

# 강관 청소로봇을 위한 관내 최적주행 메커니즘의 설계와 구현 Design and Implementation of In-pipe Optimal Navigation Mechanism for Steel Pipe Cleaner Robot

\*김윤구<sup>1</sup>, 신태환<sup>1</sup>, 문진일<sup>1</sup>, #안진용<sup>1</sup>

\*Y. G. Kim<sup>1</sup>, D. H. Shin<sup>1</sup>, J. I. Moon<sup>1</sup>, J. #An(robot@dgist.ac.kr)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>대구경북과학기술원 로봇시스템연구부

Key words : In-pipe navigation, steel pipe, cleaner robot, mobile robot

## 1. 서론

강관 청소로봇(steel pipe cleaner robot) 이동 플랫폼이 강관 내부의 다양한 환경조건들, 이물질, 고착 스케일, 경사로, 굴곡짐 등을 직면하는 상황에서도 이를 극복하고 주행 가능한 주행 메커니즘 개발과 구동부 최적 설계가 필수적이다. 지하에 매설된 배관의 청소, 균열(crack), 노후화 등의 문제 부위를 찾는 데에는 큰 비용이 소요되고 용이하지 않아서 이를 찾아서 수리하기 보다는 문제가 발생한 배관 라인 전체를 교체하게 되므로 이에 따른 관리비용이 증가하게 된다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 다양한 형태의 배관 로봇이 연구되고 있는데 이들의 형태는 배관을 따라 동작하는 구동 메커니즘에 따라 구분될 수 있다.[1]

본 연구에서는 강관 내부 가변적 상황들을 극복하기 위한 최적 주행 메커니즘 분석과 구동부 설계를 적용한 강관 청소로봇용 이동 로봇플랫폼의 설계와 구현을 우선적 목표로 한다. 강관 내부 이동 시 로봇의 자기중심 자세유지, 최적대면 주행 메커니즘 적용, 강관 내부 청소 임무장비 수행성능을 검증하고 실제 산업현장 적용, 실용화를 그 궁극적 목적으로 한다.

## 2. 주행 메커니즘 및 구동부 설계

### 2.1 강관 청소로봇 주행 메커니즘 분석

현재까지 연구되어온 개인 및 전문서비스용 모바일 로봇의 주행 메커니즘은 무한궤도나 벨트를 이용한 구조, 바퀴의 형태를 바꾼 구조, 다리형태의 보행형 구조와 같이 세 가지 형태로 크게 나누어질 수 있다. 본 연구의 강관 청소로봇 이동플랫폼 설계를 위해 선행 연구된 이동 플랫폼 구조들 중 평지 주행속도 및 에너지 효율이 낮고 소음이 크다는 단점에도 불구하고 안정적인 험로 극복 및 임무

장비 견인에 최적의 성능을 보여 주면서 전문 서비스로봇에 널리 사용되고 있는 무한궤도형 구조를 채용하였다. 강관 청소로봇 설계 시 고려해야 사항으로 강관 내부의 특성상 관 직경에 따른 노면이 굴곡져 있으므로 구동부 무한궤도가 굴곡진 관 노면에 최적 대면(對面) 가능해야 최대의 출력이 가능하다. 또한, 강관 내부 이동 시 로봇의 자기중심 유지 기능을 구현하여 굴곡이 있는 강관 내부에서 자세변화를 자율적 인식 및 보정하며 주행이 이루어지지 않으면 로봇의 중심을 유지하지 못하게 된다. 이로 인해 강관 내부에 구속되어 주행하는 로봇플랫폼의 주행구동 부하가 급상승하게 되며 청소임무도 균일하지 진행되지 못하게 되는 결과를 초래한다는 점을 설계 시 충분히 고려되고 반영되어야 한다.

### 2.2 주행 메커니즘 및 구동부 설계조건

Ø600~800의 강관 내부 청소로봇용 플랫폼 개발을 위한 주행 메커니즘과 구동부 설계 시 주요 설계조건들을 정리하고 반영하였다. 우선적으로 Ø600~800 대응을 위해 로봇플랫폼 전체 직경이 최소 550mm, 최대 850mm의 반경 방향 가변 유격(stroke)이 보장되어야 한다. 가변 유격을 위해서 반경방향 능동형 액추에이터(actuator)로 설계하여 강관 내부의 다양한 환경적 변화에 능동적으로 대응 가능하도록 설계되어야 한다. 주 구동은 Track 형으로 하여 험지구복 능력 및 임무장비 견인력을 최대화하는 것이 필수적이다. 또한, 주행 중 관 중심 유지 기능은 강관 내벽에 구속되어 주행하는 로봇플랫폼 특성상 관 중심이 유지되지 않는 경우에는 많은 구동부하를 초래할 소지가 있으므로 필수적으로 고려되어야 한다. 강관 내 방수 능력을 위해서는 생활방수 수준의 에어 또는 물로 세척 가능 구조로 설계하는 것이 청소임무 수행

후 로봇플랫폼의 유지보수 측면에서 효과적이다. 부하 중량 및 자중 총합 100Kg 가정, 안전을 2 이상으로 반영하고 동력원은 구동부 및 센서부의 전기와 시저리프트 링크 구동의 공압이 공급되어야 한다.

### 3. 로봇플랫폼 3D 설계

강관 청소로봇 플랫폼의 메인 바디(body)는 길이 460mm, 외곽직경 340mm, 내부직경 200mm로 설계되었으며, 내경 600 ~ 800mm 강관 내부 환경에 가변적 구동하기 위해 로봇플랫폼의 전체 직경이 550 ~ 850mm 가변되는 구조로 설계하였다. 그림 1에서 보는 바와 같이 로봇 플랫폼 전체 직경의 가변구조는 시저 리프트형 링크구조에 공압실린더를 연결하여 반경 방향 능동형 액추에이션(actuation) 가능하도록 하였다. 그림 2에서는 로봇 플랫폼의 전면과 측면을 보여주고 있다. 그림 3에서 보는 바와 같이 로봇플랫폼의 주 구동은 트랙을 주행하게 되며 모터-베벨기어-타이밍벨트-평 기어를 거쳐 트랙으로 동력 전달되는 구조이다. 트랙은 생활방수 수준의 케이싱과 더불어 모듈화되어 로봇 플랫폼 바디의 3점 지지 링크에 체결되고 개별 구동하게 된다. 트랙모듈의 치수는 트랙 어테치를 포함하여 약 520mm(L) X 110mm(W) X 120mm(H)로 설계되었다.

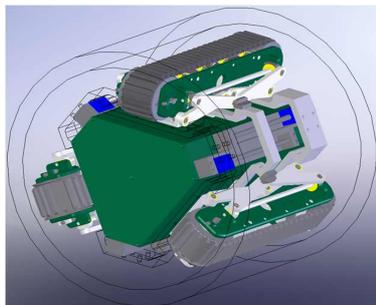


Fig. 1 Conceptual 3D design of steel pipe cleaner robot

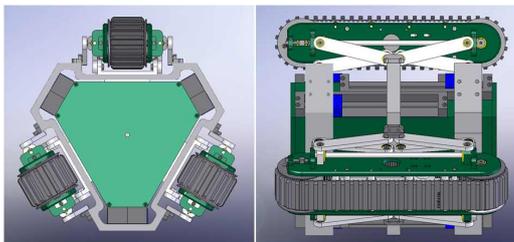


Fig. 2 Front and side view of robot platform



Fig. 3 Track driving module

Table 1 Specification of robot platform

구분	사양
Body length	460mm
Body outer diameter	340mm
Body inner diameter	200mm
Weight	100Kg
Servo motor (track)	Maxon[2] EC-4Pole30 200W
Servo motor driver	Elmo[3] Solo-WHI-15/60
Link cylinder	CY3GR20 Ø20mm 6 EA
Battery	24V

### 4. 결론

현재 3D 설계된 강관 청소로봇의 제작 및 전장구현은 표1의 사양기준으로 진행 중이며 더불어 강관 청소 툴(tool) 개발도 병행되고 있다. 개발 완료 시 Test-bed 실험을 통해 다양한 용도의 강관 내부 청소입무장비를 끌며 안정된 자세로 강관 내부 이동하는 성능(최대 이송속도 및 이동 플랫폼 자세 유지)을 검증하고 실험 결과 분석 및 피드백을 통한 실제 산업현장에서 강관청소로봇 활용 시 문제점을 예상하고 최적설계, 보완하고자 한다. 향후 강관 청소로봇 개발완료 시 공업용수 공급용 파이프 청소, 발전소 연료공급용 파이프 청소, 급수 및 배수시설 취수출구 청소 등 다양한 응용분야로 확대하고자 한다.

### 후기

본 연구는 생산기술사업화 지원사업 연구비와 지식경제부 산업원천기술개발사업 연구비 지원으로 수행된 연구 결과입니다.

### 참고문헌

1. 최형식, 나원현, 강동완, 강형석, 전지광, 김현식, "배관 검사 및 청소 로봇의 개발", 한국마린엔지니어링학회지 제33권 제5호, pp.662-671, 2009년 7월
2. <http://www.maxonmotor.com/2989.html>
3. <http://www.elmorc.com/products/solo-elmo-integrated-servo.htm>