

지형 적응 가능한 관내 로봇의 성능 검증

Verifying performance of topology adaptive in-pipe mobile robot

*박정완¹, #양현석¹, 김태현¹

*J. W. Park¹, #H. S. Yang(hsyang@yonsei.ac.kr)¹, T. H. Kim¹

¹ 연세대학교 기계공학과

Key words : In-pipe robot, Topology adaptive mechanism, Mobile robot

1. 서론

본 연구의 목적은 PAROYS-II 라고 명명된 로봇의 목표 성능을 실험을 통하여 검증하는데 있다.[1] PAROYS-II 는 평지와 수직관을 주행 할 수 있는 협소 구역 탐사 로봇으로 트랙을 이용하여 구동한다. 수직관 또는 협소 구역을 주행하기 위해서는 균일한 마찰력을 유지하는 것이 중요하다. 그래서 동일한 힘으로 벽면을 지지 할 수 있도록 3 점 지지를 택하였다. PAROYS-II 의 가장 큰 특징으로는 직경 400mm 에서 700mm 의 관경 변화에 능동적으로 적응할 수 있다는 점이다. 관경 변화에 대한 적응 메카니즘은 pantograph mechanism 을 이용하였다. Pantograph 는 중앙의 DC motor 와 리드 스크류를 통해 제어되며 양 단에 스프링으로 연결되어 서스펜션 역할을 수행한다. 또 pantograph 를 기구학적으로 해석하여 관경을 측정할 수 있다. 각 트랙 모듈은 1 개의 구동 모터와 3 개의 트랙으로 이루어진다. 3 개의 트랙은 기어 트레인을 통해 동기화되어 하나의 구동 모터로 모두 구동된다. Pantograph mechanism 은 각 트랙 모듈과 리드 스크류를 구동하는 센터 모듈에 각 1 개의 DC motor 가 사용되었다. 본 연구에서는 PAROYS-II 의 수직관, 수평관, 곡관의 주행과 관경 변화에 대한 적응 성능을 실험을 통하여 검증하였다.

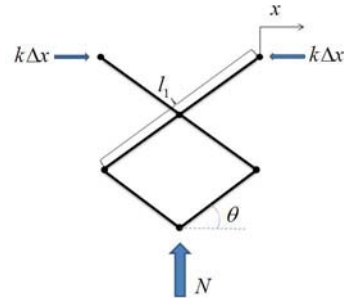


Fig. 2 Position analysis of pantograph

$$N = 2k\Delta x$$

$$\Delta x = x_2 - x_1$$

$$= -\frac{l_1}{2}(\cos\theta - 1) - x_1 \quad (1)$$

위의 식(1)에서 N 는 수직 항력이고 x_1 는 DC motor 에 의해 제어된 lead screw nut 의 위치이다. 이는 리드 스크류의 pitch 와 구동 모터의 회전 수를 통하여 계산 가능하다. θ 는 pantograph 끝 단에 위치한 potentiometer 를 통해 측정되며 k 는 pantograph 양 단에 연결된 스프링의 탄성 계수이다. 이 관계식을 통하여 관 내벽을 지지하는 수직 항력을 계산할 수 있으며 이를 통해 수직관의 주행 시 일정 이상의 접지력을 유지할 수 있다.

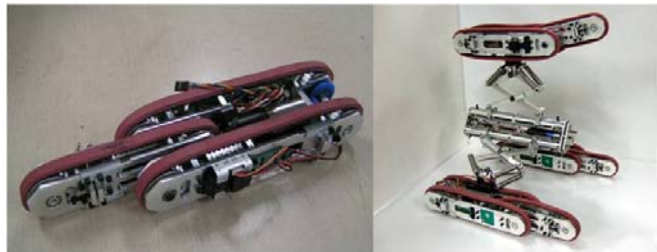


Fig. 1 Track module and PAROYS-II

Table 1 Specification of PAROYS-II

Items	Value
Weight	7.3kg
Length	390mm
Actuator	DC motor 4EA RC servo motor 3EA

2. 주행 방법

로봇이 수직관을 주행하기 위해서는 일정 이상의 마찰력을 유지하는 것이 중요하다. 로봇의 관경 변화 적응 메카니즘인 pantograph 의 한 쪽은 트랙 모듈과 결합되고 열려 있는 양단은 스프링을 통하여 리드 스크류와 연결되어 있다. 이 서스펜션 때문에 어느 정도의 외력에 대해서는 제어를 하지 않고도 적응이 가능하다. 이를 역으로 이용하여 외력을 산출하는 것이 가능하다. 로봇의 트랙 모듈에 외력이 가해지면 pantograph mechanism 에 연결되어 있는 스프링이 수축하여 Fig. 2 의 각도 θ 가 변화하게 된다. 이 각도를 통하여 pantograph mechanism 양 단의 스프링이 수축된 길이를 알 수 있으며 이를 통해 각 모듈이 받는 수직 항력을 예측할 수 있다. 다음은 수직 항력을 계산하는 관계식이다.

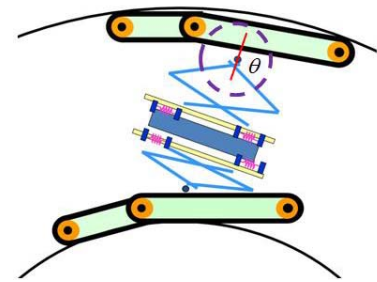


Fig. 3 Posture of robot in curved pipe

직관이 아닌 곡관에서 주행 시는 주행하는 위치에 따라 각 트랙 모듈의 주행 거리가 다르므로 속도를 각기 다르게 제어해주어야 한다. 그렇지 않으면 곡관 구간에서 주행 시 로봇의 전체적인 모습은 Fig. 3 와 같이 기울어지게 될 것이다. 이를 해결 하는 방법으로 pantograph mechanism 끝 단과 트랙 모듈의 각도를 일정하게 유지하는 방법을 사용하였다. Fig. 3 의 θ 가 90° 이상으로 증가하게 되면 측정된 방향의 track module 이 로봇의 중심보다 뒤쪽으로 처져 있다고 판단하고 속도를 증가시키게 된다. 만약 반대로 측정된 각도가 90° 이하로 감소 하게 되면 트랙 모듈의 속도를 감소시킨다. 위와 같은 방법을 통하여 potentiometer 하나로 수직 항력을 계산하고 곡관 주행 시 로봇의 자세를 보정하여 곡관에서 원활한 주행을 가능하다.

3. 실험

로봇의 성능을 검증하기 위해서 실제로 사용되는 파이프를 이용하여 실험을 진행하는 것이 올바른 방법일 것이나

관측이 불가능하다는 문제점이 있다. 그래서 실험에는 실제 상수도관에 사용되는 파이프의 규격에 맞게 두께 10mm의 아크릴 재질의 원형 파이프를 제작하여 사용하였다. 다음은 실험에 사용된 파이프들의 자세한 치수이다.

Table 2 Specification of pipes

Pipe classification	Diameter	Note
Straight pipe	Φ 600mm	Length 1.5m
Curved pipe	Φ 600mm	Angle 90°
Pipe with reducing diameter	Φ 450 - 600mm	Length 1m Slope 12.5°

본 논문에서 검증하려는 주행 능력은 수직관 주행, 수평관 주행, 곡관 주행과 관경 변화에 대한 적응력이다.

3.1 일정한 관경을 갖는 관내 주행 실험

1~3 번 목표는 직관과 곡관을 연결하여 동시에 실험을 진행하였다. 파이프들은 모두 같은 직경을 가지고 있으며 파이프간의 연결은 PVC 파이프 연결 부를 사용하였다. 앞서 언급한 자세 유지 알고리즘과 수직 항력 유지 알고리즘을 사용하여 주행하였다. 다음 그림은 실험에 대한 주행 결과이다.

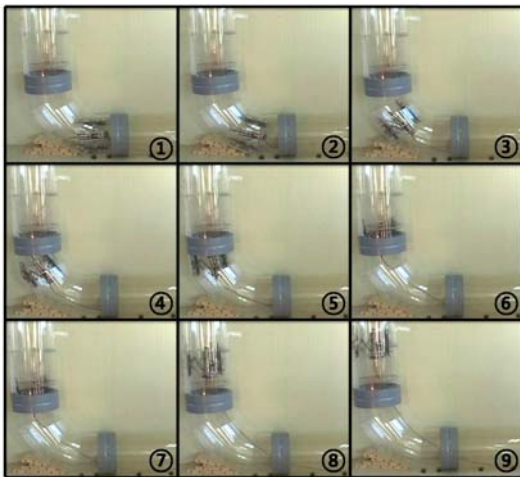


Fig.4 From horizontal to vertical pipe

3.2 관경 변화에 대한 적응 실험

관경 변화는 편락관을 이용하여 실험을 진행 하였다. 수직관 주행 시 관경 변화로 가정하여 실험을 진행하였다. 수직 항력을 일정 범위 내에서 유지하며 주행하도록 한 결과, 관경이 줄어들어 수직 항력이 증가하면 pantograph 를 수축하면서 주행하였다.

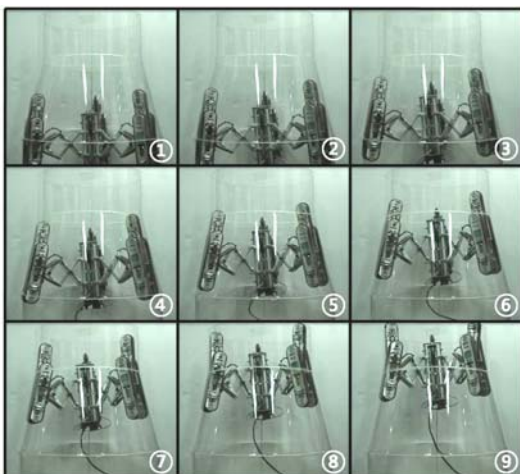


Fig.5 Pipe with reducing diameter

4. 결론 및 추후 연구

본 연구에서는 관내 로봇이 수직관, 수평관, 곡관 주행 및 관경 변화 적응을 위한 수직 항력 유지 알고리즘과 자세 유지 알고리즘을 제시하였다. 그리고 제시된 방법을 이용하여 실험을 진행하였다. 그 결과 수직관, 수평관과 곡관에서의 주행 관경 변화 적응력에 대한 목표 성능을 모두 만족하는 결과를 얻었다. 이는 제시된 로봇과 알고리즘이 다양한 관 형상에 적응하며 이동 할 수 있음을 보여준다.

추후, 분기관 주행 시 방향 전환을 하는 중에 트랙 모듈이 접지력을 잃을 것으로 예상되어 이를 해결하는 알고리즘을 연구해야 할 것이다.

참고문헌

1. Taehyun Kim, Hyunseok Yang, Nocheol Park, "Design of Mobile Adaptation/Sensing Robot for Vertical Passage in Narrow Space" Proceeding of the KSME 2007 Spring Annual Meeting, 2855-2860, 2007
2. J. S. Lee, S. H. Kim, H. S. Yang, N. C. Park, "Design of Articulated Mobile Robot to Overcome Vertical Passages In narrow Space" 05 spring conference KSPE, 806-811, 2005
3. Tokuji Okada, Tsuyoshi Sanemori, "MOGRER: A Vehicle Study and Realization for In-Pipe Inspection Tasks" IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. RA-3, No.6, 573 ~ 582, 1987
4. Se-gon Roh, Hyouk Ryeol Choi, "Differential-drive in-pipe robot for moving inside urban gas pipelines", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 21, Issue: 1, 1-17, 2005
5. Yunwei Zhang, Guozheng Yun, "In-pipe inspection robot with active pipe-diameter adaptability and automatic tractive force adjusting", Mechanism and Machine Theory, 42, 1618-1631, 2007 .