

## 교육용소형네다리로봇의 걸음형식결정

윤 창 진

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《첨단과학기술분야에서 세계적경쟁력을 가진 기술들을 개발하기 위한 투쟁을 힘있게 벌려야 합니다. 정보기술, 나노기술, 생물공학을 비롯한 핵심기초기술과 새 재료기술, 새 에너지기술, 우주기술, 핵기술과 같은 중심적이고 견인력이 강한 과학기술분야를 주력방향으로 정하고 힘을 집중하여야 합니다.》

네다리로봇은 바퀴식이나 무한궤도식차량들이 통과할수 없는 험한 지형들을 쉽게 통과할수 있는것으로 하여 광산개발, 농업, 림업, 우주개발, 소방과 구출의 분야에서 커다란 발전전망을 가지고있다.[5]

네다리로봇의 실용적인 형식과 함께 교육과 연구의 목적으로 소형네다리로봇들이 적지 않게 개발리용되고있다.[1—4] 모형비행기의 타구동에 리용되는 타사보전동기를 리용한 소형네다리로봇들은 구조와 걸음형식의 실현, 사보전동기들의 구동조종방법, 조종체계의 구조상에서 모두 서로 다른 특징을 가진다.

론문에서는 한가지 특이한 다리형식을 가지는 교육용소형네다리로봇의 걸음형식결정과 그 실현에 대하여 연구하였다.

### 1. 교육용소형네다리로봇의 구조와 조종체계

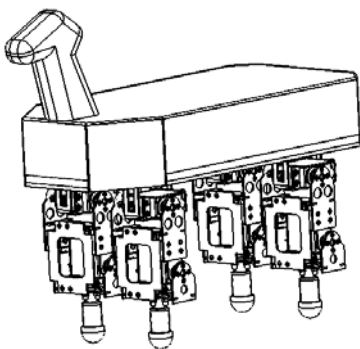


그림 1. 교육용소형네다리로봇의 모양

교육과 과학연구의 목적으로 개발된 교육용소형네다리로봇에서 매개 다리는 2개의 자유도를 가지며 다리의 구동에 모형비행기의 타구동에 많이 리용되는 S3003사보전동기 8개가 리용된다.(그림 1) 사보전동기의 전원전압은 6V이며 이때 사보전동기의 구동모멘트는  $2400\text{g}\cdot\text{cm}$  정도이다. 회전각도범위는  $180^\circ$ 이며  $0.5\text{ms}$ 길이의 PWM파형을 신호선에 주면 회전각이  $0^\circ$ ,  $2.5\text{ms}$ 길이의 PWM파형을 신호선에 주면 회전각이  $180^\circ$ 로 된다.  $90^\circ$ 에 해당하는 PWM파형의 파길이는  $1.5\text{ms}$ 로 된다. 신호선에 대한 PWM파형을 입력하는 반복주기는  $50\text{Hz}$ 이다.

조종체계의 주조종기관의 핵심요소는 한소편컴퓨터 C8051F340이며 프로그램의 개발은 Silicon Laboratories IDE에서 진행하였다. C8051F340소편의 P3모선의 8개의 핀을 출구로 설정하여 사보전동기의 구동에 리용한다. 매 출구에서 PWM파형길이의 설정과 주기적인 PWM파형출구를 위하여 시간설정기 TIMER0과 TIMER1, TIMER2를 리용한다.

조종프로그램에서는 먼저  $5\text{ms}$ 간격의 주기적인 TIMER2의 중단프로그램에서 매번 2개의 전동기에 대한 PWM파형을 출구한다. 매 주기에서 어떤 2개의 사보전동기에 요구되는 회전각도에 기초하여 해당하는 PWM파길이를 결정한다.

다음 구동할 사보전동기들에 대응하는 P3출구의 핀들을 1로 설정하고 출구할 PWM 파형이들에 따라 TIMER0과 TIMER1을 각각 시동한다. 그리고 TIMER0과 TIMER1의 중단프로그램들에서 대응하는 출구핀들을 0으로 설정한다. 그리하여 매 주기에서 TIMER0과 TIMER1은 각각 1개의 출구핀에 대한 PWM파형을 형성시켜주는것으로 되며 TIMER2 중단프로그램이 4차 반복되면 8개의 전체 사보전동기들에 대한 순환이 완성되는것으로 된다.

S3003전동기의 전원전압이 6v일 때 그것의 구동모멘트는  $2400\text{g}\cdot\text{cm}$ 이며 본체의 질량을  $1.8\text{kg}$ 이라고 하고 매 순간 지지다리개수가 최소한 3개라고 하면 매개 다리에 걸리는 질량은 약  $0.6\text{kg}$ 이다. 관절 2의 타기계의 회전축과 다리지지점사이의 가능한 편기는  $2400\text{g}\cdot\text{cm}/600\text{g}=4\text{cm}$  정도이고 따라서 1개 다리의 가능한 보폭은 최대  $8\text{cm}$ 정도로 된다.

## 2. 교육용소형네다리로봇에서 기본관계식

교육용소형네다리로봇의 실제 다리모양과 치수는 그림 2와 같다.

다리에 대하여 토막 및 관절번호를 붙이고 해당한 표시들을 도입한다.(그림 3)

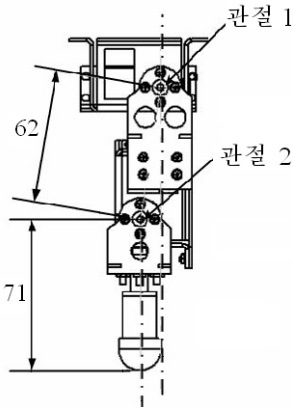


그림 2. 실제 다리모양과 치수

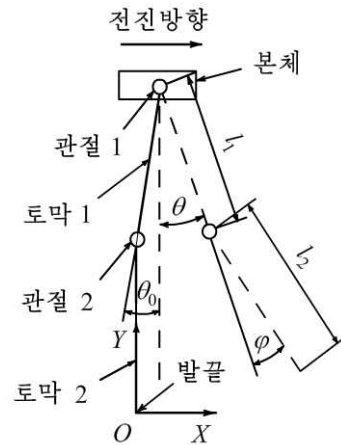


그림 3. 다리에 대한 자리표와 회전각도표시

그림 3과 같이 자리표  $XOY$ 를 도입하면 발끝점의 자리표  $X, Y$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} X &= l_1 \sin(\theta + \theta_0) + l_2 \sin(\varphi + \theta) - l_1 \sin(\theta_0) \\ Y &= (l_1 \cos(\theta_0) + l_2) + (-l_1 \cos(\theta + \theta_0) - l_2 \sin(\varphi + \theta)) \end{aligned} \quad (1)$$

관절 2의 자리표  $X_2, Y_2$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} X_2 &= l_1 \sin(\theta + \theta_0) \\ Y_2 &= (l_1 \cos(\theta_0) + l_2) - l_1 \cos(\theta + \theta_0) \end{aligned} \quad (2)$$

식 (1)에 기초하여 발끝점의 도달가능한 작업공간을 결정할수 있다.

걸음길이를  $S$ , 다리들기높이를  $H$ 라고 하고 발끝점의 본체에 대한 자리길을 설정한다.

발끝점의 본체에 대한 자리길에는 시누스자리길, 복합굴령선자리길, 3차다항식자리길 등이 있다. 여기서는 복합요동선자리길을 리용한다.

$T_{sw}$ 를 요동상태의 주기라고 하면 요동상태가 실현되는 시간구간은  $0 \leq t_1 \leq T_{sw}$ 이다.

요동상태에서 발끝의 자리표변화를 다음과 같이 설정한다.

$$\begin{aligned} x &= S \left( \frac{t_1}{T_{sw}} - \frac{1}{2\pi} \sin \left( 2\pi \frac{t_1}{T_{sw}} \right) \right) - \frac{S}{2} \\ y &= H \left( \frac{1}{2} - \left( \frac{1}{2} \right) \cos \left( 2\pi \frac{t_1}{T_{sw}} \right) \right) \end{aligned} \quad (3)$$

$T_{sp}$ 를 지지상태의 주기라고 하면 지지상태가 지속되는 시간구간은  $0 < t_2 < T_{sp}$ 이다.

지지상태에서 발끝의 자리표변화는 다음과 같이 설정한다.

$$\begin{aligned} x &= S \left( (T_{sp} - t_2) / T_{sp} - \frac{1}{2\pi} \sin \left( 2\pi \frac{T_{sp} - t_2}{T_{sp}} \right) \right) \\ y &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

발끝점의 자리길은 그것의 작업공간을 고려하여 설정되어야 한다. 작업공간을 고려하는 발끝자리길의 설정을 그림 4에 보여준다.

본체에 관한 발끝점의 이동자리길의 앞뒤대칭을 보장하기 위하여 작업공간의 제일 밑에 놓이는 점을 기준으로 하여 자리길을 설정한다.

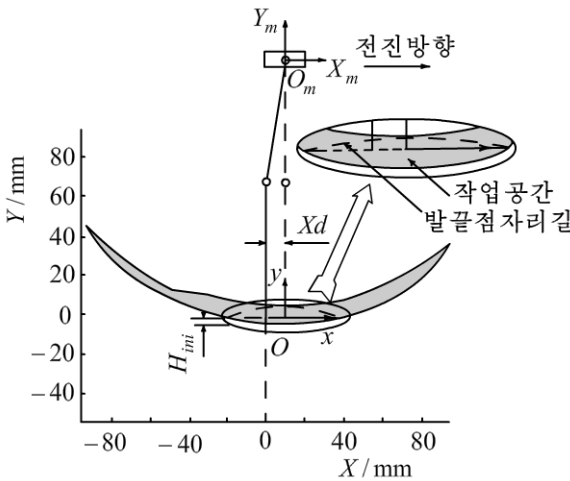


그림 4. 작업공간에 기초한 발끝자리길의 설정

실제 로봇에서 이러한 발끝자리길을 실현하자면 관절들의 해당한 구동각도를 결정하여야 한다.

발끝점의 자리길에 대한 자리표와 기본자리표계  $X_m O_m Y_m$  사이의 변환은 다음의 식에 기초하여 실현할수 있다.

$$\begin{aligned} X_m &= x + Xd \\ Y_m &= -(l_1 \cos(\theta_0) + l_2) + y + H_{ini} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서  $Xd = -l_1 \sin(\theta_0)$ 이고  $H_{ini}$ 는 작업공간에 기초하여 발끝점자리길의 실현가능성을 고려하여 설정하는 량이다.

우의 식으로부터 발끝점의 설정된 자리길을 실현하는 관절들의 회전각도는 다음의 식에 기초하여 수치풀이방법으로 결정한다.

$$\begin{aligned} l_1 \sin(\theta + \theta_0) + l_2 \sin(\varphi + \theta) - l_1 \sin(\theta_0) &= X_m \\ -l_1 \cos(\theta + \theta_0) - l_2 \sin(\varphi + \theta) &= Y_m \end{aligned} \quad (6)$$

### 3. 관절회전각도의 결정

관절회전각도의 결정을 위하여 전체 보행주기를 비롯한 시간특성량들을 먼저 설정해야 한다. 기본주기를  $T_{ss}$ 라고 표시하고  $T_{ss} = 0.02s$ 로 놓는다. 걸음속도배수  $Div$ 를 도입하고 걸음자료갱신시간간격의 기본주기에 대한 배수를 다음과 같이 설정한다.

$$MulNum = 4 / Div$$

이 배수와 걸음자료갱신시간간격  $Dt$  사이의 관계는 다음과 같다.

$$Dt = \text{MulNum} * T_{ss} = 4 * T_{ss} / \text{Div}$$

지지상태의 주기수를  $N_{sp} = \text{Div} * 10$ , 다음의 다리가 요동상태에 들어가기까지의 주기수를  $N_{int} = \text{Div} * 4$  라고 하면 지지상태지속시간은  $T_{sw} = N_{sp} Dt$  이고 한 다리의 요동상태가 계속된 후 다음의 다리가 요동상태에 들어가기까지의 시간은  $T_{int} = N_{int} * Dt$  이다.

한걸음상태가 완성되는 전체 시간은  $T_{all} = 4(T_{sw} + T_{int})$  이며 다음의 지지상태의 전체 시간은  $T_{sp} = 3(T_{sw} + T_{int})$  로 된다. 이때 걸음형식에 대한 충만결수  $\beta$  는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \beta &= (3T_{sw} + 4T_{int}) / 4(T_{sw} + T_{int}) = (3N_{sp} + 4N_{int}) / (4N_{sp} + 4N_{int}) = \\ &= (3 * 10 + 4 * 4) / (4 * 10 + 4 * 4) = 46 / 56 = 0.8214 \end{aligned}$$

보행실험에 필요한 전체 시간구간은  $0 \leq t < T_{sw} + T_{sp}$  이다.

제작한 네다리로봇에 대하여  $\theta_0 = -8.7^\circ$ ,  $l_1 = 62\text{mm}$ ,  $l_2 = 71\text{mm}$  이다.

시간특성량들을 우와 같이 설정한 조건하에서 관절이동각도가 중립위치를 기준으로  $\pm 30^\circ$  로 제한된다고 보았을 때 그림 4와 같은 방식으로 발끝점자리길과 작업공간사이의 관계를 설정하면  $S = 50\text{mm}$ ,  $H = 5\text{mm}$ ,  $H_{ini} = 2\text{mm}$ 로 할수 있다. 이때 본체에 대한 발끝의 자리길과 운동방향을 그림 5에 보여준다.

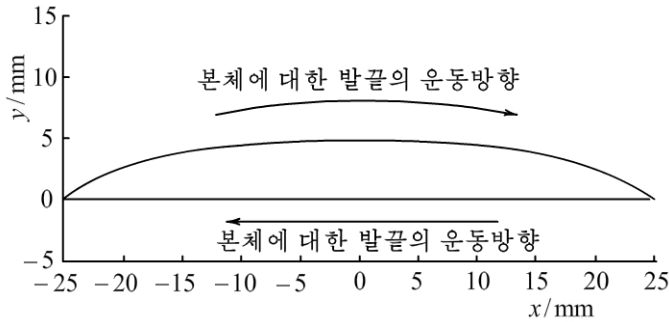


그림 5. 본체에 대한 발끝의 자리길과 운동방향

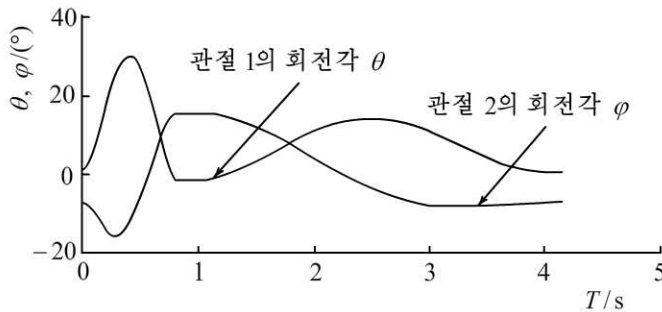


그림 6. 설정된 발끝점자리길을 실현하는 관절각도의 시간에 따르는 변화

## 맺는 말

설계제작한 교육용소형네다리로봇의 보행을 실현하기 위하여 작업공간과 그에 기초한 매개 다리의 보폭과 다리들기높이와 같은 파라미터, 설정된 발끝점의 자리길에 따르는 관절각변화를 결정함으로써 걸음형을 결정하였다. 보행실험은 제기한 방법에 따라 다리들의 발끝점자리길과 보행이 원만히 실현된다는것을 보여주었다.

## 참 고 문 헌

- [1] 林德龙; 机械, 38, 2, 66, 2011.
- [2] 吴兴波 等.; 吉林化工学院学报, 29, 11, 100, 2012.
- [3] 范甜甜 等.; 机械与电子, 12, 53, 2012.
- [4] 宫赤坤 等.; 微计算机信息, 27, 9, 99, 2011.
- [5] 韩晓建 等.; 机械设计, 33, 5, 26, 2016.

주체108(2019)년 12월 15일 원고접수

## **Generation of Gait Pattern of Educational Small Quadruped Walking Robot**

*Yun Chang Jin*

This paper proposes the design of the structure and the control system of an educational small quadruped walking robot, having the steering gears as the driving element.

Keywords: gait pattern, workspace, quadruped walking robot