

보행로봇 다리부의 기구학적 설계

A Kinematic Design of the Leg of the Walking Machine

尹 用 山* · 洪 亨 周**
(Yong-San Yoon · Hyung-Joo Hong)

요 약

본 논문에서는 험지에서 바퀴나 트랙을 사용하여 운동하는 차량에 비해 운동성이 좋고 에너지 효율이 높은 사각보행로봇의 기구학적 설계에 관하여 다루고 있다. 특히 보행로봇의 기계적 요소 중 제일 중요한 요소인 다리기구의 설계를 중심으로 그 과정과 합리성에 관하여 기술하였으며 이를 바탕으로 제작된 실험용 모델을 통해서 선택된 기구의 설계의 적절함을 보여주고 있다. 즉 보행로봇의 다리기구로 사용된 축도기형 기구가 실험을 통하여 보행속도나 몸체의 처짐등에 관한 많은 개선점을 제시하였으나 근본적으로 만족할 만한 결과를 보임을 확인하였다. 또한 예상했던 것과 다른 실제의 걸음새의 구현과 마찰 등 실험 결과에서 나타난 문제점들을 기술하고 원인등을 파악하였다.

Abstract- This paper describes the procedure of kinematic design of a quadruped walking machine which has better mobility and higher energy efficiency than the wheeled or tracked vehicles on the rough terrain. Specifically, this paper puts much emphasis on the procedure and its rationality of the design of the leg which is the key mechanical element of the walking robot. And it shows the appropriateness of the selected mechanism and the design method through the walking experiment of the prototype machine built upon the resulted design. The pantograph mechanisms are proved to be acceptable as the leg of the walking machine from the experiment even though it is indicated that the walking speed and the body deflection should be improved further. This paper also describes the problems of the realization of the gait and the frictional effects along with their causes in the walking experiment.

1. 서 론

*正 會 員 : 韓國科學技術院 機械工學科 副教授·工博

**正 會 員 : 韓國科學技術院 機械工學科 博士課程

接受日字 : 1989年 8月 4日

1次修正 : 1989年 11月 24日

보행 로봇트는 오래전부터 장난감으로 부터 시작하여 바퀴에 돌출부를 부착하여 계단이나 험한

지형을 다니게 하는 것, 동물과 몸체를 변형시키면서 파이프속이나 나무위와 같은 특수지형을 가게하는 것, 또는 다리를 이용하여 인간이나 동물과 같이 걷게하는 것 등이 있으며 인간이 접근하기 곤란한 환경(원자로, 광산, 해저, 산림, 화재나 전쟁지역, 혹성 등)에서의 작업, 보철구나 보정구로서 지체 부자유자의 보조역할이나 정상인의 배력장치로 또는 오락 및 교육용으로 사용할 수 있다.

보행로봇(여기에서는 특별한 언급이 없으면 다리를 갖고 보행하는 로봇을 의미함)는 서보제어의 원리를 응용하여 인체의 동작을 모방하는 기계식(GE의 Walking truck, 1968)으로 시작되었으나 컴퓨터의 발달과 더불어 McGhee(1966)의 Phony Pony를 선두로 수치제어에 의한 것들이 대거 출현하게 되었다. 예로써 이즈음 소련에서는 Ignatiev가 방사형으로 6개의 다리를 갖는 로봇(CMU: Carnegie Mellon University의 화성탐색용 Ambler와 유사함)을 제작하였고 유고슬라비아에서는 Vukobratovic(1972)이 공기압으로 작동되는 보정구용 로봇을 정상인 및 대머비 환자에게 착용시켜 걷게 하였다. 일본에서는 Taguchi(1977)가 공기압으로 구동되는 속도기형 다리를 갖는 사각 로봇을 제작하였고 Kato(1973)가 유공압으로 작동되는 이각로봇을 걷게 하였다. 최근에는 Waldron(1984)이 실험용 ASV(adaptive suspension vehicle)를 제작하였는데 2600kg의 중량을 가지며 70kW 엔진에 의한 유압으로 225kg의 하중(탑승 운전자 포함)을 운반할 수 있다. Hirose(1984)는 10kg의 중량을 갖고 삼차원 속도기형의 다리를 네개 가진 PV-II를 개발하였으며 CMU에서는 화성 탐험용으로 6개의 다리를 가진 Ambler로봇을 개발중에 있다.

보행 로봇은 첫째 다리수에 따라 분류하면 일각(CMU-Hopper), 이각(Waseda-WABOT, Tokyo-BIPER 4), 사각(GE-Walking truck, USC-Phony Pony, TIT-PV II), 육각(Leningrad-Hexapod, CMU-ODEX, OSU: Ohio State University-ASV), 팔각(Komatsu-ReCUS)등으로 분류할 수 있고, 둘째 걸음새에 따라 정적 걸음새(정적 평형을 유지하며 걷는 걸음새)와 동적 걸음새 로봇으로 분류되는데 대부분은 정적 걸음새 로봇이며 CMU의 Hopper만이 동적 걸음새에 의해 움직이나 앞으로는 대부분의 로봇이 보행 속도 향상을 위하여 동적 걸음새를 수용할 것이다. 셋째 구동방식에 따라 공압식, 전기식, 유압식으로 분류할 수 있는데 일반로봇에서와 마찬

가지로 대형에서는 유압식, 소형에서는 전기식이 주로 사용되고 있다. 네째로는 동력원에 따라 자체공급식과 외부공급식이 있는데 OSU의 ASV가 자체공급식 동력원을 갖고 있으나 대부분의 경우 외부공급식을 사용하고 있다. 다섯째로는 제어방식에 따라 수동식과 자율식으로 구별되며 GE의 Walking truck이 수동식을 채택하였으나 최근의 대부분의 보행로봇은 자율식을 추구하고 있다.

본 연구에서 시도하고 있는 보행로봇은 중량이 70kg 정도이고 네개의 삼차원 속도기형 다리를 가지며 10kg 정도의 하중을 운반하며 0.15m/sec의 보행 속도를 가지도록 계획하고 있으며 이를 위한 로봇의 기계부분(다리 및 몸통)의 설계에 대하여 논의하고자 한다.

2. 다리의 설계

보행로봇에 있어서 다리의 설계는 보행로봇의 성능을 결정하는 가장 중요한 요소의 하나이다. 다리의 설계에 따라서 로봇의 운동성, 에너지 효율, 속도 그리고 로봇의 제어방법등이 영향을 받는다. 일반적으로 기구의 설계는 형태설계와 치수 설계로 나뉘어지며 보행로봇의 다리 설계도 이와같은 맥락에서 다리의 개수, 종류, 자유도 등을 결정할 형태설계과정과 에너지절약, 속도향상, 보행체적, 강도, 진동 등을 고려한 치수 설계과정으로 나누어진다.

2.1 다리의 설계조건

다른 어떤 기구설계와 마찬가지로 다리의 설계도 설계조건에 근거를 두어야 한다. 다리기구의 설계조건은 제작된 로봇이 어떠한 지형에서 어떠한 작업을 수행하는가에 따라 달라진다. 산악지형 혹은 해저와 같은 험지의 작업에 필요한 로봇이라면 운동성이 뛰어나고 에너지 소모량이 적어야 하겠고 빠른 보행을 필요로 하는 로봇의 경우 안정성과 간단한 제어방법을 보장할 수 있는 다리기구가 필요하다.

낮은 에너지 효율은 지금까지 제작된 많은 보행로봇이 가지고 있는 중요한 문제이다. 이러한 문제는 대부분 부적절한 다리의 설계에 기인하며 기구학적으로 다리기구의 전달각과 형상을 조절하여 성능을 향상시킬 수 있다. 대부분 에너지 손실은 다리의 왕복운동으로 인한 운동에너지 손실로부터 생긴다. 왕복운동으로 손실되는 관성력을 줄이기 위해서 다리 기구의 질량을 구조적인 강도와 강성을 만족하는 범위내에서 가능한한 줄이는 것

이 필요하다. 같은 질량의 다리를 사용하는 경우에도 구동부에서 멀리 떨어진 부분은 가볍게하는 등 질량을 적절히 분배하면 상당한 관성력의 손실을 방지할 수 있다. 또한 한가지 운동을 발생시키기 위해 여러 자유도의 구동이 필요한 경우 로봇의 동력원은 브레이크의 역할을 하게 되고 이것은 에너지 손실의 한 가지 이유가 된다.

보행로봇에게 협지에서 좋은 기동성을 부여하기 위해서는 주어진 장애물을 통과할 수 있는 운동성을 제공하여야 한다. 등판할 수 있는 최대경사각, 통과할 수 있는 계단의 최대 높이, 건널 수 있는 수렁의 폭 등은 다리의 운동범위에 의해 결정되고 이 운동범위는 보행 로봇의 운동성에 직접적으로 관련이있다. 또한 설계하고자 하는 보행로봇의 대략적인 크기도 운동범위에 의해 결정되고 운동범위내에 다리가 몸체를 지지할 때를 기준으로 다리에 사용되는 부재의 길이를 결정한다.

보행로봇이 방향을 전환하거나 장애물을 넘어갈 수 있기 위해서는 1개의 다리기구에 대하여 3개의 자유도가 필요하다. 즉 발 끝이 몸체에 상대적으로 3차원 운동을 할 수 있도록 하는 것이 요구된다. 평지보행시 다리가 몸체를 지지하고 있는 경우 몸체의 높이 변화에 따른 위치에너지의 손실을 줄이기 위해서는 전진구동부만으로 발끝이 몸체에 대하여 직선운동을 하는 것이 필요하다. 이때 각 자유도에 대한 운동이 서로 간섭되는 것을 막기 위해서는 3개의 서로 분리된 운동을 발생시킬 수 있는 기구를 사용하는 것이 좋다.

보행로봇이 운동중에 있을 때 각 다리에 작용하는 지면 반발력은 지지다각형(support polygon)과 몸체의 질량중심의 상대 위치에 따라 변하게 된다. 이때 다리기구와 몸통의 변형이 심한 경우에는 변형상태의 차이에 따라서 몸통이 수평을 유지하지 못하고 기울어지게 된다. 특히 이러한 현상은 지면을 딛고 있는 다리가 들릴 때 몸체가 들려진 다리방향으로 기울어지고 따라서 변형되는 양 이하로 다리를 들더라도 다리가 지면에 닿은채로 있게 된다. 또한 다리를 지면에 딛을 때 몸통이 들린 다리의 방향으로 기울어져 있으면 발끝이 지면에 접촉하기 시작한 후 몸체가 수평을 유지할 때 까지 발끝을 내려야 한다. 이러한 현상은 다리기구가 변형을 하는 한 완전히 제거할 수 없지만 보행중 몸통의 기울어지는 정도를 제한하는 값을 정하고 이에 따른 다리의 강성을 결정하는 것이 바람직하다고 하겠다. 또한 같은 기구라 하더라도 다리의 위치에 따라서 발끝이 변형되는 양의 차이가 크지 않는 다리기구가 요구된다.

마지막으로 기구학적인 조건뿐 아니라 기계적인 제작을 위한 조건도 고려되어야 한다. 우선 경제적으로 비용이 저렴하고 구조적으로 큰 하중을 견딜 수 있으며 제작이 용이하기 위해서는 다리기구의 구조가 간단해야 한다. 기구뿐만 아니라 동력원에서 기구까지 동력을 전달하는 부분에서 백래시가 적어지도록 고려하여야 한다. 또 전원공급이 중단되거나 제어 장치중의 일부가 파손되었을 때 로봇의 몸체가 쓰러져 고가의 장비를 상하게 하지 않기 위해서는 브레이크나 자기잠금(self-locking)이 가능한 동력전달장치를 고려하는 것이 필요하다.

2.2 다리의 형태설계

기존의 보행로봇들을 살펴보면 한개의 다리를 가진 로봇으로 부터 여덟개의 다리를 가진 로봇까지 다양하게 있으며 그중에서 이각, 사각 및 육각 로봇이 비교적 많이 사용되어 왔다. CMU에서 개발한 일각로봇의 경우에는 동적평형을 이용한 동적 걸음새를 채택하여 항상 움직이고 있어야 한다는 특수성을 지닌 로봇이므로 일반적으로 생각하고 있는 작업용 로봇로서는 부적절하다. 지면에 접지하고 있는 발들의 자유도의 합이 최소한 6이상이 되어야 정적 평형하에서 자세유지 및 방향전환이 쉽게 이루어 지므로 한개의 다리당 3개의 자유도가 필요한 것을 생각하면 이각 및 사각로봇의 경우 최소한 12개의 자유도가 필요하고 육각로봇의 경우 18개의 자유도가 필요하다. 보행속도면에서 살펴본다면 다리의 갯수가 많을수록 정적인 걸음을 유지할 수 있는 최소의 디듀티(duty factor)가 감소하므로 보다 빠른 보행속도를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 비교적 안정성을

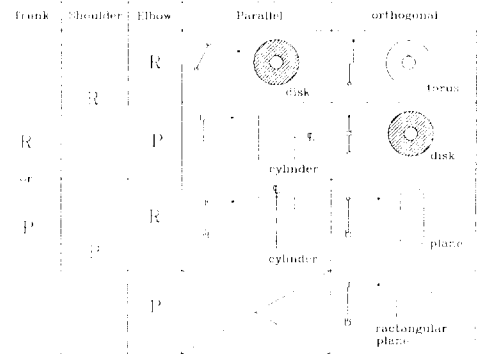


그림 1 개방형 링크
Fig. 1 Open Loop Linkage

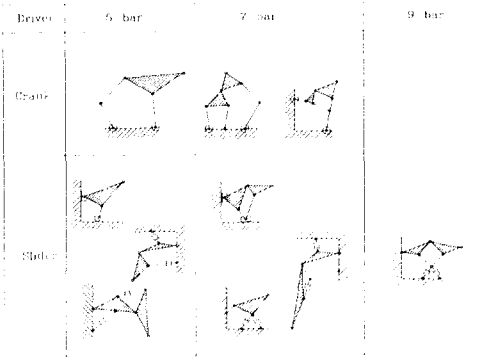


그림 2 폐쇄형 링크
Fig. 2 Closed Loop Linkage

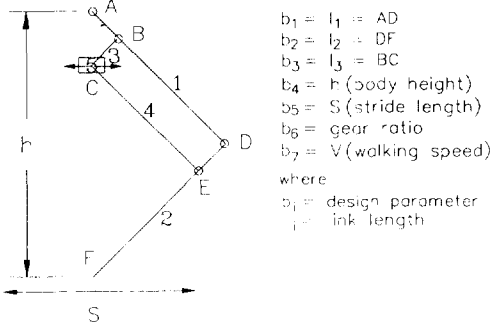


그림 3 2차원 단순 속도기구
Fig. 3 2-Dimensional Simple Pantograph

유지하며 단순한 구조를 가지면서도 적은 숫자의 콘트롤러가 필요한 사각로봇을 채택하였다.

보행로봇의 다리로는 일반 로봇팔에 사용되는 개방형 링크와 폐쇄형 링크를 생각할 수 있다. 보행로봇의 다리기구로 고려할 수 있는 평면운동이 가능한 2자유도의 개방형 링크는 그림 1과 같은 형을 들 수 있고 폐쇄형 링크로는 그림 2에서 표시된 것들을 들 수 있다. 링크를 구동하는 액츄에이터가 개방형 링크의 경우에는 각 링크를 연결하는 조인트부에 부착되어 있거나 다른 동력 전달장치를 이용하여 몸체에 가까운 부분에 장착할 수 있는 반면 폐쇄형 링크의 경우는 대부분 몸통쪽에 구동부를 설치하기 용이하다. 보통 개방형 링크는 구조가 간단해서 폐쇄형 링크보다는 운동학적 비선형성이 심하지 않고 큰 하중을 받을 수 없는 반면 폐쇄형 링크의 경우에는 구조적으로 큰 힘을 받을 수는 있다.

보행로봇의 다리기구를 선정할 때 특히 일반로봇팔과 다르게 고려하여야 할 점은 이들 보행로봇의 다리들이 자기몸통을 들고 이동하여야 함으로 중력에 의한 불필요한 에너지의 낭비가 없어야 하는 것과 중력방향의 큰 힘을 지탱하기에 알맞은 기구를 선정하는 것이다. 정적인 보행의 한 주기 동안 몸통의 높이에 대한 변화는 몸체내의 다른 형태의 에너지로 변화되지 않는 경우에 위치에너지로 손실된다. 이러한 에너지 손실을 제거하기 위해서는 발끝이 몸통에 상대적으로 정확한 직선을 만들어 내는 특징을 갖는 기구가 필요하다.

예를 들어 SCARA 형이나, 직교좌표형, 속도기형, 또는 평행사변형 등의 기구는 중력에 대하여 일을 하는 구동부가 별도로 존재하여 중력에 의한 에너지의 손실을 최소화할 수 있으며 따라서 에너지 효율측면에서 보행로봇의 다리로 적합하다. 또 한가지 고려할 점은 보행로봇의 경우 최소한 12개의 구동부를 제어하여야 함으로 어떤 동작을 수행함에 있어 컴퓨터의 부담을 줄여줄 필요가 있으며 이러한 관점에서 폐쇄형 링크중 평면 속도기형 다리를 채택하여 3차원 운동을 하도록 설계하였다.

평면 속도기형 다리에 방향전환에 필요한 자유도를 첨가하는 데에는 그림 4와 같은 경우들을 생각할 수 있다. (A)의 경우는 ASV에서 사용된 형태로 전후 방향의 운동은 발끝의 전후, 상하운동이 서로 독립되어 있으나 옆걸음의 경우에는 좌우와 상하 운동이 서로 관계가 있으며 구조적으로 간단한 특징이 있다. (B)의 경우는 동경공대의 PV-II와 TITAN등에서 볼 수 있는 것으로 발끝의 운동이 구동부에 대하여 완전히 독립되어 있다.

본 로봇에 사용된 삼차원 속도기(C)는 Hirose의 PV-II에 사용된 것과 유사하나 수직 및 수평 구동부에 연결된 십자형 유니버살 조인트의 평면이 PV-II에서는 세워져 있어 한 보행 주기 동안 많은 부분을 차지하는 다리의 전후방향 운동시 다리부 전체가 수직축에 대한 회전에 의해 삼차원 운동을 하게 되나 본 로봇의 경우 수직축에 대한 회전이 없어 이차원 운동만을 하게되므로 동력학적으로 간단하게 해석할 수 있는 장점이 있으며 전체 기능상으로는 특별한 차이점이 없다. 본 연구에서 채택된 삼차원 속도기형 다리는 발의 전후, 좌우, 및 상하운동을 분리하여 맡고 있고 각각의 운동은 해당구동부의 움직임과 선형관계가 있어 운동학적 계산이 간단하게 얻어질 수 있다.

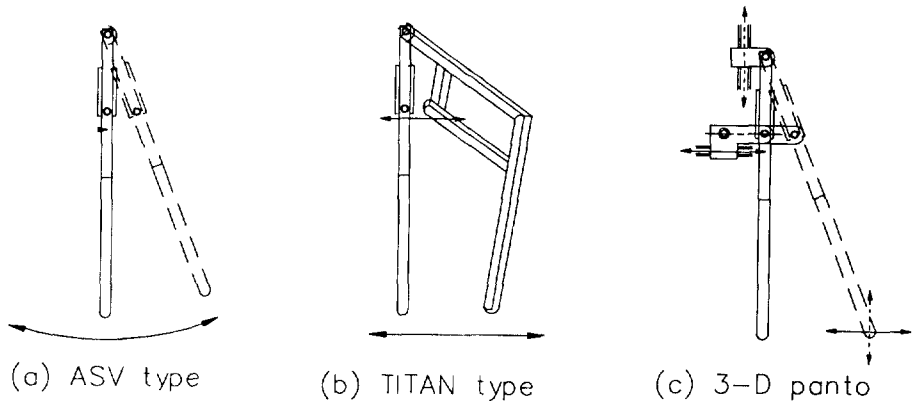


그림 4 3차원 축도기구
Fig. 4 3-Dimensional Pantograph

2.3 축도기형 다리의 보행체적

보행로봇의 장점은 바퀴나 트랙이 달린 차량보다 험지에서 우수한 운동성과 에너지 효율을 가질 수 있다는 것이므로 보행로봇의 설계에서는 운동성과 에너지효율의 조건이 충분히 검토되어야 한다. 보행로봇의 성능 즉 에너지효율과 운동성은 보행로봇의 다리의 형상에 매우 밀접한 관련이 있고 다리의 기하학적 설계는 보행로봇이 작업하는 환경에 상당히 관계가 있다.

많은 연구가 보행로봇의 다리설계 분야에서 행해져왔다. 그들 중 일부는 험지에서의 운동성만을 고려하여 기구학적 설계만을 시도하였다. Song은 보행체적(walking envelope)에 대하여 대화형식의 컴퓨터 프로그램을 사용하여 축도기형 다리 기구를 설계하였다. 그의 연구에서 보행로봇의 다리가 좋은 운동성과 구조적 형상을 갖기 위해서는 다리의 윗부분 링크와 아랫부분 링크의 길이의 비가 0.65와 0.75 사이에 있어야 한다고 제시하였다. 또한 Song과 Waldron은 여러지형에서 최적인 운동성을 얻을 수 있도록 Hexapod 보행로봇을 기구학적으로 설계하였다. Yang과 Lin은 일반적인 매니플레이터의 구조로서 축도기 기구가 최적인 운동범위와 작업영역을 얻기위한 기구학적 조건을 제시하였다. 또한 Kaneko는 기하학적 상사를 도입하여 N개의 다리를 갖는 보행로봇의 경우 보행속도, 디딤틀, 보폭, 몸체의 높이등이 에너지효율에 미치는 영향을 조사하였다.

먼저 보행체적을 결정하기 위해서는 보행로봇의 운동성을 고려하여야 하며 이로부터 빠른 속도를 얻는 다리기구의 상세치수를 결정할 수 있다. 그림 3과 같은 축도기형 다리에서 발끝의 운동은

구동부의 운동이 x 방향으로 $R+1=l_2/l_3$ 배, z 축 방향으로 R 배 확대되어 나타난다. 구동부의 수평 및 수직 방향의 운동 X_d, Z_d 는 링크의 길이 l_1, l_2, l_4 에 의해 좌우된다. 즉

$$(l_1 - l_4 - l_3)^2 \leq x_d^2 + z_d^2 \leq (l_1 - l_4 + l_3)^2 \quad (1)$$

와 같은 원의 방정식으로 표시된다. 발끝의 수평수직 위치 X_f, Z_f 는

$$(l_1 - l_4 - l_3)^2 \leq \frac{X_f^2}{(R+1)^2} + \frac{Z_f^2}{R^2} \leq (l_1 - l_4 + l_3)^2 \quad (2)$$

그러므로 발끝의 운동범위는 타원의 식으로 표시되고 타원의 장축과 단축의 비는 R 이 작을수록 커지고 반대로 R 이 클수록 1에 가까게 된다. 또

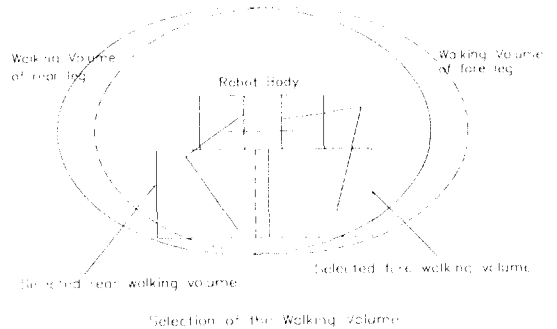


그림 5 보행로봇의 보행체적
Fig. 5 The Walking Volume of the Walking Machine

한 기구의 전달각(transmission angle)을 제한한 식도 (2)보다 작은 타원으로 표시된다.

축도기형 다리의 확대비 R 을 2로 놓으면 각 다리의 X 축과 Z 축이 만나는 점을 중심으로하고 발끝의 운동궤위를 나타내는 타원은 그림 5에서 표시한 것과 같다. 이때의 최대 보행체적은 타원에 내접하는 사각형이 된다. 보행체적을 사각형으로 선택한 것은 축도기 기구의 확대비가 작은 경우 보행체적을 위한 구동부의 길이가 그만큼 길어지기 때문에 몸통의 크기가상으로 구동부를 설정하지 못하는 것이 이유로 작용하였다.

2.4 보행속도의 개선을 위한 설계

사각보행로보트기 평지를 정적인 걸음새로 정속 보행하는 경우 다리의 상하운동을 작다고 가정하면 보행속도의 증가는 발끝부분의 전후왕복 운동의 속도를 최대로 하는것으로 얻어질 수 있다. 4각 보행로보트가 정적인 걸음새를 유지하기 위해서는 최소한 3/4의 디딤울(한걸음의 전체 주기에서 발이 지면에 접지하고 있는 시간의 비율)이 필요하며 따라서 발을 공중에서 앞으로 내딛는 때의 속도가 보행속도를 좌우한다고 볼 수 있다. 보행속도를 개선시키는 문제를 단순화하면 모터가 주어져 있는 경우 축도기구를 구성하는 링크의 형상을 변화시켜 발의 내딛는 속도를 최대로 하는 최적화문제로 생각할 수 있다.

여기에서 설계변수로 사용된 것은 그림 3에서 보여준 바와같은 4개의 링크길이와 동력 전달장치의 기어비, 보폭 및 몸체높이이며 수치해법은 미분벡터투영법을 사용하였다. 이러한 최적화과정을 통하여 약 47%의 속도증가를 얻었으며 최적화된 다리의 형상을 그림 6에 보여주고 있다. 이 과정에서 보행시스템의 에너지 효율을 나타내는 비저항(Specific Resistance : 주어진 거리를 진행하는데 필요한 에너지와 중량×이동거리의 비)은 37.5% 감소하였다. 이때 관찰할 수 있는 축도기 기구의

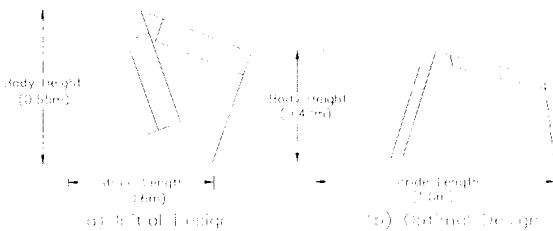


그림 6 보행속도 개선을 위한 다리기구의 설계
Fig. 6 The Mechanical Design of the Leg Mechanism for Speed Improvement

특징은 기구의 확대비가 증가하는 것과 보폭이 커지는 것 그리고 다리기구를 구성하는 링크들이 전후진 방향의 운동을 구동하는 부분에 가깝게 몰려있는 것등이다. 기구의 확대비가 커지는 것은 그만큼 구동부에 작용하는 힘이 증가하는 것을 의미하기 때문에 모터의 크기와 적절한 조정이 있어야 하고 기구를 구성하는 링크들이 구동부 주위에 집중하는 것은 다리기구의 전반적인 보행체적을 고려함으로써 조성을 할 필요가 있다.

3. 결과 및 토의

본 논문에서는 기구학적 원리에 의하여 다리부분을 설계하고 이에 근거하여 예비실험용 보행로보트를 제작하였다. 제작된 실험용 모델은 전체중량이 75kg이고 디딤울 0.9의 보행 실험[16]을 통하여 약 33cm/min의 보행속도를 얻었다. 실험용 모델을 통해서 삼차원 축도기형 다리가 보행로보트의 다리로 적절함을 알게 되었으나 빠른보행속도를 얻지 못하였으며 여기에 대한 분석을 하여 본 결과

1) 각 조인트에서 발생하고 있는 마찰력과 시스템 전체에서 기인하는 마찰저항의 크기가 계산하였던 것 보다 2배 정도커서 예상하지 않았던 기어박스를 설치하여야 했으며

2) 발이 지면에 빠르게 접지할 때 생기는 충격력이 모터구동에 문제를 야기하여 발바닥에 고무판을 부착하고 상하운동을 아주 천천히 수행하여야 했고

3) 발바닥의 고무와 각조인트에서의 유격등으로 인하여 몸체의 상하처짐의 변화가 심해서 디딤울 3/4의 실현이 불가능하였다.

이러한 문제점의 근본적인 해결방안으로는 첫째 마찰저항의 크기를 정확하게 예측할 수 있는 방법론이 개발되어야 한다. 보행로보트가 많은 기구들로 구성된 복잡한 기계이기 때문에 로봇의 각부분에 대해 마찰력을 예측하는 일이 쉽지는 않지만 가능한한 정확한 수치를 근거로 설계를 시작해야 하겠다. 둘째로는 지면의 충격력을 소화할 수 있는 하중제어 방식의 도입이 필요하다. 이는 보행로보트의 발끝에 작용하는 지면접촉력을 직접 제어하여 문제를 해결할 수 있다. 세째는 다리와 몸통의 변형에 대한 문제를 생각할 수 있다. 다리기구가 탄성변형을 하는 한 발끝의 처짐을 완전히 제거하는 것은 불가능하지만 몸체의 상하처짐 변화율을 기계적 설계를 통해서 가능한 한 줄이면서 한편으로는 이를 감안한 걸음새의 개발이 필요할

것이다.

4. 결 론

국내에서는 처음으로 시도된 보행로봇의 기계부를 설계, 제작하여 작동시켜 봄으로써 다음과 같은 몇 가지 결론을 얻었다.

1) 본 연구에 사용된 삼차원 축도기형기구가 보행로봇의 다리로서 기계적 측면에서 볼 때 성공적이었다.

2) 교과서적인 디딤을 3/4은 실현에 어려움이 있으며 실용적인 측면에서 0.8정도의 디딤을 기대할 수 있다.

3) 일반 기계를 포함한 보행로봇의 저항력을 계산함에 있어 각 조인트에서의 접촉마찰력만이 아니라 구조적 변형등에 의한 저항력도 매우 중요하게 되었다.

* 본 연구는 과기처 특정과제 연구비 지원에 의해 이루어졌음

참 고 문 헌

[1] Song, S.M., "Kinematic Optimal Design of A Six-Legged Walking Machine," Ph. D Dissertation, The Ohio State University, 1984.

[2] Song, S.M. and Waldron, K.J., "Geometric Design of A Walking Machine for Optimal Mobility," J. of Mechanisms and Transmissions and Automation in Design, Vol. 109, pp. 21-28, 1987.

[3] Song, S.M., Waldron, K.J. and Kinzel, G.L., "Computer Aided Geometric Design of Legs for a Walking Vehicle," Mechanism and Machine Theory, Vol. 20, pp. 478-569, 1985.

[4] Waldron, K.J., McGhee, R.B. and Perry, A., "Configuration Design of the Adaptive Suspension Vehicle," Int. J. of Robotics Research, vol. 3, no. 2, pp. 37-48, 1984.

[5] Song, S.M., Lee, J.K. and Waldron, J.K., "Motion Study of Two and Three-Dimensional Pantograph Mechanisms," Mechanism and Machine Theory, vol. 22, no. 4, pp. 321-331, 1987.

[6] Hirose S., Masui, T. and Kikuch, H.,

"TITAN III : A Quadruped Walking Vehicle-The Structure and Basic Characteristics," Proc. of the 2nd Int'l Symp. of Robotics Research, MIT press, pp. 325-331, 1984.

[7] Ammembal L.P., "Stability and Control of Legged Locomotion System," Ph.D Dissertation, The Ohio State University, 1971.

[8] Orin, D.E. and Oh, S.Y., "Control of Force Distribution in Robotic Mechanisms Containing Closed Kinematic chains," Trans. of the ASME, vol. 102, June 1981, pp. 134-141.

[9] Kaneko, M., Kazuo, T. and Abe, M., "Basic Study On Similarity in Walking Machine From A Point of Energetic Efficiency," IEEE J. Robotics and Automation, vol. RA-3, pp. 19-30, 1987.

[10] Klein, C.A. and Chung, T.S., "Force Interaction and Allocation for the Legs of a Walking Vehicle," IEEE J. of Robotics and Automation, vol. RA-3, no. 6, dec., 1987.

[11] K.J. Waldron, "Force and Motion Management in Legged Locomotion," IEEE J. of Robotics and Automation, vol. RA-2, no. 4, DEC., 1986.

[12] Y.S. Yoon, and H.J. Hong, "A Mechanical Design of a Quadruped Walking Machine for the Fastest Speed In Static Level Walking," SME Technical Paper no. MS89-244, 1989.

[13] 홍형주, 윤용산, 손용희, "보행로봇의 지면 반발력," '88 한국자동제어학술회의 논문집, vol. 1, pp. 125-130, 1988.

[14] 윤용산 등, "다각보행로봇의 기구학적 설계 및 제작," 과학기술처 최종연구보고서, 1989

[15] 변증남 등, "시각 센서 및 보조센서를 이용한 Feedback Controller 및 인공지능을 갖는 관리제어 시스템의 개발," 과학기술처 최종연구보고서, 1989.

[16] 황승구 등, "Advanced Control Method의 개발에 관한 연구," 과학기술처 최종연구보고서, 1989

[17] 김기엽 등, "다각 보행로봇을 위한 서보제어기 및 제어 알고리즘의 개발," 과학기술처 최종연구보고서, 1989.