

소형 직렬 다관절 로봇의 협소 배관 이동 연구

A Study on Movement of a Small-sized Multi-linked Serial Robot Inside Narrow Pipe

*신호철¹, 정경민¹
 *H. C. Shin(ID@email.com)¹, K. M. Jeong²
¹ 한국원자력연구원

Key words : USAR(Urban Search and Rescue), Multi-linked Serial Mechanism, Snake Robot, Hyper-redundant Robot, Narrow Pipe

1. 서론

화재나 지진 등으로 인해 건물이 붕괴될 때 붕괴 잔해물 하부에 생존자들이 고립되는 경우가 많이 발생한다. 추가적인 인명피해를 줄이기 위해서는 고립된 생존자 탐색/구조 작업이 신속히 이루어져야 한다. 하지만 붕괴 지역에서의 작업은 그 지형의 협소성 및 추가 붕괴 위험 등으로 인해 구조 작업자의 접근이 크게 제한된다. 따라서 붕괴 지역에서 탐색/구조 작업에 로봇을 활용하고자 하는 노력이 활발히 진행되고 있다.

미국의 세계무역센터 붕괴 사고 시에도 로봇을 투입한 바 있다. 붕괴 지형 구조의 복잡성 및 다양성으로 인해 로봇의 활용은 크게 제한적이었으나, 붕괴에도 불구하고 그 형태를 어느 정도 유지할 수 있는 배관/덕트 등에 로봇을 투입하는 것이 그나마 현실적인 것으로 제시되었다.[1].

배관 내부를 이동할 수 있는 다양한 이동 메커니즘들이 연구 개발되어 왔지만 대부분 일정한 형태와 크기를 가지는 배관에만 적용 가능한 것으로, 비정형의 붕괴 지형에 적용하기는 불가능하다. 또한 붕괴지형의 경우 수직 이동이 요구될 수 있으며 생존자에 근접하기 위해서는 그 크기는 최소화되어야 한다. 이와 같은 요구를 만족시키기 위해서는 직렬 다관절 형태의 이동 로봇이 요구된다.

본 논문은 건물 붕괴 지역에서 생존자를 탐색하기 위해 개발 중인 소형 직렬 다관절 이동 로봇을 소개하고, 협소 배관 내에서 이동하기 위한 조건과 방법을 제시한다.

2. 소형 직렬 다관절 이동 로봇

본 연구에서 직렬 다관절 이동 로봇의 비정형 배관내에서 이동 가능성을 확인하기 위하여 1 자유도 회전 관절을 갖는 상용 RC 서보 12 개를 이용하여 Fig. 1 과 직렬 다관절 이동 로봇을 구성하였다.

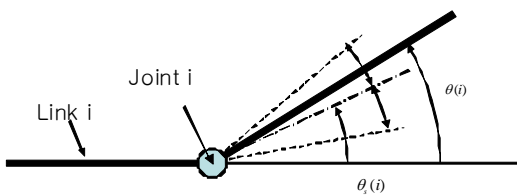


Fig. 1 Plane moving multi-linked serial robot with 1 DOF module

Fig. 1 의 직렬 다관절 이동 로봇이 협소 굴곡 배관을 이동할 있는 i 번째 관절의 각도는 다음과 같다.

$$\theta(i) = \theta_s(i) + A \sin(\omega t + i), \quad i = 0, 1, 2, \dots, 11 \quad (1)$$

여기서 $\theta_s(i)$ 는 협소 굴곡 배관에 적용하기 위한 i 번째

관절의 오프셋 각도로 다음과 같이 지령 관절각 과 측정 관절각의 편차를 이용하여 오프셋 증분 값을 계산한 후 적분하여 구한다.

$$\Delta\theta_s(i) = K_s[\theta(i) - \theta_m(i)] \quad (2)$$

Fig. 2(a)는 직렬 다관절 이동 로봇이 수직 평면 내부에서 이동하는 모습을 나타낸다. 이동이 용이하도록 관 내부에 주름이 있는 배관을 사용하였다.

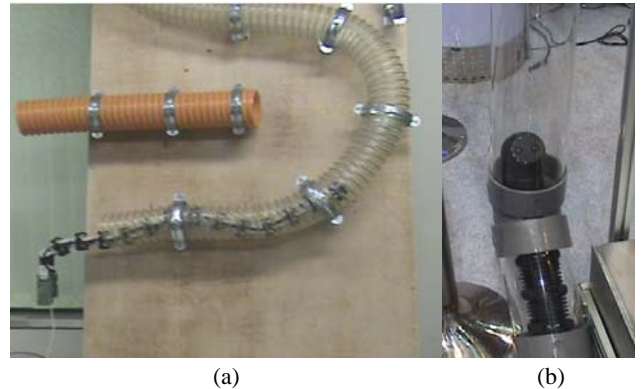


Fig. 2 Moving inside a in-plane curved pipe and a vertical pipe

1 자유도 모듈을 이용한 직렬 다관절 이동 로봇의 평면 내 굴곡관 이동 실험 결과를 기반으로 1 자유도 모듈의 회전 축을 순차적으로 직교 배치함으로써 18 개의 1 자유도 회전 모듈을 이용한 3 차원 공간 이동 로봇을 구현하였다. 방수와 마찰을 고려하여 각 모듈의 외형을 고무 자바라로 제작하였으며 모듈의 외경은 약 80mm 이다. Fig. 2(b)는 아크릴로 제작된 내경 100mm 의 굴곡/수직관 내부를 이동하는 3 차원 공간 이동 로봇을 나타낸다.

2 자유도 구현에 따른 모듈 중량이 2 배로 증가하였을 뿐 아니라 고무 자바라로 인해 전체 중량이 크게 증가하여서 수직관 이동에 많은 어려움이 있었다.

이와 같은 문제점들을 해결하기 위해서는 중량이 가벼운 고토크의 모듈의 설계가 요구된다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 3 과 같이 모듈 길이가 짧고 고토크를 발생시킬 수 있는 소형 2 자유도 회전관절 모듈을 개발하였다.

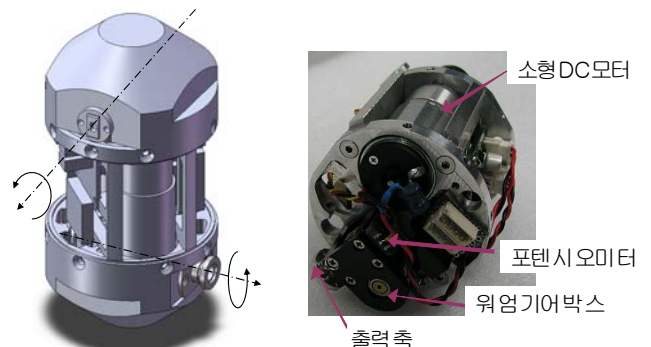


Fig. 3 2DOF rotating joint module

각 회전관절은 유성 감속기를 장착한 소형 DC 모터에 위엄기어를 추가 장착되어 있고, 출력축에 소형 포텐시오미터를 장착함으로써 출력축의 절대 회전각을 측정할 수 있다. 모듈에 내부에는 2 개의 DC 모터를 구동할 수 있는 제어기가 장착되어 있다. 모듈의 외경은 약 65mm 이며 길이는 135mm 이다. Fig. 4 는 9 개의 모듈로 구성된 직렬 다관절 이동 로봇을 나타낸다.

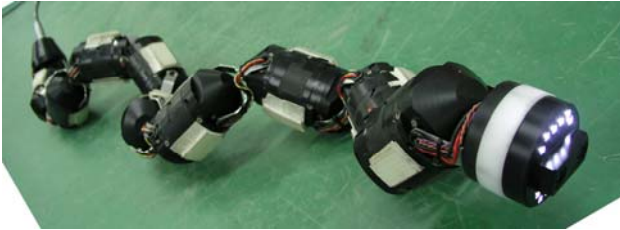


Fig. 4 Small-sized multi-linked serial robot

3. 직렬 다관절 이동 로봇의 소형 배관 내 이동

수직관 등의 내부에서 로봇이 낙하하지 않고 안정되게 이동하기 위해서는 관 내면과 로봇 사이에는 항상 3 점 이상의 지지점이 있어야 하며, 지지 형상 전환을 할 때에도 지지점에서 미끄러짐이 없어야 한다. 회전 관절부는 관 내면과 안정적인 접촉하기 어려울 수 있으므로 링크가 관내면과 접촉하는 것이 바람직하다. 따라서 본 논문에서는 안정된 이동 조건을 다음과 같이 제시한다.

- (1) 3 점 이상의 지지
- (2) 관내면과 로봇사이의 미끄럼 없음
- (3) 관내면과 링크사이의 접촉 유지

소형 배관의 내경 D 가 다음 조건을 만족한다고 가정하자.

$$d < D \leq l \sin \theta_{\max} \quad (3)$$

여기서 d 는 모듈의 외경, l 은 링크 길이, θ_{\max} 는 관절의 최대 회전각을 나타낸다.

이때, 직렬 다관절 이동 로봇의 링크와 관내면이 3 점 접촉을 유지하기 위해서는 링크가 5 개 이상이 되어야 한다. 그리고 이동하기 위해서는 지지형상을 전환해야 하는데 미끄러짐 없이 지지형상을 전환하기 위해서는 링크가 3 개 이상이 동시에 구동 되어야 한다. Fig. 5 는 미끄러짐 없이 지지형상 전환이 불가능한 경우 Fig. 5(a)와 미끄러짐 없이 지지형상 전환이 가능한 경우 Fig. 5(b)를 예로 나타내고 있다.

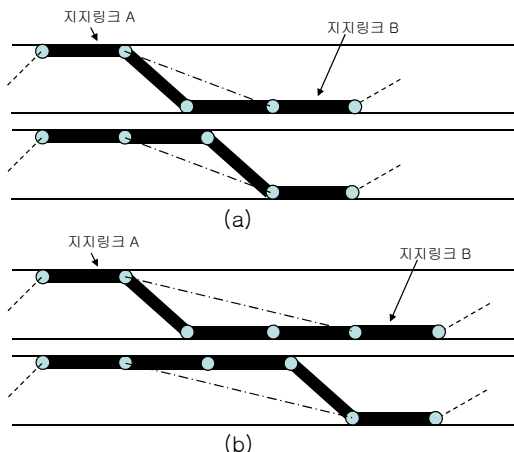


Fig. 5 Block diagram of multi-modal chatter model of a high speed machining center (Times New Roman 9pt)

3 점 지지와 미끄럼 없이 지지 형상 전환을 고려하였을 때 직관 내부에서 안정적인 이동을 하기 위해서는 최소한 6 관절 7 링크가 요구됨을 알 수 있다. 그러나 실험을 통해서 양끝 단의 링크가 배관과 접촉을 유지하기 위해서는 추가적인 링크가 필요함을 알 수 있었다. Fig. 6 에 개발된 9 개의 링크를 갖는 직렬 다관절 이동로봇이 안정된 이동조건을 만족 시키고 지지형상을 전환하면서 지속적인 이동하는 모습을 도식적으로 나타내었다.

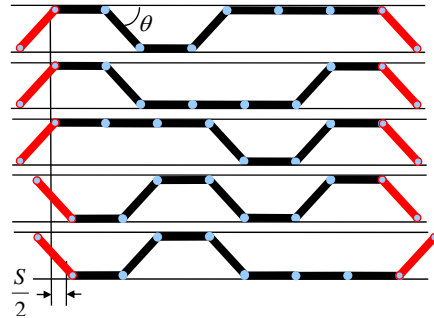


Fig. 6 Movement of the developed serial robot inside a pipe

여기서 S 는 한 주기 동안 이동한 거리로 다음과 같다.

$$S = 2l(1 - \cos \theta) \quad (4)$$

4. 결론

본 논문은 건물 붕괴 지역에서 생존자를 탐색하기 위해 개발 중인 소형 직렬 다관절 이동 로봇을 소개하였다. 소형화된 2 자유도 고토크 모듈을 개발하여 기존의 개발된 직렬 다관절 이동 로봇을 개선하였으며, 2 자유도 모듈의 구조를 소개하였다. 또한 배관 내부에서 안정된 이동을 하기 위한 조건과 방법을 제시하였다.

후기

본 연구는 지식경제부의 성장동력사업의 일환으로 수행 중인 “재난 극복 및 인명구조 로봇개발” 과제의 세부과제인 “재난극복 이동 기술 개발 및 화점/인명 탐지 기술 개발” 과제를 통해 수행되었음.

참고문헌

1. Casper, J, and Murphy R.R., "Human-Robot Interaction during the Robot-Assisted Urban Search and Rescue Response at the World Trade Center." IEEE Trans. On SMC, Vol.33, No.3 pp.367-385, 2003.
2. Aaron Greenfield, Alfred A. Rizzi, Howie Choset, "Dynamic Ambiguities in Frictional Rigid-body Systems with Application to Climbing via Bracing," ICRA 2005, pp.1947-1952, 2005
3. Elie Shammass, Alon Wolf, Howie Choset, "Three degrees-of-freedom joint for spatial hyper-redundant robots." Mechanism and Machine Theory, 41,pp.170-190,2006.
4. James McKenna, David Anhalt, Frederick Bronson, Ben Brown, Michael Schwerin, Elie Shammass, and Howie Choset, "Toroidal Skin Drive for Snake Robot Locomotion, "Proc. of IEEE International Conference on Robotics & Automation, 2008.
5. 강중규, 정경민, 이성욱, 서용철, 최창환, 정승호, 김승호, “소형 배관 이동이 가능한 다관절형 이동 로봇 개발,” 2006 ICASE 대전충청지부 학술발표회, 2006.