

단일 궤도를 갖는 가변형 로봇 바퀴 구조

Variable Shapes Single-Track of Belt Type Wheel Mechanism

김 지 흥*, 이 창 구*

(Jeehong Kim and Changgoo Lee)

Abstract : Urban Search and Rescue (USAR) involves locating, rescuing (extricating), and medically stabilizing victims trapped in confined spaces. In this paper we state the current approach to USAR, address the limitations and discuss the way for moving in rugged topography. To achieve objectives such as surveillance, reconnaissance, and rescue, it is necessary to develop a driving mechanism that can handle rugged geographical features. We propose a new type of driving mechanism for a rescue robot that has a variable shape single-track. By using a variety shapes, it can get the gain of steering and rotating and the ability to overcome stairs. In this paper, we analyzed the design parameters for making variable transform shapes and determined the specifications of the robot to enhance adaptability to stairs.

Keywords : mobile robot, robot, track, variety type, VGTV

I. 서론

화재 현장, 건물 붕괴와 폭발 등의 우려가 있는 위험한 지역에서 작업을 수행하거나, 정보가 부족한 미지의 지형에 로봇이 인간 대신 투입되어 탐색 및 구조 활동을 수행하기 위한 구조로봇 개발이 활발히 진행되고 있다. 이처럼 구조용 로봇의 개발은 재난시 구조 작업의 효율성을 높이고, 귀중한 생명을 보호하는 중요한 역할을 수행할 수 있어 점차 현실적인 이슈로 대두되고 있다. 실제로 구조 로봇의 협로 주행을 위한 구동 메커니즘에 관한 연구와 구조 로봇의 역할에 대한 연구가 꾸준히 진행되어 왔다. 우선 초기의 연구를 살펴보면, Kohler에 의해 제안된 변형 트랙 시스템 VCTV-1[1]과 Maeda에 의해 고안되었던 변형 트랙 시스템 VCTV-2[2]는 4개의 무한궤도를 사용하고 각각의 트랙 프레임을 회전시켜 지형 적응력을 극대화 하는 동시에 회전 저항력의 감소를 피하였고, Iwamoto의 변형 트랙 시스템 VCTV-3[3]는 위성 바퀴 (Planet wheel)를 장착한 최초의 단일가변트랙 구조로 우수한 계단 적응성을 보였다.

Martens의 Andros[4] 역시 여러 개의 트랙 프레임을 각각 회전시킴으로써 지형 적응력을 극대화시켰으며, 이때 변하는 트랙 장력을 보조 바퀴(idler)로 제어하였다. Yoneda의 Xevius는[5] 트랙 장력 조절을 위한 보조 바퀴의 사용 이외에, 분말 주머니로 연결된 트랙을 이용하여 계단 모서리와의 접촉면적을 넓히는 시도를 하였다. Hagen에 의해 발표된 Pandora[6]는 양쪽에 attack angle을 구현한 double track 구조를 구현하였다. 본 논문에서는 구조용 로봇의 계단 등반 성능개선과 에너지 효율 및 시스템 경량화에 적합한 새로운 형태의 구동 메커니즘을 제시하고자 하였다.

본 연구에서 이루고자 하는 목적은 험지를 이동하는 모바일 플랫폼의 보다 용이한 이동성과 장애물 극복 능력을 향상 시키고자 하였다. 단일 궤도를 갖는 모바일 플랫폼은 접지력이 우수하고 절단지형 혹은 골이 파인 지형을 이동하는데 좋

은 성능을 보인다[3]. 그러나 장애물에는 계단 과 같은 수직 길이 혹은 경사가 높은 장애물이 있는데 간혹 이 장애물들을 회피하는 것은 시간적으로 제약을 받거나 지형적으로 제약을 받을 수 있다.

계단과 같은 장애물을 극복할 수 있는 방법으로 단일 궤도를 갖는 궤도형 바퀴를 가변함으로써 궤도의 모양을 가변할 수 있도록 하여 험지를 이동할 때 계단형 장애물을 능동적으로 극복하기 위한 방법을 제시하고자 하였다. 이 때 궤도의 모양을 가변하는 방법으로 바퀴의 앞부분을 회전형 트랙 프레임으로 구성하였고 궤도의 가변시 발생하는 궤도의 장력 과 길이변화에 대한 문제를 해결하고자 하였다.

II. 기구 설계 개념

가변형 단일 궤도를 가진 모바일 플랫폼은 평지의 운행과 계단형 장애물 극복 운행 방법에 따라 궤도의 형태를 달리 하는 것을 목적으로 설계하였다. 계단을 오를 때 궤도가 계단과 이루는 각을 사면으로 만들어 등판할 때 이득을 얻고자 하는 것이다. 계단을 오른 후에 계단의 평균 사면에 보다 많은 마찰력을 갖도록 마찰면이 넓어지는 모양으로 변화하면 앞쪽바퀴와 뒤쪽바퀴가 나란한 일직선 모양의 궤도를 형성한다. 그러나 모든 계단이 고르게 같은 높이를 갖지 않는 경우에는 전진방향(이후 앞부분)의 바퀴를 변화하여 궤도의 모양을 바꿀 수 있도록 하였다. 이를 위해 바퀴 중 앞쪽의 두 바퀴는 회전이 가능한 긴 바 형태의 회전암(arm)의 양단에 베어링을 이용하여 수동형 바퀴로 붙인다. 이 수동형 바퀴가 붙어 있는 암을 회전할 수 있도록 구동기에 붙여 회전하도록 하였다.

이로써, 모바일 플랫폼은 전/후진과 조향을 하는 후륜부의 구동기와 궤도의 벨트 형상을 바꾸는 회전하는 암으로 구성된 전륜부 바퀴 쌍으로 구성된다. 후륜의 구동바퀴는 벨트에 의해 한 쌍의 전륜부와 짝을 이루어 홈이 파져 있는 타이밍 벨트에 의해 궤도를 형성하게 된다. 벨트에 의해 하나의 궤도를 이루는 양쪽의 궤도는 마치 두 바퀴에 의해 구동하는 모바일 플랫폼과 같은 기구식을 갖게 된다.

단지 바닥과 이루는 궤도면에 의해 전후진 및 조향 때에

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2008. 12. 5., 채택확정 : 2008. 12. 30.

김지흥 : 전북대학교 제어계측공학과(jeehong@chonbuk.ac.kr)

이창구 : 전북대학교 전자정보공학부(changgoo@chonbuk.ac.kr)

마찰이 커진다. 즉 조향을 위해 후륜 양쪽의 바퀴의 속도를 이용하여 전체 궤도의 회전 속도를 이용하였다. 뿐만 아니라 회전 반경은 양쪽 궤도를 이루는 벨트의 형상이 가변됨에 따라 같은 구동 속도에서 회전 반경이 영향을 받는다.

III. 가변형 단일 트랙 기구 설계

앞서 언급한 것과 같이 계단 형태의 장애물을 건너기 위해 변형이 가능한 궤도의 특성을 이용하였다. 그림 1에서 보이는 여러 형태의 바퀴모양은 단일 궤도를 갖는 가변형 트랙 바퀴가 취할 수 있는 장애물 극복을 위한 가변 형태이다.

첫째, 평지를 이동하는 형태는 기본적으로 일직선 형태를 이룬다. 둘째, 계단형태를 감지하면 삼각형모양을 이루도록 하였다. 셋째, 계단을 오르며 앞 부분에 있는 두번째 바퀴가 계단에 오르면 일직선 형태로 바뀐다. 이렇게 하여 계단 사면에 수평한 형태를 만들어 마찰을 크게 하였다. 넷째, 계단을 오르다 계단의 높이가 높거나 계단의 평균 사면보다 높은 계단을 만나면 궤도의 모양을 삼각형 모양으로 바꾸어 계단을 오를 수 있는 형태로 하였다. 이러한 기능을 갖기 위해 궤도의 구조는 두 개의 부분으로 나뉘고 그 한 부분을 가변이 가능한 앞부분과 동력의 주요 부분인 뒷부분으로 나눌 수 있다. 앞부분의 가변부는 뒷부분과 회전의 중심부를 구동기와 연결하고 가변부의 양 끝에는 트랙의 장력을 유지하고 회전을 원활하게 돕는 폴리(poly)형태의 바퀴를 설치하였다.

그림 2에서, 가변형 기구의 구조를 설명하기 위한 좌표계와 좌표계에 투영한 기하학적 해석도를 도시하였다.

좌표계에서, 뒷부분에 위치한 동력발생용 바퀴를 원점으로 하여 지구의 중력에 의한 영향을 받는 기구의 무게에 대한 힘의 특성을 고려해 X-축을 따라 바닥면과 접촉하는 트랙의

방향을 정하였다. 동력부의 바퀴가 위치한 뒷부분을 몸체(B)로 하여 가변하는 회전암을 가변부(A)라하고 가변부의 회전 중심에서 양단에 위치한 수동 바퀴가 위치한 곳까지의 거리를 각각 AWL과 AWS라 하였다. 추후 양단의 바퀴의 위치는 조정됨으로 각각 긴 쪽과 짧은 쪽으로 구분하였다.

전각 θ 에 의해 몸체와 가변부는 궤도의 변형을 취할 수 있고 이 때문에 궤도의 전체 길이에 변형이 생겨 트랙의 장력과 가변부의 회전력에 영향을 미치게 된다.

회전각 θ 에 의한 변화를 해석하기 위해 가변부의 양단에 위치한 두 바퀴와 원점에 있는 뒷바퀴가 이루는 두 삼각형을 해석할 것이고 이러한 해석을 돕기 위해 삼각형이 원점에서 만나 표시되는 두 각 α, β 를 구하였다.

두 각은 가변부의 두 바퀴 중 짧은 쪽과 이루는 각을 α 라 하고 가변부의 회전중심과 반대쪽에 있는 바퀴와 이루는 각을 β 라 하였다. 위 두 각을 구하기 위해 삼각함수를 이용하여 식 1을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \tan \alpha &= \frac{S \cdot \sin \theta}{B - S \cdot \cos \theta} & \tan \beta &= \frac{L \cdot \sin \theta}{B + L \cdot \cos \theta} \\ \alpha &= \tan^{-1} \left(\frac{S \cdot \sin \theta}{B - S \cdot \cos \theta} \right) & \beta &= \tan^{-1} \left(\frac{L \cdot \sin \theta}{B + L \cdot \cos \theta} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

$$-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$$

회전암인 가변부의 회전중심을 Ca 라 하면 원점과 회전 중심을 다음과 같이 표현 가능하고

$$\begin{aligned} (RW_x, RW_y) &= Origin \\ (Ca_x, Ca_y) &= (B \cdot \cos \alpha, B \cdot \sin \alpha) \\ (Ca_x, Ca_y) &= (B \cdot \cos \beta, B \cdot \sin \beta) \end{aligned} \quad (2)$$

원점으로부터 가변부의 회전 중심과 가변부의 양 끝에 있는 바퀴까지의 기구식은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & X \\ 0 & 1 & Y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, R = \begin{bmatrix} \cos a & -\sin a & 0 \\ \sin a & \cos a & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_{Ox}^C : R_{\alpha} T_{x=b}, T_C^L : R_{\theta} T_{x=l}, T_C^S : R_{\theta} T_{x=s}$$

가변부인 회전암의 짧은 쪽에 위치한 바퀴의 좌표는 식 (3)에 의해 구해지고

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} AW_{sx} \\ RW_{sy} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} B \cdot \cos \alpha - S \cdot \sin(\frac{\pi}{2} - \theta - \alpha) \\ B \cdot \sin \alpha - S \cdot \cos(\frac{\pi}{2} - \theta - \alpha) \end{bmatrix} \\ T_O^S &= T_O^{\alpha} \cdot T_{Ox}^C \cdot T_C^S \\ &= \begin{bmatrix} \cos(\theta + \alpha + \varphi) & -\sin(\theta + \alpha + \varphi) \\ \sin(\theta + \alpha + \varphi) & \cos(\theta + \alpha + \varphi) \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \\ & \begin{bmatrix} x \cdot \cos(\theta + \alpha + \varphi) + B \cdot \cos(\theta + \alpha) - S \cos \theta \\ x \cdot \sin(\theta + \alpha + \varphi) + B \cdot \sin(\theta + \alpha) - S \sin \theta \\ 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (3)$$

만일 지면의 장애물 등에 의해 구조 전체적으로 경사가 생

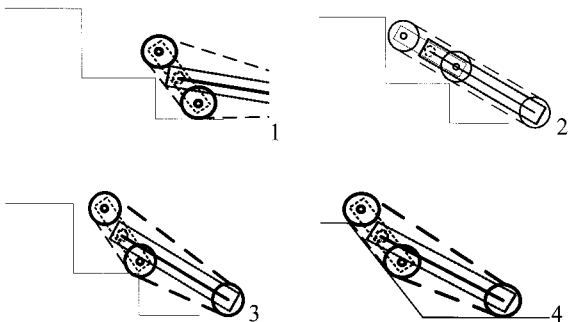


그림 1. 계단을 오르기 위한 트랙의 가변 형태.
Fig. 1. Transformable shapes of track to attack stairs.

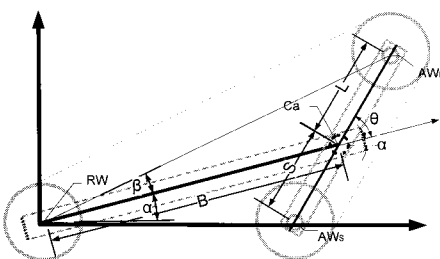


그림 2. 좌표계로 표시한 기구의 기하(upper: CCW angle θ).
Fig. 2. Projection on a system coordinates(CCW angle θ).

기면 경사각 ϕ 에 의한 영향을 고려한다. 마찬가지로, 긴 쪽의 좌표도 구하였다.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} AW_{Lx} \\ AW_{Ly} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} Ca_x + L \cdot \cos(\theta + \alpha) \\ Ca_y + L \cdot \sin(\theta + \alpha) \end{bmatrix} \\ \therefore T_O^L &= T_O^{\alpha} \cdot T_{\alpha}^C \cdot T_C^L \\ &= \begin{bmatrix} \cos(\theta + \alpha + \phi) & -\sin(\theta + \alpha + \phi) \\ \sin(\theta + \alpha + \phi) & \cos(\theta + \alpha + \phi) \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4) \\ &\quad \begin{bmatrix} x \cdot \cos(\theta + \alpha + \phi) + B \cdot \cos(\theta + \alpha) + L \cos \theta \\ x \cdot \sin(\theta + \alpha + \phi) + B \cdot \sin(\theta + \alpha) + L \sin \theta \\ 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

앞서 말한 바와 같이 본 연구는 가변형의 궤도를 갖도록 전면부의 두 바퀴는 가변 압 양단에 연결 되어 수동적인 회전이 가능 하도록 되어 있다. 가변 압의 중심부에는 능동 회전운동이 가능한 구동기가 부착 되어 있다. 가변 되는 앞쪽의 압은 두 개의 수동 바퀴가 양단에 달려 있다. 가변 압의 회전축은 양단으로부터 회전 중심까지의 길이를 다르게 설계하여 가변 압이 회전하여 변화하는 궤도의 길이가 가장 짧을 때와 길 때의 차이를 줄이고자 하였다. 궤도 길이의 변화는 후의 법칙 ($F=kx$)에 상당하는 장력의 변화에도 영향을 준다. 전면부의 가변 압에 의해 전체 궤도의 길이가 변하며 이에 따라 전체 궤도의 장력도 변하게 된다.

궤도 길이는 몸체와 가변 압의 회전각 θ 에 의해 변하게 되는데 단순화된 그림 3에서 보이는 것과 같이 전체 궤도의 길이는 두 삼각형에 의해 계산 될 수 있다. 즉 M과 m의 길이의 변화에 기인하였다. 전체 궤도는 폐곡선을 이루게 되므로 원호 부분의 전체 합은 원주와 같게 된다. 트랙의 총 둘레 길이는 다음 식과 같이 구할 수 있으며

$$\begin{aligned} f(x) &= L + S + 2\pi R + g(x) \\ g(x) &= \text{sqrt}(L^2 + B^2 + 2L \cdot B \cdot x) \\ &\quad + \text{sqrt}(B^2 + S^2 - 2B \cdot S \cdot x) \quad (5) \\ &\quad (0 \leq x \leq 1) \end{aligned}$$

위 식을 간략화 하기 위해

$L^2+B^2+2LB\cos\theta'$, $S^2+B^2-2SB\cos\theta$ 를 $C_1+2C_2\cos\theta$ 과 $C_3-2C_4\cos\theta$ 로 치환하여

$\sqrt{C_1+2C_2x} = \sqrt{C_3-2C_4x} \rightarrow C_3-C_1 = 2(C_2+C_4)x$ 로 표현 하였다.

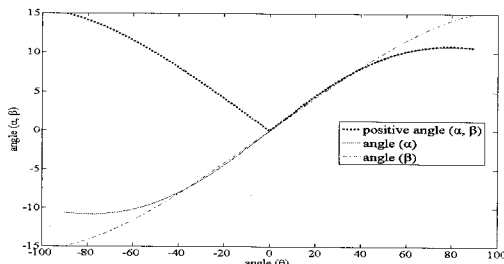


그림 3. 회전각 θ 에 의한 각 α , β 의 궤적.
Fig. 3. The trajectory of angle α , β changed along angle θ .

궤도의 모양이 바뀌었을 때 장력에 영향을 미치는 주요 요소는 둘레의 전체길이가 가장 길 때이다. 궤도의 길이가 가장 길다는 것은 가장 큰 장력을 받고 있다는 것이기 때문이다. 따라서 가변부의 회전각의 변화에 의해 궤도의 둘레 길이가 가장 길 때를 구하면 장력과 회전각에 대한 관계를 구하였다. 전체 길이를 ‘f(x)’ 라하고 상수 부분을 제외한 부분을 g(x)라 하면 $f(x) = L + S_n + 2\pi R + g(x)$ 라고 할 수 있다. 이 때 g(x)가 위로 볼록인 함수라면 최대값을 갖을 것이다. 즉 이 함수 g(x)가 위로 볼록인 함수임을 증명하였다.

$$\begin{aligned} Y(x) &= [g(x)]^2 \\ &= L^2 + B^2 + 2L \cdot B \cdot x + B^2 + S^2 - 2B \cdot S \cdot x \\ &\quad + 2 \cdot \text{sqrt}[(L^2 + B^2 + 2L \cdot B \cdot x) \cdot (B^2 + S^2 - 2B \cdot S \cdot x)] \quad (0 \leq x \leq 1) \\ &= 2B^2 + L^2 + S^2 + 2(L \cdot B - B \cdot S) \cdot x \\ &\quad + 2 \cdot \text{sqrt}[-4C_2 \cdot C_4 \cdot (x^2 - \frac{(C_2 \cdot C_3 - C_1 \cdot C_4)}{2 \cdot C_2 \cdot C_4} x - \frac{C_1 \cdot C_3}{4C_2 \cdot C_4})] \quad (6) \end{aligned}$$

식 (6)을 좀더 간략하게 하기 위해 일차방정식 형태를 갖는 부분을 제외한 무리수 부분의 함수 형태를 분석 전개하였다.

$$\begin{aligned} &2 \cdot \text{sqrt} \left[-4C_2 \cdot C_4 \cdot \left[x - \frac{C_2 \cdot C_3 - C_1 \cdot C_4}{4 \cdot C_2 \cdot C_4} \right]^2 \right. \\ &\quad \left. + 4C_2 \cdot C_4 \cdot \left[\left(\frac{C_2 \cdot C_3 - C_1 \cdot C_4}{4 \cdot C_2 \cdot C_4} \right)^2 + \frac{C_1 \cdot C_3}{4C_2 \cdot C_4} \right] \right] \quad (7) \end{aligned}$$

위 식에서 만일 $(L-S)(B^2-LS) \geq 0$ 이면 즉, $L \geq S B^2 \geq LS$ 이면 위 식은 x가 0과 1사이에서 최대값을 갖는 위로 볼록인 함수가 된다.

$$x = [LB(B^2 + S^2) - BS(B^2 + L^2)] / [4 \cdot B^2 \cdot LS]$$

최대값은 미분하여 “0”의 값을 갖는 곳이다.

$$\begin{aligned} f'(x) &= \frac{d}{dt} [\text{sqrt}(L^2 + B^2 + 2L \cdot B \cdot x) + \text{sqrt}(B^2 + S^2 - 2B \cdot S \cdot x)] \\ f'(x) &= \frac{d}{dt} [\sqrt{C_1 + 2C_2x} + \sqrt{C_3 - 2C_4x}] \\ &= C_2(C_1 + 2C_2x)^{-1/2} - C_4(C_3 - 2C_4x)^{-1/2} \\ &= \frac{C_2}{\sqrt{(C_1 + 2C_2x)}} - \frac{C_4}{\sqrt{(C_3 - 2C_4x)}} = 0 \\ &\rightarrow C_2^2 C_3 - C_4^2 C_1 = 2(C_2^2 C_4 + C_4^2 C_2)x \quad (8) \\ x &= \frac{C_2^2 C_3 - C_4^2 C_1}{2(C_2^2 C_4 + C_4^2 C_2)} = \frac{C_2^2 C_3 - C_4^2 C_1}{2C_2 C_4 (C_2 + C_4)} \\ x &= \frac{L^2 B^2 \cdot (B^2 + S^2) - B^2 S^2 \cdot (L^2 + B^2)}{2L \cdot H \cdot L \cdot S \cdot (L + S + H)} = \frac{B \cdot L - S \cdot B}{2 \cdot L \cdot S} \\ \therefore \theta_{Max} &= \cos^{-1} x = \cos^{-1} \left(\frac{B \cdot L - S \cdot B}{2 \cdot L \cdot S} \right) \end{aligned}$$

위의 식을 통해 여러 몸체길이와 가변부의 길이에 따른 궤도의 최대 둘레길이를 갖는 회전각을 구할 수 있다. 가변부에 있는 바퀴의 위치에 따라 궤도의 둘레길이는 회전각에 의

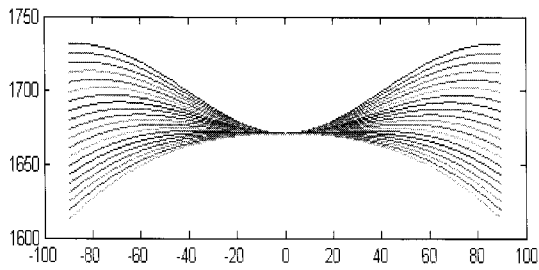


그림 4. 앞쪽 가변부의 바퀴 위치 비율에 따른 트랙의 총 길이 궤적.

Fig. 4. Trajectories by each lengths of track under variant distance rate of *S* in the front arm(Distance rate: 1.00, 1.03, 1.06, 1.08, 1.11, 1.15, 1.18, 1.23, 1.27, 1.31 1.36, 1.41, 1.52, 1.58).

해 다르게 변화 하였다. 그림 2에서 B를 560mm L를 190mm 로 하고 s의 길이를 190mm보다 작게 하여 그 길이 비율대로 정리하면 그림 4 와 같은 거리 비율에 따른 가변암의 회전시 발생하는 트랙의 전체길이 변화 특성 그래프를 그리게 된다. 그래프에서 보는 바와 같이 길이차 *i*가 1 에서 15로 변할 때 $v = (i-1)*5$; $l(i) = 190$; $s(i) = 190-v$; $b(i) = 520$; 조건에서 최소길이 차는 11.57 이고 회전중심에서 양단 바퀴까지의 거리의 최소 비율은 1.36 이 된다.

양단의 길이 비가 1:1(190:190)이면 가변 각 θ 가 0~90° 까지 궤도의 둘레 길이는 길어지기만 하였다. 1:1.31(145mm)이

표 1. 가변부의 바퀴의 위치 비율.

Table 1. Rate of long and short side length of the transformable arm.

S	k/s	Sub.	S	k/s	Sub.
190	1	62.71	145	1.310	13.84
180	1.055	49.92	143	1.328	12.36
170	1.117	38.08	140	1.357	11.57
160	1.187	27.36	138	1.376	12.71
150	1.266	17.96	135	1.407	14.55
148	1.283	16.27	130	1.461	18.03

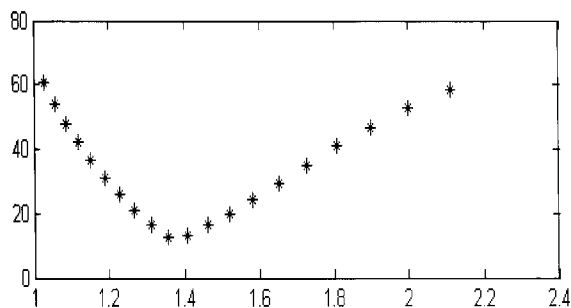


그림 5. 가변부의 뒤쪽 바퀴의 위치에 따른 최대값과 최소값의 차이(distance rate: 1.00, 1.03, 1.06, 1.08, 1.11, 1.15, 1.18, 1.23, 1.27, 1.31 1.36, 1.41, 1.52, 1.58).

Fig. 5. Each lengths of track under variant distance rate of a center to a rear wheel in the front pair wheels(Distance rate: 1.00, 1.03, 1.06, 1.08, 1.11, 1.15, 1.18, 1.23, 1.27, 1.31 1.36, 1.41, 1.52, 1.58).

면 최대 길이가 63° 에서 최저길이에 비해 +13.84mm 차이가 생기게 된다. 긴 쪽과 짧은 쪽과의 거리의 비는 표 1에 보이는 것과 같고 그 거리에 따른 궤도의 둘레 최대 길이와 최소 길이 차이를 표시한 것이 표 1이다.

표 1과 그림 5에서 보는 것처럼 긴 쪽과 짧은 쪽의 길이 비가 1.357 일 때 가변 되는 궤도의 둘레길이의 최대 길이와 최소 길이의 차가 11mm정도로 가장 짧고 이 길이가 궤도의 장력을 가장 최소로 변화 시킬 것이다. 이렇게 구하여진 식에서 가변 암의 가변 축에서 양단의 긴 쪽과 짧은 쪽의 바퀴까지의 길이 *k*와 *s*의 비율에 의해 가변 암의 회전각 θ 에 따라 전체 궤도의 길이가 바뀌게 된다.

IV. 시뮬레이션 & 결론

트랙 프레임은 구성하는 회전 가변이 가능한 프레임은 회전하는 arm 형태로써 이것에 의해 양단의 수동 바퀴에 걸쳐 있는 timing belt shape의 트랙 모양을 가변하게 되는 것이다. 가변된 각도에 의해 계단을 오르거나 장애물을 극복하기 위한 attack angle을 구현 할 수 있고 가변 arm의 각도에 의해 몸체와 지면이 이루는 각을 변화 시킨다. 가변 때의 트랙의 전체 길이가 변하지만 앞서 언급하고 밝힌 바와 같이 최대길이를 갖는 arm의 회전각과 최소길이를 갖는 arm의 회전각에서의 길이 차를 최소화 하는 회전 가변 arm의 양단에 부착된 바퀴의 거리비를 150:105 즉 1.43:1의 비율로 시뮬레이션 하였고 장력의 변화를 최소화 할 수 있었다.

최소 길이 차를 갖는 기구식을 시뮬레이션 하기위해 Matlab을 이용한 기구의 수치해석을 하였고 OpenGL을 이용해 Windows 머신에서 시뮬레이션 하였다. 가변 모양을 시뮬레이션 하기 위해 다음의 수식을 이용하는 한편 시뮬레이션에서 가변 arm의 회전각도 θ 의 변화에 따라 중력의 효과를 고려하여 track 바닥면과 기준면을 평행하게 함으로써 현실감을 높이고자 track를 이루는 각 wheel에 대한 좌표를 함께 계산하는 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 sHeight &= short * \sin((\theta + 90.0f)) \\
 lHeight &= long * \sin((\theta + 90.0f)) \\
 sLength &= short * \cos((\theta + 90.0f)) \\
 lLength &= long * \cos((\theta + 90.0f)) \\
 \text{varm_angle} &= \text{atan}(sHeight / (M_len + sLength)) \\
 \text{Center} &= \text{arctan}(height / (550 + length))
 \end{aligned}$$

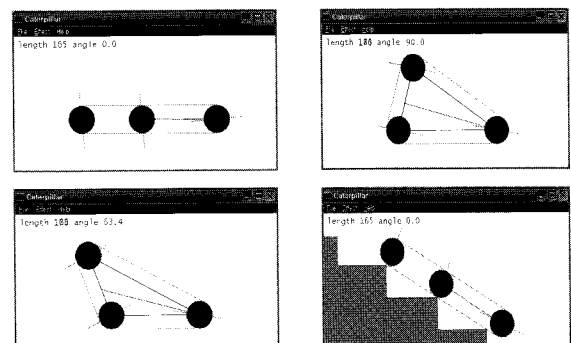
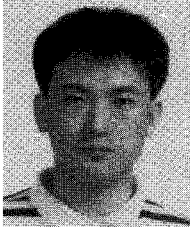


그림 6. 가상 공간에서의 OpenGL 시뮬레이션.

Fig. 6. Simulation with OpenGL.

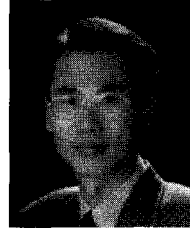
참고문헌

- [1] G. W. Kohler, N. Sleight, and M. Salaske, "Manipulator Vehicle of the Nuclear Emergency Brigade in the Federal Republic of Germany," *Proc. of 24th Conf. on Remote System Technology*, pp. 196-218, 1976.
- [2] Y. Maeda, S. Tsutani, and S. Hagihara, Prototype of Multifunctional Robot Vehicle, *ICAR*, pp. 421-428, 1985.
- [3] T. Iwamoto and H. Yamamoto, Mechanical Design of Variable Configuration Tracked Vehicle, *J. of Mechanical Design*, vol. 112, pp. 289-294, 1990.
- [4] J. D. Martens and W. S. Newman, "Stabilization of a Mobile robot Climbing Stairs," *Proceeding of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, vol. 3, pp. 2501-2507, 1994.
- [5] K. Yoneda, Y. Ota, and S. Hirose, "Development of Hi-Grip Crawler using a Deformation of Powder," *JSRJ*, vol. 15, pp. 1188-1193, 1997.



김지홍

2003년 전북대학교 대학원 석사졸업.
2006년 전북대학교 공과대학 박사수료.
관심분야는 로봇틱스, 기구학, 제어공학.



이창구

1981년 전북대학교 전기공학과 학사.
1983년~1991년 한국전자통신연구원 선임연구원.
1991년 전북대학교 전기공학과 박사.
1992년~현재 전북대학교 전자정보공학부 (정)교수. 관심분야는 현대 제어, 퍼지제어, 지능형 시스템.