

## 4족 보행 로봇

### Walking robot with 4 legs

장성환\*, 강훈\*\*

\*중앙대학교 전자전기공학부

\*\*중앙대학교 전자전기공학부

Sung Hwan Jang\*, Hoon Kang\*\*,

\*School of Electrical and Electronics Eng., Chung-Ang Univ.

\*\*School of Electrical and Electronics Eng., Chung-Ang Univ.

(bigloud@sirius.cie.cau.ac.kr)

#### ABSTRACT

This paper explains the walking robot with 4 legs. One leg is composed of 4 dc server motors and have 4 d.o.f. This walking robot has simple structure using the principle of lever. The structure of robot models the 4 legs animal such as dog. The walking patterns is various and complex. With Inspecting the walking dogs, the walking motions implemented by patterns. The center of mass is important of this type robot. The significant issue of walking is weight. As the weight is lighter, so the robot well walks. The method of walking is patterns.

**Keywords :** robot, leg, pattern, walk, server motor, lever

#### I. 서론

본 논문은 4족 보행을 하는 로봇을 설계하여 제작한 것을 내용으로 하고 있으며 전진, 후진, 좌회전과 우회전을 쉽게 하기 위한 구조를 개발에 목표를 두고 하였다. 4족 보행 로봇의 설계에 있어서 한 개의 다리에 4개의 모터를 부착하여 4족 보행을 하는 동물의 움직임을 모델링 하였다. 그러나 근육형태로 구현된 동물의 모든 자유도를 구현하는 것은 모터를 이용하여 구현하는 것은 한계가 있으며 4족으로 움직이는 동물의 관절 부분에서 걸어가는데 필요한 가장 두드러진 부분을 모터로 구현하는데 중점을 두었다. 또한 무게의 최소화는 모터의 토크가 정해져 있는 상태에서 가장 보행의 중요한 점을 차지한다. 4족 보행을 하는 동물은 보행시 일정한 패턴에 의하여 움직인다는 것으로 모델링 할 수 있기 때문에 적절한 패턴을 찾는 것이 가장 중요하다. 보행도 하나의 학습을 통하여 얻어지는 것이기 때문에 움직임을 패턴 형태로 구현하는 제어 방식도 하나의 방법이라고 할 수 있으며 패턴 식 보행의 장점은 간단한 시스템으로 보행을 구현할 수 있으며 또한

정해진 모터의 힘을 최대한 이용하기 위하여 간단한 역학 법칙인 지렛대의 원리를 이용하였다. 물론 지금 사용한 모터 보다 토크가 더욱 강한 모터를 사용한다면 이 역학 법칙은 필요 없지만 이 원리를 사용하여 적은 토크로 강한 힘의 관절을 구현할 수 있었다. 하지만 자연스러운 외형을 만들기 위해서는 토크가 더욱 강하고 모터로 바로 구동할 수 있는 형태로 만드는 것이 필요하다.

#### II. 본론

4족 보행을 구현하는 것에 있어서 가장 중요한 것은 어떠한 동물의 움직임을 모델링할 것인가를 먼저 고려 해야 한다. 우리와 가장 친숙한 동물인 개를 모델로 선택하여 개의 관절 구동 형태를 모델링 하는 것이 관찰 대상을 구하기 가장 좋은 방법이다. 개의 관절에 특징은 앞다리 부분과 뒷다리 부분의 중간 다리 관절 부분이 방향이 다르게 구부러지는 것이다. 즉 모터로 이 관절을 구현할 때에는 서로 반대 방향으로 구부러지게 해야 한다는 것이다. 또한 다리 관절은 움직임을 360도 전체 회전이 아니라 각

각의 관절은 움직일 수 있는 각도가 전부 다르고 한계가 있다. 중간 관절을 예를 들면 약 0도에서 180도 사이에서 움직임이 한정된다는 것을 알 수 있다.



Fig. 1. 걸어가고 있는 개의 모습

4개의 모터로 한 개의 다리를 설계하기 위해서 3개의 모터는 관절을 드는 형태로 설계하고 1개의 모터는 관절을 좌우로 움직이게 하는 형태로 부착하여 회전 및 무게 중심을 이동하는데 쓰도록 하였다. Fig.1. 과 Fig.2. 는 실제 움직이는 개의 모습과 모델링된 4발 로봇을 보여주고 있다.

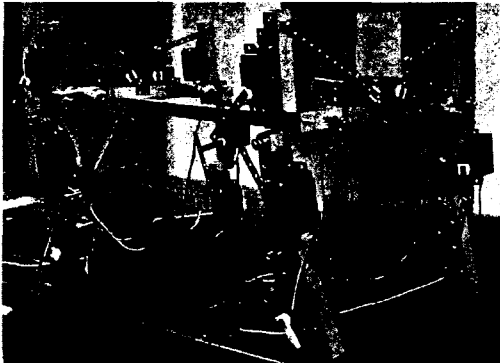


Fig.2. 초기 모델링된 4발 로봇

### 2.2. 구동 모터

모델링된 로봇을 구동하는 모터는 DC 서보 모터로 PWM 방식으로 제어가 되는 것이다. 이 서보 모터의 특징은 각도가 90도에서 +90까지만 움직이는 모터이다. 관절 자체를 정해진 각도에서만 움직이는 보행 로봇 구동에는 아주 적합하다. 또한 각도의 분해능도 11도 정도이다. 즉 움직일 수 있는 각도는 세밀하게 나누어 지지 않지만 15단계 정도로 각도를 조절할 수 있어서 구동을 하는데 간단하게 움직일 수 있다. 모터의 토크는 6V 시에 6.8 이며 무게는 약 58g 이고 빠른 회전 시간을 가지고 있다. 움직임을 자연 스럽게 하기 위해서는 모터의 토크가 크고 회전이 빠르며 가벼운 모터를 선택하는 것이 관건이다. 이 정도의 토크로는 관절을 직구동하지 못한다. 이에 관절을 지레대의 원리

를 이용하여 움직이게 된다. Fig.3. 은 지레대의 원리를 이용하여 모터의 회전부가 고정되어 있고 고정점 1 지점과 고정점 2 지점을 각각 고려하여 볼 때 상식적으로도 고정점 1에 연결한 것이 아래 부분을 드는데 적은 힘이 들어간다는 것을 알 수 있다.

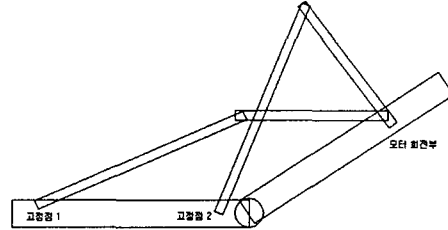


Fig.3. 지레대의 원리를 이용한 관절 구상도

2개의 지레대의 길이를 위는 짧게 하고 아래는 길게 하면 더욱 힘이 좋아진다. 하지만 관절의 회전 각이 줄어 드는 단점도 있다. 회전 각과 힘사이의 선택도 상당히 중요한 점이 된다.



Fig.4. 지레대의 원리를 이용한 관절 구현

### 2.3. 제어부

로봇을 구동하는 모터의 제어적 특성은 회전운동을 일반적인 모터 처럼 회전하는 것이 아니라 0도에서 180도 사이를 움직이는 특성을 가지고 있고 또한 이 모터의 제어 방식은 0.7ms~2.3ms 사이의 펄스 신호를 가지고 각도를 조정하는 방식이다. 원하는 각도로 모터를 회전시키기 위해서는 정확한 펄스 신호가 필요하게 된다. 가장 먼저 펄스를 나누어 구현하기 위해서 100us 의 펄스를 만들어 내는 것이 중요하며 이 펄스를 가지고 제어를 해야 한다. 0.7ms ~ 2.3ms 사이의 펄스에 의한 모터의 각도를 보면 표 1과 같다.

700us	1500us	2300us
-90도	0도	90도

표 1. 모터의 응답 각도

다리를 구성하는 모터의 수는 모두 16개이다. 이 모터의 구동 펄스를 정확히 입력하는 방법을 선택하지 않으면 즉 100us의 펄스를 정확히 만들어 내지 못하면 모터는 부정확한 펄스에

의하여 떠는 현상을 보이게 된다. 떠는 현상이란 모터 자체의 펄스 감지기가 부정확한 펄스에 의하여 바로 다음 위치와 현 위치 사이를 왔다 갔다 하는 것으로 이런 종류의 모터를 제어 할 때는 정확한 펄스 간격이 필요하다. 또한 많은 모터를 동시에 제어해 주어야 하기 때문에 모터를 제어하는 부분의 메인 프로세서는 많은 출력 포트와 정확한 시간과 상대적으로 많은 코드를 처리해야하고 프로세서 한 개로 처리해야 무거운 부담을 줄일 수 있기 때문에 51코어를 가지고 있는 atmel의 at89c52를 선정하였다. 이 프로세서에서 100us의 정확한 펄스를 만들어 내는 방법은 여러 가지 코딩 방법이 있지만 계속해서 펄스를 모터에 입력해 주어야 모터가 보행시 자세를 유지하고 있기 때문에 timer를 이용한 인터럽트 방식으로 코딩하였으며 실제 이 보행 로봇은 다리 4개뿐만 아니라 머리부분에 4개의 모터, 꼬리 부분에 1개의 모터를 더 가지고 있기 때문에 100us의 시간 안에 원하는 21개의 원하는 모터의 각도 제어 값들과 펄스를 on/off 하는 코드를 모두 집어넣어 주어야 한다. 그러한 이유로 24MHz의 메인 클럭 주파수를 공급하여 이 시간 안에 원하는 모든 코드가 수행되게 하였다. 또한 이 프로세서는 8Kbyte의 내부 플래시 메모리를 포함하고 있어서 외부에 추가되는 부분이 없어 무게의 증가를 최소화하는 이점도 있다.

#### 2.4. 이동 알고리즘

4족 보행을 하는 동물들을 보면 다양한 보행 방법을 보여 주고 있다. 대부분의 포유류 동물은 발을 들어서 옮기는 형태를 취하고 있다. 인간 또한 발을 들면서 동시에 중심을 이동하여 걸어 다니고 또한 가속도가 붙은 상태에서의 보행과 시작 보행, 멈춤 보행 등 모든 보행 방식이 일정하지는 않다. 이러한 어려운 보행을 구현하기 위하여 가장 먼저 고려되는 것은 로봇의 설계이며 보행을 유사하게 만들기 위해 다리를 들어서 옮기는 방법을 선택하였다. 한쪽 앞발을 들고 대각선의 뒷발을 들고 표면과 밀착되어진 다리의 상단 모터를 회전 시켜서 몸을 이동한다 이 때 좌 우로 몸을 흔들어 주는 것은 보행의 자연스러움과 또한 무게 중심의 이동을 통한 로봇의 상대적으로 안정된 보행 형태를 구현할 수 있다. 이렇게 몸을 이동시킨 후 공중에 떠 있는 두개의 발을 표면에 내려 놓고 반대편 발을 들어서 이동을 한다. 이러한 방식으로 보행을 구현하는 것은 패턴식 보행으로 일정 공식이 아니라 개의 보행을 관찰하여 유사하게 구현한 것이다. 또한 오른쪽과 왼쪽으로 이동하게 하기 위하여 걸으면서 회전하는 것이 아니라 제 자리에서 회전하는 형태를 구

현하였다. 제 자리 회전에서 최고 상단의 모터를 이용하여 발을 옆으로 들어서 멀리 표면에 발을 댄 후 당기는 방식을 채택하였다. 한 쪽 다리만을 이동하여 몸을 회전시키는 형태로 가장 단순하면서도 제어가 간단한 형태로 회전 또한 빠르게 할 수 있다.

### III. 보행 패턴

#### 3.1. 전진 이동

4족 보행을 하는 동물들은 일반적인 보행을 할 때 정해진 패턴으로 움직인다고 할 수 있다. 약간의 연골과 같은 충격 흡수와 근육들의 미묘한 움직임에 의하여 몸의 중심을 잡기 때문에 완전히 근육형으로 구현하지 않은 여기서 구현한 로봇으로는 힘들다. 하지만 큰 움직임은 패턴식으로 움직인다고 해도 충분하다고 생각하다. 전진하는 패턴은 기본적으로 개가 걸어가고 있는 모양에서 양쪽 대각선 방향 두발이 앞으로 가 있고 다른 두발이 상대적으로 뒤에 있는 상태에서 시작하여 패턴을 잡았다. 발바닥이 있는 로봇에서 발바닥의 상태는 아주 중요하다. 발바닥이 무게 중심과 몸을 평형을 유지하는데 결정적인 작용을 해 준다. 또한 중요한 것은 발바닥의 재질이다. 여러 형태의 표면에서 움직임을 가능하게 하기 위해서는 발을 끌지 않고 확실하게 들어서 옮기는 형태의 보행과 적당한 마찰과 충격을 흡수 할 수 있는 형태의 가벼운 물체를 발바닥으로 사용해야 한다.

#### 3.2. 후진 이동

뒤로 이동하는 보행은 앞으로 이동하는 패턴을 이용하여 반대로 패턴을 입력하면 뒤로 이동할 수 있다. 이것은 영화 필름을 거꾸로 돌리는 것과 같은 원리이고 이러한 방식이 여기서는 사용되었다.

#### 3.3. 좌회전과 우회전

몸을 제 자리에서 회전 시키는 것은 상대적으로 어려운 부분이었다. 물론 로봇의 허리를 구현하여 허리를 움직여서 방향을 변화하는 것이 실제 개의 움직임을 더 잘 구현한 것이라고 할 수 있다. 그러나 구현된 로봇에는 허리 부분에 해당하는 것이 없다. 그 대신 양 옆으로 다리를 벌리고 좁히는 관절이 있다. 이 관절만을 이용하여 회전을 구현하여야 한다. 이동하면서 이 관절을 이용하여 회전하게 해 보았으나 상당히 불안한 형태를 보였다. 그래서 선택한 것이 제 자리 회전이다. 회전 방식을 설명하면 앞 다리를 제 자리에서 들어서 옆으로 이동하여 표면에 놓은 다음 그 다리에 무게 중심을 놓고 다

리를 끌어서 옮기는 형태를 구현 하였다. 회전에 있어서 간단하면서도 잘 이동한다. 물론 다리를 끌어서 이동하는 패턴 이기 때문에 아주 마찰이 심한 곳에서는 회전이 힘들 수도 있다.

### 3.4. 머리와 꼬리

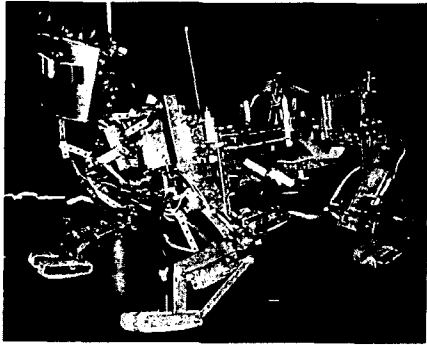


Fig.5. 머리와 꼬리까지 구현된 로봇

구현된 로봇은 단순히 4족과 몸체만 있는 것이 아니라 머리와 꼬리 부분도 있다. 즉 단순한 4족 보행을 위한 몸체만 있는 것이 아니라 머리와 꼬리까지 움직이는 형태로 이 부분의 역할까지 실험해 볼 수 있었다. 머리와 꼬리를 움직일 때는 보행 패턴의 변화를 주어야 한다는 것과 동시에 각 모터의 움직임의 가속도를 줄여야 한다는 것도 중요한 결과이다. 배터리를 내장 시키기 위해 니카드 1000mAh 를 5개를 직렬로 1개의 셋을 구성하여 3개의 셋을 병렬로 연결하였다. 배터리 무게는 로봇에게 아주 큰 문제이다. 움직이는 시간과 직결됨과 동시에 무게의 증가는 패턴을 수정하게 한다.

### IV. 결론

4족 보행 로봇은 관절 구현부터 보행 즉 움직임에 대한 것을 모두 고려하여 설계하여야 한다. 움직이는 방식을 사전에 고려하여 설계하지 않으면 여러 번의 시행 착오를 거쳐야 한다. 이번 논문에서 보여준 4족 보행 로봇은 개의 보행시 가장 두드러지게 움직이는 관절 부분을 모델링 한 것과 지렛대의 원리를 사용하여 작은 모터로 큰 힘을 얻었다는 것에 중점을 두고 있다. 또한 관절의 움직임을 어떠한 복잡한 알고리즘이 아닌 개의 움직임을 관찰하여 패턴식으로 구현하여 움직임에 있어서는 간단하면서도 빠른 보행을 보여주었다. 하지만 표면을 고려하여 발바닥의 기울기를 고려해 주어야 한다는 것과 무게를 분산시킴과 동시에 최대한 가볍게 만들어야 보행을 보장 할 수 있다는 것도 중요한 결과이다. 추후로는 계단과 같은 아직 잘 구현되지 않은 부분까지 구현할 생각이지만 다양한 계단 자체를 인식하는 부분이 더욱 큰

문제이고 평평한 표면이 아닌 울퉁불퉁한 표면에서의 보행을 가능하게 하기 위해서는 압력 센서를 발 바닥에 추가하는 것이 필수이다. 역학적인 설계와 전자적인 면을 고려해야 하고 무게와 이동까지 고려해야 완성된 하나의 보행 로봇이 가능하다.

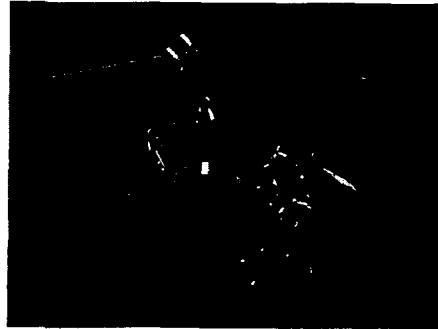


Fig 6. 계단을 오르는 로봇 구상

감사의 글 : 본 연구는 한국과학재단 목적기초 연구 사업(R01-2000-00277) 프로그램에 의해 지원 받았습니다.

### V. 참고문헌

- [1] John J. Craig, *Introduction to robotics*, Addison Wesley, 1989
- [2] Thomas L. Floyd, *Electronic device*, Prentice Hall, 1996
- [3] Adel S. Sedra, *Microelectronic circuits*, Oxford, 1998
- [4] 김대근, 인텔 80C196KC의 모든 것, OHM 사, 1998.
- [5] 신대섭, 초보자가 만드는 로보트, 세화, 1999.