

# 다양한 배관크기에 적용가능한 배관탐사로봇의 개발 Development of the Pipe-Inspection Robot for Various Sizes

\*#박영우<sup>1</sup>, 김윤중<sup>1</sup>, 윤경현<sup>1</sup>

\*\* Y. W. Park<sup>1</sup> (ywpark@cnu.ac.kr), Y. J. Kim<sup>1</sup>, K. H. Yoon<sup>1</sup>

<sup>1</sup>충남대학교 BK21 메카트로닉스 사업단 메카트로닉스 공학과

Key words : Inchworm Principle, In-Pipe Robot, Compressed Air

## 1. 서론

배관은 가스나 물 같은 많은 양의 액체 및 기체를 빠르고 안전하게 수송하는 운송수단으로 널리 사용되고 있다. 국내의 배관시설은 산업화가 본격적으로 이루어지면서부터 급속도로 설치가 시작되어 점점 노후화가 진행되고 있다. 노후화에 따른 물리적 충격 및 부식 등에 의해 파손의 위험성이 증대되고 있다. 하수도관의 파손율을 보면 연결 관 불량(38.8%), 이음부 불량(30.9%), 관침하 및 파손(13.5%), 타관 통과(2.8%), 토사 퇴적 및 기타장애(18.0%)로 나타나고 있으며 환경부 발표 자료에 따르면 전국 평균 7m 간격으로 관의 결함이 나타난 것으로 알려졌다[1]. 따라서 배관의 검사 및 보수, 유지는 지속적으로 이루어져야 한다. 그러나 이러한 작업은 배관 주변에 설치된 장치 및 시설 등으로 인하여 접근이 매우 까다롭다. 특히 지하에 매설되어 있는 관들의 경우에 외부에서 검사를 하기 위해서는 막대한 비용과 인원이 필요하다. 그러므로 배관 내부에서 검사를 할 수 있는 장치의 개발이 필요하다.

지금까지 로봇을 이용하여 배관 내부를 검사할 수 있는 시스템에 대해 많은 연구가 이루어져 왔다. 이 로봇들의 대부분은 배관 내부의 벽을 스프링을 사용하여 바퀴로 압력을 가하는 형식으로 구동된다. 그러나 스프링을 사용하면 로봇의 횡방향에 대한 조정 범위가 제한되고 검사하는 동안에 필요한 지지력을 역학적으로 조절하는데 힘이 든다. 그리고 구동기로 모터를 사용하면 고온 고압의 가스 배관에서 모터내부의 스파크로 인한 폭발의 위험성을 배제할 수 없게 때문에 이러한 문제점을 해결할 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 공압 실린더를 사용한 inchworm principle을 기반으로 다양한 사이즈의 배관(100mm~300mm)에서 이동이 가능한 로봇을 개발 하고자 한다.

## 2. 구조 확장 메커니즘의 개발

다양한 크기의 배관에 접근하기 위해서 로봇의 구조는 수축 및 확장이 가능 해야한다. 이를 위해 그림 1에 나타낸 것과 같이 4절링크 기반의 구조를 설계하였다. 전체 구조의 크기는 슬라이딩을 통한 링크의 길이 변화에 따라 변하게 된다. 로봇은 확장을 통해 배관에 압력을 가함으로써 생긴 마찰력으로 지지하게 된다. 마찰력이 충분하지 않으면 로봇은 중력을 이기지 못하고 떨어지게 된다.

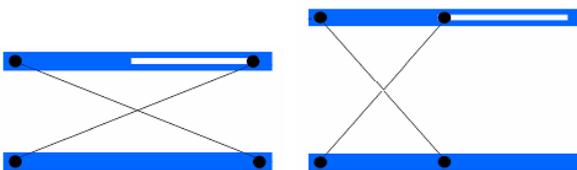


Fig.1 Structure of 4-bar-link

100mm~300mm 크기의 배관에 접근하기 위해 링크길이를 결정 해야 한다. 이를 위해선 그림 2에서 B와 D 사이의 거리는 30mm~130mm 가 되어야 하고 링크연결을 위한 나사의 사이즈를 고려하여 링크의 너비는 8mm 결정하였다. 위의 조건을 바탕으로 상용 프로그램인 Pro-e를 사용하여 모델링을 한결과 링크 BC의 길이는 140mm로 결정 되었다. 이를 가지고 정력학적 해석을 통해 링크 AB의 마찰력

을 계산하였다. 해석을 하기 위해선 몇 가지 가정이 따르게 된다. 우선 메커니즘은 배관의 벽에 막혀 더 이상 확장할 수 없이 정지된 상태이다. 이러한 상태가 되면 힘의 평형을 이루는 상태가 되어 메커니즘에 작용하는 모든 힘의 합력은 0이 된다. 그리고 배관의 지름은 목표치의 최대 크기인 300mm로 한다. 또한 조인트와 링크 사이의 마찰력은 무시하였다.

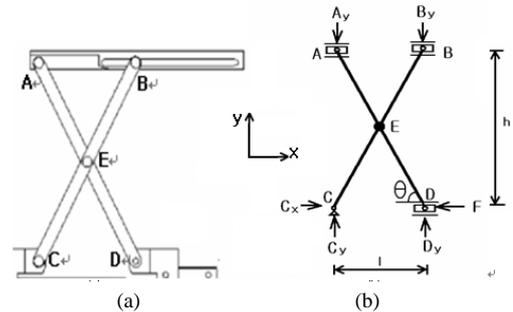


Fig. 2. a) Designed mechanism, b) FBD of designed mechanism

정력학적 해석을 하게 되면 메커니즘은 정지된 상태로써 모든 힘의 평형을 이뤄야 하기 때문에 그림 2에 있는 FBD의 모든 방향의 힘의 합은 0이 되어야 한다. 즉, x축에 작용하는 모든 힘과 y축에 작용하는 모든 힘의 합은 0이 되어야 하고 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\sum F_x = 0 \quad : \quad C_x - F = 0 \quad (1)$$

$$\sum F_y = 0 \quad : \quad C_y + D_y - A_y - B_y = 0 \quad (2)$$

여기서  $F_x, F_y$ 는 x축 방향의 힘과 y축 방향의 힘을 나타낸다. F는 실린더가 메커니즘에 전달하는 힘이고 나머지 변수들은 반력을 나타낸다. 힘뿐만 아니라 FBD의 모든 점에서의 모멘트의 합도 0이 되어야 한다. C와 D점에서의 모멘트(counter clock wise)의 합을 수식으로 나타내면 아래처럼 된다.

$$\sum M_c = 0 \quad : \quad l \cdot D_y - l \cdot B_y = 0 \quad (3)$$

$$\sum M_e = 0 : A_y \cdot \frac{l}{2} - B_y \cdot \frac{l}{2} - C_y \cdot \frac{l}{2} + D_y \cdot \frac{l}{2} + C_x \cdot \frac{h}{2} - F \cdot \frac{h}{2} = 0 \quad (4)$$

위의 식 (1),(2),(3),(4)를 통해  $A_y, B_y, C_y$ 와  $D_y$ 의 힘이 같다는 것을 알 수 있다. 그러므로 위 4개의 힘 중에서 하나의 힘만 알면 나머지 힘은 쉽게 구해진다.  $D_y$ 의 힘을 구하기 위해 D점에서 정력학적 해석을 하면 다음과 같다.

$$\sum F_x = 0 \quad : \quad F \cos \theta - F = 0 \quad (5)$$

$$\sum F_y = 0 \quad : \quad F \sin \theta - D_y = 0 \quad (6)$$

$$D_y = F \tan \theta$$

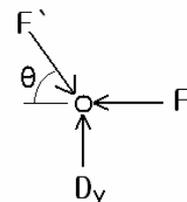


Fig. 3. FBD at D point

여기서 F은 링크 AD가 D점에 가하는 힘이다. 링크 AB

의 반력( $F_{AB}$ )은  $A_y$ 와  $B_y$ 의 합이기 때문에  $2 \cdot F \cdot \tan \theta$ 이 된다. 링크 BC의 길이는 140mm, B와 D사이의 거리는 130mm이기 때문에  $\theta$ 는  $68^\circ$ 가 된다. 공압기의 압력이 7bar일 때 공압 실린더의 힘은 5.5kgf가 된다. 그러나 그림 4처럼 하나의 공압실린더에 위의 메커니즘이 3개가 연결되어 있기 때문에 F는 1.83kgf가 된다. 따라서 링크 AB의 반력은 88.7N이 되고 배관과 로봇사이의 마찰계수가 0.33일 때 마찰력은 29.27N이 된다. 그러므로 총 마찰력은 87.81N이 되고 이는 4.98kg의 무게를 지지할 수 있는 힘이 된다.

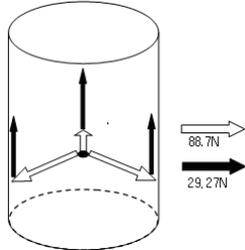


Fig. 4. Reaction force and Frictional force

### 3. 제조

그림 5는 현재 개발된 로봇의 전체 시스템 구성도이다. 솔레노이드 밸브는 공압기로부터 압축된 공기를 받아 MCU에 의해 제어되는 대로 로봇에 부착된 3개의 공압실린더에 전달한다. 로봇은 크게 지지부와 구동부로 나누어진다.

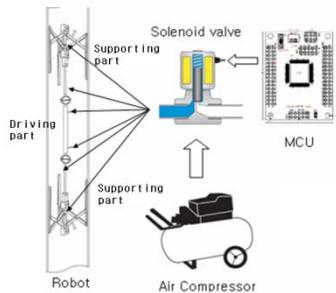


Fig. 5. Overview of In-pipe inspection robot system

지지부는 그림 6에 나타난 것처럼 한 개의 마그네틱-로드레스 실린더에 3개의 구조확장 메커니즘이 연결되어 있다. 실린더의 좌우 운동을 통해 전체 구조는 수축 및 확장을 하게 되고 배관에서 로봇을 지지할 수 있도록 한다. 구동부는 표준형 실린더를 사용하여 전·후진이 가능하도록 되어 있다. 배관의 곡관부를 통과 시키기 위해서 지지부와 구동부 사이에 유니버설 조인트를 사용하여 로봇에 유연성을 부여하였다.

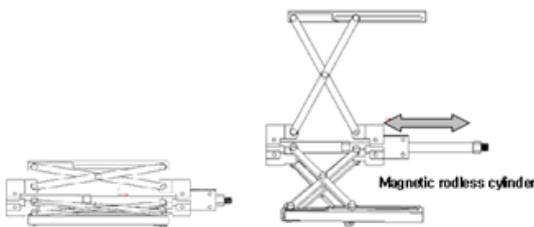


Fig. 6. Supporting part

### 4. 작동 원리

기존 제작된 배관탐사 로봇은 획일적인 바퀴형식의 구동방식을 취하고 있다. 이런 구동방식은 이동속도를 빠르고 일정하게 하여 로봇이 안정된 구동을 취할 수 있게 하며, 빠른 배관탐사가 가능하게 한다. 하지만 바퀴형식의 구동방식은 전체 구조의 부피를 크게 만드는 요인이 되었다.

이러한 요인은 로봇이 접근할 수 있는 배관의 크기를 제한시킨다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 새로운 이동방식인 Push-Pull 구동방식을 선택하였다.

Inchworm principle에 입각하여 지지부와 구동부의 순차적인 반복동작으로 이동을 하게 된다. 그림 7은 로봇의 전진시의 작동을 순차적으로 나타내었다. 기본 상태인 상·하의 지지부의 확장상태에서 상단의 지지부가 수축한 후 구동부가 확장한다. 다시 상단의 지지부가 확장하여 배관에 로봇을 고정시키고 하단의 지지부가 수축한다. 그 후에 구동부가 수축하여 하단의 지지부를 끌어 당긴 후 지지부는 다시 확장하여 기본상태로 돌아온다. 마치 자벌레가 기어가듯 이러한 일련의 순차적인 동작을 반복하여 로봇은 전진 및 후진을 하게 된다.

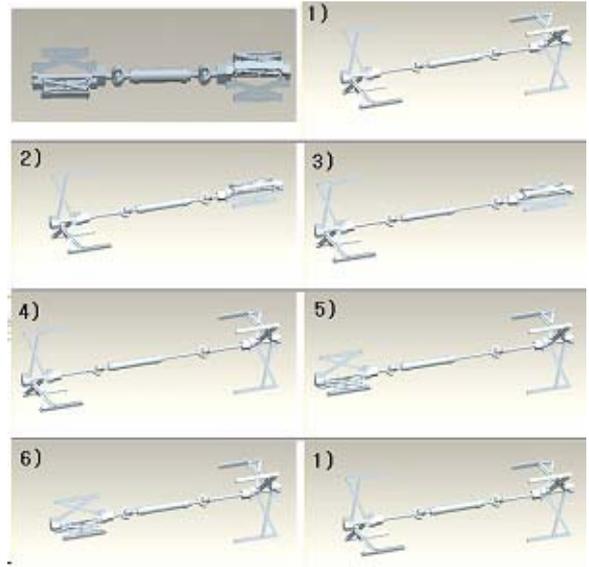


Fig. 7 Motion of moving forward

### 5. 결론

본 논문에서는 자벌레의 움직임을 적용하여 공압을 사용한 배관로봇을 개발하였다. 구조 확장 메커니즘을 사용하여 곡관 및 다양한 사이즈의 배관(100mm~300mm)에서 동작할 수 있도록 하였고 그 가능성을 테스트하였다. 현재의 개발단계에서, 로봇은 배관 내부를 검사하기 위해 이동하는 기능만 수행할 수 있지만 배관 검사를 위한 내부 영상 검사 장치 장착하여 최종 목표인 배관 내부검사를 할 계획이다.

### 후기

본 연구는 전력산업연구개발사업으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. 정규원 “파이프 내부 검사를 위한 이동로봇의 유도방법,” 한국 공작기계학회 2002 춘계학술대회 논문집, 02, 480~485, 2002