

# 안센 메커니즘을 이용한 자동주행 보행 로봇의 최적 설계

## Optimal design of an automatic walking robot based on Jansen's Mechanism

김동찬<sup>†</sup>, 김무환, 이민수, 박제열, 조성욱\*  
중앙대학교 기계공학부  
서울특별시 동작구 흑석동  
E-mail: jeyeol0921@naver.com, scho@cau.ac.kr

**ABSTRACT** : Bipedal robots tend to have greater mobility than conventional treaded or wheeled robots yet they are commonly complicated by instabilities in balance. This paper presents a bipedal robot based upon Jansen's locomotive mechanism which addresses these challenges in stability and efficiency. In order to achieve a functioning robot, we considered a multitude of variables in its motion including, the Ground Score, Drag Score, step size, foot lift, stride, and instantaneous speed of the Jansen mechanism. Matlab and Jansen Opt solver were used to optimize the legs of the robot. A trial and error experimental method was used to determine the best combination of link lengths, and m.Sketch was used to model our results. Finally, we drew the entirety of the robot's figure by using the Edison design.

### 1. 서론

현대 우리 사회에서 로봇은 다양한 분야에서 사용되고 있다. 보행 로봇은 이동이 가능한 로봇으로써 많은 종류의 로봇들의 기본이 된다. 기존의 보행 로봇은 주로 바퀴를 사용하여 작동 되었다. 그러나 바닥이 평탄하지 않거나 단단하지 않고, 장애물이 있는 지형일 경우 바퀴나 궤도를 이용한 이동 방식에서 한계가 있기 때문에 임무 수행 범위를 확장하고자 다른 방식의 보행 로봇이 필요하였다.

여러 가지의 보행 로봇 가운데 안센 메커니즘을 이용한 로봇은 많은 사람들의 관심을 받

으며, 꾸준히 연구가 진행되고 있다. 안센 메커니즘은 1개의 모터만을 이용하여 11개의 관절 링크를 작동시킬 수 있는 작동 방식으로 네덜란드의 아티스트 Theo Jansen이 고안한 방식이다. 각 링크의 길이에 따라 다리의 움직임 및 속도가 달라지기 때문에 안센 메커니즘에 대한 연구는 현재까지 지속되고 있다.

본 논문에서는 안센 메커니즘을 통해 총 8개의 다리와 모터 2개를 이용하여 작동하는 로봇을 만들고자 한다. 과학 상자의 부품을 사용하여 링크 길이에 따른 움직임의 변화를 관찰하였다. 그리고 주어진 조건 하에서 Matlab (USA)의 함수를 이용해 나온 데이터를 Trial and error 방법을 통해 최적설계를 진행하였다.

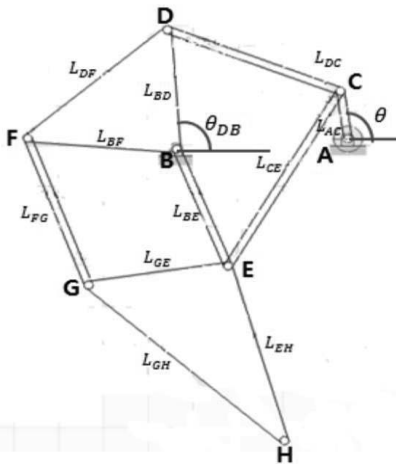


Figure. 1 양센 메커니즘의 구조

## 2. 이론

### 2.1. 양센 메커니즘

양센 메커니즘에서는 1개의 모터와 11개의 관절 링크로 이루어져 있으며 관절 링크들이 만나는 점 7개와 원점 1개까지 총 8개의 점이 있다. 점 A와 점 B는 고정되어 있는 점이다. 점 B, 점 F, 점 D로 이루어진 삼각형 그리고 점 E, 점 H, 점 G로 이루어진 삼각형은 각각의 꼭지점들이 상대운동을 하지 않는다. 점 A는 모터와 연결되어 있어서  $L_{AC}$ 가 회전하게 되고, 이로 인해 모든 링크들이 움직이면서 점 H, 즉 기계의 발 부분이 일정한 궤적을 그리며 보행한다.

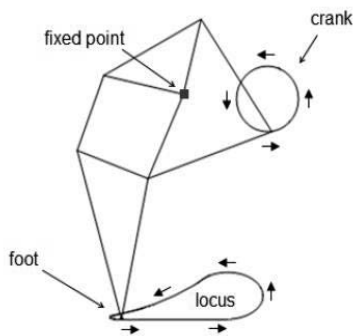


Figure. 2 양센 메커니즘의 궤적

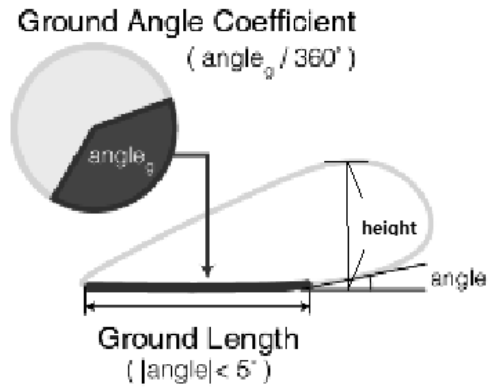


Figure. 3 Ground Score [m.Sketch]

## 2.2. 최적화에 있어 고려해야 할 사항들

### 2.2.1 Ground Score

구조적으로 안정한 보행 로봇을 설계하기 위해서는 다리의 끝 부분이 땅에 닿는 시간을 최대한으로 늘리는 것이 유리하다.

Ground Score는 전체 궤적의 길이와 Figure. 3과 같이 보행로봇의 다리가 지면에 닿았을 때, 지면과 보행로봇의 다리 궤적의 접선각도가  $5^\circ$  미만인 부분의 비율을 의미한다. 또한 전체 궤적의 길이 중 전체 궤적 높이의 5%내에 해당되는 부분의 비율로도 정의할 수 있다.

본 논문에서는 점 H가 전체 궤적에서 최고 높이의  $0 \sim 5\%$  사이에 있을 때를 땅에 닿았다고 정의했다. 또한 점 H가 한 주기 동안 땅에 닿아 있는 동안 시간의 비율을 Ground Score라고 정의하였다.

Ground Score가 0.5보다 클 때, 즉 전체 궤적의 길이 중 절반이 땅에 닿아 있을 때 보행 기구는 구조적으로 안정하다고 말할 수 있다.

### 2.2.2 Drag Score

보행로봇의 다리가 지면에 닿아 있을 때, 수평 부분에서의 x축 방향 속도가 일정해야 된다. 이 때의 순간 속도 중 가장 빠른 속력과 가장 느린 속력 간의 차이를 Drag Score라고 정의한다. 보행로봇의 다리는 속도가 일정해야 하기

때문에 절대값이 작을수록 지면에서 Drag Force 가 발생할 가능성을 줄일 수 있어서 더 효율적이다.

### 2.2.3 궤적의 대칭

발을 들어올릴 때와 내릴 때의 궤적이 대칭이 된다면 소모하는 에너지와 보상되는 에너지가 같기 때문에 크랭크에 전달되는 알짜 힘을 최소화할 수 있다.

## 3. 계산 방법

### 3.1. 변수 설정 과정

Figure. 4에서 보이는 A부터 H까지의 8개의 점 중에 A점과 B점은 고정되어 있는 점으로 과학상자를 이용하여 만든 기본 모델을 실제 측정하여 A는 원점으로 B는 (-50,0)으로 고정하였다. 그 다음으로 C는 Figure. 1에 의하여 아래와 같이 좌표를 정의할 수 있다.

$$C = (L_{AC} \cos \theta, L_{AC} \sin \theta)$$

그 외의 각 점들의 좌표는 고정된 A와 B의 위치로부터 길이가 같음을 이용하여 다음과 같은 식을 세울 수 있다.

$$\begin{aligned} (D_x - B_x)^2 + (D_y - B_y)^2 &= (L_{BD})^2 \\ (D_x - C_x)^2 + (D_y - C_y)^2 &= (L_{CD})^2 \end{aligned}$$

위 두식을 연립방정식으로 풀어 점 D의 좌표를 구할 수 있다. 이러한 방법으로 각 점의 좌표를 구하는 연립방정식은 Table.1과 같다.

또한 Matlab을 활용하여 입력 값에 대하여 Table. 1 과 같이 좌표를 정의한 다음  $\theta$ 를  $0^\circ$ 부터  $360^\circ$ 도까지 회전시켜 Ground score를 구하는 함수를 정의하였다.

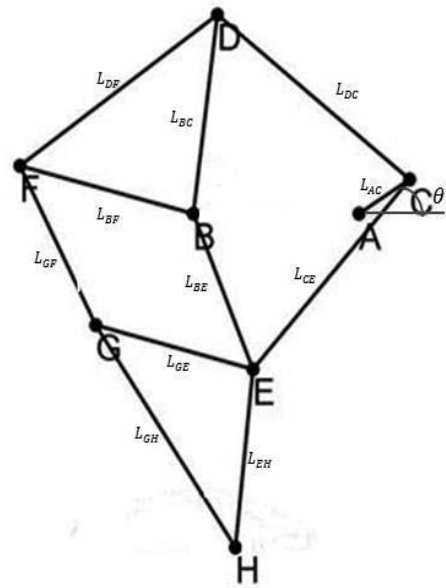


Figure. 4 각각 링크와 각도의 정의

A	( 0, 0 )
B	( -50, 0 )
C	( $L_{AC} \cos \theta, L_{AC} \sin \theta$ )
D	$(D_x - B_x)^2 + (D_y - B_y)^2 = (L_{BD})^2$ $(D_x - C_x)^2 + (D_y - C_y)^2 = (L_{CD})^2$
E	$(E_x - B_x)^2 + (E_y - B_y)^2 = (L_{BE})^2$ $(E_x - C_x)^2 + (E_y - C_y)^2 = (L_{CE})^2$
F	$(F_x - B_x)^2 + (F_y - B_y)^2 = (L_{BF})^2$ $(F_x - D_x)^2 + (F_y - D_y)^2 = (L_{DF})^2$
G	$(G_x - F_x)^2 + (G_y - F_y)^2 = (L_{FG})^2$ $(G_x - E_x)^2 + (G_y - E_y)^2 = (L_{EG})^2$
H	$(H_x - G_x)^2 + (H_y - G_y)^2 = (L_{GH})^2$ $(H_x - E_x)^2 + (H_y - E_y)^2 = (L_{EH})^2$

Table. 1 각 점의 연립방정식

다음으로 초기값을 설정하는데 있어서 앞서 말했듯이, A점과 B점은 기본 모델에 의거하여 원점과 (-50,0)으로 정했고, AC의 길이는 톱니바퀴의 길이를 측정해서 18mm로 고정시켰다.

또한 나머지 링크의 길이는 에디슨 경진대회 전용 부품의 규격을 기본으로 변화량을 주는 방식으로 총 13개의 입력 값은 다음과 같다.

A	(0,0)
B	(-50,0)
L <sub>AC</sub>	18
L <sub>CD</sub>	78+X
L <sub>BD</sub>	52+X
L <sub>BE</sub>	51+X
L <sub>CE</sub>	78+X
L <sub>DF</sub>	72+X
L <sub>BF</sub>	52+X
L <sub>FG</sub>	51+X
L <sub>EG</sub>	52+X
L <sub>GH</sub>	72+X
L <sub>EH</sub>	52+X

Table. 2 함수 입력 값

Table. 2에서 X는 -10부터 30까지 임의의 값으로 Matlab의 rand함수를 사용하여 입력 값에 사용하였다.

### 3.2 조건 설정

추가적으로 안센 메커니즘을 형성할 수 없는 경우를 없애기 위해 조건을 추가하였으며 조건은 Table. 3과 같다.

조건 1	삼각형의 가장 긴 변의 길이는 나머지 두 변의 합보다 작아야 한다.
조건 2	L <sub>AC</sub> 는 L <sub>CD</sub> 와 L <sub>CE</sub> 보다 작아야 한다.
조건 3	점D는 점B보다 위에 있어야 한다.
조건 4	점E는 점B보다 아래에 있어야 한다
조건 5	점F는 점B보다 왼쪽에 있어야 한다
조건 6	점G는 점B보다 아래에 있어야 한다
조건 7	점H는 점G와 점E보다 아래에 있어야 한다.

Table. 3 Matlab 해석조건

Table.3 에 제시된 조건 1은 삼각형이 형성되기 위한 기본 조건이다. 조건 2는 크랭크와 다른 링크 간의 충돌을 막기 위한 조건이다. 그리고 Table. 1에서 제시된 연립 방정식을 통해 각 점들의 좌표를 구할 수 있다. 조건 3, 4, 5, 6, 7을 통해 연립 방정식에서 구해지는 두 가지의 해 중에서 구조적으로 불가능한 해를 제거하고 적합한 해만 얻을 수 있다.

## 4. 결과

### 4.1. Matlab & Jansen Opt Solver를 통한 최적화

Table. 3에 제시된 메커니즘의 기하학적 조건에 맞게 Matlab을 활용하여 최적화된 모델을 구하였다. Matlab을 통하여 최적화된 보행다리의 궤적을 그려보았을 때, Figure. 5 와 같은 궤적의 형상이 나왔다.

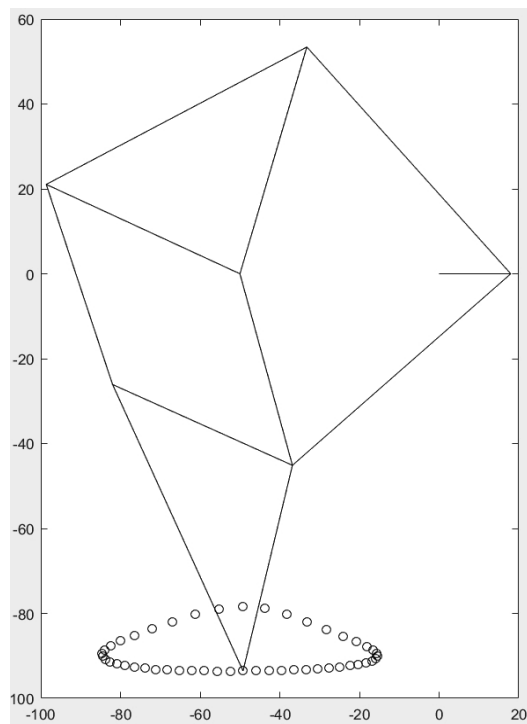


Figure. 5 Matlab 을 통한 궤적

		(X , Y)
A	Matlab	(0 , 0)
	Opt Solver	(0 , 0)
B	Matlab	(-50 , 0)
	Opt Solver	(-50 , 0)
C	Matlab	(18 , 0)
	Opt Solver	(18 , 0)
D	Matlab	(-33.2059 , 53.4224)
	Opt Solver	(-33.2058 , 53.4244)
E	Matlab	(-36.8235 , -45.1152)
	Opt Solver	(-36.8235 , -45.1152)
F	Matlab	(-98.6381 , 21.0555)
	Opt Solver	(-98.6381 , 21.0555)
G	Matlab	(-81.9782 , -25.0874)
	Opt Solver	(-81.9782 , -26.0874)
H	Matlab	(-49.2186 , -93.5545)
	Opt Solver	(-49.2186 , -93.5544)

**Table. 4 Matlab과 Jansen Opt solver 결과에 대한 비교**

그리고 그 링크 값을 좌표로 바꾸어서 Jansen Opt Solver를 이용해서 한번 더 최적화 시켰다. 마지막으로 시행착오법으로 최적화된 모델을 구했다.

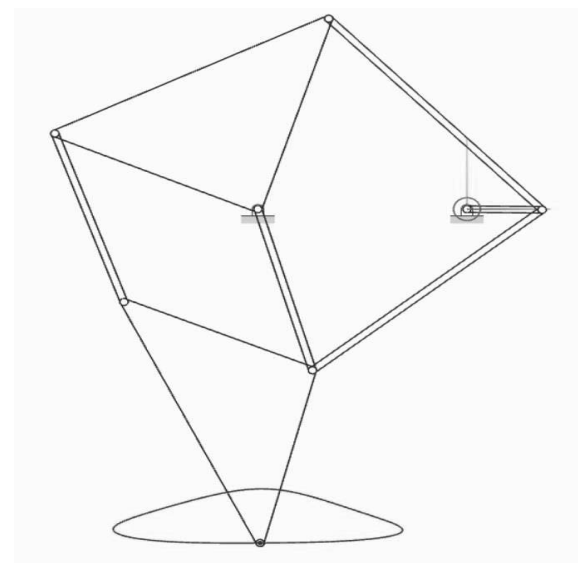
Table. 4에서 볼 수 있듯이 매우 유사한 결과가 나왔다. 소수점 5째 이후부터 좀 더 최적화된 것으로 보인다.

	Opt Solver	시행착오법
A	(0,0)	(0,0)
B	(-50,0)	(-50,0)
$L_{AC}(mm)$	18	18
$L_{CD}(mm)$	74	74
$L_{BD}(mm)$	56	56
$L_{BE}(mm)$	47	47
$L_{CE}(mm)$	71	71
$L_{DF}(mm)$	73	73
$L_{BF}(mm)$	53	54
$L_{FG}(mm)$	50	50.5
$L_{EG}(mm)$	49	49
$L_{GH}(mm)$	75	75
$L_{EH}(mm)$	50	50
Ground Score	0.469	0.501
Drag Score	-0.208	-0.269

**Table. 5 Matlab으로 나온 결과와 시행착오법으로 최적화된 모델**

#### 4.2. 시행착오법을 통한 최적화

Jansen Opt Solver을 통하여 나온 결과를 토대로 시행착오법을 사용하여 Figure. 5와 같이 더 좋은 결과를 구할 수 있었다.



**Figure. 5 M.sketch 을 통한 궤적**

### 4.3. Edison Designer를 통한 모델링

과학상자 기본으로 제공하는 로봇은 Figure. 6과 같다. 이 모델을 Edison Designer를 활용하여 Figure. 7와 같이 모델링 및 어셈블리 하였다. 로봇의 다리 부분만을 보면 Figure. 8과 같은 기존의 다리를 최적화한 길이들을 바탕으로 Figure. 9와 같이 최적화를 실시하였다.

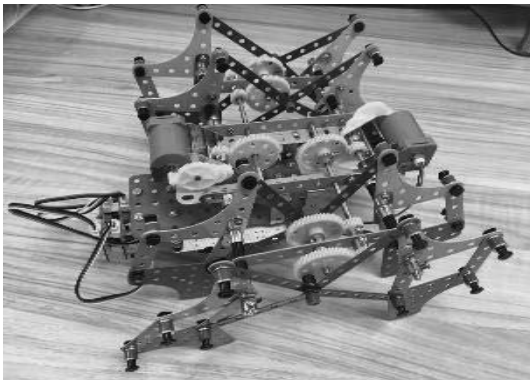


Figure. 6 과학상자 기본모델

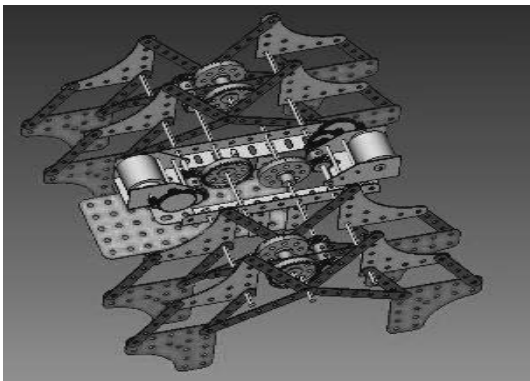


Figure. 7 Edison Designer Model

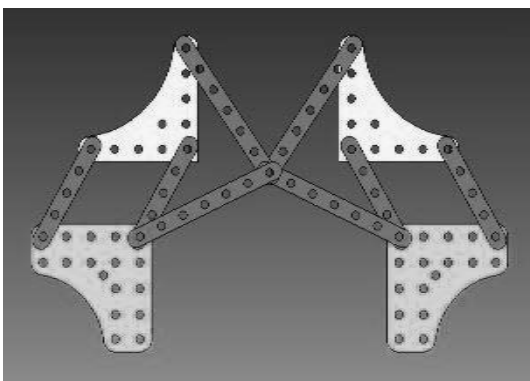


Figure. 8 Edison Designer Model ( leg )

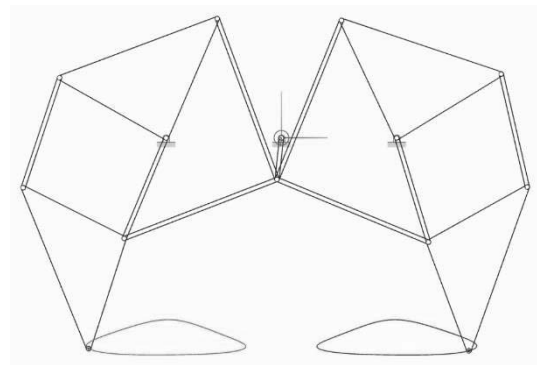


Figure. 9 M. sketch를 통한 다리 모델링

## 5. 논의 사항

본 논문의 주제인 안센 메커니즘을 기반으로 하는 보행로봇을 최적화 하는 과정에서 발생한 논의사항이다.

Matlab을 통하여 최적화된 모델을 선정하였고, 이를 Jansen Opt Solver에 각 점의 좌표를 입력하였다. 그 결과 입력한 좌표와 매우 근사한 좌표들로 결과가 도출되었다. 최적화에 있어서 좀 더 정확한 결과가 필요한 것으로 보인다.

## 6. 결론

본 논문을 통하여 안센 메커니즘을 기반으로 하는 보행로봇의 움직임을 분석하였다. 모터 작동할 때 비교적 간단한 수식을 통해 모든 점들의 위치들을 계산하였다. 계산과정에서 링크들끼리 방해하지 않도록 설계하기 위해서는 조건이 반드시 필요하였다. 이러한 계산 방법을 토대로 구한 결과들 중 Ground Score가 0.5 보다 크거나 같으며 Drag Score는 가장 크기가 작은 경우를 선택하였으며 시행착오법을 통해 최적화를 실시하였다. 이렇게 구한 링크길이의 조합들을 토대로 Jansen Opt Solver와 M.sketch를 사용하여 다리의 모델링을 실시하였다.

## 감사의 글

본 논문을 작성하면서 Theo Jansen Mechanism의 원리와 여러 종류의 Tools (Arduino, Edison Designer)를 다루는 방법 및 Matlab과 Jansen opt Solver, M.Sketch을 이용한 로봇 설계의 최적 조건을 이해하는데 많은 도움이 되었다.

본 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단 첨단 사이언스·교육 허브 개발 사업의 지원을 받아 수행된 연구이다. (NRF-2011-0020576)

## 참고문헌

- [1] Ghassei, Amanda. Choi, Phil. Whitaker, Dwight., 2011, The Design Optimization of a Crank-Based Leg Mechanism, Pomona College Department of Physics and Astronomy
- [2] Kim, Sun-Wook. Kim, Dong Hun., 2011, Kinematic Analysis of a Legged Walking Robot Based on Four-bar Linkage and Jansen Mechanism, *JKIS*, 21
- [3] <http://garethrees.org/2011/07/04/strandbeest/>
- [4] <http://deisgn.edison.re.kr>. EDISON 웹사이트.