



## 재난 환경 이동 로봇 기술 개발

정경민\*, 최영수, 서용철, 이성욱, 조재완, 정승호, 김승호  
(한국원자력연구원)

### 1. 머리말

위험물 처리 또는 재난 환경 인명 탐색등과 같이 실외 작업을 수행하는 원격 제어 이동 로봇의 이동 수단으로는 무한궤도 방식이 많이 사용되고 있다. 그들 대부분은 몸체 좌우에 무한궤도를 장착하여 비평탄 지면과의 접촉 면적을 넓게 함으로써 주행력의 확보 및 안정성을 높일 수 있다는 장점을 가지고 있다. 높은 단차를 가지는 장애물을 극복하기 위해서는 플리퍼(flipper)라 불리는 암(arm) 형태의 무한궤도를 전방에 추가하기도 하는데<sup>①</sup> 고도의 비평탄 지형에 대한 적응성을 높이기 위해서 몸체의 전후방에 무한궤도 링크가 장착된 다관절형 무한궤도 이동로봇들이 개발되어 있다<sup>②③</sup>. 이와 같은 다관절형 무한궤도 이동로봇들은 궤도 면의 구동뿐만 아니라 무한궤도 암의 회전을 위해 많은 모터와 동력 전달 기구등으로 복잡한 기구적 구조를 가진다. 무한궤도 기구를 모듈화할 경우 이와 같은 기구적 복잡성을 줄이고 그 응용 환경에 따라 무한궤도의 배치를 용이하게 할 수 있다. 이와 같은 관점에서 개발된 QuadTrack-II는 모듈화된 개의 무한궤도 기구를 몸체 전후 측면에 장착된 형태로서 건물 등의 붕괴 잔해물로 덮인 지형 환경에서 높은 이동성을 가질 수 있다.

재난 지역의 붕괴 잔해물에 매몰/고립된 인명을 탐색하기 위해서는 붕괴 잔해물 틈새 공간에서 이동이 자유로운 로봇이 요구된다. 특히 건물 내 덕트/배관 등은 건물 붕괴 시에도 그 형태를 유지하는 경우가 많기 때문에 배관/덕트를 통해 매몰지형 하부로 이동하며 인명을

탐색할 수 있는 로봇기술이 필요하다.

이 글에서는 붕괴 잔해물 상부를 이동할 수 있도록 개발된 QuadTrack-II와 소형 배관 내부를 이동하며 인명 탐색 작업을 하도록 개발된 협소구역 인명탐색 로봇을 소개하고 이와 같은 형태의 로봇들이 실제 재난 환경에서 활용되기 위해 해결해야 할 문제점들을 소개한다.

### 2. 재난 환경 이동 로봇

#### 2.1 모듈러 이동로봇 QuadTrack-II

QuadTrack-II의 무한궤도 기구에서는 그림 1과 같이 어태치먼트 체인(attachment chain)에 고무 패드를 부착하여 무한궤도를 구성함으로써 지형 환경에 따라 다양한 크기와 형태의 패드를 교체할 수 있다.

무한궤도 기구 내부에는 200W급 BLDC모터 2개가 장

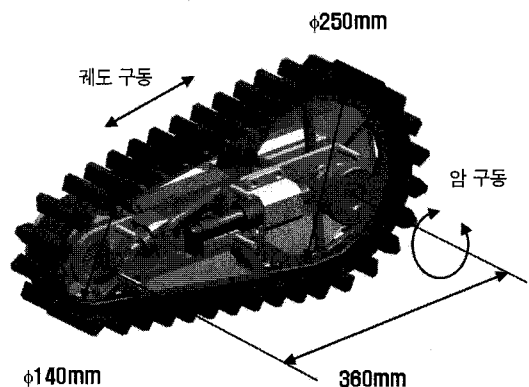


그림 1 QuadTrack-II의 무한궤도 모듈의 구조

\*E-mail : kmjeong@kaeri.re.kr / (042) 868-8835

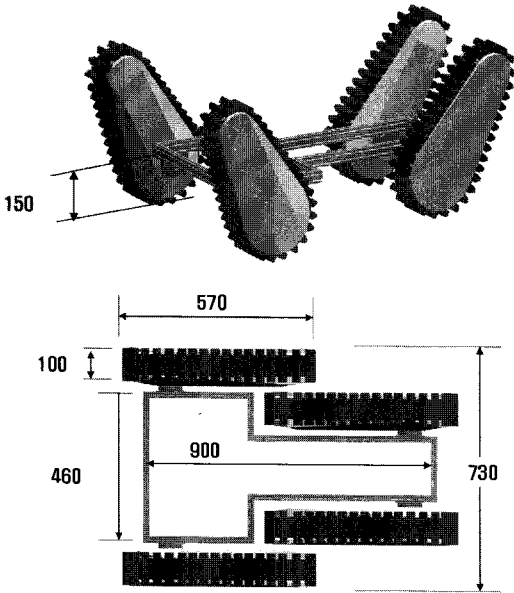


그림 2 QuadTrack-II의 몸체 프레임



무한궤도 모듈 협소구역 탐사로봇 현가 장치  
협소구역 탐사로봇 연결 케이블 권선기

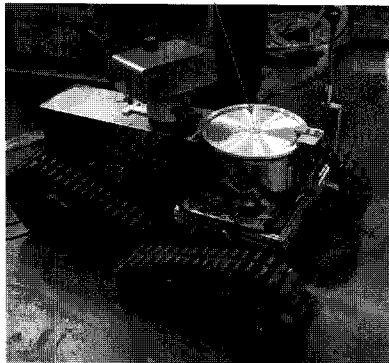


그림 3 QuadTrack-II의 외관

착되어 있어 각각 궤도의 구동과 압 구동을 담당한다. 또한 BLDC모터 제어가 내장되어 있으므로 외부와는 전원 및 CAN통신 선 연결만으로 동작시킬 수 있는 모듈화 구조를 가지고 있다.

그림 2는 4개의 무한궤도 모듈의 압 구동축을 몸체 프레임에 장착하여 이동 로봇을 구성하는 예를 나타낸다. 이동 로봇의 구동부가 모두 무한궤도 모듈 내에 각각 분산되어 있기 때문에 몸체의 크기와 형태는 적용 환경에 따라 쉽게 변경이 가능하다는 장점을 가지고 있다.

그림 3은 몸체 프레임에 상위 제어 모듈과 인명 탐사에 사용될 수 있는 관측 모듈을 장착한 사진이다. 상위 제어 모듈은 로봇 제어 명령을 원격 제어 장치로부터 무선 랜(wireless LAN)을 통해 전송받으며 받은 명령을 CAN 버스를 통해서 각 모터 제어기로 전송한다. 무한궤도 모듈이 일체화되어 있기 때문에 필요에 따라서 현가 장치의 부착도 용이하다.

QuadTrack-II의 몸체 하부에는 협소구역 탐사 로봇을 운반할 수 있는 공간이 마련되어 있으며 몸체 후방에는 협소구역 탐사로봇에 연결되는 케이블의 권선기가 설치되어 있다.

몸체 내부에는 27V 12AH 리튬폴리머 배터리 2개가 내장되어 있으며 몸체 케이스는 재난환경에서 낙하물에 의한 손상을 줄일 수 있도록 스테인레스 스틸로 제작하였다.

그림 4는 QuadTrack-II에 장착된 관측 모듈 사진으로서 재난 환경 관측을 위한 줌 CCD 카메라와 인명 탐지를 위한 열영상 카메라, 주변 환경의 3차원적 인식을 위

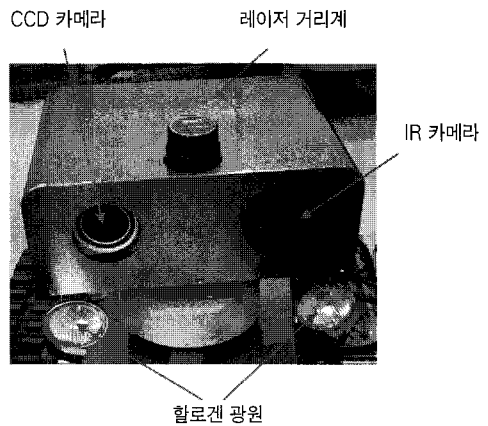
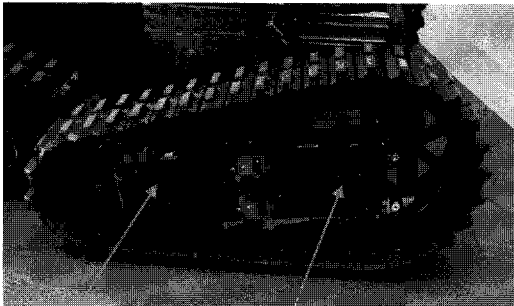
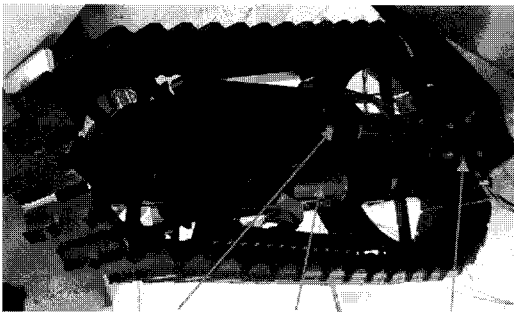


그림 4 관측 모듈



케도구동 제어기      암구동 제어기



케도구동 모터      암구동 모터      슬립 링

그림 5 무한케도 모듈의 외관

표 1 QuadTrack-II의 몸체 사양

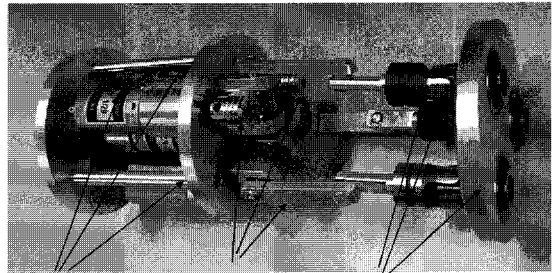
폭	760 mm	
높이	600 mm	
길이	1100 mm	케도 접은 상태
중량	70 kg	배터리 포함

한 레이저 거리계, 할로겐 광원이 포함되어 있으며 팬/틸트 구동이 가능하다. 그림 5는 무한케도 모듈 내에 장착된 2개의 BLDC모터와 제어기들을 나타내며 표 1은 QuadTrack-II의 사양을 나타낸다.

## 2.2 협소구역 탐사로봇

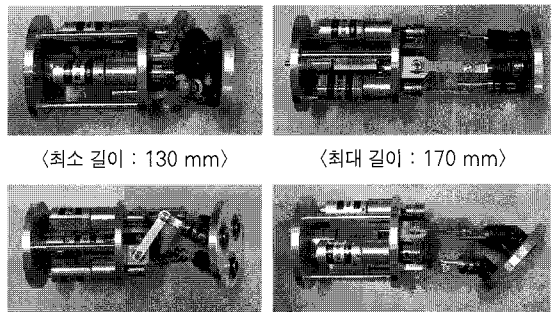
협소구역 탐사 로봇은 QuadTrack-II의 몸체 하부에 고정된 상태로 있다가 탐색이 요구되는 협소 구역이 발견되었을 때 QuadTrack-II로부터 분리되어 협소구역 내부를 이동한다.

협소구역 탐사 로봇의 각 관절 각도의 제어는 식 (1)과 같이 정현파 형태의 운동을 전파하는 형태로서 전파 방향에 따라서 전·후진 이동이 가능하다.



DC 모터      링크어      볼조인트

그림 6 3자유도 병렬기구



<최소 길이 : 130 mm>

<최대 길이 : 170 mm>

<PAN 운동 : 45도>

<TILT 운동 : 45도>

그림 7 병렬기구 모듈의 운동

$$\theta_i = A_i \sin(\omega t + \phi_i) + \delta_i \quad (1)$$

각도 오프셋(offset)  $\delta_i$ 를 조절함으로써 원호 운동과 같은 비직선 이동 궤적을 가질 수 있다.

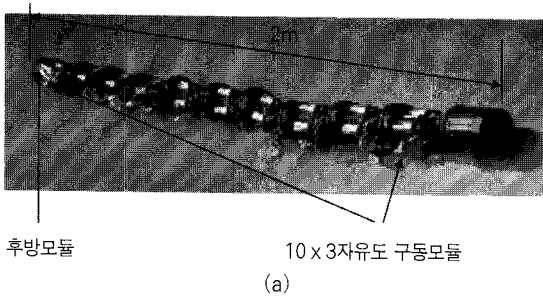
수직한 협소구역 내부를 이동하기 위해서 협소구역 탐사 로봇은 틸트나 배관의 내부 양측면을 지지하면서 이동할 수 있도록 한다. 관절 모듈을 직렬 연결한 형태로 구성하며 관절 모듈은 병렬 기구형과 직렬 기구형의 2가지 형태로 개발하였다.

### (1) 3자유도 병렬 기구형

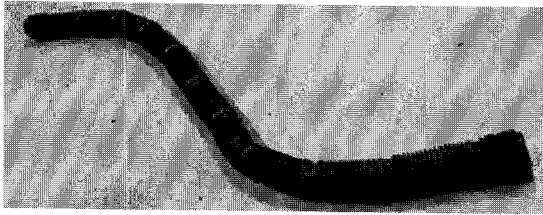
그림 6은 개발된 병렬기구 모듈로서 3개의 링크가 원판에 볼 조인트로 연결된 3자유도 폐링크 구조이다.

그림 7은 병렬기구의 3개 모터를 구동하여 직선 운동과 팬(pan)회전, 틸트(tilt)회전 운동을 구현하는 예를 보여준다.

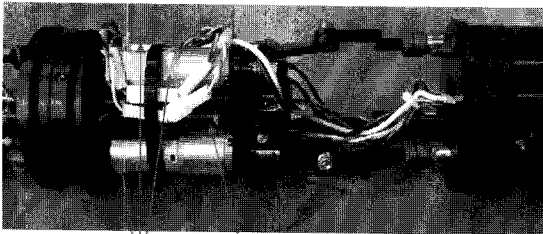
그림 8은 병렬기구 모듈 10개를 직렬로 연결하여 협소 구역 탐사 로봇을 구성한 예이다. 로봇의 전면부에는 협소 구역 내부를 탐색하기 위한 고휘도 LED 조명



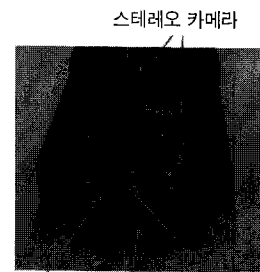
(a)



(b)



3 x DC모터 DSP 제어기  
(c)



스테레오 카메라  
스피커 마이크  
고휘도 LED조명  
(d) 전방 모듈



스테레오 카메라  
커넥터  
고휘도 LED조명  
(e) 후방 모듈

그림 8 병렬 기구형 협소구역 탐사로봇

과 스테레오 카메라가 장착되어 있으며 마이크와 스피커를 내장하여 인명탐사에 사용될 수 있도록 한다. 후방모듈 역시 스테레오카메라와 고휘도 LED조명이 장착되어 있다.



그림 9 협소구역 탐사로봇의 배출

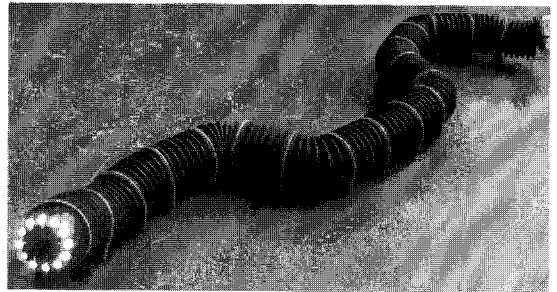


그림 10 직렬기구형 협소구역 탐사로봇

### (2) 직렬 기구형

직렬 기구형 협소구역 탐사로봇은 1자유도 회전 모듈의 회전방향을 90도로 교차시켜 직렬 연결한 구조이다. 그림 10은 직렬 기구형 협소구역 탐사로봇으로서 로봇의 전방에는 고휘도 LED조명과 스테레오 카메라가 장착되어 있다.

## 3. 실험 결과

### 3.1 QuadTrack-II

그림 11과 그림 12는 중앙 119구조대에 있는 붕괴 잔해물 모형 지역에서 원격제어를 통해 QuadTrack-II가 붕괴 잔해물 상부를 승월하는 장면으로서 지면과의 접촉 상태에 따라 주행력의 상실 및 불안정성 문제가 발생하기도 하였다.

### 3.2 협소구역 탐사로봇

그림 13은 직렬 기구형 협소구역 탐사로봇을 이용하여 100 mm직경의 수직 관 내부를 이동하는 장면이며 그림 14는 곡관 내부 이동 장면이다.



그림 11 붕괴 암석 승월



그림 12 붕괴 벽면 승월



그림 13 수직관 이동

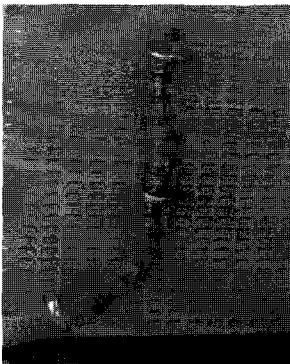



그림 14 곡관 이동

#### 4. 맺음말

이 글에서는 붕괴 잔해물 상부 및 붕괴 틈새 등의 재난 환경 지형에서 이동하기 위한 2종의 로봇을 소개하

였다. 2종의 로봇 모두 모듈화된 다수의 구동부로 구성 되어 높은 자유도를 가지기 때문에 복잡한 지형에 대해 높은 이동성을 가질 수 있으나 실제 환경에서 사용되기 위해서는 많은 연구가 요구된다.

로봇이 비정형 환경에서 이동을 하기 위해서는 지면과의 접촉 상태를 유지함으로써 주행 구동력의 유지 및 안정성의 확보가 필요하다. 이를 위해서는 경사각 센서 등 로봇의 자세를 측정할 수 있는 센서와 로봇이 이동해야 할 지형 정보를 획득할 수 있는 센서 및 지면과의 접촉 상태 및 접촉력을 감지할 수 있는 센서가 필요하다.

이와 같은 많은 센서들을 소형화하여 장착하는 방식에 대한 연구와 함께 많은 센서 정보로부터 지형과의 접촉 유지 및 안정성 확보가 가능한 모터 제어 명령을 생성할 수 있는 지형적응적인 제어기법에 대한 지속적인 연구가 요구된다. 

#### 후기

이 연구는 산업자원의비 지능형로봇개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- (1) Paul, E. S., 2003, Robot Mechanisms and Mechanical Devices Illustrated, McGraw-Hill.
- (2) Casper, J. and Murphy, R.R., 2003, "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.
- (3) <http://www.packbot.com>
- (4) <http://www.autonomoussolutions.com>
- (5) Miyanaka, H., Wada, N., Kamegawa, T., Sato, N., Tsukui, S., Igarashi, H. and Matsumo, F., 2007, "Development of an Unit Type Robot "KOHGA2" with Stuck Avoidance Ability", IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 3877~3882.
- (6) Jeong, K., Kang, J., Lee, G., Lee, S., Seo, Y., Jung, S. and Kim, S., 2006, "A Remotely Operated Robotic System for Urban Search and Rescue," ICCAS 2006.
- (7) Shailesh, L., 2004, "Modeling and Simulation of Steering Systems for Autonomous Vehicles", Dissertation for Master of Science, The Florida State Univ.