

논문 2008-03-10

# 크롤러 방식 터널로봇의 모션제어 알고리즘

(Motion Control Algorithm for Crawler Type In-Pipe Robot)

배기만, 이상룡, 이상일, 이춘영\*

(Ki-Man Bae, Sang-Ryong Lee, Sang-il Lee, Choon-Young Lee)

Abstract : The pipes have been laid underground while the industry is developing. We have to take maintenance procedure when the pipes are cracked or ruptured. It is very difficult job to check pipe's crack because the pipes are narrow and laid underground. Using in-pipe robot, we can check the conditions of inner section of pipes, therefore, we designed a crawler type robot to search cracked pipe. In this paper, we have made a special focus on the control of the robot using differential drive algorithm to move in curved section of pipes. The detailed design of the robot with experimental result show the effectiveness of the robot in pipe maintenance.

Keywords : In-pipe Robot, Crawler-type, Motion control

## 1. 서론

산업의 고도화에 따라 산업 현장과 가정 및 대부분의 시설에 관을 통해 유체나 입자들을 운송하고 있다. 이런 관들은 설치 후에는 별도의 관리 없이 방치되며 일정한 시간을 두고 관의 내부 상태를 파악하지 않고 교체되는 방식으로 사용되고 있다. 아래의 그림 1처럼 침천물, 파손, 크랙등과 같은 하자가 관 내에 발생하게 된다.

로봇이 관내를 탐사하기 위해서는 일반적인 로봇으로 수행이 힘든, 원형이라는 구조적인 제한과 관과 관이 만나는 교차점에서의 주행 및 방향선택을 위하여 구조적으로 많은 제한을 받게 된다. 본 논문에서는 관 로봇 중 바퀴를 이용한 크롤러 방식에 중점을 두었다. 바퀴이동의 단점인 관 직경의 변화에 능동적으로 대응하며 크롤러의 속도 제어를 통한 방향제어방법과 제한된 허리관절을 이용한 방향제어 방법에 대한 새로운 메커니즘을 제시한다.

\* 교신저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2008. 4. 30., 채택확정 : 2008. 6. 4.

이춘영 : 경북대학교 기계공학과

배기만, 이상일, 이상룡 : 경북대학교 기계공학과

※ 본 연구는 지식경제부의 에너지기술혁신 프로그램으로 지원되었으며, 이 논문은 “차세대에너지 안전연구단”의 연구결과임.

(세부과제번호: 2007-M-CC23-P-04-1-000)

제안하는 메커니즘을 이용하여 실제 로봇을 설계 및 제작을 통하여 실제 이동을 확인하며 카메라를 통하여 전방의 상황을 확인하는 탐사작업과 조작자의 조이스틱을 이용하여 모의 관에 대하여 주행 할 수 있음을 보여 타당성을 검증하고자 한다 [1-4].

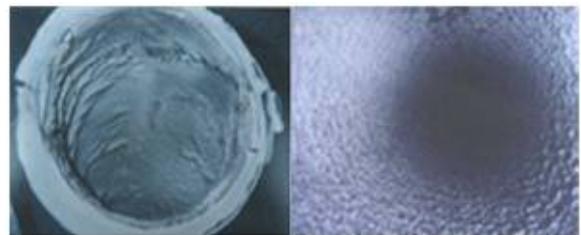


그림 1. 관 내부 실제 사진

Fig 1. The inside view of real pipes

터널 로봇의 구동방법에 대해 따라 1) 내부의 유압 이용 형태 2)탄성막대로 추진력 전달 3) 자체 구동 메커니즘 내장 크게 3종류로 분류하고 장단점을 분석하였다 [6,9,10,11]. 크게 외부력을 이용하는 방법과 자체구동 메커니즘을 가지는 로봇으로 분류하고 자체구동 메커니즘을 내장한 로봇 메커니즘을 크게 4가지 1)바퀴형 (wheel type) [5,8], 2) 다리형 (legged type) [7], 3)인치웜형 (inchworm type), 4)크롤러형 (crawler type)으로 구분이 되며 이중 크롤러형은 압착력이 크고 간단한 구동

방식을 사용하기 때문에 많은 연구가 이루어지고 있다. 하지만 관의 직경의 많은 변화와 굽은관에 대한 방향전환에 대한 고려가 필요하다.

본 논문에서는 크롤러 방식을 이용한 로봇을 제안 하고자 한다. 구동부와 관의 내부벽면과의 압착력이 높아 수평 및 수직 이동에 대한 제한이 적으며 안정된 이동 성능을 가지는 장점이 있다. 그러나 크롤러 방식의 사용의 경우 가장 큰 문제점은 크롤러가 장착된 구동부와 벽면 내부의 압력에 의해서 로봇이 이동하기 때문에 관의 직경이 변할 경우 압착력의 변화가 생기므로 이를 해결하여야하는 단점이 있다. 따라서, 관의 직경이 변하는 경우에 능동적으로 관의 직경을 판단하고 그에 따라 회전 및 방향전환 시에 각각의 구동부의 제어를 필요로 하게 된다.



그림 2. 구현한 파이프 로봇  
Fig 2. The developed in-pipe robot

## 2. 시스템 하드웨어 구성

관의 직경에 따라 능동적으로 적응하며 회전 및 방향전환에 효율성을 기하기 위하여 크롤러형 로봇을 제안한다. 구동부에 장착되는 모터의 사양은 표 2와 같다. 로봇의 자체 무게를 고려하여 장착하였으며 모터 자체의 토크로는 부족하여 별도의 기어를 장착하여 감속비를 조절하였다. 표 2에서 모터 자체의 회전 속도는 13300rpm을 가지지만 기어열을 장착하여 모터자체의 최종 회전속도는 부하시 220rpm을 가진다.

그림 3은 모터와 기어를 장착한 구동부의 모습을 나타낸 도면이다. 좌측 그림에서 굵은 부분이 주 모터이며 좌측부터 기어1, 기어2, 기어3, 기어4 순으로 결합하게 되어 있으며 기어2와 3은 고정결합이기 때문에 속도가 동일하다. 이런 기어 열에 대해 감속되는 최종 감속비 역시 55:1의 기어비를

가지며 최종적으로 궤도에 전달되는 토크는 궤도를 돌리는 폴리의 유효 직경이 0.02m 이므로 최종적으로 나오는 토크는 궤도 하나당 165Nm로 약 17kg의 무게를 수직으로 들어 올릴 수 있는 이상적인 토크를 가지게 된다.

표 1. 구현된 파이프 로봇의 사양  
Table 1. Specification of in-pipe robot

Branch	Specification
system size	270*Φ145~190
center body size	50*50*110*2set
weight	2,450g
maximum speed	52 mm/s(0.18Km/h)
controller	Atmega 128(16bit)
motor(crawler)	Maxon DC motor*8
motor(body)	motorbank DC motor*2
data transfer method	RS232-wire
bit rate	38400bps

표 2. 구동부 모터(Maxon사)  
Table 2. Driving motor specification

Item	GM20(Maxon motor)
Diameter	20mm
Input voltage	6V
No load current	507mA
No load speed motor shaft	13300rpm
No load speed output shaft	241rpm
Speed output shaft(max)	220rpm
Continuous torque	0.03Nm

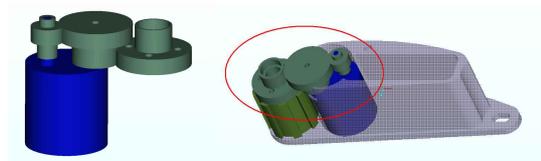


그림 3. 모터와 기어 열  
Fig 3. Motor and gear mechanism

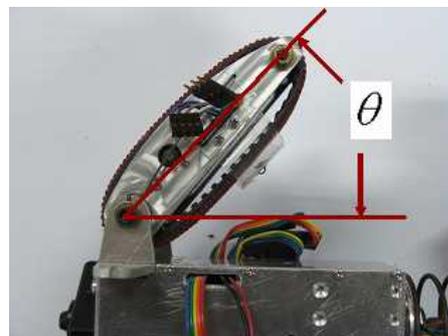


그림 4. 관의 직경에 의해 결정되는 각θ  
Fig 4. The angle determining pipe diameter

우선 관의 직경을 파악하기 위해서는 아래 그림 4 처럼 가장 일반적인 방법은 몸체와 구동부가 이루는 각  $\theta$ 의 측정을 통하여 얻는 방법이다. 각을 구하는 방법은 그림 5에서 제시한다. 이 방법은 정확한 값을 얻을 수 있고 정밀한 값을 얻을 수 있는 장점이 있다. 하지만 소형으로 구현한 로봇에 장착이 용이하지 않았으며 로봇 자체의 자중에 의해서 8개의 구동부의 각이 모두 달라짐으로 8ch A/D를 이용해야한다.

직경이 변하는 관의 통과가 자유로워야 하며 직경에 대한 내부 압착력이 일정 값 이상을 유지하여야 하며 관의 직경 인식이 가능해야한다. 그래서 본 논문에서 제안하는 방법은 몸체에 구동부를 고정시키되 그림 5에서와 같이 구동부의 앞을 고정하되 회전이 가능하게 하여 관의 직경변화에 대하여 적응이 가능하게 하였고 압착력을 유지하기 위해서 그림 5에 제시된 토션스프링을 사용하여 관과 로봇의 압착력을 유지 가능하도록 하였다.

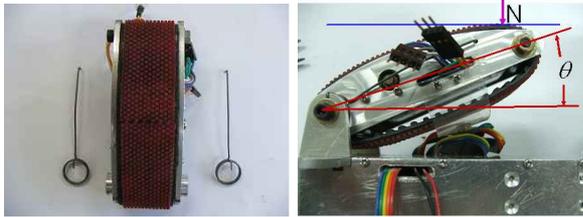


그림 5. 구동부와 토션 스프링  
Fig 5. Driving part and torsion spring

그림 5의 왼쪽에서 사용한 토션 스프링은 좌우 각각 2개씩 총 16개의 토션스프링이 사용되었으며 이 토션 스프링에 의해서 관의 내부와 크롤러가 밀착되어 로봇의 진행이 가능하게 하였다. 부가적인 결과로 크롤러와 내부벽면의 압착력으로 인해서 크롤러와 구동부 바디의 내부 마찰도 증가하게 된다. 이 내부 마찰의 증가로 인해 크롤러의 속도가 늦어짐을 발견 할 수 있다. 이를 이용하여 관의 직경 인식이 가능함을 추론하였고 4장에서 그 실험결과를 보였다. 그 기본 원리는 그림 5의 오른쪽에서 볼 수 있듯이 구동부와 몸체가 이루는 각의 크기에 따라 토션 스프링에 의한 모멘트에 의해 크롤러와 벽면 내부의 수직항력이 변하게 되며 크롤러와 구동부의 일정한 마찰계수에 의해 구동 토크가 변하게 된다. 이런 구동토크의 일정한 변화에 의해서 나타나는 속도의 측정을 통하여 관의 직경을 파악하게 된다.

### 3. 제어 알고리즘

#### 3.1 관의 직경 인식 알고리즘

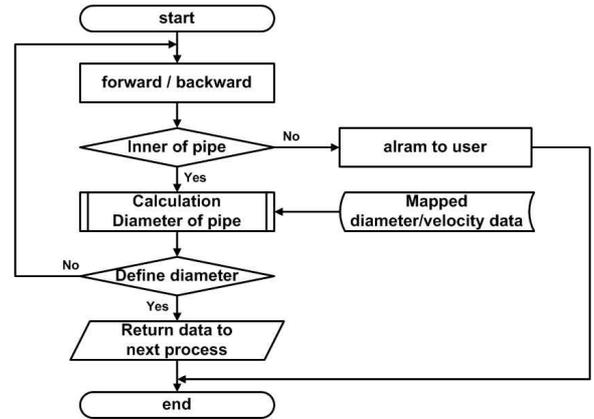


그림 6. 관의 직경 결정 알고리즘  
Fig 6. Algorithm to determine pipe diameter

위의 그림 6에 제시된 순서로 관의 직경을 인식하게 되며 결정된 관의 직경에 의해 방향전환 알고리즘에 적용되는 기본 자료로 사용되게 된다. 직경 인식 알고리즘의 순서는 초기에 로봇이 전진 및 후진을 반복하면서 8개의 크롤러의 속도를 측정하게 된다.

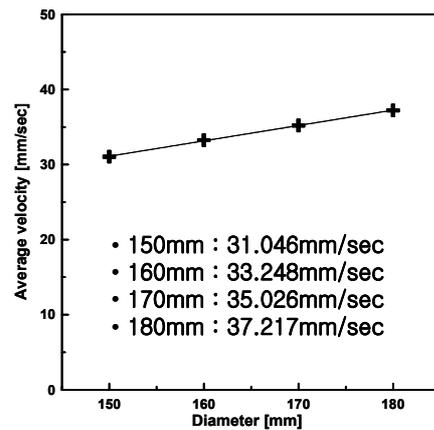


그림 7. 직경에 따른 평균 속도 분포  
Fig 7. Average velocity for various pipes

$$\nu = 0.205D + 0.404$$

$$\therefore D = 4.878\nu - 1.971 \quad (1)$$

만약 로봇이 관내로 진행하는 경우 8개의 채널에서 고른 속도 분포를 나타내지만 평지 및 다른 형상의 관을 통과할 경우에는 8개의 채널 중 특정 크롤러만이 속도의 차이가 나게 된다. 특히 평지를

진행하는 경우 3개의 크롤러만이 속도 변화가 있을 것이고 나머지는 모두 최대속도를 내고 있을 것이다. 그림 7에서 직경에 따른 속도 분포역시 선형적으로 나타남을 확인 할 수 있었으며 이를 통한 식은 (1)에 제시되어 있다. 즉 속도를 구함으로써 관의 직경을 파악할 수 있다.

3.2 방향전환 알고리즘

3.1절에서 제시한 직경인식 알고리즘을 통하여 획득한 직경의 크기를 토대로 방향전환 알고리즘이 적용된다. 즉 확실한 직경 인식을 통하여 로봇의 회전을 위한 회전반경 및 8개의 크롤러의 속도가 결정되기 때문이다.

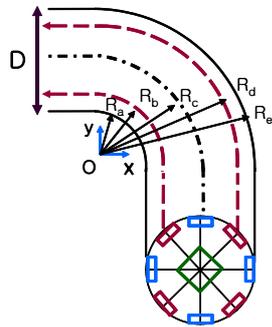


그림 8. 90° 굽은관  
Fig 8. Curved pipe

즉 90° 굽은 관의 경우 8개의 크롤러가 정확히 진입할 경우에 8개의 크롤러는 모두 5개의 속도 분포를 가지게 되며 그 회전 반경은 Ra에서 Re까지의 5개의 거리 분포를 가지게 된다. 여기서 Ra는 직경 D에 의하여 결정이 난다. 실제 상용되는 관형태의 제품은 직경 D에 비해서 2.4%의 크기로 Ra가 결정된다. 그리고 나머지 Rb~Re의 경우는 모두 관의 크기에 따라 결정이 나게 된다. 이를 식으로 나타내면 식 (2)과 같다.

$$\begin{aligned}
 R_a &= 0.024 \\
 R_b &= (0.024 + \frac{1 - \cos 45^\circ}{2})D \\
 R_c &= 0.524D \\
 R_d &= (0.024 + \frac{1 + \cos 45^\circ}{2})D \\
 R_e &= 1.024D
 \end{aligned} \tag{2}$$

위와 같은 계산에 의해 구해진 반지름에 의하여 크롤러의 속도를 구하게 된다. 하지만 로봇이 항상 수직으로 정확히 진입할 수 없기 때문에 틀어지는

각도에 대한 반경의 변화로 인한 거리의 변화가 생기기 때문에 속도의 변화도 필요하게 된다. 그러므로 틀어져서 들어가는 각  $\theta$ 에 대한 식도 추가 되어야 한다. 즉 그림 9에서와 같이 틀어져서 들어가는 각  $\theta$ 에 대한 진행하는 각각의 크롤러 (1~8)까지의 속도의 차이가 존재하게 된다. 즉 (3)과 같은 식으로 각각의 크롤러의 속도가 정의되게 된다.

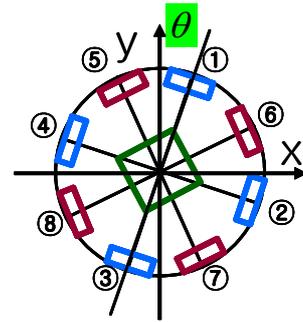


그림 9. 로봇의 진입시 틀어지는 각도  $\theta$   
Fig 9. Twisted angle for initial entrance to pipe

$$\begin{aligned}
 R_1 &= (0.524 - 0.5\sin\theta)D \\
 R_2 &= (0.524 - 0.5\cos\theta)D \\
 R_3 &= (0.524 + 0.5\sin\theta)D \\
 R_4 &= (0.524 + 0.5\cos\theta)D \\
 R_5 &= (0.524 + 0.5\cos(45 + \theta))D \\
 R_6 &= (0.524 - 0.5\cos(45 - \theta))D \\
 R_7 &= (0.524 - 0.5\cos(45 + \theta))D \\
 R_8 &= (0.524 + 0.5\cos(45 - \theta))D
 \end{aligned} \tag{3}$$

그러므로 로봇이 관의 내부에서 얼마만큼 기울어졌는지를 측정하는 센서가 필요하며 이에 의해서 측정된 기울기 ( $\theta$ )만큼의 크기에 대해서 각각의 크롤러의 진행 속도가 결정되게 되며 또한 관의 직경 (D)에 의해서 각각의 모든 크롤러가 진행하게 되는 회전 반경이 결정된다. 식 (4)에서 제시되고 있다.

$$\begin{bmatrix} \nu 1 \\ \nu 2 \\ \nu 3 \\ \nu 4 \\ \nu 5 \\ \nu 6 \\ \nu 7 \\ \nu 8 \end{bmatrix} = \frac{D}{t} \begin{bmatrix} 0.82268 - \sin\theta \\ 0.82268 - \cos\theta \\ 0.82268 + \sin\theta \\ 0.82268 + \cos\theta \\ 0.82268 + \cos(45 + \theta) \\ 0.82268 - \cos(45 - \theta) \\ 0.82268 - \cos(45 + \theta) \\ 0.82268 + \cos(45 - \theta) \end{bmatrix} \tag{4}$$

시간 t와 직경 D 그리고 기울어진각  $\theta$ 에 의해서 결정되게 된다. 하지만 여기서 t는 경과 시간에 대한 것임으로 속도를 구할 수 없다. 하지만 로봇 자체의 최고속도 (maximum velocity)는 이미 결정되어 있기 때문에 최고 속도에 대한 나머지 크롤러의 속도의 비로 결정되어 구동하는 방식을 취해야

한다. 그림 9에서 보듯이 크롤러 -x를 기준으로 회전하게 되면 크롤러 2번이 최대 속도를 나타내게 되며 크롤러의 속도 값이 결정되게 된다.

하지만 이것만으로는 로봇이 관을 회전하면서 통과하기는 힘들며 그림 10에서 나타나 있듯이 전 반부와 후반부의 속도의 차이를 가지게 되는 구간이 존재한다. 즉 A~A'구간은 로봇의 전반부만 진입하고 후반부는 진입하지 못한 상태로 된다. 이때의 속도 분포는 전반부는 앞에서 언급한 회전 알고리즘에 의한 구동부의 속도 분포를 따르지만 후반부는 관의 중심선을 지나가는 속도로 후반부가 진행하게 된다. 그리고 B~B'은 전, 후반 몸체 모두 굽은 관 속에 존재하는 구간으로 전, 후반부의 구동부는 회전 알고리즘에 따라 진행하게 되며 C~C' 구간은 전반부는 탈출하였지만 후반부는 탈출하지 못한 상태로 A~A'구간과 유사하게 구동부의 속도 제어가 이루어진다.

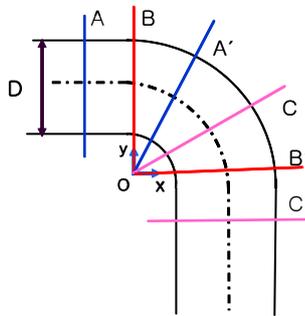


그림 10. 속도 차이 발생 구간의 구분  
Fig 10. Sections for differential driving

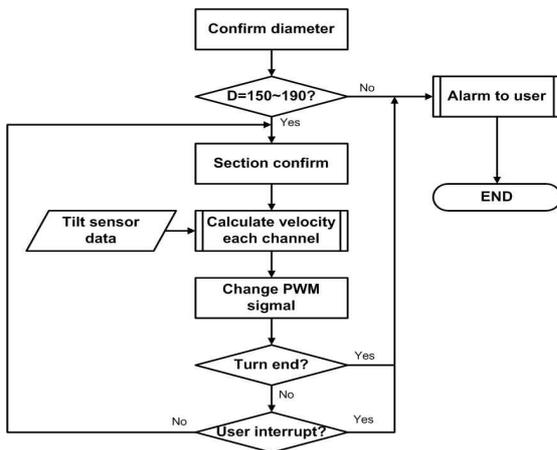


그림 11. 회전 알고리즘  
Fig 11. Turning algorithm for a curved region

그림 11은 회전 알고리즘을 나타내고 있다. 직경인식 알고리즘을 통해 구한 직경을 바탕으로 직경을 확인하고 직경이 150~190mm 범위에 존재할 때 동작 가능하도록 설계하였다. 진입하는 시간을 토대로 속도와 의 계산으로 전반부와 후반부의 동작 상태를 결정하는 구간을 확인한 후 기울기 센서에서 구해진 데이터를 바탕으로 8개의 채널의 속도를 구하고 이를 PWM (Pulse Width Modulation)신호로 전환하여 각각의 구동부에 신호를 전달하여 동작하도록 하였다. 그리고 사용자의 요구에 의해 항상 정지 및 진행이 가능하며 회전의 완료시 사용자에게 알람을 주어 동작을 마무리 하게 된다.

3.3. 전체 제어 흐름

앞에서 언급한 직경 인식 알고리즘과 회전 알고리즘을 이용하여 로봇의 이동 및 회전에 대한 전체 구성이 완료 된다. 그림 12는 이 두 알고리즘을 적용하여 구성한 전체 알고리즘이다.

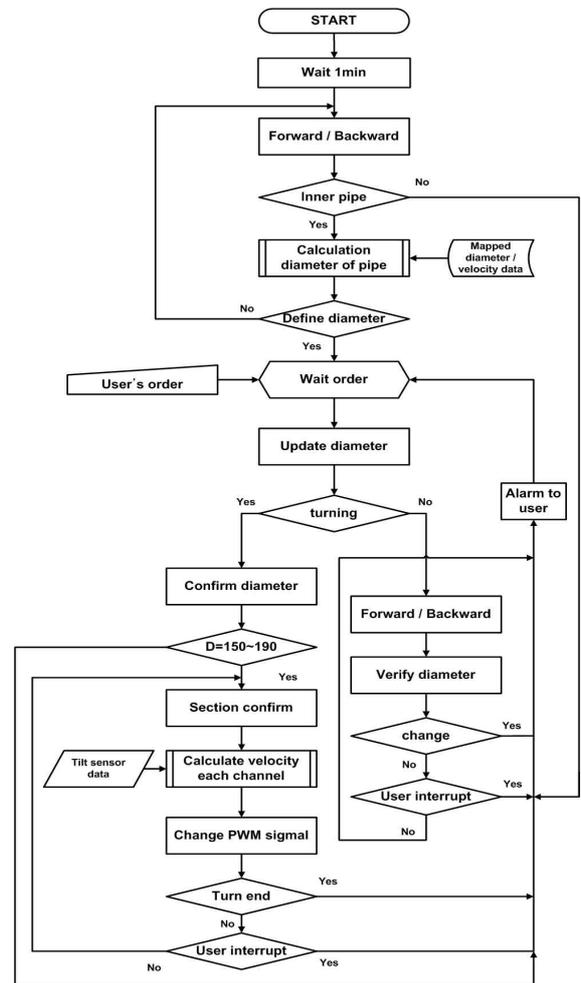


그림 12. 전체 제어 흐름  
Fig 12. Overall flowchart for robot control

### 4. 실험

제안한 구동 알고리즘을 바탕으로 개발된 로봇과 임의로 제작한 관을 이용하여 실제 동작을 확인하였다.

#### 4.1 관의 직경 인식 실험 결과

관의 직경 인식 알고리즘을 적용하기 위해서는 실제로 관을 주행 시 발생하게 되는 속도의 변화에 대한 측정이 필요하다. 즉 선행실험을 통해 관의 직경에 대한 속도의 변화를 확인하고 이에 대하여 매칭한 데이터를 이용하여 관의 직경 인식을 확인하게 된다.

표 3. 왕복 횟수에 따른 직경 인식률(%)

Table 3. Success rate for recognizing pipe diameter

직경	1회 왕복	2회 왕복	3회 왕복	평균 성공률
150mm	92	95	98	95
160mm	90	92	97	93
170mm	89	90	91	90
180mm	88	89	93	90

인식 성능 평가에서 직경인식을 위한 왕복 횟수가 증가함에 따라 더욱 정확한 직경 인식이 가능했으며 최저 88%이상의 인식 성공률을 보였으며 직경에 대해 89.75%(1회왕복) ~ 94.75%(3회왕복) 인식 성공률을 확인 하였다. 하지만 직경이 커짐에 따라서 인식률이 감소하는 것은 앞서 말한바와 같이 크롤러와 관의 내부의 압착력이 약해짐에 따라 슬립 및 외부 요인이 증가한 결과로 생각된다.

#### 4.2 방향 전환 실험 결과

각도의 측정을 위해서 기울기 센서 (SA1-AMP 내장형)을 이용하였으며 0.1°까지 측정이 가능하다. 그림 13은 기우는 각도  $\theta$ 가 5.6°일 때 로봇의 각각의 크롤러의 속도 분포이며 이는 전반부와 후반부의 진입에 대한 결과를 배제한 실제 회전 시 실험한 결과이다. 실험 결과와 같이 채널에 대해서 나타나는 채널별 속도가 모두 달라져 나타나며 그래프의 표시는 평균값을 나타낸 것이다.

즉 로봇이 수직이 아닌 기울어져 들어감으로 인해서 회전동작을 할 때 8개의 크롤러가 모두 속도가 컴퓨터 시뮬레이션 한 결과와 거의 동일하게 나왔다. 하지만 로봇의 기구부 자체의 형상에 의해서

전반부와 후반부가 나뉘지게 됨으로 구간별 속도의 분포 역시 달라진다. 그림 14는 전반부와 후반부의 몸체의 진입에 따른 속도 분포와 이를 구간별로 나눈 그래프이다.

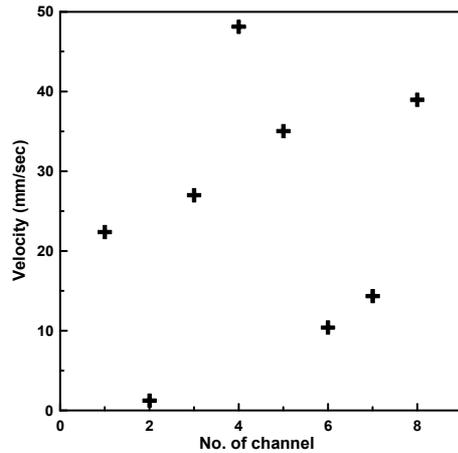


그림 13. 채널별 속도,  $\theta=5.6^\circ$

Fig 13. Velocity for each driving channel

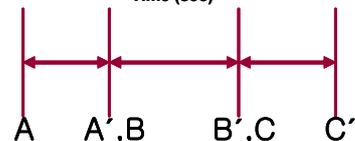
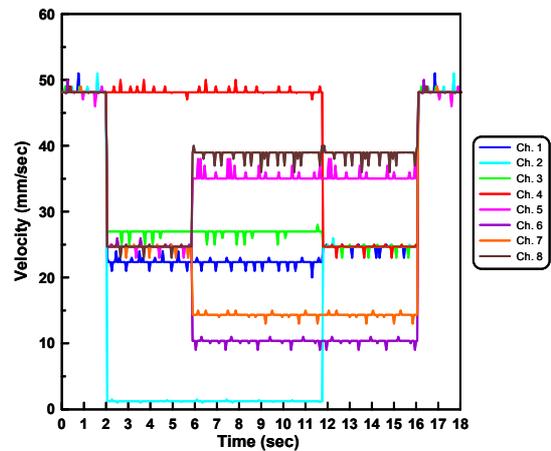


그림 14. 채널별 실험 속도 결과 및 구간 구분

Fig 14. Velocity of each driving channel in curved section

그래프에서 구간A-A', B-B'구간에서 중간정도에 속도가 분포하는 것은 로봇이 회전시에 최대 회전 반경을 가지는 크롤러는 속도가 증가하지만 나머지는 관의 중심선에 맞는 속도로 진행하게 된다. 그러므로 A-A'과 B-B'구간에서 중간속도가 존재하는 곳이 생기게 된다.

로봇의 구조는 각 바퀴의 속도 제어를 하지 않아도 관통과가 가능하지만, 부드러운 로봇의 동작을 위해서, 제안된 속도제어 기법을 활용하였다. 그림 15는 가장 낮은 속도의 채널인 채널 2번의 속도에 대하여 제안된 기법에 의해 제어된 속도의 분포와 그렇지 않은 경우의 속도 분포를 나타내고 있다.

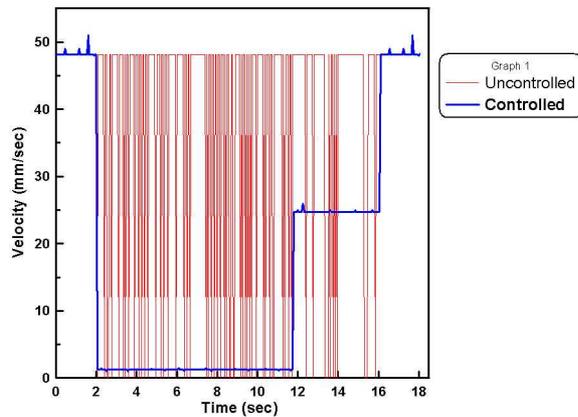


그림 15. 채널 2번의 제어기 적용 유무에 따른 속도

Fig 15. Velocity for channel 2 with/without motion control algorithm

## 6. 결 론

크롤러 방식 터널 로봇을 설계 제작하였고, 부드러운 회전을 위해 속도차를 구현하는 알고리즘을 제안하였다. 속도 측정을 통한 직경인식기법의 실험에서는 일정구간 (600mm)에서의 전진 및 후진을 통해 평균 92%의 직경 인식 성공률을 보였다. 그리고 방향전환에 대해서도 관의 직경과 로봇의 각도를 이용하여 부드럽게 회전하여 주행할 수 있을 확인하였다. 본 논문에서 제안된 로봇은 직경이 150mm이상 190mm미만인 굴곡있는 관을 검사할 수 있다. 향후, T자형, 십자형 교차관 등의 다양한 형태의 관에서 효율적이며, 관의 내부 상태에 적응이 가능한 로봇의 개발을 추진할 계획이다.

## 참 고 문 헌

[1] A. Marcello Benetto and M. Ruggini, "1/4 inch worm pneumatic flexible robot", IEEE international conference on Advanced Intelligent Mechatronics, Vol. 2, pp. 1226-1231, Jul. 2001.

[2] 최지민, 이영남, 박성훈, 박진희, 송영권, 신원식, 김재동, "지하에설치된 가스배관 내부 검사를 위한 로봇

시스템 개발", 한국산업융합학회, 제15권, 제2호, pp.121-129, 2000.

[3] T. Fukuda, H. Hasekai, and M. Uemura, "Rubber gas actuator driven by hydrogen storage alloy for in pipe inspection mobile robot with flexible structure", IEEE international conference on Robotics and Automation, Vol. 3, pp.1877-1879, May 1989.

[4] K. Suzumori, T. Miyagawa, M. Kimura, and Y. Hasegawa, "Micro inspection robot for 1 in pipes", IEEE Trans. on Mechatronics, Vol. 1, no. 3, pp.286-292, Sep. 1999.

[5] K. L. Scholl, V. Kepplin, K. Berns, and R. Dillmann, "Controlling a multijoint robot for autonomous sewer inspection", IEEE international conference on Robotics and Automation, pp.1701-1703, Apr. 2000.

[6] S. Hirose, T. Mitsui, and K. Suyama, "Design of in pipe inspection vehicles for 3, 4, 5, and 150 pipes", IEEE international conference on Robotics and Automation, Vol. 3, pp.2309-2311, May 1989.

[7] A. Masuyuki, T. Takayama, S. Hirose, "Development of souryu III connected crawler vehicle for inspection inside narrow and winding spaces", IEEE RSJ Intelligent Robots and Systems, 2001, Vol. 4, pp.55-57, Oct. 2001.

[8] H. Yaguchi, K. Tsumamoto, "Wireless type magnetic micro actuator capable of movement in a pipe", INTERMAG Asia 2005, Magnetic conference, pp. 1-13, 14, Apr. 2005.

[9] S. HIROSE, E. Takashima, "Development of mobile robots for rescue operations", Advanced Robotics, Vol. 16, No. 6, pp. 609-621, 2002.

[10] K. L. PAAP, J. T. Christoffer, E. Kinneman, "A robot snake to inspect broken buildings", Proc. 2000 IEEE RSJ Int'l Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS 2000, pp. 2073-2082, 2000.

[11] G. GRANOSIK, J. Barenstein, "Minimizing Air Consumption of Pneumatic Actuators in Mobile Robots", Proc. of the 2001 IEEE Int'l Conference on Robotics and Automation, New Orleans, pp. 3333-3339, 2001.

**저 자 소 개**

**배기만**



1998년 경일대학교 기계공학과 학사.

2007년~현재, 경북대학교 기계공학부 석사.

관심분야 : 지능제어 및 기계설계.

Email : kimanbae1979@hanmail.net

**이춘영 (Choon-Young Lee)**



1996년 2월 한양대학교 전자공학과 학사.

2003년 8월 한국과학기술원 전자공학과 박사.

2005년~현재, 경북대학교 기계공학부 교수.

관심분야 : 지능제어 및 메카트로닉스.

Email : cylee@knu.ac.kr

**이상통**



1980년 서울대학교 기계공학과 학사.

1982년 한국과학기술원 기계공학과 석사.

1989년 Georgia Institute of Technology 박사.

1982년~현재, 경북대학교 기계공학부 교수.

관심분야 : 시스템 제어 및 자동화.

Email : srlee@knu.ac.kr

**이상일 (Sang-il Lee)**



2004년 경북대학교 기계공학과 학사.

2006년 경북대학교 기계공학과 석사 졸업.

관심분야 : 시스템 제어 및 자동화.

Email : ssangil@nate.com