

재난 인명 구조를 위한 힘지 이동 로봇 기술

최근 동남아 지역의 지진, 해일 등 자연 재난의 발생 빈도가 증가하고 있으며 이에 따라 재난 인명 구조 로봇의 필요성이 더욱 증대되고 있다.

하지만 이와 같은 재난 인명 구조 로봇의 개발 열기에도 불구하고 미국의 세계 무역 센터 폭발 테러 시 인명 탐색 및 복구에 투입된 로봇의 활용 사례를 살펴보면 재난 인명 구조 로봇이 기술적인 측면뿐만 아니라 사용자 측면에서 많은 점들이 추가로 고려되어야 함을 알 수 있다.

■ 정경민, 이성욱, 정승호, 김승호
(한국 원자력 연구원)

1. 서론

최근 로봇 기술은 전자공학, 컴퓨터, 기계공학 등의 비약적인 발전에 힘입어 다양한 용도에 사용되고 있다. 특히 로봇은 극한 환경에서 인간이 하기 어려운 작업을 수행할 수 있으며 그중 많은 관심을 받고 있는 분야가 재난 인명 구조 분야라 할 수 있다. 재난 인명 구조는 대규모 화재나 지진, 폭탄 테러 등과 같은 대형 재난이 발생했을 때 붕괴 잔해물에 의해 고립된 생존자의 구조, 희생자 수습 작업을 포함하며 특히 붕괴 잔해물에 의한 탐색 공간 또는 작업 공간의 협소함으로 인해 인간 구조작업자 또는 구조견 등으로는 많은 제약성을 가지고 있다.

미국의 경우 1995년 오클라호마 주청사 폭탄 테러 사건으로 160여명이 사망하면서 인명구조를 보조할 수 있는 로봇에 대한 연구 개발의 필요성이 제기되었고, 2001년 세계무역센터 폭발 테러 사건 발생 시 기존에 개발된 많은 로봇들이 대거 투입되어 인명 탐색 및 구조, 복구 과정에 사용되었다. 일본의 경우, 1995년 고베 지진 시 6000명 이상이 사망하고 40,000명 이상의 부상자가 발생했으며 이로 인해 인명 구조 로봇에 대한 연구 개발이 활발하게 진행되어 2002년부터 DDI(대도시 대재난 경감)프로젝트를 통해 재난 인명 로봇에 대한 연구 개발이 대대적으로 수

행 중에 있다. 우리나라의 경우 1995년 삼풍 백화점 붕괴 사고로 인해 500여명의 사망자와 1000여명의 부상자가 발생하였으며 인명 구조 로봇에 대한 연구개발이 부분적으로 수행되고 있다.

최근 동남아 지역의 지진, 해일 등 자연 재난의 발생 빈도가 증가하고 있으며 이에 따라 재난 인명 구조 로봇의 필요성이 더욱 증대되고 있다.

하지만 이와 같은 재난 인명 구조 로봇의 개발 열기에도 불구하고 미국의 세계 무역 센터 폭발 테러 시 인명 탐색 및 복구에 투입된 로봇의 활용 사례를 살펴보면 재난 인명 구조 로봇이 기술적인 측면뿐만 아니라 사용자 측면에서 많은 점들이 추가로 고려되어야 함을 알 수 있다.

본 기고에서는 세계 무역 센터 붕괴 시 로봇 활용 사례를 분석하고 재난 인명 구조에 활용될 수 있는 높은 이동성을 가진 로봇 개발 현황을 소개하며 향후 연구 개발 방향을 간략히 제시하고자 한다.

2. 재난 인명 구조 로봇 활용 사례

미국의 세계 무역 센터 붕괴 사고는 로봇을 재난 현장에 비교적 적극적으로 활용한 최초의 사례라 할 수 있으며 이에 대한

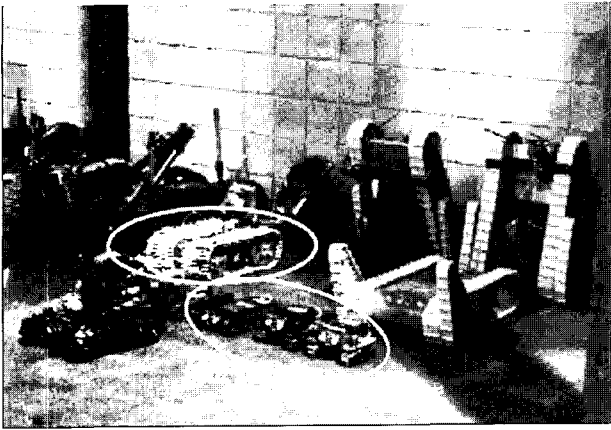


그림 1. 세계무역센터 붕괴 시 사용된 로봇

많은 자료가 보고되었다^[1,2,3]. South Florida 대학의 CRASAR (Center for Robot Assisted Search & Rescue)에서는 사고 직후 6시간 만에 현장에 도착하여 인명 탐색 작업에 로봇을 지원하였다. 이외에도 SPAWAR, Foster-Miller, iRobot과 같은 유명 군용 로봇 생산업체에서도 로봇을 지원하였다.

로봇의 역할은 크게 희생자 탐색, 잔해물 상에서 돌파 용이한 경로의 탐색, 구조물의 검사, 유해물질 감지 등으로 나뉠 수 있다.

구조 작업에 투입될 로봇의 선택 기준은 크게 다음과 같이 분류되었다.

(1) 운반 용이성

로봇을 탐색지역까지 운반하는 것은 구조 작업자에게 육체적인 부담을 주기 때문에 운반이 용이한 소형 로봇이 우선적으로 선택되었다.

(2) 조작 용이성

로봇 조작이 어려울 경우 별도의 조작자가 구조 작업자와 동반하여야 하며, 이로 인한 추가적인 위험성이 증대되기 때문에 구조 작업자가 직접 조작할 수 있는 로봇이 우선적으로 고려되었으며 이에 따라 iRobot사의 packbot과 같이 조작이 어려운 로봇은 투입 대상에서 제외되었다.

(3) 탐색 공간의 크기

탐색 공간이 좁을 경우 구조작업자나 구조건에 의한 탐색 작업이 어렵기 때문에 소형의 로봇이 선택되었다.

위와 같은 선택 조건에 따라 Inuktun사의 Micro-Tracs과 Micro-VGTV이 주로 사용되었으며 Foster-Miller사의 solem이 1회 사용되었다.

구조 작업자들의 로봇의 필요성에 대한 인식 부족, 안전상 구조 작업자들의 탐색 작업 제한 등으로 인해 실제 탐색 작업에서 사용 빈도가 저조하였으며 사용된 로봇의 기능이 실제 재난 현

장에 사용되기에 부적합한 점들이 발생되었다.

탐색 시간에 비해 로봇의 설치 시간이 길고, Micro-Tracs의 경우 트랙에 금속조각이 끼거나 고열로 인해 트랙이 이탈되었는데도 이를 알아낼 수 없었으며, solem의 경우 전복 우려로 인해 조작에 어려움이 있었으며 안전 로프(safety rope)를 조작하여 이를 방지하였고 무선 통신 두절로 인해 로봇을 회수할 수 없었다.

특히 장착된 흑백 카메라 영상으로는 물체 구분이 어려웠으며 solem의 격자 영상 주사 장치로는 3차원적 환경 인식이 불가능하였고 Sick의 레이저 거리계와 같은 2차원 거리계로는 비정형의 3차원 지형 인식에 큰 도움이 되지 않았다.

이와 같은 문제점들로 인해 재난 인명 구조 로봇은 충격 등에 강해야 할 뿐만 아니라 운반이 용이한 크기와 중량을 가져야 하며, 간단한 조작으로 높은 이동성을 가져야 하며, 전복 상태로 주행이 가능한 것이 바람직하다. 또한 컬러 카메라와 양방향 음성 전송, 로봇 관측 카메라, 소형의 3차원 지형 측정 장치 등이 요구된다.

3. 재난 인명 구조용 협지 이동 로봇 개발 현황

서론에서 언급한 바와 같이 국내외적으로 재난 인명 구조를 위한 많은 로봇이 개발되고 있다. 이들 로봇은 다양하고 복잡한 지형에 대한 이동성을 높이기 위해서 다관절 화되는 경향을 두드러지게 나타내고 있다. 다관절화를 통해 지형에 적합한 형태로 착지 형상을 변형시킴으로써 안정성과 이동성을 높일 수 있으며 추가된 관절의 구동 여부에 따라서 수동 관절형과 능동 관절형으로 분류할 수 있다. RobHaz^[4]와 MTRACK^[5]의 경우 수동 관절형의 무한궤도가 전방에 추가 장착된 형태로서 중력과 탄성등을 이용하여 지형 적응성을 높이고 있다. Shrimp^[6]와 TAMRY^[7]의 경우 전방의 4절 링크 형태의 바퀴지지부가 장애물과 접촉 시 탄성에 의해서 바퀴가 상승할 수 있는 구조를 가지고 있다.

수동 관절형 이동 로봇의 경우 돌출된 형태의 지형에 대해 높은 지형 적응성을 가지는 반면 함몰 지형의 경우 바퀴나 무한궤도가 함몰부에 고착될 수 있는 단점을 가지고 있다. 따라서 관절을 능동적으로 구동하는 방식의 로봇들이 개발되고 있다.

PackBot^[8]의 경우 고정된 무한궤도 이동체의 전방 좌우에 무한궤도 아암을 추가 장착한 형태이며, Chaos^[9]의 경우 4개의 무한궤도 아암이 독립적으로 구동될 수 있는 형태를 가짐으로써 협지에서의 이동성을 더욱 높이고 있다. 특히 협지 주행시 전방 아암을 연속 회전시킴으로써 돌출된 장애물을 용이하게 극복할 수 있다.

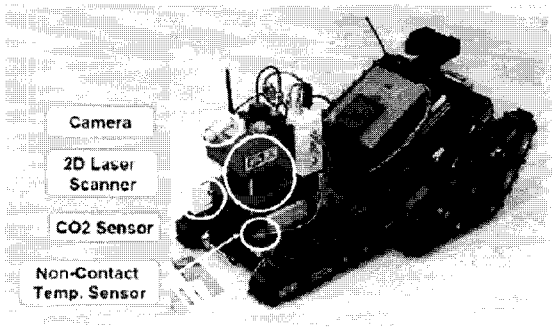


그림 2. RobHaz-DT3

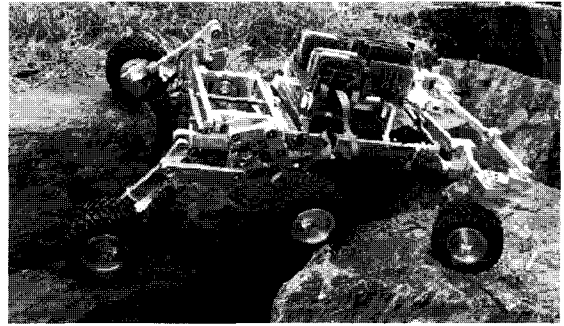


그림 5. TAMRY

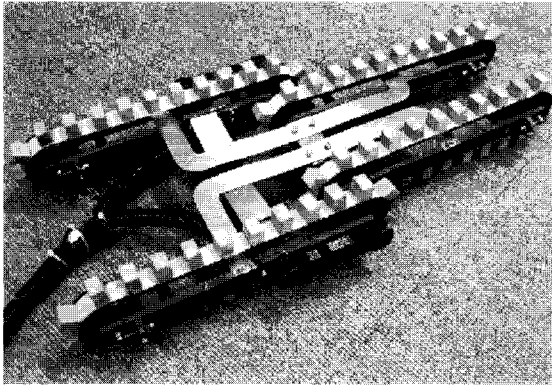


그림 3. MTRACK

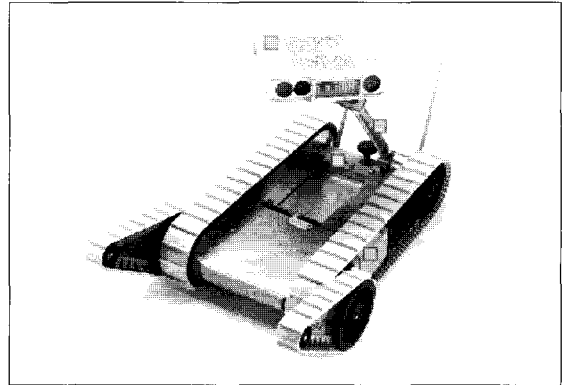


그림 6. PackBot

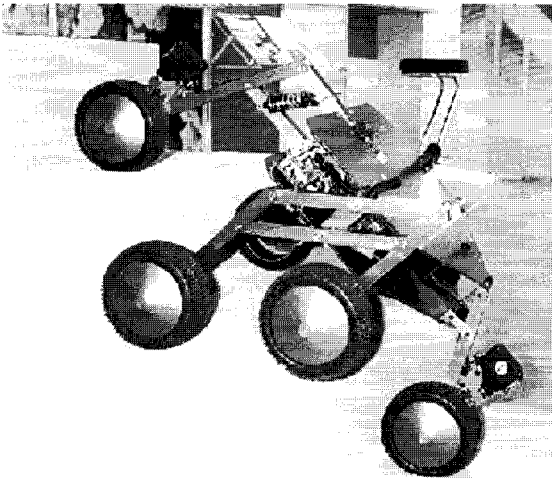


그림 4. Shrimp

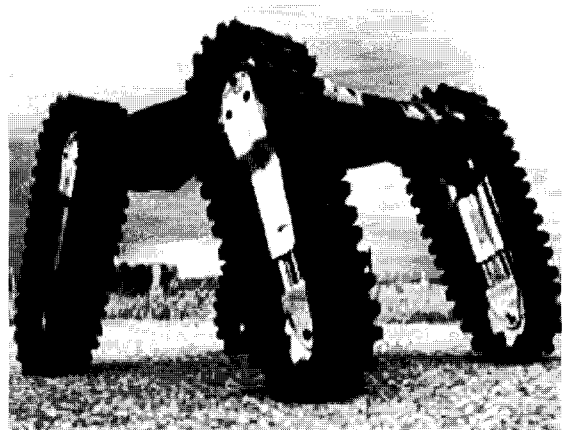


그림 7. Chaos

QuadTrack¹⁰⁰ 역시 Chaos와 외관상 동일한 형태를 가지고 있으나 무한 궤도 아암 내부에 구동에 필요한 모터와 감속기, 제어기를 내장시킴으로써 몸체에 비해 무한 궤도 아암의 중량이 상대적으로 높은 것을 특징으로 한다. 따라서 무한 궤도 아암의 움직임에 의해 로봇의 무게 중심을 이동시킬 수 있으며 무게 중심의 이동은 지면과의 착지력 분포를 변화시킴으로써 지형 적응성을 더욱 향상시킬 수 있다.

능동 관절의 경우 관절 구동을 통해 험지 이동성을 향상시킬 수 있는 반면, 구동부의 추가 및 중량 증가 문제점이 있으며 지형 적응적인 제어 기법이 요구된다.

붕괴 틈새와 같이 매우 좁은 지형 내부에서의 인명 탐색을 위해서는 직렬 다관절형 로봇이 선호되고 있으며 다양한 형태의 로봇들이 개발되고 있다.

이와 같은 로봇들은 여러 개의 모듈들이 관절에 의해 연결되어 있으며 이 관절들은 능동으로 구동되거나 탄성 관절과 같은

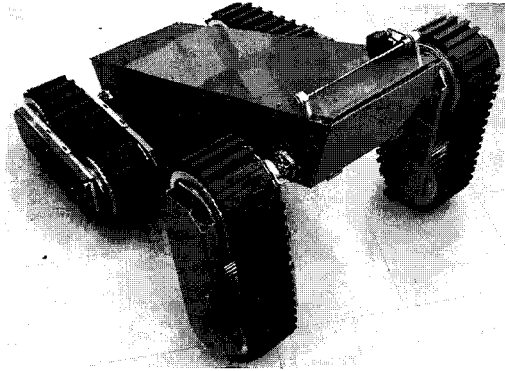


그림 8. QuadTrack

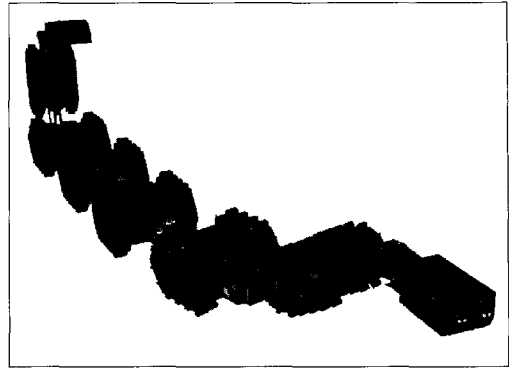


그림 11. Kohga

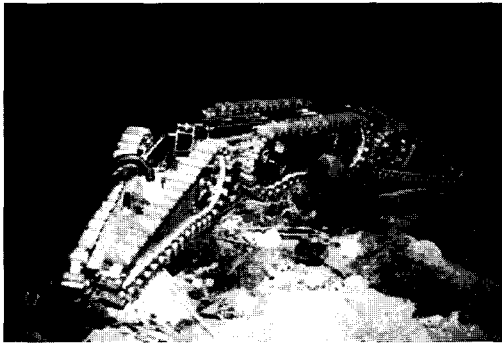


그림 9. Souryu



그림 12. Moira

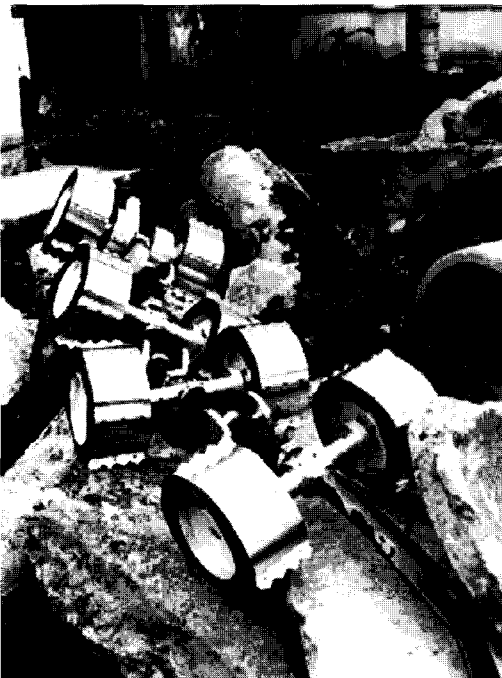


그림 10. Genbu

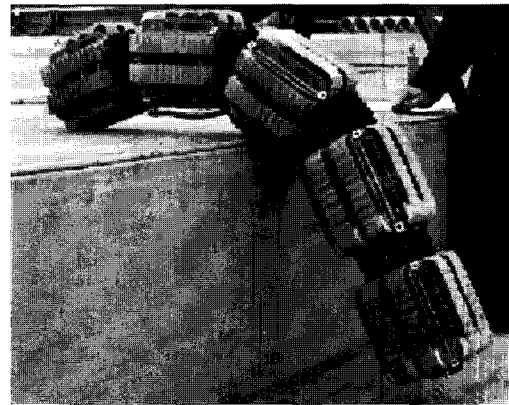


그림 13. OmniTread

수동 관절을 가진다. 또한 각 모듈은 주행력을 가지기 위해서 능동적으로 구동되는 바퀴나 무한 궤도를 가지기도 하며 수동

바퀴를 가지기도 한다.

관절을 능동적으로 구동하기 위해서는 좁은 공간 내에 고 토크의 소형 구동 장치를 장착해야하고 지형 적응적인 관절 제어 기법이 요구된다.

GenbuTM는 2개의 모듈이 탄성 관절에 의해 연결되어 있으며 각 모듈의 바퀴가 능동 구동되는 형태를 가지고 있다. 탄성 관절을 가지기 때문에 중력에 의해 지면과의 접촉 상태를 어느 정도 유지할 수 있다.

Kohga^[12]는 모듈을 연결하는 관절이 2자유도 또는 3자유도로 능동적으로 구동되며 각 모듈의 무한궤도들은 독립적으로 능동 구동된다.

Soryu^[13]는 2개의 관절이 2자유도로 능동적으로 구동되며 무한궤도 역시 능동적으로 구동된다. 특히 모든 무한궤도는 하나의 구동장치에 의해 구동될 수 있도록 하여 구동 장치의 수를 줄이고 있다. 또한 좁은 틈새를 비집고 들어가기 위해서 무한궤도는 썩기 형태를 가지고 있다.

임의 방향의 지면 접촉시 구동력을 가지도록 하기위해서 Moira^[14]와 OmniTread^[15]는 4면에 무한궤도를 장착한 형태이며 모든 관절은 능동적으로 구동된다.

4. 결론

재난 발생시 인명을 구조할 수 있는 다양한 로봇들이 국내외적으로 개발되고 있으며 구조 작업자가 인명 탐색 작업에만 집중하기 위해서는 간단히 조작으로 높은 이동성을 가지는 로봇이 요구되고 있다. 현재 높은 이동성을 가지기 위해서 능동 구동되는 다관절 형 로봇들이 개발되며 이를 위해서는 소형 고토크의 구동장치의 구현이 요구된다. 또한 조작성을 높이기 위해서는 다수의 능동 관절에 대한 지형 적응적인 제어 기법이 요구된다. 지형 적응적 제어 기법을 구현하기 위해서는 지형과의 접촉을 감지해야 하며 다양한 접촉 조건에서 조작자의 명령에 따라 효과적인 제어를 실현하는 것은 향후 지속적으로 연구되어야 할 과제이다.

참고 문헌

[1] J. Casper, and R.R. Murphy, "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] R. Murphy, "Trial by Fire," *IEEE Robotics & Automation Magazine*, pp.50-61, Sep, 2004.

[3] D. Platt, "The use of robots as a search tool," *Fire Eng.*, vol. 155, no.10, pp. 37-41, 2002.

[4] W. Lee, S. Kang, M. Kim, K. Shin, "Rough Terrain Negotiable Mobile Platform with Passively Adaptive Double-Tracks and Its Application to Rescue Missions and EOD Missions," *ICCAS2005*, 2005.

[5] 박해원, 육경환, 박노철, 양현석, 박영필, 김승호, 박용현, 강영환, "수동 링크 메커니즘을 이용한 트랙형 이동 로봇의

설계," *CASS2006*, pp.92-96, 2006.

[6] flyerShrimpIII.pdf, <http://www.bluebotics.com>.

[7] 이상원, 육경환, 양현석, 박노철, "센서융합을 이용한 부정지형 적응형 이동로봇의 장애물 회피," 제어·자동화·시스템공학논문지, 제13권, 제2호, pp.93-100, 2007.

[8] <http://www.irobot.com>.

[9] <http://www.autonomoussolutions.com>.

[10] 정경민, 강종규, 이근형, 이성욱, 서용철, 최창환, 정승호, 김승호, "재난인명 탐색을 위한 로봇 시스템 개발," 제어·자동화·시스템공학논문지, 제13권, 제2호, pp.114-120, 2007.

[11] http://www-robot.mes.titech.ac.jp/robot/snake/genbu/genbu_e.html.

[12] <http://www.hi.mce.uec.ac.jp/matsuno-lab/kohga.html>.

[13] http://www-robot.mes.titech.ac.jp/robot/snake/soryu/soryu_e.html.

[14] <http://www.control.mech.kobe-u.ac.jp/osuka/moira.html>.

[15] http://www.engin.umich.edu/research/mrl/00MoRob_6.html

저자 약력



정경민

- 1988년 서울대 기계설계학과 학사
- 1990년 KAIST 생산공학과 석사
- 1995년 KAIST 정밀공학과 박사
- 2002년~현재 한국 원자력 연구원
- 관심분야 : 이동로봇, 환경인식 기술



이성욱

- 1993년 KAIST 정밀공학과 학사
- 1995년 KAIST 정밀공학과 석사
- 2002년 KAIST 기계공학과 박사
- 2003년~현재 한국원자력 연구원
- 관심분야 : 비선형 제어, 극한 작업 로봇, 유압 제어, Teleoperation.



정승호

- 1984년 연세대 기계공학과 학사
- 1987년 연세대 기계공학과 석사
- 1992년 연세대 기계공학과 박사
- 1992년~현재 한국 원자력 연구원
- 관심분야 : 로봇 시스템 설계 및 제어, 시스템 모델링 및 해석.



김승호

- 1979년 연세대 기계공학과 학사
- 1983년 연세대 기계공학과 석사
- 1988년 연세대 기계공학과 박사
- 1980년~현재 한국 원자력 연구원
- 관심분야 : 극한지역 작업로봇, 로봇제어 및 응용