

## 재난 인명 탐색을 위한 로봇 시스템 개발

### Development of a Robotic System for Searching Human Victims in Disasters

정 경 민\*, 강 종 규, 이 근 형, 이 성 욱, 서 용 칠, 최 창 환, 정 승 호, 김 승 호  
(Kyungmin Jeong, Jongkyu Kang, Geunhyung Lee, Sung-uk Lee, Yongchil Seo,  
Changhwan Choi, Seungho Jung, and Seungho Kim)

**Abstract** : This paper introduces a mobile robotic system being developed for urban search and rescue. In order to search human victims in narrow spaces, we developed two types of serially linked mobile robots, named KAEROT-Centipede and KAEROT-SnakeTV1, that can climb over large vertical steps or travel inside narrow vertical pipes. To send such mobile robots to the disaster areas coping with large obstacles, we also developed a assistant mobile robot, named KAEROT-QuadTrack, that has 4 articulated track modules. This paper describes the mechanical structure and control architecture of the serially linked mobile robots and the supporting configuration for torque reduction of the assistant mobile robot during spinning motion that usually requires large driving torque. The experimental results show that such robotic systems have good mobility over the various terrains in disaster areas.

**Keywords** : mobile robot, urban search and rescue, serially linked mobile robot, multiple track mechanisms

#### I 서론

대규모 화재, 지진, 폭탄 테러 등과 같은 대형 재난은 대규모의 인명 손실로 이어질 수 있으며 이로 인한 건물 붕괴 시 붕괴 잔해물에 고립된 생존자의 신속한 구조는 사후 인명 손실의 최소화를 위해 매우 중요하다. 하지만 구조 요원 및 탐색견에 의존하는 기존의 고립 생존자 구조 방식은 붕괴 잔해물로 인하여 생존 공간으로의 접근이 크게 제한되고 탐색 작업 중의 추가 붕괴로 인해 탐색 작업자 또는 생존자의 위험성이 증대되기 때문에 많은 어려움이 있다. 이와 같은 어려움을 해결하기 위한 수단으로서 로봇 시스템을 이용한 생존자 탐색 방식에 대한 연구 개발이 점차 활발해져가고 있다.

미국의 경우 911 테러에 의한 세계무역센터 붕괴 시 생존자 탐색 및 복구과정에서 로봇 시스템들이 대규모로 사용되었다[1]. 또한 지진에 의한 재난이 많은 일본의 경우 지진 발생 시 인명 탐색을 위한 다양한 로봇들이 개발되고 있다[2].

국내에서도 2004년부터 국가 10대 성장동력사업으로 추진되고 있는 “지능형 로봇 사업”의 일환으로서 “재난극복 및 인명구조 로봇 기술개발”과제가 진행 중에 있으며 재난 환경을 극복하며 인명탐색 작업을 수행할 수 있는 로봇 개발이 진행되고 있다. 911 사고 당시에 로봇은 붕괴 잔해물

내에서 희생자 탐사 및 생존 공간으로의 통로 탐사를 1차적으로 수행하였으며 복구 과정에서는 건물 구조물 진단, 유해 물질 감지 등을 목적으로 사용되었다.

인명 탐색 시에는 구조원과 수색견이 접근하지 못하는 지역에 대해서만 로봇을 사용하였고, 이때 자율 기능을 가진 고기능의 로봇보다는 운반과 조작성이 용이한 원격조작 소형로봇이 주로 사용되었으며 소형 로봇은 협소 공간 내부에서의 이동이 가능하다는 장점을 가지고 있다.

하지만 소형 탐색 로봇은 붕괴 잔해물 더미상에서의 이동이 용이하지 못하기 때문에 구조원들은 탐색지역으로 구조 장비와 함께 소형 탐색 로봇을 운반하여야 하는 어려움이 있었다. 이러한 붕괴 잔해물 더미를 경유하는 운반 과정은 구조원들의 체력 소모를 유발할 수 있으며, 지반의 추가 붕괴로 인해 구조원의 안전 및 지하에 고립되었을 수 있는 생존자의 생명을 크게 위협할 수 있다. 따라서 이와 같은 탐색지역으로의 이동 과정에서의 어려움은 인명 탐색 작업에서 로봇의 활용을 저해하는 하나의 주요 원인으로 판단된다.

본 논문에서 소개하는 인명 탐색 로봇 시스템은 구조원이나 탐색견이 도달할 수 없는 붕괴 잔해물 틈새나 붕괴건물내의 덕트, 배관과 같은 협소 지역을 탐색할 수 있는 소형 로봇과 이를 탐색 지역으로 운반시켜주는 탐색 지원 이동 로봇으로 구성되어 있다. 탐색 지원 이동 로봇은 소형 로봇의 영상 전송 및 통신, 전원 중계기 역할을 수행하며 붕괴 사고 초기에 탐색 지역으로의 구조원들의 안전한 접근 경로를 개척하고 구조 장비 운반 수단으로서도 활용되는 것을 목적으로 한다. 인명 탐색용 소형 로봇인 KAEROT-Centipede와 KAEROT-SnakeTV1은 여러 개의 회전 관절 모듈이 직렬로 연결된 이동로봇으로서 비정형 지형이나 협소 관내를 이동할 수 있다. 지형 적응성을 높이기 위

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2006. 12. 26., 채택확정 : 2007. 1. 5.

정경민, 강종규, 이근형, 이성욱, 서용칠, 최창환, 정승호, 김승호 : 한국원자력연구소 원자력로봇팀

(kmjeong@kaeri.re.kr/intosky809@naver.com/sadthink@paran.com/sulee@kaeri.re.kr/ycseo@kaeri.re.kr/madistech@kaeri.re.kr/shjung2@kaeri.re.kr/robotkim@kaeri.re.kr)

※ 본 논문의 연구는 산업자원부 지능형로봇사업단의 지원으로 수행되었음.

해 4개의 무한궤도 모듈이 독립적으로 구동할 수 있는 KAEROT-QuadTrack은 무한 궤도 모듈의 구동에 의해 지면과의 접촉 상태의 변화 및 무게 중심의 이동이 가능하다.

본 논문에서는 이와 같은 다양한 로봇에 대한 소개 및 해석, 계단 지형 등에 대한 이동 실험 결과 및 향후 개발 방향을 제시한다.

**II. 협소구역 탐색로봇**

붕괴 재난 발생시 인명 탐색을 위한 협소 구역 탐색 로봇은 붕괴 잔해물 더미 틈새나 배관/덕트 등 좁은 지역을 통해 이동해야 하며 특히 상승 또는 하강이 필요할 수도 있다. 이와 같이 이동 공간의 제한성과 높은 이동성을 가지기 위해서 직렬 다관절형의 이동로봇이 많이 연구되고 있다[3-11].

직렬 다관절형 로봇은 여러 개의 모듈이 직렬 연결된 구조로서 관절은 수동 또는 능동으로 동작되며 주행력 증대를 위해 바퀴나 무한궤도가 능동적으로 구동되기도 한다.

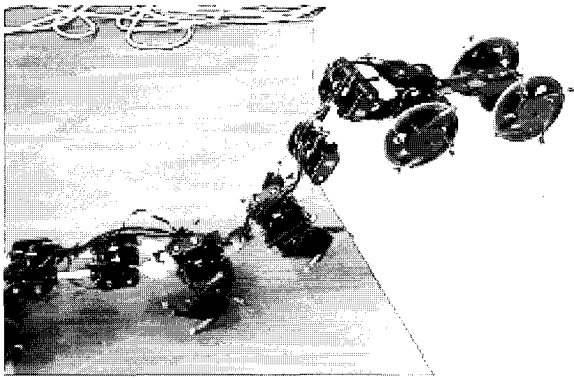


그림 1. 다관절 모듈러 로봇.

Fig. 1. KAEROT-centipede.

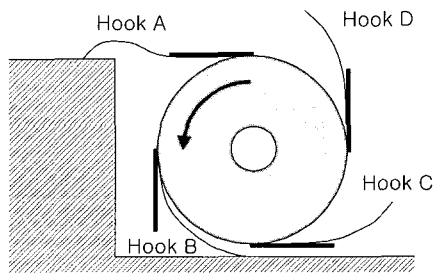


그림 2. 비대칭 탄성 훅 장착 바퀴.

Fig. 2. Wheel with unsymmetric compliance hooks.



그림 3. KAEROT-SnakeTV1.

Fig. 3. KAEROT-SnakeTV1.

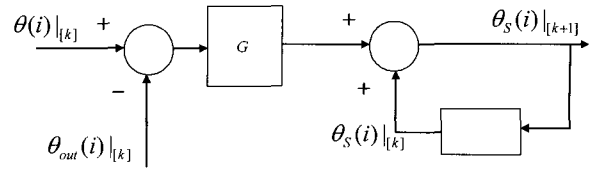


그림 4. 편심각 결정.

Fig. 4. Offset angle.

본 연구에서 시험 개발한 KAEROT-Centipede는 그림 1과 같이 3개의 모듈로 구성되어 있으며 4개의 구동기에 의한 4자유도 회전 관절로 연결되어 있다. 또한 각 모듈은 4개의 능동형 바퀴에 의해 주행력을 발생시킨다.

이 로봇의 관절은 P-T-T-P 형태의 4자유도 능동 회전형 관절로 모듈간을 결합하여 높은 수직 장애물의 경우 능동 관절을 이용하여 몸체를 들어 올리는 형태의 주행이 가능하다.

Centipede는 수직 턱 장애물 등판 능력을 증대시키기 위해서 원형 바퀴와 함께 그림 2와 같이 비대칭 탄성 특성을 가지는 4개의 탄성 훅(Hook)을 장착한 바퀴를 결합하여 사용하였다. 비대칭 탄성 훅은 바퀴 반경 중심방향 또는 그 반대방향으로 힘이 가해졌을 때 그 탄성특성이 다르게 나타나서 그림 2의 훅A의 경우 수직 장애물에 의해 인가된 힘에 대해서 그 변형이 크지 않아서 원형 바퀴만으로는 승월할 수 없는 수직 장애물을 올라 갈 수 있다. 하지만 훅 B와 같이 바퀴 아래 지면과 접촉하는 경우에는 변형이 크게 되어서 지면과의 연속적인 접촉을 유지할 수 있는 특성을 가진다.

전·후방 모듈의 경우, 원형 바퀴의 크기를 증대시켜 지면과의 연속적인 접촉을 유도하여 평지 주행시 큰 주행력을 발휘하도록 하였다. 또한 중앙 모듈의 경우, 훅을 장착한 바퀴만을 배치하였으며 이는 수직 장애물 등판 시 등판력을 증대시키는 효과를 발생시킨다.

KAEROT-Centipede의 경우 높은 수직 장애물의 극복 능력은 뛰어나지만 전복의 위험성이 있으며 수직 배관 형태의 협소 구역의 상승 능력이 없기 때문에 본 연구에서는 그림 3과 같이 바퀴의 주행력 없이 능동 관절만으로 이동할 수 있는 KAEROT-SnakeTV1을 시험 개발하였다.

KAEROT-SnakeTV1은 12개의 소형 모터를 직렬 연결하였으며 주기적인 관절 운동에 의해 이동이 가능하다.

각 관절의 각도는 다음과 같이 일정한 위상차를 갖는 정현파 신호에 따라 구동된다.

$$\theta(i) = \theta_s(i) + A(i) \sin(\omega t + \frac{2\pi}{\lambda} i) \quad (1)$$

$$(i = 0, 1, 2, \dots, 11)$$

여기에서,  $i$ 는 관절의 번호,  $\theta(i)$ 는  $i$ 번째 관절의 각도,  $\theta_s(i)$ 는 각 관절 각도의 편심각,  $A(i)$ 는 정현파 진동의 진폭,  $\omega$ 는 각진동수,  $\lambda$ 는 파장으로서 각 관절이 한 주기 안에서 위치하는 각도를 결정한다.

직관 이동의 경우 관의 직경에 따라서 정현파 진동의 진

폭  $A(i)$ 를 가변시킴으로써 다양한 관 직경에 대응할 수 있다.

또한 곡관의 경우 곡관의 형태에 능동적으로 적응하여 주행할 수 있도록 편심각  $\theta_s(i)_{[k+1]}$ 를 그림 4와 같이 결정된다.

그림 4에서  $\theta_{out}(i)_{[k]}$ 은 시간 k에서 관절의 각도 출력이며,  $G$ 는 오차에 대한 이득을 나타내며 굴곡관의 곡률이 클수록 지령된 관절각도  $\theta(i)_{[k]}$ 와 실제 측정된 관절각도  $\theta_{out}(i)_{[k]}$ 의 오차가 커지며 이를 적분하여 편심각  $\theta_s(i)_{[k+1]}$ 가 커지도록 한다.

III. 탐사 지원 이동 로봇

이동 로봇이 다양한 지형에서 신속 이동성, 주행 안정성과 같은 지형 적응 능력을 가지기 위해서는 구동부의 수를 증대시키고 그 형상을 변화시킬 수 있는 다관절형 이동 메커니즘이 적용되어가고 있는 추세이다[12,13]. 이는 주행 메커니즘의 형상변형을 통해 지면과의 견고한 접촉 상태를 유지함으로써 주행력을 상실하지 않고 안정성을 확보하기 위함이다. 이와 같이 지형 적응 능력 증대를 위한 다관절화 는 지형 형상에 따라 그 형상을 변화시킬 수 있는 새로운 제어 방식을 요구하고 있다. 탐사지원 이동 로봇은 협소구역 탐사 로봇을 몸체 내부에 탑재한 상태로 인명 탐사가 요구되는 지역으로 이동하는 것이 주 목적이므로 몸체 내부에 협소 구역 탐사 로봇의 탑재를 위한 내부 공간이 요구된다. 본 연구에서는 그림 5와 같이 아암 구동이 가능한 무한궤도 모듈 내부에 모터 및 제어기를 내장함으로써 몸체 내부를 협소구역탐사로봇의 탑재공간으로 활용할 수 있는 KAEROT-QuadTrack을 개발하였다.

별도의 조행 장치가 없는 Skid Steering방식은 선회 시 많은 토크가 요구된다. 다관절형 무한궤도 이동 로봇은 아암의 구동에 의해 착지형상을 바꿈으로써 선회 토크를 저감시킬 수 있다.

1. 궤도 구동 토크

그림 6에서 좌표계  $\{OXY\}$ 는 지면에 고정된 고정좌표계 이고  $\{OXY\}$ 는 로봇 몸체에 고정된 이동 좌표계로서 그 중심은 로봇의 무게 중심위치이며  $x$  축 방향은 몸체의 길이 방향과 일치한다[14].

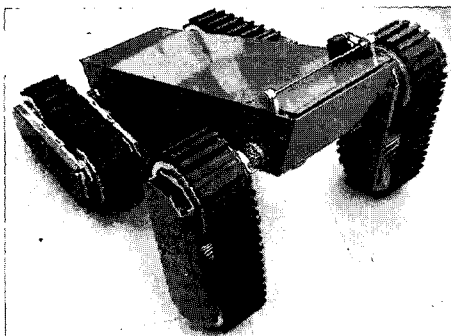


그림 5. KAEROT-QuadTrack.  
Fig. 5. KAEROT-QuadTrack.

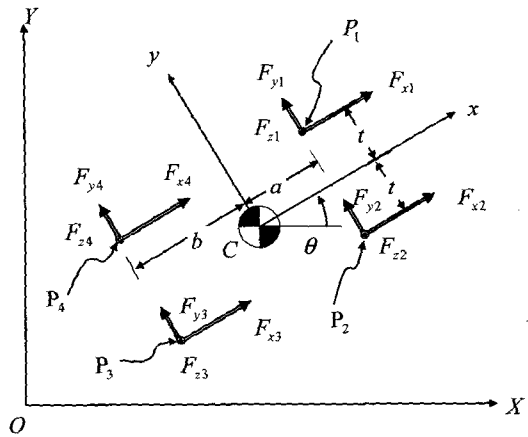


그림 6. 착지 형상.  
Fig. 6. Supporting configuration.

로봇의 4개의 무한궤도와 지면은 착지점  $P_i$ 에서 각각 점접촉하고 그림 6과 같이 좌우 대칭 형태라고 가정하고, 지면으로부터 가해지는  $x, y, z$  방향 반력을 각각  $F_{xi}, F_{yi}, F_{zi}$ 라 하자.

로봇의 무게 중심 C의 절대 속도의  $x, y$  방향 성분을 각각  $\dot{x}_c, \dot{y}_c, X, Y$  방향 성분을 각각  $\dot{X}_c, \dot{Y}_c$ 라 하고 로봇의 회전 각속도를  $\dot{\theta}$ 라 하면 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_c \\ \dot{Y}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_c \\ \dot{y}_c \end{bmatrix} \tag{2}$$

위 (2)를 미분하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \ddot{X}_c \\ \ddot{Y}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_c - \dot{y}_c \dot{\theta} \\ \ddot{y}_c + \dot{x}_c \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \end{bmatrix} \tag{3}$$

여기에서  $a_x, a_y$ 는 차량 중심의 절대 가속도의  $x, y$  방향 성분이다.

착지점  $P_i$ 의 절대 속도  $[\dot{X}_i \ \dot{Y}_i]$ 의  $x, y$  방향 성분  $[\dot{x}_i \ \dot{y}_i]$ 는 다음과 같이 유도된다.

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 = \dot{x}_4 = \dot{x}_c - b\dot{\theta} & \quad \dot{x}_2 = \dot{x}_3 = \dot{x}_c + b\dot{\theta} \\ \dot{y}_1 = \dot{y}_2 = \dot{y}_c + a\dot{\theta} & \quad \dot{y}_3 = \dot{y}_4 = \dot{y}_c - b\dot{\theta} \end{aligned} \tag{4}$$

$z$  방향의 지면 수직 반력  $F_{zi}$ 는 정적 평형조건으로부터 다음과 같이 유도된다.

$$\begin{aligned} F_{z1} = F_{z2} &= \frac{b}{a+b} \frac{W}{2} \\ F_{z3} = F_{z4} &= \frac{a}{a+b} \frac{W}{2} \end{aligned} \tag{5}$$

$i$ 번째 무한궤도의 궤도 구동 토크를  $T_{wi}$ 라 하고,  $x$  방향 지면 반력  $F_{xi}$ 는 궤도 바퀴 구동에 의한 반발력으로서 정 마찰 계수를  $\mu_{si}$ 라 할 때, 다음과 같이 미끄러짐이 없다고 가정한다.

$$F_{xi} = \frac{T_{wi}}{r_p}, \quad |F_{xi}| \leq \mu_{si} F_{zi} \quad (6)$$

y 방향 지면 반력  $F_{yi}$ 는 축 방향 지면 반발력으로서 등마찰 계수를  $\mu_{ki}$ 라 할 때, 다음과 같이 미끄러진다고 가정한다.

$$F_{yi} = -\text{sign}(\dot{y}_i) \mu_{ki} F_{zi} \quad (7)$$

$$\text{sign}(w) = \begin{cases} +1, & w > 0 \text{ 일 경우} \\ -1, & w < 0 \text{ 일 경우} \end{cases}$$

따라서 로봇의 질량을  $m$ , 회전관성모멘트를  $I_z$ 라 할 때, 다음과 같은 운동 방정식이 유도된다.

$$ma_x = m(\ddot{x}_c - \dot{y}_c \dot{\theta}) = \sum_i F_{xi} = r_p \sum_i T_{wi}, \quad |T_{wi}| \leq \mu_{si} r_p F_{zi}$$

$$ma_y = m(\ddot{y}_c + \dot{x}_c \dot{\theta}) = \sum_i F_{yi} = \sum_i \text{sign}(\dot{y}_i) \mu_{ki} F_{zi}$$

$$I_z \ddot{\theta} = t(F_{z2} + F_{z3} - F_{z1} - F_{z4}) + a(F_{y1} + F_{y2}) - b(F_{y3} + F_{y4}) \quad (8)$$

주행 모터의 토크들이 다음과 같은 조건을 만족시키며 로봇이 반시계 방향으로 회전한다고 할 때,

$$\begin{matrix} T_{w2}, T_{w3} > 0 \\ T_{w1}, T_{w4} < 0 \end{matrix} \quad (9)$$

각 착지점의 등마찰계수  $\mu_{ki} = \mu_k$ 이고 로봇의 순간 회전 중심이 지지 다각형  $\square P_1P_2P_3P_4$  내에 있으면서 등속 회전한다고 하면, (8)의 회전 모멘트 변화 식으로부터 다음 식이 유도된다.

$$\begin{aligned} & \frac{t}{r_p} (T_{w2} + T_{w3} - T_{w1} - T_{w4}) \\ &= \mu_k [a(F_{z1} + F_{z2}) + b(F_{z3} + F_{z4})] \quad (10) \\ &= \mu_k W \frac{2ab}{a+b} = \mu_k W b \frac{2a/b}{a/b+1} \end{aligned}$$

$T_{w2} = T_{w3} = -T_{w1} = -T_{w4} = T_w$ 라 할 경우, 위 식으로부터 케드 구동 토크  $T_w$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$T_w = r_p \mu_k W b \frac{2a/b}{a/b+1} \quad (11)$$

(11)로부터  $b$ 가 일정할 경우  $a/b$ 가 작을수록 요구되는 토크  $T_w$ 가 작아짐을 알 수 있다.

2. 아암 구동 토크

KAEROT-QuadTrack의 경우 4개의 무한궤도 아암의 구동이 가능하기 때문에 그림 7과 같이 물체를 기립시킴으로써  $a/b$ 를 변경시킬 수 있다.

그림 7(a)는 전방 무한궤도 아암을 반시계 방향으로 회전시키며 물체를 기립함으로써  $a/b$ 를 증가시키는 예를 나타내며, 그림 7(b)는 전방 무한궤도 아암을 시계방향으로 회전시켜 물체를 기립함으로써  $a/b$ 를 감소시키는 예를 나타낸다. 두 가지 경우에 대해 전방 아암을 구동하기 위한 토크는 구하면 다음과 같다. 이때 후방 무한궤도 아암에 의해 발생하는 토크는 0으로 가정한다.

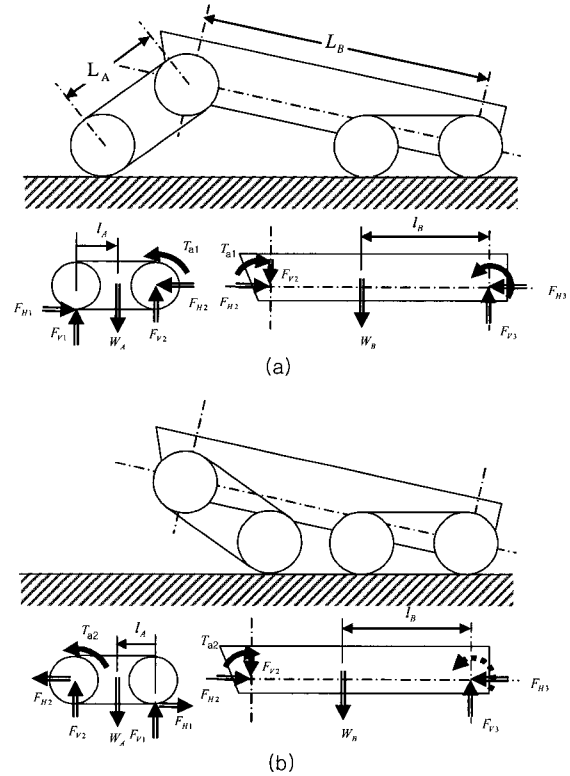


그림 7. 아암 구동에 의한 물체 기립.

Fig. 7. Lifting of body with forearms.

그림 7(a)와 같이 전방 무한궤도 아암이 물체 전방을 지지하여 물체를 기립시킬 경우 요구되는 아암 구동 토크  $T_{a1}$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} F_{v1} &= \frac{l_B W_B + (L_A + L_B - l_A) W_A}{L_A + L_B}, \\ F_{v3} &= \frac{(L_A + L_B - l_B) W_B + l_A W_A}{L_A + L_B}, \\ F_{v2} = W_A - R_{v1} &= \frac{l_A W_A - l_B W_B}{L_A + L_B} \quad (12) \\ T_{a1} &= L_A F_{v1} - r_p F_{H1} - (L_A - l_A) W_A \\ &= \frac{L_A l_B W_B + L_B l_A W_A}{L_A + L_B} - r_p F_{H1} \end{aligned}$$

그림 7(b)와 같이 무한궤도 아암이 물체 중간에서 지지하여 물체를 기립시킬 경우 요구되는 토크  $T_{a2}$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} F_{v1} &= \frac{l_B W_B + (L_B - L_A + l_A) W_A}{L_B - L_A}, \\ F_{v3} &= \frac{(L_B - L_A - l_B) W_B - l_A W_A}{L_B - L_A}, \\ F_{v2} = W_A - R_{v1} &= -\frac{l_A W_A + l_B W_B}{L_B - L_A} \quad (13) \\ T_{a2} &= L_A F_{v1} - r_p F_{H1} + (L_A - l_A) W_A \\ &= -\frac{L_A l_B W_B + L_B l_A W_A}{L_B - L_A} - r_p F_{H1} \end{aligned}$$

따라서 그림 7(b)와 같이 몸체 중간을 지지하여 몸체를 기립할 경우 매우 큰 토크가 요구된다.

IV. 실험 결과

표 1은 KAEROT-Centipede의 사양을 나타낸다. KAEROT-Centipede의 지형 적응성 실험을 위해 그림 8과 같은 험지 경사지, 굴곡 관, 계단 등에 대한 주행 실험을 수행하였다.

표 1. KAEROT-Centipede 사양.

Table 1. Specifications of KAEROT-Centipede.

항목	단위	사양	비고
중량	kg	1.6	배터리 제외
길이×폭×높이	m×m×m	1.2×0.14×0.12	
최대 경사	deg	45	야지
최대 높이	mm	0.25	수직
최소 관직경	mm	200	

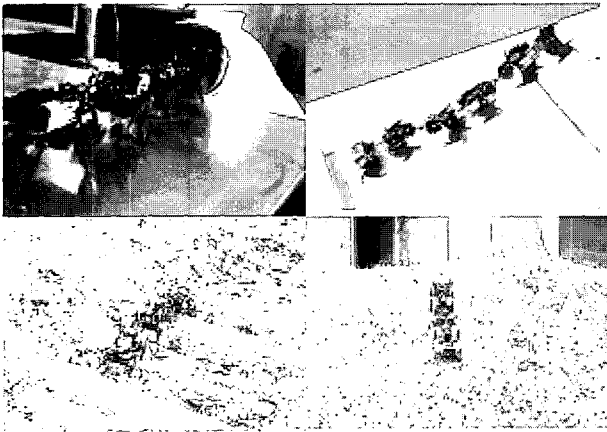


그림 8. 다양한 지형에 대한 주행 실험.

Fig. 8. Test scenes for various terrains.

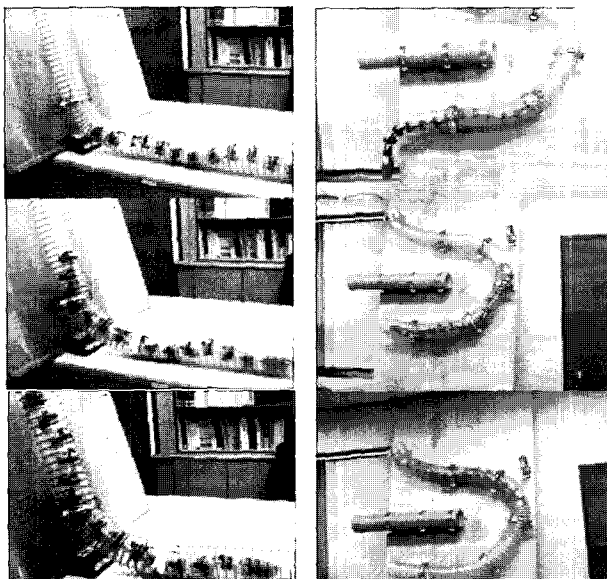


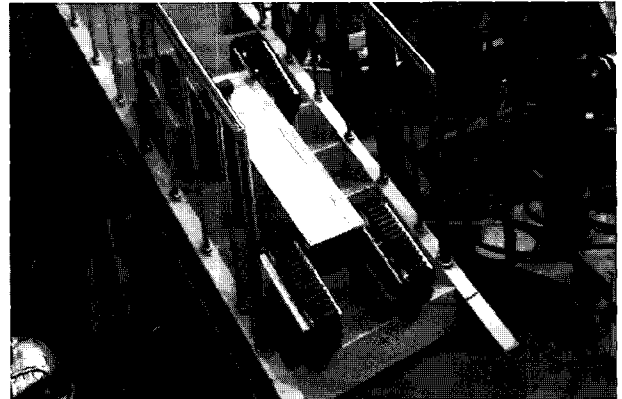
그림 9. KAEROT-SnakeTV1의 배관 주행 실험.

Fig. 9. Test scenes of KAEROT-SnakeTV1.

표 2. KAEROT-QuadTrack의 기본 사양.

Table 2. Specifications of KAEROT-QuadTrack.

항목	단위	사양	비고
중량	kg	60	
높이	mm	300	
폭	mm	680	
길이	mm	1000	
최대 속도	km/h	2	평지
최대 등판경사각	deg	45	계단
최대 장애물높이	mm	400	수직장애물



(a) 45도 계단 승월



(b) 계단 참 회전

그림 10. 계단 경사 주행 실험.

Fig. 10. Test scenes of KAEROT-QuadTrack.

관절부의 탄성 특성으로 인해 굴곡 관의 경우 200mm의 주름관을 원형바퀴와 탄성 폭의 주행력만으로 별다른 관절 조작없이 통과가 가능하였다.

그러나 곡관 등 복잡한 관 형상에 대해서 주행력을 유지하기 위해 구동 바퀴의 착지 방향에 대한 적응 제어가 요구됨을 확인하였다. 또 험지 경사지의 경우 폭 바퀴의 사용으로 약 45도 이상의 경사지를 등판할 수 있었으나, 바퀴의 폭이 지형 틈새에 고착될 경우 구동 모터에 과도 전류가 발생하고 이동이 불가능한 경우가 발생하였다. 하지만 높은 수직 장애물의 경우 장애물의 높이에 따른 일련의 관절 조작으로 로봇 높이의 2배 이상의 장애물에 대한 등판이 가

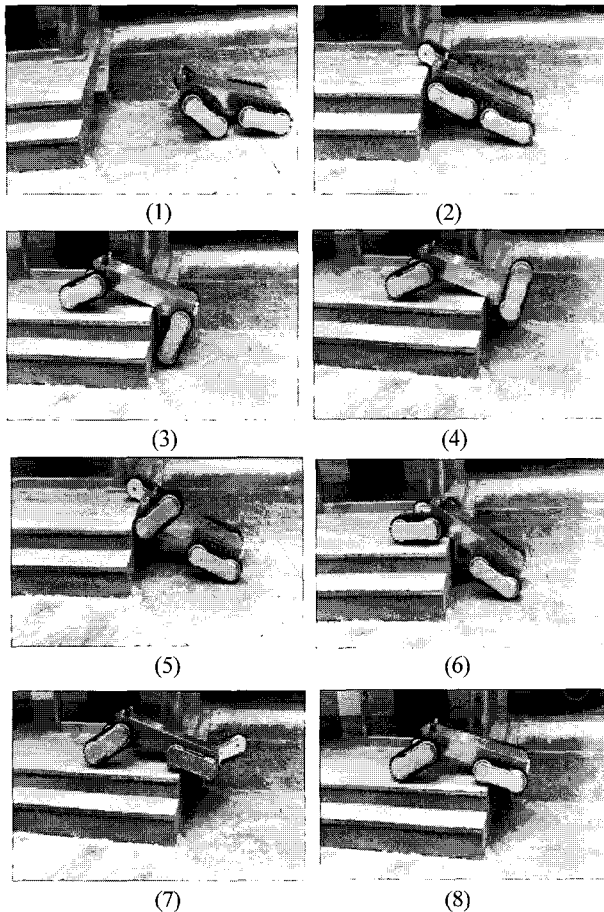


그림 11. 수직 장애물 승월 실험.

Fig. 11. Climbing sequences for a vertical step.

능하였다.

그림 9는 수직관, L자형 곡관, 굴곡관 등 다양한 형태의 배관에 대하여 KAEROT-SnakeTV1의 주행 실험 과정을 나타낸다. 다양한 형상의 배관에 대해 실험한 결과, 그림 9와 같이 배관 직경은 100mm, 수직관의 경우 주행 속도는 약 1.8cm/sec였으며 굴곡관의 경우 곡률반경 약 300mm의 배관 내부 주행이 가능하였다.

KAEROT-QuadTrack의 사양은 표 2와 같다. 그림 10은 KAEROT-QuadTrack을 이용하여 계단 장애물에 대한 주행 실험을 수행하는 장면이다. 아암 구동을 통한 형상 변형을 통해 45도 경사 계단을 주행할 수 있었으며 계단 참과 같이 협소한 구역에서도 몸체 기립을 통해 회전이 용이함을 확인하였다.

그림 11은 400mm 높이의 수직 장애물을 승월하는 실험 장면으로서 무한 궤도 아암의 구동에 의해 수직 장애물 상부에 착지할 수 있음은 물론 무게 중심의 이동에 의해서 수직 장애물 승월이 용이함을 나타내고 있다.

## V. 결론

본 논문에서는 “재난극복 및 인명구조 로봇 기술개발”과 제에서 개발하고 있는 다 관절형의 협소 구역 인명 탐색 로봇과 탐색 지원 이동 로봇의 개발 현황과 그 결과를 소

개하였다. 직렬 다관절형 로봇을 이용하여 수직관 상승 및 곡관 이동이 용이한 제어 기법을 제시하였고 다중 무한 궤도형 탐사 지원 이동 로봇의 선회 시 구동 토크를 저감하기 위한 방안을 제시하였다. 향후 지형 인식을 통한 다관절형 이동로봇의 지형 적응적 제어 기법에 대한 연구가 수행될 예정이다.

## 참고문헌

- [1] J. Casper and 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] S. Tadokoro, “MEXT special project for earthquake disaster mitigation in urban areas : Development of advanced robots and information systems for disaster response,” *JST Workshop on Robotics Projects and Future Funding Strategy*, pp. 64-74, 2004.
- [3] B. Klaassen and K. L. Papp, “GMD-SNAKE2: A snake-like robot driven by wheels and a method for motion control,” *Proc. of Int. Conf. on Robotics & Automation*, pp. 3014-3019, 1999.
- [4] W. Shuichi, N. Jun, T. Masanori, K. Takefumi, and S. Koichi, “A micro snake-like robot for small pipe inspection” *IEEE International Symposium on Micro-mechatronics and Human Science*, pp. 303-308, 2003.
- [5] F. Matsuno and K. Suenaga, “Control of redundant 3D snake robot based on kinematic model,” *Proc. of Int. Conf. on Robotics & Automation*, pp. 2061-2066, 2003.
- [6] S. Ma, H. Araya, and L. Li, “Development of a creeping snake-robot,” *Proc. of Int. Conf. on Computational Intelligence in Robotics and Automation*, pp. 77-82, 2001.
- [7] S. Ryew and H. Choi, “Double active universal Joint(DAUJ): Robotic joint mechanism for humanlike motions,” *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, vol. 17, no. 3, pp. 290-300, 2001.
- [8] M. Nilsson, “Why snake robots need torsion-free joints and how to design them,” *Proc. of Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 412-417, 1998.
- [9] M. Mori and S. Hirose, “Development of active cord mechanism ACM-R3 with agile 3D mobility,” *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 1552-1446, 2001.
- [10] G. Long, J. Anderson, and J. Borenstein, “The kinematic design of the OmniPede: A new approach to obstacle traversal,” *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 714-719, 2002.
- [11] E. Shamma, A. Wolf, H. Ben Brown Jr., and H. Choset, “New joint design for three-dimensional hyper redundant robots,” *Int. Conf. on Intelligent Robots and System*, pp. 3594-3599, 2003.

[12] W. Lee, S. Kang, M. Kim, and K. Shin, "Rough terrain negotiable mobile platform with passively adaptive double-tracks and its application to rescue missions and EOD missions," *ICCAS 2005*, 2005.

[13] K. Oka and K. Shibnuma, "Development of a radiation-

proof robot," *Advanced Robotics*, vol. 16, no. 6, pp. 493-496, 2002.

[14] S. Lakkad, *Modeling and Simulation of Steering Systems for Autonomous Vehicles*, Dissertation for Master of Science, The Florida State Univ., 2004.



**정 경 민**

1988년 서울대 기계설계학과 졸업. 1990년 한국과학기술원 석사. 1995년 동 대학원 박사. 2002년~현재 한국 원자력 연구소 원자력 로봇랩 선임연구원. 관심분야는 이동로봇, 환경인식 기술.



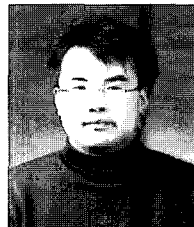
**강 종 규**

2003년 충남대 기계공학과 졸업. 2005년 동 대학원 석사. 2005년~현재 한국 원자력 연구소 원자력 로봇랩 석사후 연수생. 관심분야는 이동로봇 제어 및 모델링.



**이 근 형**

1999년 경일대 제어계측과 졸업. 2006년~현재 한국 원자력 연구소 원자력 로봇랩 학연학생 및 충남대 메카트로닉스 석사 과정. 관심분야는 RBF Network를 이용한 신경망 제어.



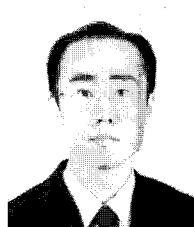
**이 성 욱**

1993년 한국과학기술원 정밀공학과 졸업. 1995년 동 대학원 석사. 2002년 동 대학 박사. 2003년~현재 한국원자력 연구소 원자력 로봇랩 선임연구원. 관심분야는 비선형 제어, 극한 작업 로봇, 유압 제어, Teleoperation.



**서 용 철**

1992년 대전공업대 금속공학과 졸업. 1985년~현재 한국원자력연구원 책임기술원. 관심분야는 로봇 기구 설계 및 정밀 가공, 원자력 시설 유지 보수 기술.



**최 창 환**

1995년 한양대 정밀기계공학과 졸업. 1997년 광주과학기술원 석사. 2001년 동 대학원 박사. 2002년~현재 한국 원자력 연구소 원자력 로봇랩 선임연구원. 관심분야는 로봇시스템 설계 및 제어, 비선형 제어, 전기모터, 임베디드

시스템.



**정 승 호**

1984년 연세대 기계공학과 졸업. 1987년 동 대학원 석사. 1992년 동 대학원 박사. 1992년~현재 한국 원자력 연구소 원자력 로봇랩 책임연구원. 관심분야는 로봇설계 및 모델링, 로봇 및 카메라 보정, 신호처리.



**김 승 호**

1979년 연세대 기계공학과 졸업. 1983년 동 대학원 석사. 1988년 동 대학원 박사. 1980년~현재 한국원자력연구소 원자력로봇랩 책임연구원. 관심분야는 극한지역 작업로봇 개발, 로봇제어 및 응용.