예방 및 피해규모 저하를 기대한다.

### 1. 서론

기후변화로 인하여 국지성 집중호우의 발생 기간이 해마다 증가하고 있다. 이로 인하여 여름철 침수 피해가 상습적으로 발생하고 있다. 따라서 이러한 침수 피해를 해결하기 위해 도시 곳곳에 빗물받이 시스템이 존재한다. 하지만 이러한 빗물받이 시스템은 빗물받이 및 하수관거에 쌓이는 담배꽂초, 토사 등과 같은 이물질, 저류시설 용량의 부족, 하수관거의 노후화 등 관리가 미흡한 실정이다. 이러한 관리의 미흡은 효과적이지 않은 빗물받이 배수로 연결되고 있다[1].

빗물받이 청소를 위한 금액은 서울시 기준 2019년에 210억의 인건비를 사용하며, 빗물받이 하나의 청소 횟수는 연평균 1.71회로 많은 금액을 사용하는 것에 비해 부실하게 관리가 이루어지는 것을 알 수 있다. 이러한 빗물받이 청소의 미흡은 장마철 또는 폭우가 발생했을 때 막대한 피해를 가져오며, 빗물받이의 차집효율에 대한 연구에서 빗물받이 입구의 1/3이 막힌다면 도로 침수 수위가 2배로 증가함을 보였다. 이를 통해 도심구역에서 빗물받이의 소홀한 관리가 일으키는 문제에 대하여 알 수 있다. 따라서 빗물받이를 막는 이물질을 신속히 정비하고 효과적으로 관리하기 위한 시스템이 필요하다. 이러한 문제를 해결하기 위한 빗물받이 및 하수구의 청소 장치 특허는 다수 존재하며, 맨홀 뚜껑의 간편하게 제거하여 작업자의 부상을 방지하는 하수구 청소차(A car of clearing a

drain)[2], 물 분사기를 활용하여 빗물받이 내부의 이물질에 물을 분사하여 우수관을 청소하는 친환경 배수구 흡입청소장치(Eco-friendly drain suction cleaning system)[3], 진공탱크의 소형화로 좁은 골목에도 현장출동이 가능한 이동식 하수구 준설장치(Gutter dredging device of removable separate Type)[4] 등이 존재하며 빗물받이 청소뿐만 아닌 빗물받이를 직접적으로 자동화 또는 청소하는 스마트 빗물받이 시스템 등이 연구되고 있다. 하지만 기존 연구 및 특허 기술로서는 현실적으로 어려운 부분이 존재하며, 이는 효율 측면에서 나타나고 있다. 따라서 이러한 비용적 효율을 극복하기 위하여 본 논문에서 다루는 시스템을 개발하였다. 기존에 직접 스틸 그레이팅을 들어 올려 빗물받이 내 이물질을 제거하는 것이 아닌 운전자가 차량을 통해 버튼 하나로 빗물받이를 청소할 수 있는 시스템을 구축하여, 노동력 및 청소



[그림 1] 시스템 구성 아키텍처

시간을 단축하여 효과적으로 빗물받이를 관리하고자 한다. 시스템의 목표 수치는 기존 빗물받이의 청소 시간인 10분에서 빗물받이 하나당 30 초로 작업시간을 단축하는 것이며, 이를 통해 빗물받이 하나 당 80%의 인건비 절감 효과를 기대하고 있다.

## 2. 본론

### 2.1 시스템 설계

시스템의 제작을 위해 [그림 1]과 같이 시스템의 구조를 조성한 후 시스템의 주요 수치를 목록화하여 계산을 진행했다. 시스템의 주요 수치는 공압 시스템에서 전자석, 흡입관을 들어 올리기 위한 각 실린더의 힘과 압력, 흡입관의 유량, 흡입을 유지하기 위한 펌프의 압력이다. 각 역학계산은 실제 작동 중 시스템에 가해지는 외력을 중심으로 내력을 분석하여 필요한 수치를 계산하는 방향으로 진행했다.

#### 2.1.1 전자석 및 흡입관 공압실린더 추력

각 실린더의 힘과 압력을 계산하기 위해 전자석의 실린더는 스틸 그레이팅의 무게와 가속도, 흡입관의 실린더는 흡입관의 자중과 진공압력에 의한 외력을 고려하였다. 스틸 그레이팅의 무게는 400 x 500(mm) 크기를 기준으로 18kg으로 가정했으며, 이는 도로공사 표준시방서에 명시된 SS400(스테인리스 강재)를 기준으로 고려했다[5]. 전자석의 실린더를 위한 역학계산은 식 (1)을 통하여 실린더의 최소 규격을 결정했다.

$$D^2 - d^2 \geq \frac{4W}{P\pi\beta} \times \left( \frac{2s}{t^2} + g \right) \quad (1)$$

이때  $F$ 는 추력,  $s$ 는 거리,  $t$ 는 시간,  $W$ 는 스틸 그레이팅을 포함한 전자석 시스템의 무게,  $g$ 는 중력가속도,  $D$ 는 실린더 내경,  $d$ 는 피스톤 로드 외경,  $P$ 는 사용압력,  $\beta$ 는 실린더 추력 효율이다. 전자석 시스템 전체 무게 값은 25 kg, 사용압력 값은 0.7 MPa, 추력 효율 값은 0.5, 거리 값은 0.5 m, 시간 값은 2s 이다. 따라서 오른쪽 값의 총합은 914.9mm<sup>2</sup>이다. 따라서 ISO 규격에 따라 튜브 내경이 40mm인 공압실린더를 사용했다[6].

#### 2.1.2 이물질 제거 흡입관 유량계산

시스템은 빗물받이가 막혀있는 상황을 고려하여 작업시간을 설정해야 한다. 따라서 작업시간 안에 빗물받이를 청소하기 위한 흡입 유량을 계산하였고, 이는 흡입관의 내경으로 계산하였다. 계산식은 다음과 같다.

$$v_b = \frac{V}{tA} = \frac{V}{\frac{\pi D^2}{4} t} \quad (2)$$

이때  $V$ 는 빗물받이 체적,  $t$ 는 시간,  $A$ 는 흡입관 내부 단면적을

의미한다. 시스템에서 계산된 빗물받이의 체적에 따라 유속  $v_b$ 은 0.340 m/s로 계산되었다.

### 2.1.3 진공펌프 압력계산

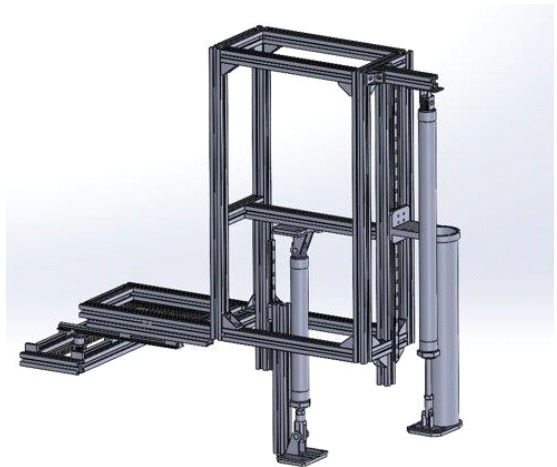
위에서 계산한 흡입 유량을 만족하기 위해 진공펌프는 일정 압력이 필요하다. 이를 위해 흡입관의 마찰손실, 높이차에 의한 압력손실 등을 고려하여 베르누이(Bernoulli's equation) 방정식과 달시-바이스 바하 방정식(Darcy - Weisbach equation)을 사용하였다. 여기서 대기압은 101.4 kPa, 흙의 밀도는 2.7 g/cm<sup>2</sup>, 흙의 점성계수는 1 Pa·s, 관길이 6 m, 관내경은 0.15 m 로 설정하였다. 이를 위한 계산식은 다음과 같다.

$$\frac{P_a}{\rho g} + \frac{v_a^2}{2g} + z_a = \frac{P_b}{\rho g} + \frac{v_b^2}{2g} + z_b + \frac{64}{\mu} \frac{L}{D} \frac{v_b^2}{2g} \quad (3)$$

여기서  $P_a$  값은 대기압,  $\rho$ 는 밀도  $v_a$ 는 초기속도,  $z_a$ 는 초기 위치,  $P_b$ 는 내부 압력,  $v_b$ 는 관내 속도,  $z_b$ 는 관 내부 높이,  $L$ 는 관의 길이,  $\mu$ 는 점성계수이다. 관 내부 마찰 손실 값은 관 마찰계수로 층류로 가정하여  $P_b$ 는 71.855 kPa로 계산되며  $\Delta P$ 는 29.545 kPa가 도출된다. 이를 통해 6 L/s, 29.545 kPa 용량의 진공펌프가 요구된다.

### 2.2 시스템 3차원 설계

스틸 그레이팅 내 이물질의 제거를 자동화하여 기존보다 쉽고 짧은 주기의 빗물받이 관리를 목표로 설계하였다. 이물질 제거의 자동화는 차량을 이용하여 빗물받이의 이물질을 효과적으로 수거한다. 이를 효율적으로 진행하기 위해 시스템에서는 흡입모터를 이용하여 이물질을 제거하는 방식을 채택하였다. [그림 2]은 Solid Works를 통해 그린 시스템의 설계도로 대형차량의 프레임에 장착할 수 있는 형태로 제작되었다. 시제품은 알루미늄 프로파일로 구성되며, 크게 전자석 시스템, 흡입 시스템, 공압 시스템으로 나뉜다. 전자석 시스템은



[그림 2] 시제품 Solid Works 모델

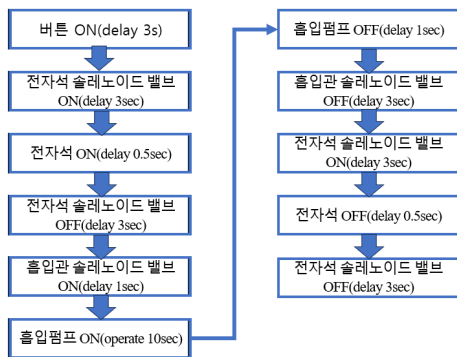
공압실린더와 전자석을 결합하여 스틸 그레이팅을 이동시킬 수 있도록 하였다. 흡입 시스템은 흡입모터를 진공탱크에 설치하여 빗물받이 속 이물질이 흡입관을 통해 진공탱크로 이동할 수 있도록 하였다. 공압 시스템은 Z 방향의 움직임을 제어하며, 이를 위해 공압실린더를 사용하였다. X 방향의 움직임은 선형레일의 모터를 통해 제어한다.

### 2.3 구동제어 소프트웨어 프로그램

시스템은 앞서 언급한 듯 [그림 1]과 같은 구조로 구성되었으며, 프로그램은 전자석의 ON-OFF 제어 파트, 공압 시스템을 통한 Z 방향 움직임 제어 파트, 흡입모터를 사용한 석션 파트로 나뉜다. 전자석의 ON-OFF 제어 파트에서는 아두이노 IDE를 통해 LOW-HIGH 신호를 주어 전자석의 ON-OFF를 작동하였다. 공압 시스템을 통한 Z 방향 움직임 제어 파트에서는 솔레노이드 밸브에 LOW-HIGH 신호를 주어 솔레노이드 밸브의 ON-OFF를 통한 Z 방향 움직임을 제어했으며 레귤레이터를 활용하여 공급 압력을 일정하게 조절하여 공압 실린더의 밸브를 통해 IN-OUT 속도를 조절했다. 흡입모터를 사용한 석션 파트에서는 아두이노 IDE를 통해 LOW-HIGH 신호를 주어 흡입모터의 ON-OFF를 작동하였다. X 방향의 움직임은 리니어 모터에 의해 제어되며 이는 좌표 정보를 회전수로 반환하여 구동한다. [그림 3]를 통해 시스템 작동 순서를 도식화하였다. 시스템을 작동하는데 걸린 시간은 26초로 수작업 청소가 진행되던 기존의 빗물받이 청소(10분 내외 소요) 대비 약 23배 빠른 속도를 가지고 있다.

### 2.4 제작

시스템은 HYUNDAI NEW POWER TRUCK을 기준으로 설계됐다. 이때 시스템의 유효성을 확인하기 위해 3/10으로 스케일 다운하여 시스템을 제작하였다. 빗물받이의 일반적인 규격을 기준으로 하였으며, 이때 스틸 그레이팅의 면적은  $400 \times 500(\text{mm}^2)$ 을 기준으로 했다. 먼저 차량의 프레임으로부터 바닥까지의 거리는 700mm로 측정되었으며, 이때 흡입관의 공압실린더가 작동하지 않았을 때, 바닥면으로부터 거



[그림 3] 시스템 작동 순서

리는 공압실린더, 차량 프레임, 빗물받이의 크기를 종합적으로 고려하여 1000mm로 설정했다. 또한 X, Y모터 축의 가동범위는 도로 폭의 최대 길이인 3500mm, 차량 측면과 실선까지의 거리인 600mm, 스틸 그레이팅의 크기  $400 \times 500(\text{mm}^2)$ 을 고려하여 X, Y축의 가동범위는 각각 700mm, 1100mm로 설정하였다. [그림 4]은 위를 바탕으로 시제품을 완성한 사진이다.

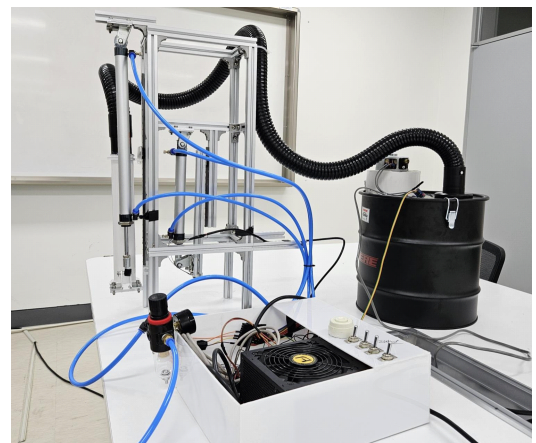
### 3. 결론

기후변화로 인해 상습적으로 발생하는 국지성 호우를 예방하기 위해 빗물받이의 지속적인 유지보수가 필요하다. 하지만 현재 빗물받이의 관리가 매우 미흡한 실정이다. 이를 보완하고자 기존 빗물받이 청소 시간인 10분에서 30초로 청소 시간을 단축하기 위해 흡입관, 공압실린더, 전자석으로 이루어진 시스템을 개발하였다. 시제품은 흡입 시스템은 여러 이물질 등이 섞여 있는 물을 원활하게 흡입하는 모습을 보여줬으며, 실제 동작시간은 26초로 측정되었다.

이를 통해 빗물받이의 효과적인 유지보수가 가능하며 침수 피해를 예방할 수 있다. 또한 인건비 절감, 작업시간 단축 등 유지보수에 필요한 비용을 감소시킬 수 있다.

### 참고문헌

- [1] 백종락, 신상영, 도심 빗물받이 적정성 분석 - 서울시를 사례로”, 대한토목학회 학술대회, pp. 33-34, 2019년
- [2] 상진교역 주식회사, 하수구청소차, 2020000001335, 2000.01.18, 2000.04.17
- [3] 인영건설 주식회사, 친환경 배수구 흡입청소장치, 102020017985, 2020.12.21, 2021.03.02
- [4] 이두용, 이동식 분리형 하수구 준설장치, 1020100119836, 2010.11.29., 2011.03.08.
- [5] 국토교통부, “도로공사 표준시방서”, pp.1049, 2016년
- [6] ISO, ISO 15552:2018, pp.11, 2018.04



[그림 4] 시제품 제작 사진