

# 벽면 주행 로봇의 자석 배열 방식에 따른 부착 안정성 실험 연구

안민철<sup>1</sup>, 조경찬<sup>2</sup>, 송관웅<sup>3</sup>, 이호윤<sup>4</sup>, 김상우<sup>5</sup>, 박철훈<sup>6</sup>

<sup>1</sup>상명대학교 컴퓨터과학전공 학부생

<sup>2</sup>명지대학교 기계공학전공 학부생

<sup>3</sup>동국대학교 전자전기공학부 학부생

<sup>4</sup>상명대학교 컴퓨터과학전공 학부생

<sup>5</sup>명지대학교 기계공학전공 학부생

<sup>6</sup>주식회사 피비아이 대표

mincheol701@gmail.com, kchan0930@mju.ac.kr, sgw020925@dgu.ac.kr,

hylee8808@naver.com, ksw351398@gmail.com, pch9347@gmail.com

## A Study on Adhesion Stability of Wall-Climbing Robots According to Magnet Arrangement

Min-Cheol An<sup>1</sup>, Gyeong-Chan Cho<sup>2</sup>, Gwan-Ung Song<sup>3</sup>, Ho-Yoon Lee<sup>4</sup>,

Sang-Woo Kim<sup>5</sup>, 박철훈<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Computer Science, Sangmyung University

<sup>2</sup>Dept. of Mechanical Engineering, Myongji University

<sup>3</sup>Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Dongguk University

<sup>4</sup>Dept. of Computer Science, Sangmyung University

<sup>5</sup>Dept. of Mechanical Engineering, Myongji University

<sup>6</sup>주식회사 피비아이 대표

### 요 약

본 연구는 사일로 내부 청소 작업의 위험성을 해소하기 위해 자력 기반 벽면 주행 로봇의 궤도 구조와 자석 32개 배치 패턴(선형, 갈지자)을 설계·제작하고 직접 하중 보유 시험으로 부착 안정성을 비교하였다. 동일 자석 수 조건에서 추를 단계적으로 매달아 슬립 발생 하중을 관찰하였다. 그 결과, 선형 배치는 13 kg에서 슬립이 개시되었고, 갈지자(之) 배치는 13 kg까지의 모든 구간에서 슬립 없이 유지되었으며, 본 시험 범위 내에서는 임계 하중에 도달하지 않았다. 즉, 갈지자 배치가 더 높은 하중까지 버티는 것으로 확인되었다. 본 연구는 단순 자력 크기보다 배치 패턴이 실제 운용 안정성에 미치는 영향을 실험적으로 보여준다.

### 1. 서론

국내 울산 항만의 12개 탱크 터미널 사에서는 약 800기의 대형 탱크를 운용하고 있다. 시설을 유지보수하거나 저장 물질을 교체하기 위해서는 내부 청소가 필수적이지만, 대부분 인력이 직접 투입되는 방식으로 진행된다. 그러나 사일로 내부는 유독가스 잔류, 고온·고압 환경, 추락 위험 등으로 인해 작업자가 직접 들어가기에 매우 위험한 공간이다. 산업안전보건공단 통계에 따르면, 최근 10년간(2015~2024년) 밀폐공간 질식재해자는 298명에 달하며, 이 중 126명(42.3%)이 사망할 정도로 치명적이다[1].

이러한 배경 속에서 벽면 주행 로봇은 인력 투입을

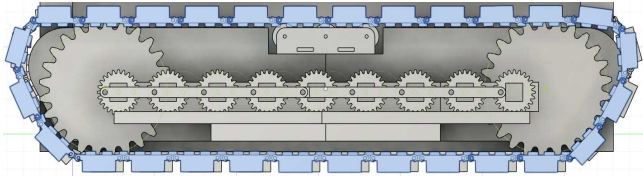
대체할 수 있는 효과적인 대안으로 주목받고 있다. 그러나 로봇이 수직 구조물에 안정적으로 부착·주행하기 위해서는 자석을 통한 부착력이 핵심이며, 단순히 자석의 개수나 크기뿐만 아니라 배치 방식에 따라 실제 부착 안정성이 크게 달라질 수 있다. 따라서 본 연구는 사일로 내부 청소용 벽면 주행 로봇을 사례로 하여, 자석 배열 패턴이 부착 안정성에 미치는 영향을 정량적으로 비교하는 것을 목표로 한다. 특히 동일한 개수의 자석을 선형 배치와 갈지자(之) 배치로 구성하고, 하중 보유 시험을 통해 두 방식의 안정성 차이를 실험적으로 규명하였다.

### 2. 설계 및 실험 방법

#### 2.1 궤도 구조 설계

실험의 반복성과 유지보수를 고려하여 궤도를 교체

할 수 있는 블록형 구조로 설계하였다. 로봇의 차고를 낮추기 위해 자석 높이에 맞춰 궤도 두께를 9.5mm로 설정했으며, 각 블록(접촉 타일)에는 가로 방향으로 2개의 자석 장착 홀이 배치되어 최대 44개까지 장착이 가능하다. 본 연구에서는 동일 자석 수 조건 하의 패턴 효과를 보기 위해 자석 32개를 선형·갈지자(之) 두 패턴으로 분배하여 장착하였다. 또한 벽면과 맞닿는 궤도는 각 11개, 총 22개로 설계하였다.



(그림 1) 무한궤도 전체 형상.

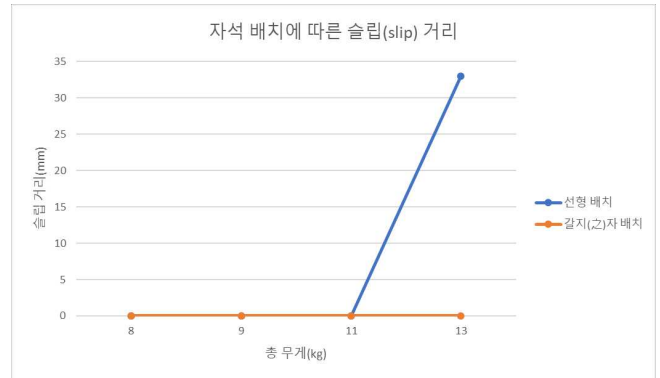
## 2.2 자석 부착력 실험

네오디뮴 자석(N35, 10mm x 10mm x 10T) 32개를 선형 배치와 갈지자(之) 배치 두 방식으로 장착하였다. 자석과 벽면(아연도금 강판, 두께 40mm) 사이에는  $0.10 \pm 0.02\text{mm}$  시트지를 삽입하였다.

하중 보유 시험은 본체 질량 8kg 상태에서 총무게(Dead weight) 8, 9, 11, 13kg을 순차적으로 부가하여 3분 동안 슬립 발생 여부를 관찰·기록하였다. 각 조건은 3회 이상 반복 측정하여 결과의 일관성을 확인하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

하중 보유 시험은 본체 질량 8kg 상태에서 추를 8→9→11→13kg 순으로 단계적으로 부가하고, 단계마다 3분 동안 슬립 발생 여부를 관찰하는 방식으로 수행했다. 그 결과, 선형 배치(32개)는 8·9·11kg 단계에서는 이상 없이 유지되었으나, 13kg에서 최초 슬립이 관찰되었다. 반면 갈지자(之) 배치(32개)는 13kg에서도 3분 이상 유지되어 본 시험 범위 내에서는 탈락이 발생하지 않았다. 따라서 3분 유지 기준으로 산정한 최대 보유 하중은 선형 배치 11kg, 갈지자 배치  $\geq 13\text{ kg}$ (상한 미도달)로 정리된다. 이 값은 반복 실험에서도 동일하게 확인되었다.



(그림 2) 자석 배치 패턴별 유지/슬립 여부 결과.

이 결과는 동일한 자석 개수라도 배치 패턴에 따라 실제 부착 성능이 뚜렷이 달라짐을 보여준다. 갈지자(之) 배치는 교대 간격 구조로 인해 자속 결합과 접촉 하중이 보다 균일하게 분포되어, 국부 과부하와 초기 슬립 유발 지점을 억제한 것으로 판단된다. 임계 하중을 더 정밀하게 파악하기 위해서는 13kg 이상 구간에서 0.5 - 1.0 kg 간격의 계단(Up - Down) 시험을 추가로 시행하는 것이 바람직하다.

## 4. 결론

32개 자석 조건에서 갈지자(之) 배치가 선형 배치보다 더 큰 하중까지 유지되었다(선형: 최대 11kg, 갈지자:  $\geq 13\text{ kg}$ ). 즉, 동일 자석 수일 때 갈지자 배치가 실제 부착 안정성에서 우위를 보였다. 향후에는 임계 하중 정밀 측정(0.5~1.0 kg 간격)과 동적 교란(분사 수압 등) 하중을 포함하여 패턴 효과를 확장 검증할 예정이다.

## 참고문헌

- [1] 고용노동부, 질식 재해 고위험사업장 집중점검 실시, 보도자료, 2025.
- [2] 김진만, “외벽등반 로봇의 성능평가 방법 및 응용,” 한국마린엔지니어링학회지, 제41권, 제1호, pp. 62 - 69, 2017.