

견마형 로봇의 계단형 장애물 극복 알고리즘 개발

Step-Type Obstacle Traversal Algorithm for Six Legged Mobile Robot

심 형 원¹ · 이 지 홍² · 김 중 배³

Hyungwon Shim¹ · Jihong Lee² · Jungbae Kim³

Abstract Mobile robots traveling on rough terrain need several algorithms to overcome obstacles. In this paper, we propose the step-type obstacle traversal algorithm to adapt the mobile robot with six arms and wheels to travel on rough terrain. Obstacle traversal is composed of two different stages: planning and control. In planning stage, the required joint torque of each arm as well as the interference between the wheels and the arms are analyzed to guarantee traversing obstacles. Control stage includes such steps as checking distance to obstacle, determining the height and length of obstacle, performing arm motion according to sensed torque data, and evaluating safety at every instance. The proposed algorithm is designed and implemented for CALEB 1 six legged robot developed in the laboratory and verified by simulation and experiment in outdoor environment.

Keywords: Step-Type Obstacle Traversal, Six Arm and Wheel Control, Collision Avoidance, Torque Analysis.

1. 서 론

최근 전방에서 병사의 역할을 대신하거나 보조하는 역할을 하도록 이동 로봇이 개발되고 있다. 이러한 로봇의 형태는 야지에서 주행이 가능하도록 다양하게 개발되고 있으며, 국내외에서 설계되고 제작되고 있다.^{[1][2]} 이러한 로봇은 일반 도로가 아닌 야지를 안정적으로 주행하면서 감시 정찰이나 운반 등의 임무를 수행할 수 있도록 이동 로봇의 몸체의 흔들림을 최소화하며, 바위나 작은 언덕 등의 장애물을 효과적으로 극복할 수 있는 형태를 가져야 한다.^{[3][4]} 야지에서 장애물을 극복하는 한 가지 형태는 로봇의 몸체가 다리를 가지고 있어 불확실한 지형에서 자세를 제어하고 로봇의 안정성을 유지하며, 계단과 같은 장애물을 극복하도록 제작하는 것이다. 그러나 이와 같은 형태의 로봇은 지형 정보에 대한 예측이 어려운 야지에서 주행을 해야 함으로 제어에 많은 어려움이 있다. 그 중 대표적인 것으로 야지의 지형에서 안정적인 주행을 위한 다리를 이용한 자세 평

형 유지 및 능동적 험기 제어를 들 수 있으며, 야지에 널린 장애물을 극복할 수 있는 알고리즘 등을 들 수 있다. 따라서 본 논문에서는 야지의 장애물을 극복하는 첫 단계로 계단형 장애물 극복 알고리즘을 제안한다. 계단형 장애물이란 도로에서 인도로의 보도 블록층을 간단히 예로 들 수 있다. 이 보도 블록을 오르내리는 알고리즘을 본 이동 로봇에 도입함으로써 계단형 장애물 극복 알고리즘을 구현하였다. 계단형 장애물은 이동 로봇의 기하학적 형상으로 인해 높이가 제약된다. 본 논문에서는 로봇 몸체를 장애물에 지지하지 않고 오직 압만을 이용해 장애물을 극복하는 것을 목표로 하여 로봇의 기하학적 형상에 의해 정해지는 일정 높이 이하의 장애물을 극복할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 이동 로봇의 몸체의 전면부에 장착된 거리 측정 센서와 로봇의 각 다리의 관절에 장착된 토크 센서를 이용하여 안정적으로 장애물을 인식할 수 있는 방법과 장애물을 오르내리는 일련의 과정을 포함하고 있다.

본 논문의 2장에서는 알고리즘 구현을 위해 사용된 견마형 로봇을 소개하고, 3장에서는 장애물 감지 및 안전 거리 확보를 위한 방법을 제시한다. 4장에서는 계단

¹ 충남대학교 메카트로닉스공학과 박사과정

² 충남대학교 메카트로닉스공학과 교수

³ 한국전자통신연구원 지능형로봇사업단 책임연구원

형 장애물 극복 시 발생될 수 있는 휠 간섭에 대한 회피 영역과 암 관절 토크에 대해 분석하고, 5장에서는 선행 시뮬레이션을 기반으로 설계된 알고리즘을 제시한다. 이렇게 설계된 알고리즘에 대해 6장에서 실제 테스트를 통하여 알고리즘의 효용성을 검증한다.

2. 견마형 로봇의 개요

[그림 1]은 본 논문에서 제안하는 계단형 장애물 극복 알고리즘을 수행할 견마형 로봇으로 미국의 Lockheed Martin사에서 제안한 차세대 전투 시스템인 무인 전투

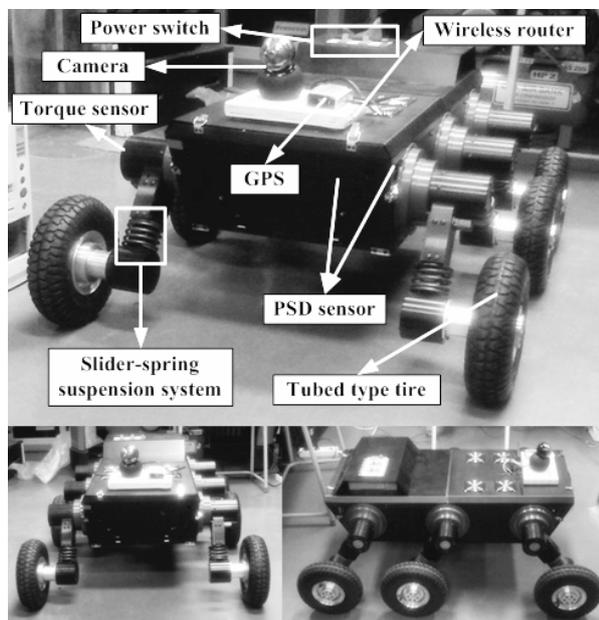


그림 1. 계단형 장애물 극복을 위한 견마형 로봇

표 1. 견마형 로봇의 제원

Features	value
Height of a leg	22.5 cm
Operating range of a leg	$\pm 720^\circ$
Diameter of a wheel	26 cm
Width of the body	40 cm \times 95 cm
Height of the body	23 cm
Weight of the robot	75 Kg
Maximum current of batteries	75 Ah
Maximum height of the traversable	22 cm
Maximum gradability	23.4 degrees
Maximum running speed	7.5 Km/h

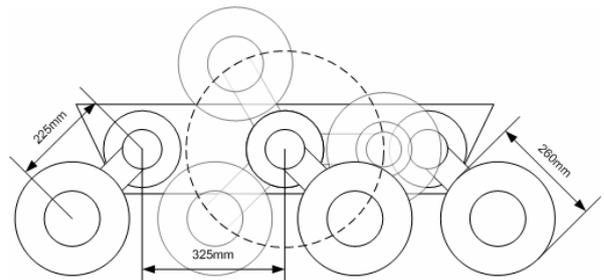


그림 2. 장애물 극복을 위한 암 구동 범위

차량을 기본 모델로 하여 약 2:1의 축척으로 제작된 모습을 보여주는 그림이다. 이 로봇은 [그림 1]에서 보는 바와 같이 장애물 극복이 용이하도록 몸체에 서로 독립적인 6개의 1축 암을 장착하고, 그 끝에 휠을 연결한 구조로 되었으며, 야지 주행 시 로봇 몸체가 받는 진동을 줄이기 위해 스프링-슬라이드 구조의 현가장치와 공기 주입식 타이어를 장착하고 있다. 또한 능동적 자세 제어를 위해 각 암의 관절에는 토크 센서가 삽입되어 있으며, 장애물 감지를 위한 거리 측정 센서가 로봇 몸체의 전·후·좌·우면에 장착되어 있고, 감시 정찰을 위한 카메라, 그리고 로봇의 위치 정보 획득을 위한 GPS가 로봇 몸체의 앞쪽 상단부에 위치해 있다. 구체적인 로봇의 제원은 [표 1]과 같다.

[표 1]에서 보는 바와 같이 본 연구에 사용된 이동 로봇은 22cm이하의 장애물에 대해 몸체를 접촉하지 않고 오르고 내릴 수 있도록 구현되어 있으며, 효율적인 장애물 극복을 위해 [그림 2]에서 보는 바와 같이 암과 휠 축 사이의 길이와 휠의 지름이 암이 독립적으로 무한 회전 가능하도록 설계되어 있다. 그러나 휠 구동부에 연결되는 케이블로 인하여 암의 구동 범위는 $\pm 720^\circ$ 로 한정되어 있다.

3. 장애물 감지 및 충돌 회피

3.1 장애물 감지

계단형 장애물을 안정적으로 감지하기 위해 두 가지 방법을 도입하였다. 그 첫 번째는 거리 측정 센서를 이용하여 장애물의 유무 여부 및 장애물과의 거리를 측정하는 방식이다. 이동 로봇의 앞뒤 면에 상하 좌우로 24개의 거리 센서를 높이에 따라 각도를 달리하여 장착함으로써 일정 거리마다 지면의 상태를 인식할 수 있도록 하여 장애물 인식과 극복 가능 여부 및 장애물과의 거리를 측정할 수 있도록 하였다. [그림 3]은 거리 센서를 이용하여 장애물을 감지하는 방법을 보여주는 그림이다..

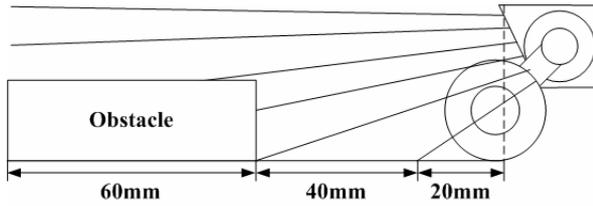


그림 3. 장애물 감지

3.2 토크 센서를 이용한 장애물 감지

두 번째 장애물 감지 방법은 거리 측정 센서의 이상 동작으로 인해 장애물과의 거리 측정이 어려워질 경우에 대한 차선책으로 로봇이 장애물에 직접 부딪혔을 때 압의 관절에 걸리는 토크를 측정하여 장애물을 인식하는 방법이다. 장애물에 부딪힘으로 인해 [그림 4]와 같이 주행 시 몸체의 하중에 의해 압에 걸리는 토크의 방향과 다른 방향의 토크가 발생됨으로 인해 일시적으로 토크가 변하는 현상을 이용한 방식이다.

3.3 충돌 회피

이동 로봇의 자율 주행에 있어 장애물 감지 시 로봇을 정지시키는 것은 그리 어려운 일이 아니다. 그러나 장애물을 극복해야 하는 경우는 로봇과 장애물 사이의 거리를 일정 거리로 유지시킬 수 있어야 한다. 따라서 본 연구에서는 로봇과 장애물과의 충돌을 회피하고 일정 거리를 유지할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 로봇이 PSD 센서로 장애물을 감지 시 로봇이 일정 거리 이내로 장애물에 접근하지 않도록 하는 것이다.

이동 로봇은 최소 120cm 이상에서 장애물을 감지할 수 있도록 설계되어 있다. 본 연구에서는 [그림 3]에서와 같이 로봇과 장애물의 거리가 60cm 이내로 줄었을 때 로봇과 장애물 사이의 거리를 60cm로 유지시키기 위해 로봇과 장애물 사이에 60cm의 가상의 스프링을 삽입하여 충돌을 회피하는 알고리즘을 도입하였다. 식 (2)와 표 2은 충돌 회피를 위한 임피던스 컨트롤 알고리

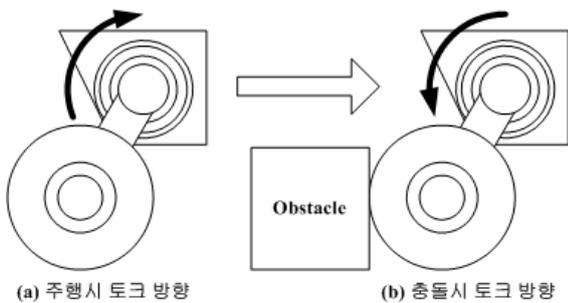


그림 4. 장애물과 충돌 시 토크 방향

즘[9]을 이용하여 속도를 구하는 식이다.

$$V_{out} = V_{in} - \lambda[k_1(x - x_{fix}) + k_2v],$$

$$\lambda = \begin{cases} 0 & (x > x_{fix}) \\ 1 & (x \leq x_{fix}) \end{cases} \quad (1)$$

표 2. 임피던스 속도 컨트롤 알고리즘의 변수

Parameters	Definition
x	Distance between the robot and the obstacle(m)
x_{fix}	User fixed distance to the obstacle(m)
v	Current velocity of the robot(m/s)
V_{in}	Input velocity from an operator(m/s)
V_{out}	Result velocity of the robot(m/s)
k_1, k_2	Gains

식 (2)는 로봇과 장애물 사이의 거리가 사용자가 정한 최소 유지 거리 이하로 줄어들었을 때 로봇의 현재 속도와 거리 차($x - x_{fix}$)에 일정한 이득을 곱한 값을 사용자의 입력 속도에서 빼줌으로써 장애물과 로봇 사이의 거리를 일정하게 유지할 수 있도록 로봇의 이동 속도를 보정하는 식이다.

4. 장애물 극복을 위한 로봇의 기구학적 해석

4.1 암 경로에 따른 휠 간섭 회피

계단 극복에 있어 먼저 고려되어야 할 사항은 암을 원하는 위치로 이동시키기 위해 이동 중 각 휠 간의 간섭 여부를 확인하는 것이다. [그림 5]는 암 경로에 따른 휠 간섭 여부를 확인하기 위해 로봇을 기구학적으로 도식화한 그림이다.

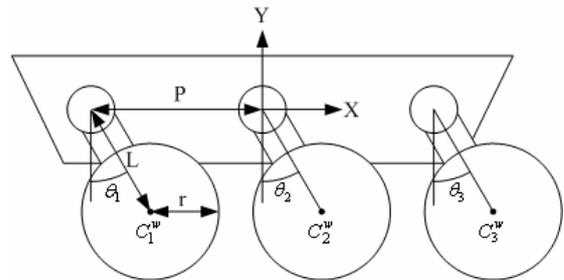


그림 5. 암과 휠의 기구학적 모델링

표 3. 암과 휠의 변수

Parameters	Definition
$C_{1,2,3}^w$	Vector from the origin of the Cartesian coordinate to each center of the wheel(m)
$\theta_{1,2,3}$	Angle between each arm and the line with y direction($^\circ$)
r	Radius of wheel(m)
L	Length between the centers of arm joint and wheel(m)
P	Distance between the center of each arm joint and the origin of the Cartesian coordinate(m)

[그림 5]와 [표 3]로부터 로봇 몸체 중심의 직각 좌표계를 기준으로 각 휠 중심의 위치를 계산하면 식 (2) ~ (4)와 같은 휠 위치 벡터를 구할 수 있다.

$$C_1^w = [-P + L \sin \theta_1 \quad -L \cos \theta_1]^T \quad (2)$$

$$C_2^w = [L \sin \theta_2 \quad -L \cos \theta_2]^T \quad (3)$$

$$C_3^w = [P + L \sin \theta_3 \quad -L \cos \theta_3]^T \quad (4)$$

휠의 중심 사이의 거리가 휠의 직경보다 클 때 각 휠은 서로 간섭하지 않는다. 따라서 각 휠의 간섭 회피 조건은 식 (5)와 같이 구할 수 있으며, 이 식과 식 (2) ~ (4)를 이용하면 각 휠의 간섭 회피 영역을 구할 수 있다.

$$\left| \overrightarrow{C_1^w C_2^w} \right| > 2r, \quad \left| \overrightarrow{C_2^w C_3^w} \right| > 2r, \quad \left| \overrightarrow{C_3^w C_1^w} \right| > 2r \quad (5)$$

식 (5)를 이용하여 각 휠의 간섭 회피 영역을 구하면 [그림 6]과 같다. [그림 6]은 각 휠을 360도 회전시키면서 휠 간의 간섭이 일어나지 않는 영역의 경계를 표현한 그림이다. 각 그림의 패곡선과 빗금 친 영역이 간섭 회피 영역이며, 그 이외의 부분이 간섭 영역이다. [그림 5]으로부터 가장 멀리 떨어져 있는 휠 1과 3의 간섭 영역이 작을 것이라는 예측에 부합하는 결과를 그림 14의 c로부터 볼 수 있으며, 휠 1과 3은 휠 2를 기준으로 대칭을 이루기 때문에 휠 1과 2의 간섭 회피 영역과 휠 2와 3의 회피 영역이 같을 것이라는 예측에 부합하는 결과를 a와 b로부터 확인할 수 있다.

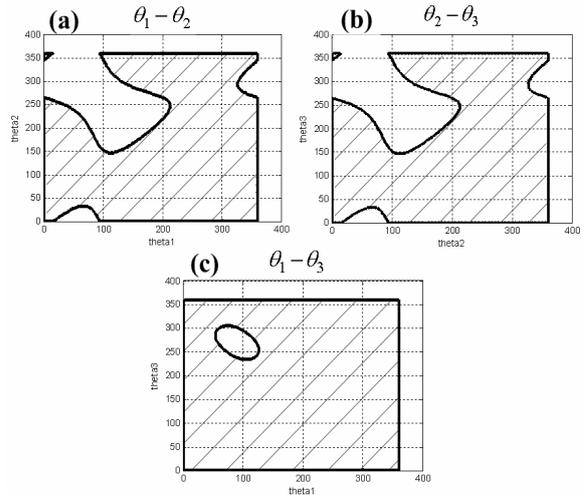


그림 6. 각 휠 간의 간섭 회피 영역

4.2 각 암의 관절 토크 분석

본 연구에서는 계단형 장애물 극복 알고리즘이 실제 로봇에 적용되었을 때, 알고리즘 수행 과정에서 발생할 수 있는 오작동을 미연에 방지하기 위해 장애물 극복을 위한 각 단계별 자세를 미리 시뮬레이션하고 각 자세가 암 구동기의 능력으로 구현 가능한 자세인지를 암의 각 관절 토크 분석을 통해 판별하는 과정을 거친다. 이를 위하여 본 절에서는 장애물 극복 시 암의 관절에 걸리는 토크를 구하기 위한 방법을 제시한다.

[그림 7]과 식 (6)은 로봇의 자세에 따라 암의 관절에 걸리는 토크를 계산하기 위한 로봇의 기구학적 형상과 수식을 나타낸 것이다.

$$\tau_i = F_i L \sin \theta_i (Nm) \quad (6)$$

식 (6)은 i 번째 암의 질량(m_a)과 몸체의 질량(m_b)에 의해 발생하는 힘(F_i)과 암의 길이(L) 및 자세(θ_i)

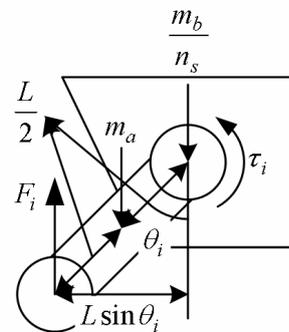


그림 7. 토크 계산을 위한 암의 기구학적 모델

에 의해 i 번째 암에 걸리는 토크(τ_i)를 나타낸 식이다. 이 식으로부터 각 암에 걸리는 토크는 암의 자세와 분포 하중에 의해 결정됨을 알 수 있다. [그림 8]은 이 분포 하중을 구하기 위해 계단형 장애물 극복 과정에서 발생될 수 있는 휠과 지면의 접촉 상태에 따른 질량 분포를 나타낸 그림이다. 이 그림으로부터 각 암의 관절에 걸리는 힘을 구하면 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$F_i = \left(S_1 \frac{m_b}{n_s} + S_2 m_a + S_3 m_w \right) g(N) \quad (7)$$

식 (7)은 로봇 몸체와 암, 휠의 질량이 고려된 각 휠 중심에서의 반발력을 나타낸 식으로 m_w , n_s , g 는 각각 휠의 질량, 로봇의 암의 개수, 중력 가속도를 나타낸다. 여기서 S 는 휠과 지면의 접촉 상태에 따라 결정되는 가중치 상수로 [표 4]와 같이 정의 된다.

표 4. 휠과 지면의 접촉 상태에 따른 가중치 상수($S_{1,2,3}$)

접촉상태		S_1	S_2	S_3
(a)	진	1	1	0
	중	1	1	0
	후	1	1	0
(b)	진	1.5	$\frac{(P - 0.5L \cos \theta_2)}{2P}$	$\frac{(P - L \cos \theta_2)}{2P}$
	중	0	0.5	1
	후	1.5	$\frac{(P + 0.5L \cos \theta_2)}{2P}$	$\frac{(P + L \cos \theta_2)}{2P}$
(c)	진	0	0.5	1
	중	2	1	1
	후	1	1	0
(d)	진	1	1	0
	중	2	1	1
	후	0	0.5	1

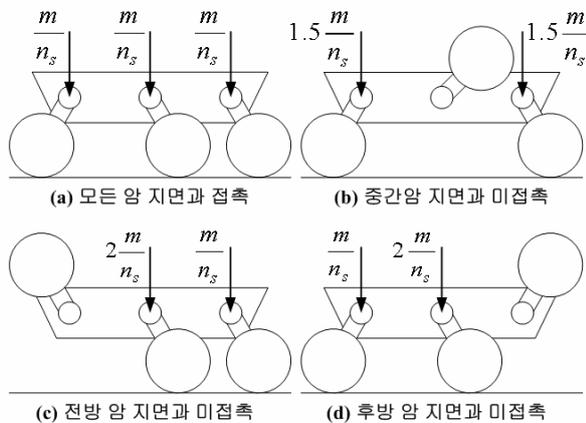


그림 8. 각 휠 중심에 집중되는 질량

4.3 시뮬레이션

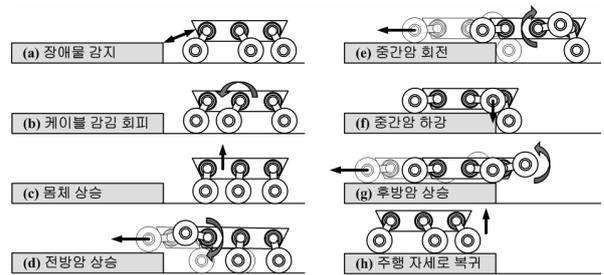


그림 9 장애물 오르기를 위한 예상 자세 시뮬레이션

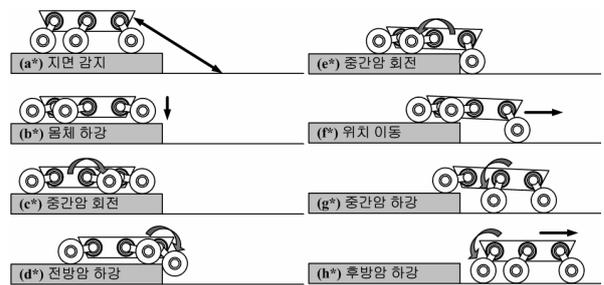


그림 10. 장애물 내려오기를 위한 예상 자세 시뮬레이션

계단형 장애물 극복 알고리즘을 구현하기 위해 먼저 계단형 장애물의 극복 과정을 실제 제작된 로봇과 동일한 크기로 만들어진 모델을 이용하여 각 단계별 중요 자세를 미리 예측해보았다. 계단형 장애물 극복 알고리즘은 크게 장애물을 올라타는 알고리즘과 장애물에서 내려오는 알고리즘으로 구분된다. [그림 9,10]은 가로 160cm, 높이는 20cm로 모델링된 계단형 장애물을 모델링된 로봇이 장애물에 몸체를 지지하지 않고 암만으로 장애물을 극복하는 단계별 동작을 예측하여 시뮬레이션한 그림이다.

계단형 장애물 오르기 과정 중 [그림 9]의 (b)와 같이 중간 암을 회전시키는 이유는 (e) 단계에서 중간암의 회전에 의한 암 관절부에 삽입된 휠의 전원 및 데이터 케이블의 감김으로 인해 차후에 다시 같은 방향으로 여러 번 감겨 발생할 사고를 미연에 방지하고자 (e) 단계에서의 중간암의 회전 방향과 반대 방향으로 미리 감아 놓음으로써 장애물 오르기를 끝마쳤을 때 케이블의 감김 상태를 처음과 같이 유지하기 위함이다.

4.3.1 휠 간섭 분석

[그림 9,10]으로부터 각 단계 진행 시 [그림 9]의 (a)에서 (b)로 자세를 바꾸는 과정을 제외하고는 휠의 간섭이 없을 것이라는 사실을 쉽게 예측할 수 있다. 따라서 예

측 자세의 휠 간섭에 대한 분석은 [그림 9]의 (a)에서 (b)로의 자세 변환에 대해서만 수행하였다.

[그림 11]은 주행 자세(전방암 : 330도, 중간암 : 30도, 후방암 : 30도)에서 중간암 회전 시 암의 관절 각도 변화 따라 휠 간섭이 발생하는지의 여부를 알아보기 위해 암 관절 각도 변화를 4.1절의 휠 간섭 회피 영역과 함께 그래프로 표시한 그림이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 중간암 회전 시 중간휠이 전방휠과 후방휠 모두와 간섭이 일어남을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이 간섭을 회피하기 위해서 전방암과 후방암의 각도를 변화시키기 위한 자세 수정 과정을 시뮬레이션에 추가하였다. 각 암의 회전 각도는 [그림 11]의 간섭 회피 영역을 나타내는 그래프로부터 근사적으로 구할 수 있다. 본 연구에서는 간섭 현상이 일어나는 부분을 참고로 [그림 12]와 같이 전방암을 325도, 중간암을 35도, 후방암을 35도로 회전시킨뒤 간섭 여부를 다시 확인하였다.

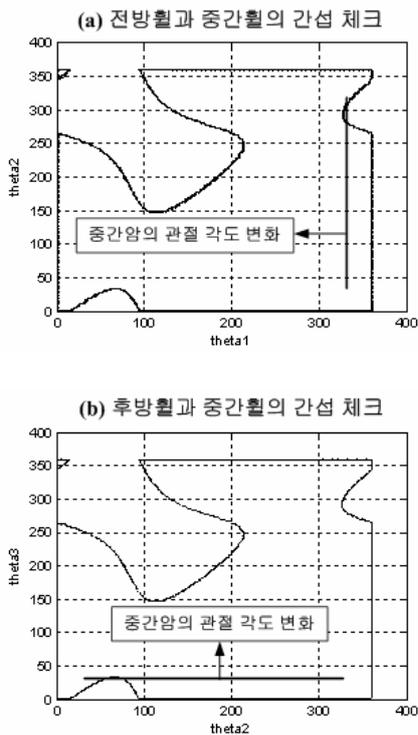


그림 11. [그림 9]의 (a)-(b)에서의 휠 간섭 여부 확인

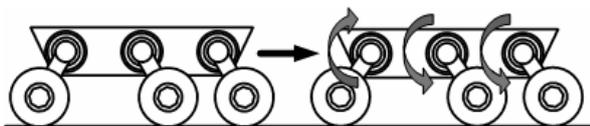


그림 12. 휠 간섭 회피를 위한 암 자세 수정

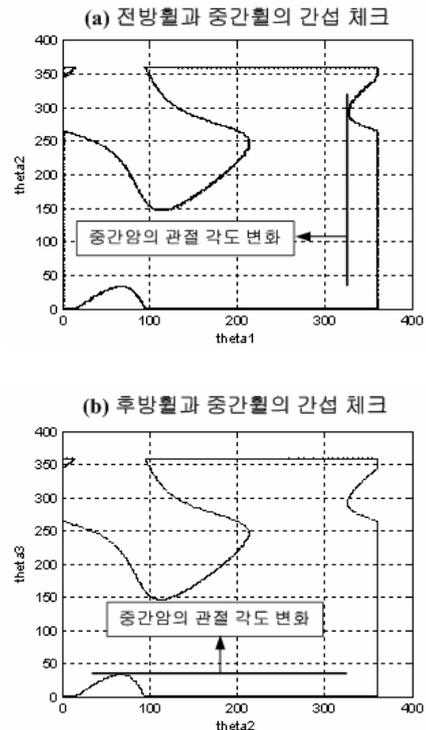


그림 13. 변환된 자세에서의 휠 간섭 여부 확인

[그림 13]은 변환된 자세에서 중간암의 회전에 따른 휠 간섭 여부를 확인하기 위한 그림이다.

[그림 13]으로부터 도입한 암 자세 수정 과정을 통해 휠간의 간섭을 회피할 수 있음을 알 수 있다.

4.3.2 암 토크 분석

[그림 9, 10]과 같이 예측된 자세 중 암의 관절에 토크가 크게 걸릴 것이라 예측되는 [그림 9]의 (d), (e), (g)와 [그림 10]의 (b*), (f*), (g*)에 대해 구현 가능한지를 알아보기 위해 각 암의 관절에 걸리는 토크를 식 (7)과 (8)을 이용하여 구하고 [표 5]와 같이 구동기의 최대 지속 토크 (MCT : Maximum Continuous Torque)와 비교하였다.

표 5. 자세에 따른 토크 분석

장애물 오르기의 암 관절 토크(Nm)				
단계	전방암	중간암	후방암	MCT
(d)	5.43	8.81	6.28	45Nm
(e)	36.41	5.43	9.90	45Nm
(g)	23.91	49.99	5.43	45Nm
장애물 내려오기의 암 관절 토크(N)				
(b*)	23.91	23.91	23.91	45Nm
(f*)	12.14	24.18	23.91	45Nm
(g*)	17.38	2.75	36.19	45Nm

[표 5]는 계단형 장애물 극복 과정 중 로봇의 자세가 좌우 대칭임을 고려하여 전방/중간/후방 압 각각 1개에 대해 걸리는 토크를 계산한 것이다. 위 표로부터 (g) 자세가 실제로 구현하기 힘든 자세임을 알 수 있다. 이 문제를 해결하기 위해 [그림 14]와 같이 중간/후방 구동기 두 개의 합력을 이용하는 방법을 적용하였다.

[그림 14]와 같이 휠을 세로로 쌓음으로써 중간암의 관절에 집중되는 몸체의 중량을 후방암의 관절에 분산시킬 수 있다. 따라서 중간암에 걸리는 토크를 구하기 위한 가중치 상수 S_1 이 2에서 1로 줄어들고 후방암의 가중치 상수 S_1 은 0에서 1로 늘어남으로써 중감암의 관절에 집중되었던 토크의 일부를 후방암이 감당하게 되는 결과를 얻을 수 있다. 이와 같은 효과로부터 [그림 14]의 자세에서 중간 암의 관절에 걸리는 토크를 구하면 [표 6]과 같다.

표 6. 압의 합력에 의한 토크 분석

압	필요 토크(Nm)	최대 지속 토크
전방암	23.91	45Nm
중간암	23.91	45Nm
후방암	8.30	45Nm

[표 6]으로부터 [그림 14]의 자세가 구현 가능하다는 것을 알 수 있다. 이상의 결과를 통해 장애물 오르기에 대한 시뮬레이션은 [그림 15]과 같이 수정할 수 있다.

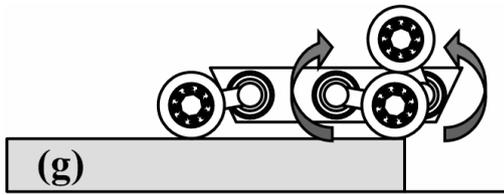


그림 14. 두 개의 압을 이용한 몸체 상승

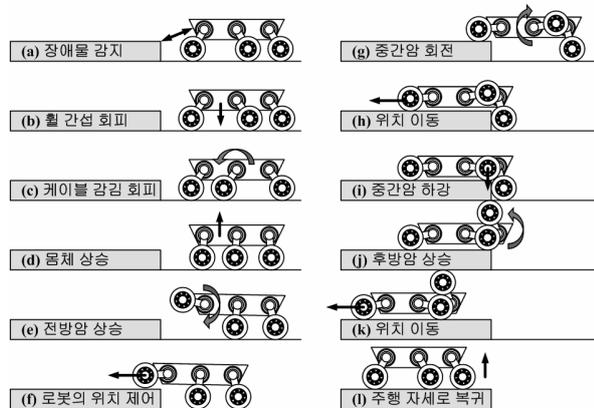


그림 15. 장애물 오르기를 위한 자세 시뮬레이션

5. 계단형 장애물 극복 알고리즘

계단형 장애물 극복 알고리즘은 장애물과의 거리 유지 및 압의 자세 제어를 통해 장애물 극복의 각 단계에 맞는 로봇의 자세를 만들어내는 것을 목표로 한다. 따라서 본 알고리즘을 구현하기 위해 계단형 장애물을 인식할 수 있는 거리 센서와 바퀴가 지면에 닿았는지를 식별하기 위한 토크 센서, 그리고 현재 압의 회전 각도를 인지할 수 있는 엔코더를 이용하였다. 본 연구에서는 제어의 정밀도 보다는 알고리즘의 효율적 수행 및 로봇의 안정성 유지를 위해 로봇의 장애물 극복 경로 계획을 4장 2절에서 같이 단계별 동작으로 나누어 순차적으로 실행되게 하였다.

[그림 16]는 [그림 10, 15]의 시뮬레이션 결과를 이용하여 설계한 계단형 장애물 극복 알고리즘의 순서도이다.



그림 16. 계단형 장애물 극복 알고리즘 순서도

6. 실험

이번 장의 내용은 시뮬레이션과 계단형 장애물 극복 알고리즘을 통해 이동 로봇의 경로 계획을 실제로 구현한 결과이다. 사용된 계단형 장애물은 인위적으로 제작된 가로 160cm, 세로 160cm, 높이 20cm의 장애물로서 일반 도로와 인도의 경계면을 가상으로 제작한 것이다. 실제 이동 로봇을 이용하여 계단형 장애물 오르기를 테스트한 결과 [그림 17]에서 보이는 것처럼 안정적인 로봇이 장애물을 등반함을 확인할 수 있었다.

7. 결론

본 논문에서는 야지에서의 안정적인 주행 및 장애물 극복이 용이한 이동 로봇을 이용하여 계단형 장애물을 극복할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 또한 본 논문에서 제안한 안정적으로 장애물을 인식할 수 있는 방법과 6축 다리형 로봇이 계단형 장애물을 오르내리기 위한 일련의 알고리즘을 시뮬레이션과 이동 로봇을 이용한 실제 테스트를 통하여 효율성을 검증해 보았다. 추후로 이동 로봇의 야지 주행 능력 향상을 위해 계단형

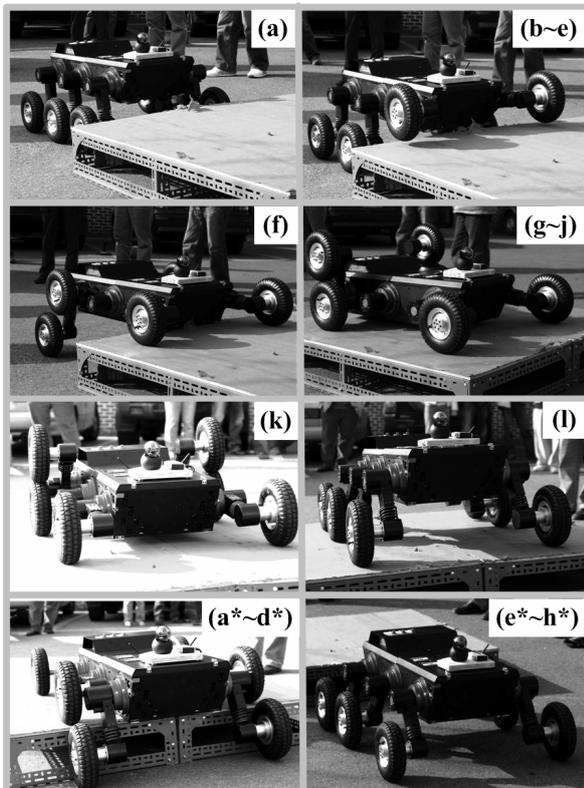


그림 17. 계단형 장애물 극복 실험

장애물뿐만 아니라 야지에서 접하게 되는 장애물을 극복할 수 있는 알고리즘에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] Gerhart, G., Goetz, R., and Gorsich, D. "Intelligent Mobility for Robotic Vehicles in the Army after Next." Proceedings of the SPIE Conference on Unmanned Ground Vehicle Technology, 1999.
- [2] M.S. Lim, J.H. Lim and S.R. Oh, "High-speed Wall Following and Obstacle Avoidance of Wheeled Mobile Robots using Hybrid Behavior Specifications", Proceedings of IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation Banff, Alberta, Canada, pp. 143-148, July 2001.
- [3] Koyanagi E. and Yuta S., "Wheel type mobile robot which travels over a step" -Third report; Process for Climb up/down step -, Proceedings of 18th Annual Conference of RSJ, Vol3, pp.1145-1146, 2000.
- [4] Pierre Lamon and Roland Siegwart, "Wheel Torque Control in Rough Terrain-Modeling and Simulation", International Conference on Robotics and Automation, Barcelona, pp. 879-884, April 2005.
- [5] Mabuchi, T. "Development of a stair-climbing mobile robot with legs and wheels", Artificial life and robotics, vol.2, no.4, pp.184-188, 1998.
- [6] Moore, E.Z., "Reliable stair climbing in the simple hexapod 'RHex'", Robotics and Automation, 2002. Proceedings. ICRA '02. IEEE International Conference on, vol.3, pp.2222-2227, 2002.
- [7] Ray Jarvis, "An Articulated Six Wheel Drive Robot for Very Rough Terrain Navigation", Australasian Conference on Robotics and Automation, pp. 113-138, Nov. 2002.
- [8] Zeng Dehuai, Xie Cunxi and Li Xuemei, "Design and Implementation of a security and Patrol Robot System", Mechatronics and Automation, 2005 IEEE International Conference, Volume 4, pp 1745-1749, Aug. 2005.
- [9] N. Hogan, "Impedance Control : An Approach to Manipulator, Part i, ii, iii", ASME Journal of Dynamics Systems, Measurements, and Control, vol. 3, pp. 1-24, 1985.



심 형 원

- 2003 충남대학교 메카트로닉스 공학과(공학사)
- 2005 충남대학교 메카트로닉스 공학과(석사)
- 2005~현재 충남대학교 메카트로닉스공학과 박사과정

관심분야 : 로봇틱스, 지능제어, 컴퓨터 네트워크, DSP를 이용한 실시간 제어 시스템



김 중 배

- 1986 고려대학교 산업공학과 (공학사)
- 1988 KAIST 산업공학과 (석사)

1988~1991 대한항공 시스템부 DBA
 1991~현재 한국전자통신연구원 책임연구원
 관심분야 : 네트워크 기반의 로봇시스템, 지능형 실시간 시스템



이 지 홍

- 1983 서울대학교 전자공학과 (공학사)
- 1985 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(석사)
- 1991 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(박사)

1983~1988 현대중공업 로봇 사업부 연구원
 1991 한국과학기술원 연수연구원
 1994~현재 충남대학교 메카트로닉스공학과 교수
 관심분야 : 로봇틱스, 지능제어, 전자파 차폐, 컴퓨터 기반 신호처리 시스템