

# 복잡한 지형에서 변형 가능한 6족 로봇의 구현

## Implementation of a Transformable Hexapod Robot for Complex Terrains

✉ 유영국<sup>1</sup>, 공정식<sup>2</sup>, 김진걸<sup>3</sup>

✉ Young-Kuk Yoo<sup>1</sup>, Jung Shik Kong<sup>2</sup> and Jin-Geol Kim<sup>3</sup>

1 인하대학교 전기공학과 (Graduated School of Electronic Engineering, Inha Univ.)

2 대덕대학 마이크로 로봇과 (Micro Robotics, Daeduk Univ.)

3 인하대학교 전기공학부 (Electronic Engineering, Inha Univ.)

✉ Corresponding author: drager007@nate.com, Tel: 032-860-8923

Manuscript received: 2008.3.12 / Revised: 2008.9.10 / Accepted: 2008.9.10

*This paper deals with the path creation for stable action of a robot and transformation by using the fuzzy algorithm. Also, the obstacle detection and environmental analysis are performed by a stereo vision device. The robot decides the range and the height using the fuzzy algorithm. Therefore the robot can be adapted in topography through a transformation by itself. In this paper, the robot is designed to have two advantages. One is the fast movability in flat topography with the use of wheels. The other is the moving capability in uneven ground by walking. It has six leg forms for a stable walk. The wheels are fixed on the legs of the robot, so that various driving is possible. The height and the width of robot can be changed variously using four joints of each leg. The wheeled joint has extra DOF for a rotation of vertical axis. So the robot is able to rotate through 360 degrees. The robot has various sensors for checking the own state. The stable action of a robot is achieved by using sensors. We verified the result of research through an experiment.*

Key Words: Hexapod Robot (6족 보행 로봇), Stereo Vision (스테레오비전), Fuzzy Algorithm (퍼지 알고리즘), Transformable Robot (변형 가능한 로봇)

### 1. 서론

일반적으로 이동로봇에는 다리를 가진 보행 로봇과 바퀴 이동 로봇으로 크게 나눌 수 있다. 보행 로봇의 경우 휴머노이드 타입의 로봇이나 다족 보행 로봇이 주를 이루며 대표적인 예로서는 혼다사의 Asimo<sup>1</sup> 나 SONY의 Qrio,<sup>2</sup> AIBO<sup>3</sup> 등이 있다. 이러한 다관절 로봇의 경우에는 여러 개의 관절을 요구하기 때문에 해석상의 어려움과 에너지 상의 어려움이 문제점으로 지적되고 있다.

이에 대해 바퀴 구동형 로봇들은 평지에서의 이동이 용이하고 개발이 용이하다는 장점으로 인

해 많은 분야에 적용하고 있는 로봇이다. 그러나 바퀴 구동형 로봇들은 이동하는 경로에서 턱과 같은 장애물을 만나면 이러한 장애물을 극복하기가 어렵다는 단점을 지니고 있으며, 또한 일반적으로 몸체에 바퀴가 고정된 형태이기 때문에 바닥이 자신의 바퀴간 거리보다 좁은 길에서 이동하는 것이 불가능해진다.

이렇게 대별되는 두 개의 이동로봇을 비교해 보았을 때, 평지 이동에서는 바퀴 이동 로봇이 보다 많은 이득을 가지고 있고, 계단이나 장애물을 가지고 있는 경우에는 보행 로봇이 장점을 가진다. 이와 동시에 장애물이 있을 시에는 바퀴 이동 로

봇의 움직임은 한계를 지니게 되고, 보행 로봇의 경우에는 일반 평탄한 지형에서의 보행 시 상대적으로 에너지 소비가 많은 문제를 가지고 있다.<sup>4,6</sup>

본 연구에서는 기존의 로봇들의 장점들을 취합한 바퀴 이동 로봇이 갖는 지형에 따른 이동성의 제약과 보행 로봇이 갖는 에너지 효율의 단점을 최소화 할 수 있는 다족 바퀴 이동 로봇을 제안하며, 스테레오 영상 처리를 이용하여 환경을 인식하고, 환경에 맞는 구동방법과 로봇 형태를 결정하여 효율적인 로봇의 이동이 가능한 시스템을 제안하였다.

이 로봇은 기본적으로 6 족의 다리를 가지고 있으며, 외곽의 4 개의 다리의 끝에 바퀴 모듈을 장착하였다. 다리의 끝에 바퀴모듈이 장착되어 있어 바퀴의 위치를 자유롭게 조정할 수 있게 하였다. 스테레오 영상처리로 얻은 환경 정보를 이용하여 바퀴로의 이동이 불가능하다고 판단되는 지형에서는 바퀴 모듈을 정지시키고 다리를 이용한 보행을 통해 이동하게 되므로 이동 능력과 주변 지형에 대한 적응력이 향상되게 하였다.

본 논문에서는 비전으로부터 들어온 영상 정보를 기초로 로봇 주변 환경에 대해 인식하고, 이를 기초로 퍼지 알고리즘을 이용하여 로봇의 최적 자세를 생성할 수 있도록 하였다. 본 논문에서는 이러한 자세 생성에 대해 자체적으로 제작한 변형 가능한 로봇을 이용하여 실험을 통해 이를 확인하였다.

## 2. System Configuration

### 2.1 Mechanical Hardware

본 논문에서는 환경 형상에 맞춰 자세를 변형할 수 있는 로봇을 기초로 연구를 수행하였다. 본 논문에서 제안된 로봇은 iTiBO 라 불리우며 6 족 보행 로봇을 기준으로 설계하였다. iTiBO 는 1 개의 다리에 5 자유도 시스템을 가지고 있으며 6 족 중 가운데 다리는 그리퍼(gripper)를 설치하여 설정된 작업을 수행할 수 있도록 고안하였다.

제안된 6 족 로봇 iTiBO 의 각 관절은 원하는 자세 변형을 용이하게 할 수 있도록 각 관절의 회전 반경을 200 도로 설정하였다. 그림 1 은 iTiBO 의 3D 모델링과 각 관절의 구조를 나타내고 있으며, 그림 2 는 다리의 관절 구조를 나타낸다.

iTiBO 의 구동부에는 DX-117, DX-113, AX-12 의 3 종류의 모터가 사용되었고, 각각 192:1, 192:1,

254:1 의 감속기가 내장되어 있다. 로봇에 장착되어 있는 주 제어기의 상태를 확인할 수 있는 7 인치 LCD 를 부착하여 로봇의 상태를 체크할 수 있도록 하였다. 그림 3 은 iTiBO 의 실제 모습이다.

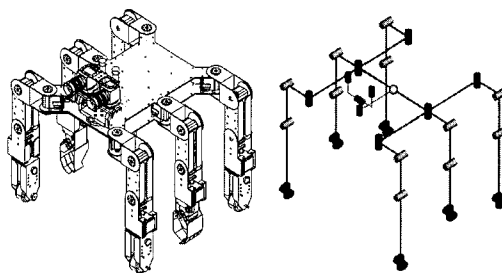


Fig. 1 3D solid model and mechanical structure

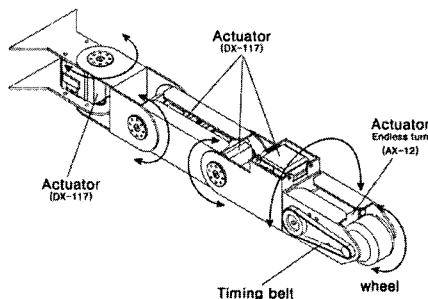


Fig. 2 Joint structure of a leg

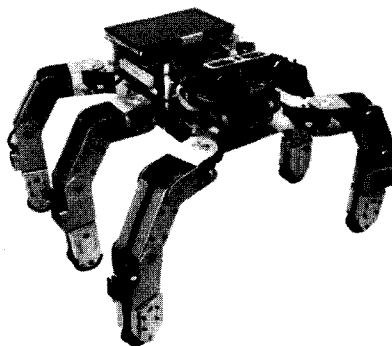


Fig. 3 Transformable robot iTiBO

iTiBO 의 최고 높이는 370.5mm, 최대 폭 850mm, 최대 너비 800mm 이며 전체 무게는 약 5.2kg 이다. 리튬폴리머 2 차 전지를 사용하여 로봇의 무게를 줄였으며, 14.8V 의 전압에 순간출력 8A 이며, 용량은 1500mAh 로 약 20 분간의 연속동작

이 가능하도록 구성하였다.

### 2.2 로봇의 이동 메커니즘

변형 가능한 6 족 로봇 iTiBO 는 크게 보행 및 주행이라는 두 가지 형태로 이동이 가능하다. 보행의 경우 로봇의 안정적인 이동을 확보하기 위해 기구학 해석이 필요하며, 주行的 경우 Slip 등의 문제를 해결하기 위한 Ackerman steering 이 필요하다.

먼저 기구학 해석을 위해 좌표계를 구성하였다. 로봇의 특성상 6 개의 다리가 같은 형태로 되어있어 하나의 다리관절의 해석으로도 전체 로봇의 구조를 해석할 수 있다. 그림 4 는 iTiBO 시스템의 좌표계이며 표 1 은 6 족 로봇의 DH 파라미터를 나타낸 것이다. 식 1~3 은 iTiBO 의 역기구학을 해석한 것으로 장애물에 따라 다양한 보행이 가능하게 하였다.

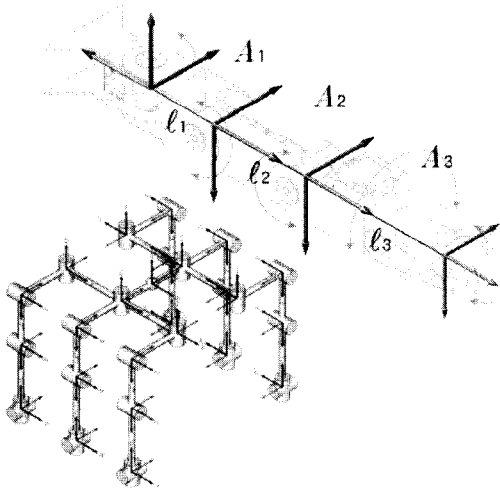


Fig. 4 Coordinate system of iTiBO

Table 1 DH(Denavit-Hartenberg) Parameters

link	$a_i$	$\alpha_i$	$d_i$	$\theta_i$
First Link	$l_{1o}$	$-90^\circ$	$0$	$-90^\circ$
Second Link	$l_{2o}$	$0^\circ$	$0$	$0^\circ$
Third Link	$l_{3o}$	$0^\circ$	$0$	$0^\circ$

$$a \cos \theta + b \sin \theta = 0 \Rightarrow A \tan 2(a, -b) \tag{1}$$

$$p_y \cdot \cos \theta_1 + (-p_x) \cdot \sin \theta_1 = 0$$

$$a \cos \theta + b \sin \theta = 0$$

$$\Rightarrow A \tan 2(b, a) \pm A \tan 2(\sqrt{a^2 + b^2 - c^2}, c) \tag{2}$$

$$p_y \cdot \cos \theta_2 + (-p_x) \cdot \sin \theta_2 = -a_2 \cdot \sin \theta_1$$

$$\theta_{12} - \theta_1 = \theta_2$$

$$a_3 \cdot \sin \theta_3 = -p_z \Rightarrow a \sin \left( \frac{-p_z}{a_3} \right) \tag{3}$$

본 연구에서는 Ackerman steering 을 사용하여 조향을 하였다. 본래 Ackerman steering 은 자동차 조향에 쓰이는 장치로 모바일 로봇에 많이 쓰이는 방식이나 미끄러짐이 많은 방식이다. 본 실험에서는 슬립이 적은 Double Ackerman steering 방식을 사용하였다. 본 로봇은 4 개 바퀴에 z 축으로 모두 자유도가 있는 구조로 설계되어 있다. 즉 4 개의 바퀴가 개별 동작할 수 있는 구조로 설계되어 있다.

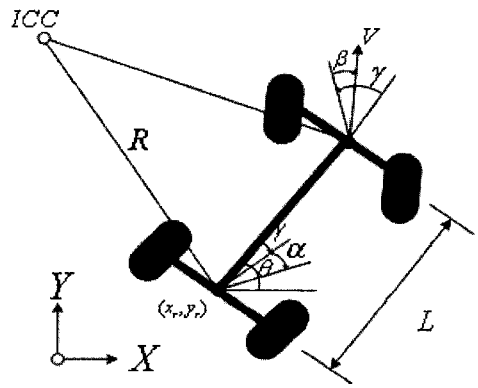


Fig. 5 Ackerman steering

그림 5 는 로봇의 기구적 모델을 나타낸 것으로써 앞 바퀴와 뒷바퀴의 슬립 각인 a 와 b 는 선형 가속도와 로봇의 상대적인 뒷바퀴와 앞 바퀴 사이의 각이나 본 실험에서는 슬립을 배제 하였다. 또한  $p_x$  은  $p_y$  은 상대적인 뒷바퀴의 좌표이며 각도  $\theta$  는 x 축에 대한 오리엔테이션이다. L 은 앞 축과 뒤 축 사이의 거리이며 로봇의 선형 가속도는 V 이며 조향각은 r 로 정의된다. 로봇의 bi-steerable wheel 은 앞쪽 휠 각 r 와 반대편에서의 뒤쪽 휠 각 r 가 같으며 슬립이 없다는 가정 하에 로봇의 기구학 모델은 식(4)와 같다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_{ES} \\ \dot{y}_{ES} \\ \dot{\theta}_{ES} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V \cos(\theta - \gamma) \\ V \sin(\theta - \gamma) \\ \frac{V \sin(2\gamma)}{L \cos(\gamma)} \end{bmatrix} \quad (4)$$

**2.3 Electronic Hardware**

제어시스템은 크게 세 부분으로 나눌 수 있다. 영상 처리, 카메라 움직임 제어, 로봇의 보행 궤적 생성을 담당하는 주 제어기와 30 개의 모터 제어기에 보행 궤적 데이터를 전송하는 메시지 제어기, 마지막으로 센서 입력 및 센서 데이터 처리를 담당하는 센서 제어기로 나뉜다.

영상 카메라는 소형 IEEE-1394 디지털 카메라를 사용하였으며, 카메라의 움직임 제어를 위해 Atmega-128 기반의 컨트롤러를 이용하여 DC 모터를 제어하여 카메라의 위치를 제어하였다. 중앙 처리기로는 작은 크기의 Micro-ITX 메인보드와 Pentium-IV 2.8GHz CPU, Windows-XP 운영체제로 영상처리 성능과 프로그램 이식성을 높였으며, 실시간 모듈인 RTX 를 이용하여 실시간성을 보장하였다. 메시지 제어기는 다양한 인터페이스 환경을 구축할 수 있도록 하였으며, 적외선 센서, 초음파 센서, 외부 메모리와 같은 모듈의 확장성을 용이하게 했다. 그림 6 은 변형 가능한 6 축 로봇의 제어 시스템 구조를 나타낸다.

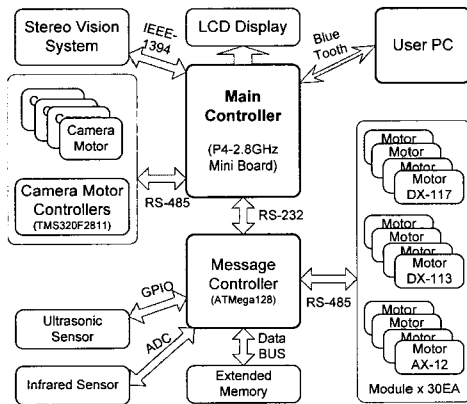


Fig. 6 System configuration of iTiBO

**2.4 The structure of a Sensor System**

로봇의 안전한 이동과 형태변형을 위해서는 로봇의 주변환경에 대한 3 차원 정보가 필요하다. 스테레오 영상 처리로 얻은 환경 정보는 주 제어기

에서 처리되어 3 차원 지도 정보를 추출해 내고, 적외선 거리 센서, 초음파 거리 센서, 기울기 센서, 온도 센서 등은 센서 제어기를 통해 데이터를 전달하며, 센서 제어기에서는 여러 센서 정보를 정리하여 주 제어기로 보내진다. 주 제어기에서는 얻어진 센서 정보를 이용하여 추가적인 로봇 주변의 환경정보를 알 수 있다. 그림 7 은 현재 구성된 센서시스템을 나타낸다.

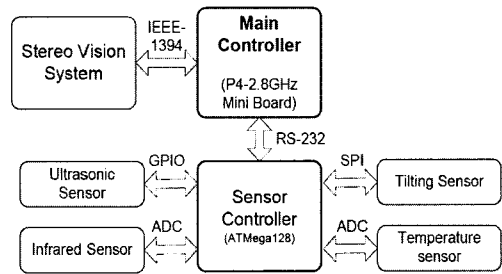


Fig. 7 Sensor system of iTiBO

**3. Stereo Vision System**

**3.1 스테레오 비전 시스템**

본 논문에서 제안된 비전시스템은 보다 넓은 범위의 환경인식을 위해, 상, 하, 좌, 우를 움직일 수 있는 2 개의 모터와 각각의 카메라의 좌, 우를 움직일 수 있는 2 개의 모터를 사용해 총 4 개의 자유도로 시스템을 구성하였으며, 인간의 시각 구조와 같은 수평시차 성분만 가지도록 설계되었다. 카메라 사이의 간격을 조정할 수 있도록 하여 스테레오 영상 처리에서의 카메라 간격에 따른 3 차원 지도생성의 정밀도와 특징들을 연구할 수 있도록 하였다. 그림 8 은 본 논문에서 적용된 스테레오 영상 시스템을 나타낸다.

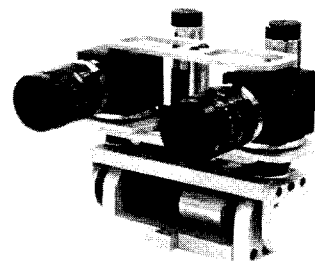


Fig. 8 Stereo vision system

### 3.2 시점 보간 기술

보통의 스테레오 카메라의 기하학적인 모델은 두 대의 카메라가 같은 방향을 바라보는 구조를 가지며, 응용분야에 따라 다양한 형태를 가진다. 본 연구에서는 그림 9 과 같이 두 대의 카메라가 평행하게 배치되어 있는 구조로 가정한다. 공간상의 한 점  $P(X, Y, Z)$ 는 각각 좌우 영상에서  $p_l$  과  $p_r$  로 맺혀지고, 이 두 점은 서로 대응점이 된다.<sup>7-9</sup>

본 연구에서는 평행한 스테레오 영상을 구성하였기 때문에 시차 정보는 수평 성분만 존재한다. 식 5 는 대응되는 두 점의 관계를 시차를 이용해서 나타내고 있다.

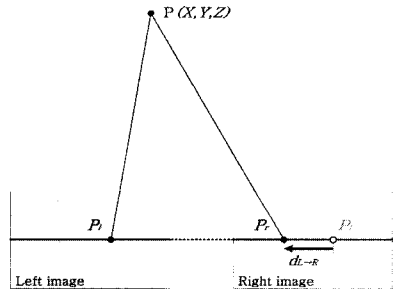


Fig. 9 Disparity concept in parallel image

$$p_r = \begin{bmatrix} x_r \\ y_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_l + d_{L \rightarrow R}(x_l, y_l) \\ y_l \end{bmatrix} = p_l + \begin{bmatrix} d_{L \rightarrow R}(x_l, y_l) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

식 5 에서  $d_{L \rightarrow R}(x_l, y_l)$ 은 왼쪽 영상을 기준으로 하는 오른쪽 영상에 대한 시차 성분이다

두 영상의 시선 축이 평행하기 때문에 영상 내 모든 픽셀(pixel)에 대한 에피폴라 라인(Epipolar line)은 영상의 X 축과 평행하다. 에피폴라 기하학(Epipolar geometry)<sup>10</sup>의 성질상 대응점은 이 선 위에 존재하므로 영상의 모든 시차 벡터는 X 축과 평행하게 된다.<sup>11</sup> 이러한 특징을 이용하여 두 영상간의 시차를 계산하였다. 카메라로부터 들어오는 영상은 환경에 따라 그 정보의 차이가 심하게 나타나기 때문에, 정확한 물체 검출이 어려워지게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 필터 및 여러 영상처리 기법을 사용하였다.

### 3.3 스테레오 영상처리 프로그램

본 논문에서 영상처리를 위해 작성한 프로그램

에는 카메라에서 영상신호 획득 및 필터 적용부분, RGB 히스토그램 출력부분, 처리 결과 출력부분, 2차원 지도 생성 및 경로 생성 부분으로 나누어져 있다. 그림 10 은 윈도우 환경 기반의 스테레오 영상 처리 프로그램을 나타낸다.<sup>12</sup>

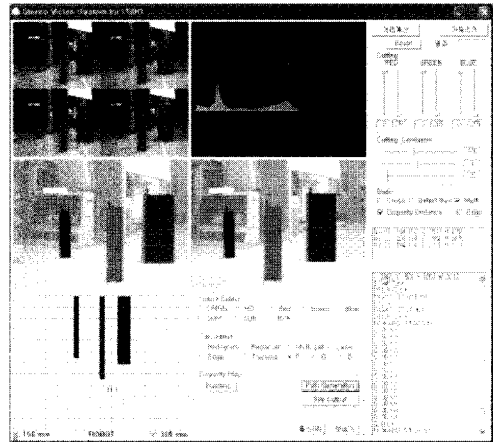


Fig. 10 Stereo vision process program

본 논문에서는 장애물 처리를 원활하게 할 수 있도록 장애물을 붉은 색 계열로 고정하였다. 이는 비전을 통해 장애물을 원활하게 찾을 수 있을 수 있도록 유도하면서 인식된 장애물을 기초로 로봇 변형을 원활하게 수행할 수 있도록 하기 위함이다.

장애물을 검출함에 있어 일차적으로는 적색 계열의 영역을 검출하여 이진화 하였다. 이후, 라벨링 작업을 하여 각 영역을 구분하였으며, 영역의 위치 및 크기에 대한 정보를 추출하였다. 라벨링 알고리즘은 기본적인 Grassfire 알고리즘을 적용하였으며, 검출된 장애물간의 매칭되는 부분을 찾아 좌, 우 영상에서의 같은 물체임을 표시하였다. 그림 11 은 검출된 장애물의 라벨링 작업을 보여주고 있다.<sup>13</sup>

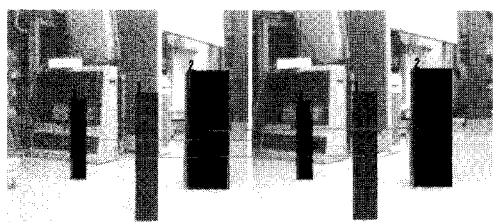


Fig. 11 Labeling process of the detected area

검출된 장애물에서 3 차원적인 위치정보뿐만 아니라, 장애물의 크기 및 높이에 해당하는 정보도 추출하게 된다. 이러한 정보를 바탕으로 로봇이 진행하는 경로를 설정할 수 있게 되며, 로봇이 장애물을 지날 때에 필요한 변형을 고려할 수 있게 된다.

**4. Transformation algorithm**

**4.1 Fuzzy algorithm**

로봇의 장애물에 대한 인식 및 이를 기초로 장애물에 맞춰 자신의 몸을 변형시키기 위해 장애물 사이의 폭과 높이를 입력으로 하는 퍼지 알고리즘을 이용하였다.

먼저 퍼지화 과정을 수행하기 위해 입력 값으로 장애물 사이의 간격을 여러 값으로, 공간의 높이를 여러의 변화량으로 하여 퍼지 입력으로 설정하였다. 이를 토대로 멤버십 함수 (Membership function)를 이용하여 현재 상태를 퍼지화하였다. 여기에서 퍼지화 과정에 있어 여러와 여러의 변화량에 대해 각각 5 개의 중심 값을 가진 멤버십 함수를 사용하였다. 그림 12 는 입력 멤버십 함수를 나타낸다.

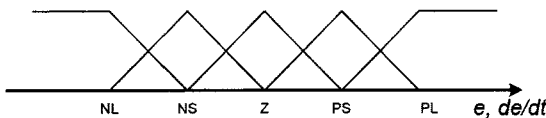


Fig. 12 Input membership function

그림 12 를 해 구성된 멤버십 함수로부터 장애물 사이의 공간에 대한 폭과 높이 값에 대해 퍼지화를 통해 퍼지값으로 공간에 대한 로봇의 변형가능함을 추정한다. 이를 통해 결정된 퍼지 값은 제어 규칙에 의해 출력되어야 할 결과를 얻게 된다. 식 6 은 제어 규칙이다.

$$\text{If } e \text{ is } A_1 \text{ and } \dot{e} \text{ is } A_2 \text{ then } u \text{ is } B \quad (6)$$

여기서  $A_1$ ,  $A_2$  그리고  $B$  는 각각 공간의 폭, 공간의 높이, 출력 값을 의미한다. 식 6 의 제어 규칙을 통해 얻어진 퍼지 결과는 로봇의 변형해야 하는 로봇 폭 값을 얻는 데 사용된다. 표 2 는 전체 제어 규칙을 나타낸다.<sup>14</sup>

Table 2 Rule base of fuzzy algorithm

		$\dot{e}$				
		NL	NS	Z	PS	PL
$e$	NL	X	X	X	X	X
	NS	X	X	X	NL	NVL
	Z	X	X	Z	NS	NL
	PS	X	PL	PS	Z	NS
	PL	X	PVL	PL	PS	Z

표 2 에서 사용된 언어 규칙은 NVL, NL, NS, Z, PS, PL, PVL, X 로 표현 가능하며 그 의미는 각각, Negative Very Large, Negative Large, Negative Small, Zero, Positive Small, Positive Large, Positive Very Large 이다. Don't Care 는 로봇이 지나갈 수 없는 영역임을 의미한다. 이렇게 정의된 언어 규칙을 이용한 제어 규칙을 기초로 하여 현재 로봇 변형에 대해 추론을 수행하였다. 그리고 이러한 추론 결론을 비퍼지화 과정을 통해 로봇의 변형 폭을 결정하게 된다. 폭 값을 결정하기 위해 Center Average 방법을 이용하여 비퍼지화 과정을 수행하였다. 그림 13 은 출력에 대한 멤버십 함수이다.

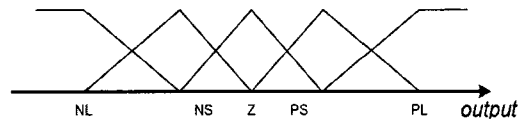


Fig. 13 Output membership function

출력 멤버십 함수는 로봇의 이동에 있어 변형의 안정성 여부 및 반응 속도와 관련되어 있기 때문에 값을 결정하는데 있어서 최적의 값을 구해내야 안정된 움직임을 취할 수 있게 된다. 이러한 최적의 안정화 움직임을 구현하기 위해 본 논문에서는 출력 멤버십 함수의 중심 값과 변화량을 반복된 실험을 통하여 결정하였다. 출력 값의 크기가 클 경우 로봇의 변형의 크기가 커질 가능성이 있기 때문에 출력 멤버십 함수의 좌우 최대값의 기울기를 낮추고 '0'부분의 기울기를 높였다.

**4.2 로봇 동작 알고리즘**

그림 14 는 iTiBO 의 동작 알고리즘이다. 전원이 인가되면 로봇은 주 제어기에서 구동 프로그램이 로딩되며, 메시지 제어기를 통해 34 개의 모터 제어기와 센서시스템의 상태를 체크하게 되며, 이상

발생 시, 에러를 출력하고 시스템을 정지시킨다. 모든 시스템이 정상이면 구동용 모터들을 동작시키고, 로봇을 모터에 부하가 걸리지 않는 초기 자세로 바꾼 후, 사용자 명령을 기다린다.

명령이 주어지면 로봇은 센서시스템을 통해 로봇의 진행방향에 있는 환경을 인식하게 되고, 3 차원 시차지도를 생성한다. 얻어진 시차지도를 통해 2 차원 공간좌표로 변환하여 이동 가능한 영역이 있는지 확인하며, 없을 경우, 로봇 회전이나, 카메라 회전을 통해 다른 방향의 환경을 인식한다. 이동 가능한 영역이 검출되면, 여러 변형 형태와 부합되는 영역을 찾는 과정을 거치게 된다. 현재 로봇 모양과 비교하여 변형의 필요성을 판단하여 실행한다.

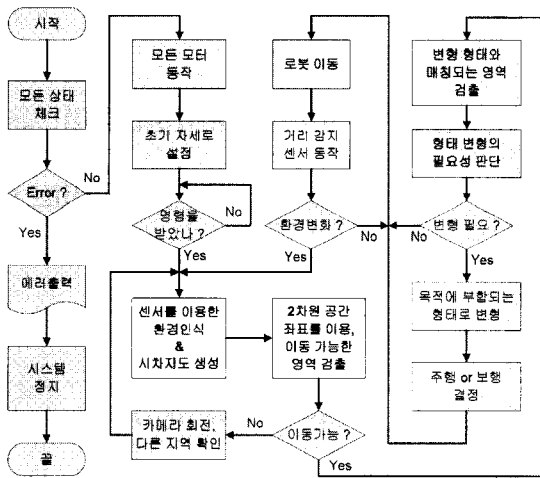


Fig. 14 Action algorithm of iTiBO

또한, 2 차원 공간좌표에서 얻어진 이동 경로를 따라 로봇을 이동시키게 되므로 센서시스템으로 장애물과의 거리를 보정하며 주행하게 된다. 갑작스런 장애물이 생겨 센서 값에 큰 변화가 생기게 되면, 계획된 경로에 다 도달하지 못하더라도 즉각적인 대처 행동을 하게 되며, 사용자의 명령을 다시 기다리거나, 미리 프로그램 된 명령을 수행하게 된다.

5. Simulation and Experiments

본 논문에서는 지형에 따른 로봇의 형태변형과 동작여부를 알아보기 위해 시뮬레이터로 검증한 6 가지의 이동 형태에 대해 각각의 기본자세와 궤적

데이터를 생성하였고 이를 실험하였다. 또한, 스테레오 영상처리에서 얻은 환경 정보를 가지고 퍼지 알고리즘을 통해 변형 가능한 로봇의 폭을 조절하는 실험을 하였다.

생성된 궤적의 유효성을 검사하기 위해 3D 시뮬레이터를 구현하였다. 그림 15 는 OpenGL 을 이용한 궤적 검사 시뮬레이터의 외관을 나타내며 로봇의 각 자세에서 발생하는 문제점을 파악하기 위해 시뮬레이션을 통해 자세에 따른 관절의 특성을 파악하여 이에 따른 기본 자세를 설정하였다. 그림 16 는 로봇 시뮬레이터를 통해 결정한 iTiBO 의 기본 자세이다.

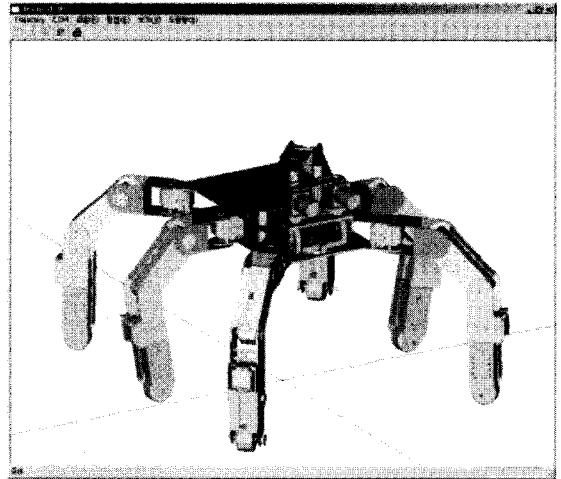


Fig. 15 Simulator for iTiBO

그림 16 의 (a)는 바퀴로 주행할 때의 모습으로, 중력에 대하여 각 관절의 모터에 가해지는 부하가 가장 적은 형태가 된다. 그림 16 의 (b)는 6 족 보행을 위한 기본 형태이다. 각 관절을 이용하여 움직이는 방식으로, 다리의 폭이 넓어질수록 관절에 가해지는 부하가 커지지만, 이동속도가 빨라지게 된다. 그림 16 의 (d)와 같이 낮은 자세에서 걸게 되면, 몸체에 가까이 있는 2 개의 모터에 무리한 부하가 걸리게 되므로, 일반적인 상황에서는 부하가 고르게 분포되는 (b)와 같은 형태로 걸게 된다. 그림 16 의 (e)는 몸 안쪽으로 접을 수 있는 다리 구조와, 다리 끝에 바퀴를 가지고 있는 iTiBO 와 같은 로봇에서만 가능한 형태의 이동 방법이다. 바퀴의 폭이 바뀔 수 있는 장점이 있다. 그림 16 의 (f)는 상체의 수평상태를 유지한 상태에서의 경사면 및 계단을 오르는 모습이다. 각 다리마다 5

개의 관절을 가지고 있는 구조에서만 가능한 이동 방법이다. 상체를 유지하게 되면서, 영상처리 및 여러 센서의 보다 정확한 측정이 가능하게 되는 장점을 가진다.

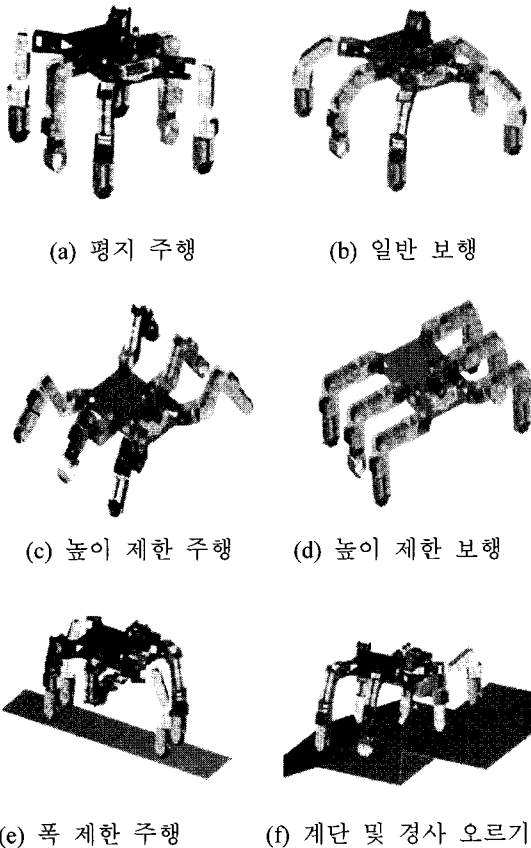


Fig. 16 Initial postures of iTiBO

그림 17 은 폭이 좁은 길을 지나는 모습을 2 초 간격으로 추출한 영상이다. iTiBO 는 자신의 다리를 안쪽으로 모을 수 있는 구조로 되어있고 다리 끝에 구동능력이 있는 바퀴가 있기 때문에, 로봇의 자체 폭 보다 좁은 다리와 같은 지역을 지나갈 수 있다.

그림 18 은 높이 제한 지역을 통과하는 모습을 2 초 간격으로 추출한 영상이다. 스테레오 영상 정보로부터 장애물을 인식하고, 장애물의 높이, 폭, 거리를 계산하여 퍼지 알고리즘을 통해 몸체를 변형하여 통과하는 모습을 볼 수 있다. 로봇은 기본 자세의 1/3 의 높이까지 낮출 수 있도록 설계되었다.

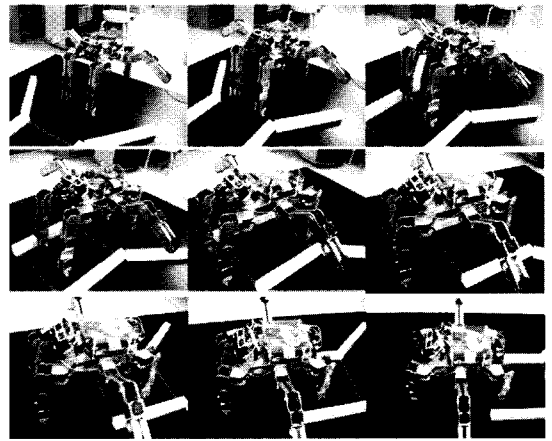


Fig. 17 Narrow road driving motions

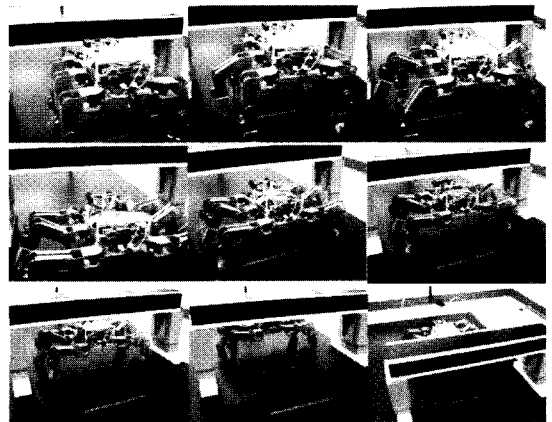


Fig. 18 Height limitation area driving motions

퍼지 알고리즘을 통해 로봇이 장애물에 대해 어떻게 변형하는지 실험하기 위해 다양한 폭과 높이의 환경을 구축하여 실험하였다. 높이와 폭을 50mm 간격으로 바꾸어가며 테스트 하였다. 표 3 은 실험 결과를 나타낸다.

표 3 에서의 결과값 중에 유효한 값은 1~24 이며, 이 외의 값은 로봇이 진행할 수 없는 상태를 나타낸다. 로봇의 최소 높이는 200mm 이며 폭은 450mm 이다. 24 개의 결과값은 로봇의 형태를 나타내며, 로봇의 최소 폭과 최대 폭을 24 등분하여 변형한 값을 나타낸다.

로봇의 빠른 변형을 위해, 24 개에 해당하는 로봇의 형태를 미리 계산하여 테이블화 시켜 놓았으며, 로봇의 중간 위치에 대해서는 이에 대한 각 관절 데이터를 비퍼지화 결과에 기인하여 이에 맞춰 최적 데이터로 처리할 수 있도록 하였다.



Table 3 Rule base of fuzzy algorithm

높이 \ 넓이	150	200	250	300	350	400	450
300	36	36	36	36	36	36	36
350	36	36	36	36	36	36	36
400	36	36	36	36	29	28	28
450	36	36	36	36	12	11	11
500	36	36	36	26	8	6	6
550	36	36	36	12	9	8	8
600	36	36	29	13	10	9	9
650	36	36	24	14	12	11	11
700	36	36	25	16	12	12	12
750	36	36	26	16	13	12	12
800	36	36	26	16	13	12	12

그림 19 는 다양한 형태로 변형하는 모습의 영상이다. 로봇은 오른쪽에서 왼쪽으로 이동하는 모습이며, 주행 동영상을 2 초 간격으로 추출하였다.

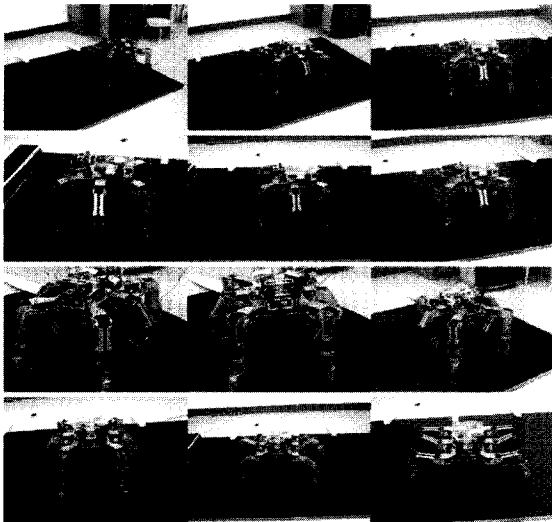


Fig. 19 The various motion forms

그림 19 와 같이 로봇은 다리 끝에 달린 바퀴를 Z 축으로 회전시킬 수 있어, 몸체가 회전하지 않아도 상, 하, 좌, 우 및 대각주행이 가능한 장점이 있어 로봇 몸체에 달려있는 영상처리 장치의 시야를 원하는 위치로 고정시킬 수 있게 되어 좀 더 안정적인 환경정보를 수집할 수 있다.

### 6. 결론

본 연구에서는 복잡한 지형에 유연하게 적응할 수 있는 바퀴 달린 변형 가능한 6 족 로봇을 제작하였다. 그리고, 스테레오 영상 처리 장치를 이용하여 로봇 스스로 환경을 인식하여 안정적인 이동 가능하도록 구현하였다. 바퀴구동의 장점과 보행 이동의 장점을 상황에 맞게 적절히 적용하여 로봇의 이동성 향상을 실험을 통해 볼 수 있었으며, 스테레오 영상 시스템을 이용한 환경 인식으로 로봇의 변형과 이동경로 생성 및 주행 방법 결정으로 독립적인 로봇의 운용을 구현할 수 있었다.

향후 환경 인식 시스템을 지속적으로 연구하여 주어진 물체뿐만이 아니라 다양한 환경의 3 차원 공간 인식 기술을 연구함으로써 제안된 로봇과 같이 다용도에 활용 가능한 로봇이 보다 환경에 친화적으로 이동하고 이를 통해 공간 내에서 보다 자유로운 이동이 가능할 수 있도록 고안된 알고리즘에 대한 연구가 지속되어야 한다.

### 후 기

이 논문은 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었음.

### 참고문헌

1. Sakagami, Y., Watanabe, R., Aoyama, C., Matsunaga, S., Higaki, N. and Fujimura, K., "Intelligent ASIMO: System Overview and integration," IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Vol. 3, pp. 2478-2483, 2002.
2. Sawada, T., Takagi, T. and Fujita, M., "Behavior Selection and Motion Modulation in Emotionally Grounded Architecture for QRIO SDR-4X II," IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Vol. 3, pp. 2514-2519, 2004.
3. Hornby, G. S., Takamura, S., Yohono, J., Hanagata, O., Yamamoto, T. and Fujita, M., "Evolving Robust Gaits with AIBO," IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol. 3, pp. 3040-3045, 2000.
4. Endo, G. and Hirose, S., "Study on Roller-Walker," IEEE International Conference on Robotics &

- Automation, Vol. 3, pp. 2032-2037, 1999.
5. Tabata, K., Inaba, A. and Amano, H., "Development of a Transformational Mobile Robot to search Victims under Debris and Rubble-2nd report: Improvement of Mechanism and Interface," IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics, pp. 19-24, 2005.
  6. Kawakami, A., Torii, A., Motomura, K. and Hirose, S., "SMC Rover: Planetary Rover with transformable wheels," Proceedings of the 41st SICE Annual Conference, Vol. 1, pp. 157-162, 2002.
  7. Jia, Y., Li, M., An, L. and Zhang, X., "Autonomous navigation of a miniature mobile robot using real-time trinocular stereo machine," IEEE International Conference on Robotics, Intelligent Systems and Signal Processing, Vol. 1, pp. 417-421, 2003.
  8. Betke, M. and Gurvits, L., "Mobile Robot Localization Using Landmarks," IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 13, No 2, pp. 251-263, 1997.
  9. Tsin, Y., Kang, S. B. and Szeliski, R., "Stereo Matching with Linear Superposition of Layers," IEEE Computer Society, Vol. 28, No. 2, pp. 290-301, 2006.
  10. Svoboda, T. and Pajdla, T., "Epipolar Geometry for Central Catadioptric Cameras," International Journal of Computer Vision, Vol. 49, No. 1, pp. 23-37, 2002.
  11. Lee, J. S., Ko, J. H. and Kim, E. S., "Real-time stereo object tracking system by using block matching algorithm and optical binary phase extraction joint transform correlation," Optics Communication, Vol. 191, Issues 3-6, pp. 191-202, 2001.
  12. Kim, G. S., "Recognition Method of Small-Obstacles using a Camera for a Mobile Robot," Journal of Korean Society of Precision Engineering, Vol. 22, No. 9, pp. 85-92, 2005.
  13. Leymarie, F. and Levine, M. D., "Simulating the grassfire transform using an active contour model," Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, Vol. 14, Issue 1, pp. 56-75, 1992.
  14. Kim, E. S. and Joo, K. S., "Moving Path Following of Autonomous Mobile Robot using Fuzzy," Journal of Korean Society of Precision Engineering, Vol. 17, No. 5, pp. 84-92, 2000.