

EDISON 과학상자를 이용한 안센 메커니즘 보행 기구 제작

장호익, 이형범[†], 이정혁
중앙대학교 기계공학부

Jansen Mechanism Walker Made with EDISON Science Box

Hoik Jang, Hyeongbeom Lee and Junghyeok Lee

Dept. of Mechanical Engineering, Chung-Ang University

Received 0 xxxx 0000; received in revised form 0 xxxx 0000; accepted 0 xxxx 0000

ABSTRACT:

Jansen mechanism is composed of mechanical walking linkages that are designed and optimized by Theo Jansen in 1990. Although he has made optimum values for linkage dimensions for Jansen Mechanism, there are still various applications for this mechanism and also various optimum values for each application. In this paper, Jansen Mechanism optimization has been processed for the Science Box. The Science Box has its own linkage dimensions and related components and makes space for optimization process. For the optimization 3 to 4 linkage were selected which had no similar ratios of linkages between other applied Jansen mechanisms and to reduce experiment numbers. Response Surface Method was used with Minitab 17 for optimization and m.sketch was used for experimentation. Intuitive method had to be used to find optimum values as with RSM optimum value could not be found. EDISON Designer was used to make final CAD model with optimum values and laser cutter was used to get appropriate acryl panels for legs.

Key Words: Jansen Mechanism, Response Surface Method, m.sketch, Dragscore, Groundscore

1. 서 론

안센 메커니즘은 축의 회전을 이용한 보행방식의 한 종류로서 1990년 예술가 테오 안센(Theo Jansen)에 의해 발명됨. 테오 안센은 수개월에 걸쳐 유전자 알고리즘을 사용하여 최적의 11개의 링크의 길이 값을 구하였음. 본 연구는 이러한 안센 메커니즘을 이용하여 과학상자 구동부에 맞는 최적의 각 링크 길이의 값을 찾아 이 값을 과학상자의 수치에 맞게 조절하고자 하였음.

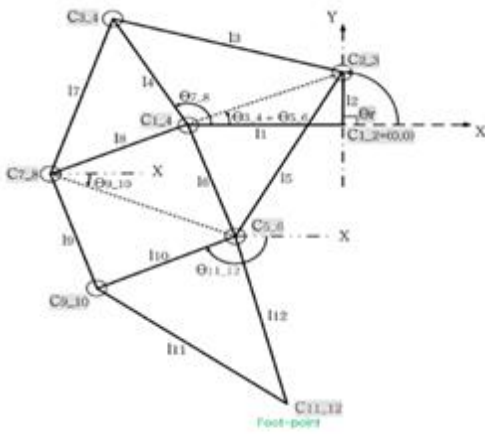
[†] Corresponding Author, lhb920617@naver.com

© 0000 Society of CAD/CAM Engineers

2. 안센 보행기구 설계

2.1 4족 보행 구현

먼저 과학상자로 안센 메커니즘을 구현하였음. 안센이 직접 설계한 보행기구와 Fig. 1과 같은 안센 메커니즘에 관련된 논문^[1]에 수록된 안센 메커니즘의 각 링크의 길이를 비교하여 서로 비슷한 비율을 갖고 있음을 발견하고 이를 과학상자의 링크의 길이에 맞게 설정하였음. 먼저 4족 보행기구를 제작하여 보았음. 구동 결과 좌우로 뒤틀리며 불안정한 보행을 나타내었음. 따라서 8족으로 구현하기로 결정하였음.



시회 | 전산설계

최적 보행기구의 기준은 여러 가지가 있음. 하지만 현재 우리가 구현할 수 있는 보행기구에서 필요한 요건을 선별해 보면 다음과 같음. 첫째, 보행기구의 지면에 닿는 끝 부분이 회전하며 나타내는 것을 궤적이라 할 때 그 궤적에서 지면에 닿아 있는 수평 부분에서의 속도가 일정해야 함. 둘째, 궤적이 지면에 닿는 부분의 전체 궤적에서의 비율이 0.5 이거나 0.5 이상이어야 함. 셋째, 궤적의 높이가 보행기구의 크기에 비해 충분히 높아야 함.

Fig. 1 Link dimension from Jansen Mechanism related paper

3.2 m.sketch 를 사용한 최적 설계

Fig. 4 에서 보이듯이 m.sketch 는 궤적이 지면에 닿는 부분의 전체 궤적에서의 비율과 궤적의 높이를 파악하는 데에는 적절하였음. 하지만 궤적에서 지면에 닿는 부분에서의 수평속도를 파악하기 어려워 최적 설계 과정에 Fig. 5 와 같은 다른 프로그램^[3]도 활용하였음.

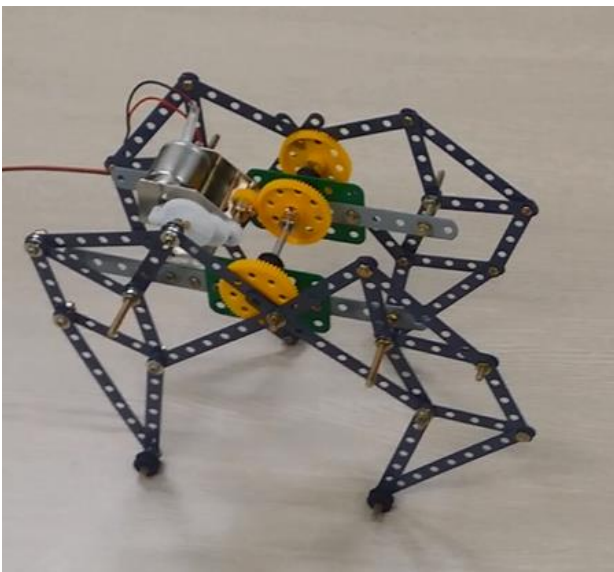


Fig. 2 Four legged Jansen Mechanism walker made with Science Box

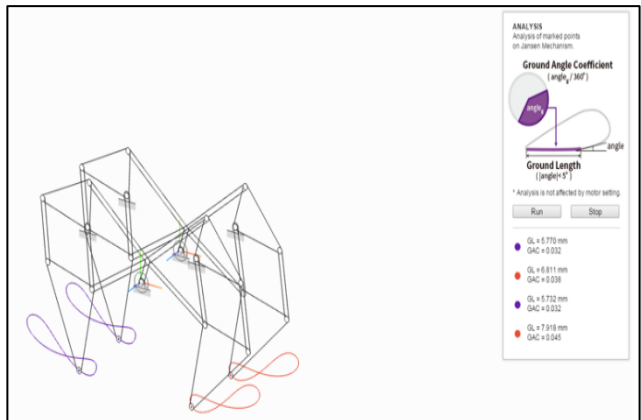


Fig. 4 Use of m.sketch for optimization

2.2 8 족 보행 구현

4 족 보행의 어려움을 보고 8 족 보행기구를 Fig. 3 과 같이 구현하였음. 4 족 보다 안정된 보행을 나타내었음. 또한 오른쪽 왼쪽 다리의 동력을 분리하여 방향 전환 및 회전을 가능케 하였음. 이를 바탕으로 8 족 보행기구를 설계하기로 결정하였고 과학상자에 맞는 양센 메커니즘 최적 설계를 진행하였음.

3. 과학상자에 맞는 최적 설계

3.1 최적 보행기구의 정의^[2]

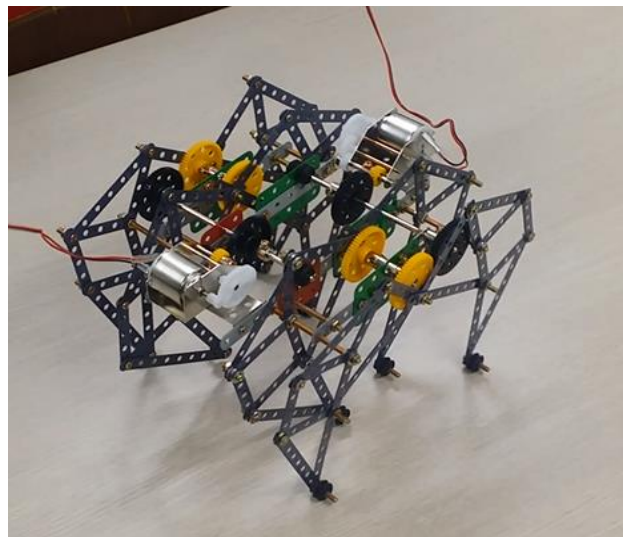


Fig. 3 Eight legged Jansen Mechanism walker made with Science Box

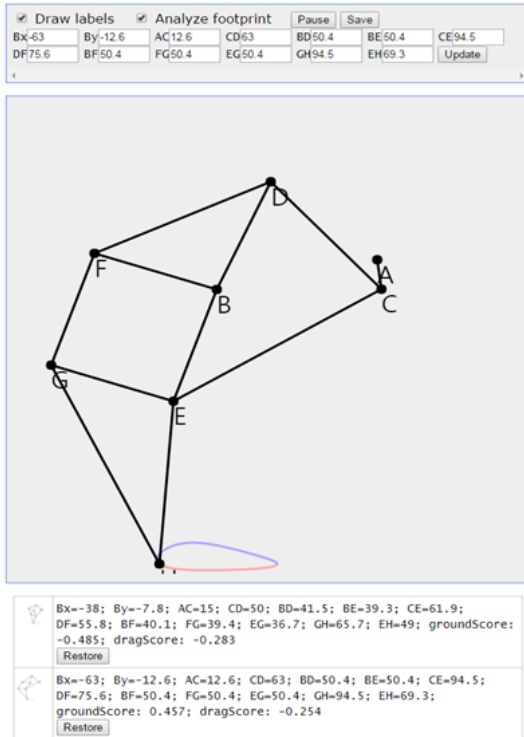


Fig. 5 Use of other program to support using m.sketch for optimization

Fig. 5 에 나와 있는 프로그램에서 Ground Score 는 보행기구의 궤적 중 지면에 닿는 비율을 나타냄. 앞서 언급한 바와 같이 0.5 이상 등으로 높으면 좋음. Drag Score 는 보행기구의 다리가 지면에 닿을 때의 수평 속도의 차이의 최대치를 나타냄. 항상 음의 값으로 나타나며 절댓값이 작을수록 수평 속도의 차이가 적음. 따라서 앞서 언급한 바와 같이 절댓값이 작을수록 수평 속도가 일정하여 좋은 보행기구라 볼 수 있음.

3.3 최적 설계를 위한 변수 설정

앞서 언급한 안센 메커니즘에 관련된 논문과 안센이 직접 설계한 보행 기구를 바탕으로 각 링크 길이의 공통 비율을 추출하였음. 공통 비율을 추출하려는 이유는 11 개의 링크 길이 및 2 개의 기준 길이를 모두 변수로 두면 경우의 수가 너무 많고 최적 설계에 필요한 실험횟수가 너무 많기 때문에 적절한 다수의 고정 값과 소수의 변수를 두어 변수를 최소화하려는 것이었음. 관련 논문과 안센의 보행 기구의 공통 길이의 비를 찾았고 1, 3, 4 번 길이가 서로 다른 것을 확인하여 Fig. 6 와 같이 1, 3, 4 번 길이를 변수로 두고 다른 링크의 길이를 고정하여 최적 설계를 진행하였음. 고정 값은 과학상자 링크의 길이를 기준으로 정하였고 1, 3, 4 번 링크 길이 변수의 경우 또한 과학상자 링크의 구멍 과 구멍 사이 한 칸 길이인 12.6mm

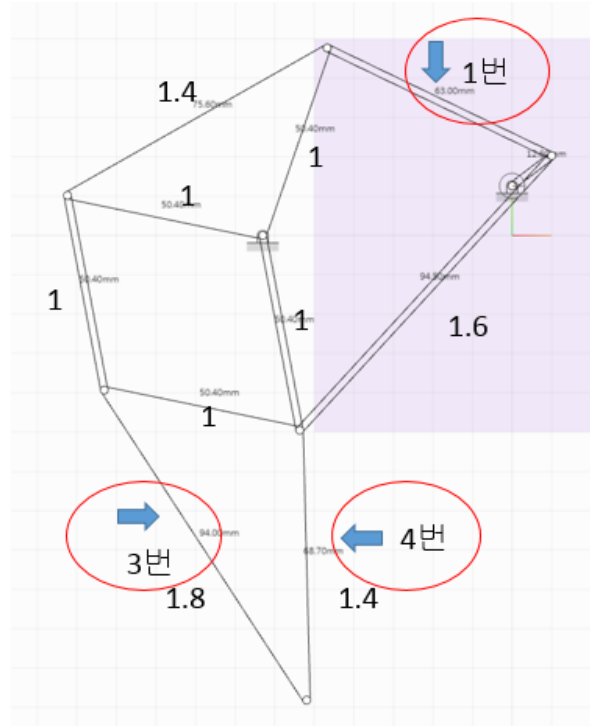


Fig. 6 Link dimension ratio and 1, 3, 4 numbered link variables

를 기준으로 절반 값인 6.3mm, 1/4 값인 3.15mm 를 늘이거나 줄이며 변수로 사용하였음.

3.4 반응표면설계 수행

Minitab17 을 사용하여 Table 1 과 같은 데이터를 형성하여 반응 표면 설계(Response Surface Methodology) 최적화 기법으로 최적 설계와 그에 필요한 실험을 진행하였음. Table1 데이터는 Fig. 7 과 같이 과학상자의 기본 링크 길이 값을 토대로 Fig. 6 과 같은 길이의 비율로 설정하였음. 기본값을 0, 6.3mm 증가시킨 값을 1, 감소시킨 값을 -1 로 설정함 코드화시켜 Minitab 에 입력하였음. Result 값의 경우 앞서 3.2 절에서 말한 Ground Score 와 Drag Score 의 값을 단순히 더한 값을 나타내었음. 본래 두 값의 관계를 파악하여 각 값에 가중치를 두어 목표 값을 하나로 통일시켜야 하지만 두 값의 연관 관계에 대한 정확한 값을 찾을 수 없어 두 값을 단순히 더함으로써 두 값의 가중치를 동등하게 두었음. Fig. 8 에서와 같이 4 번이 결과값에 영향을 미치는 정도를 나타내는 P-Value 가 0.05 이하를 나타내어 4 번 길이의 값만이 결과값에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났음. 따라서 Minitab 의 regression model 에 따라 4 번 길이를 감소하는 방향으로 최적 값이 위치한 지점을 찾도록 하였음. Regression model 은 각 변수에 가중

치를 주어 어느 방향에 최적 값이 존재하는지 나타내줌.

Table 1 Coded data for Response Surface Methodology

1 번	3 번	4 번	Result
0	0	0	-0.133
0	0	-1	-0.059
0	0	1	0.068
0	-1	0	0.112
0	-1	-1	-0.089
0	-1	1	-0.496
0	1	0	-0.086
0	1	-1	-0.017
0	1	1	-0.18
-1	0	0	0.108
-1	0	-1	-0.064
-1	0	1	-0.498
-1	-1	0	-0.443
-1	-1	-1	0.146
-1	-1	1	-0.433
-1	1	0	-0.101
-1	1	-1	-0.029
-1	1	1	0.019
1	0	0	-0.118
1	0	-1	-0.045
1	0	1	-0.211
1	-1	0	-0.165
1	-1	-1	-0.084
1	-1	1	0.075
1	1	0	-0.074
1	1	-1	-0.008

이는 Table 2 와 같은 데이터로 수행하였음.

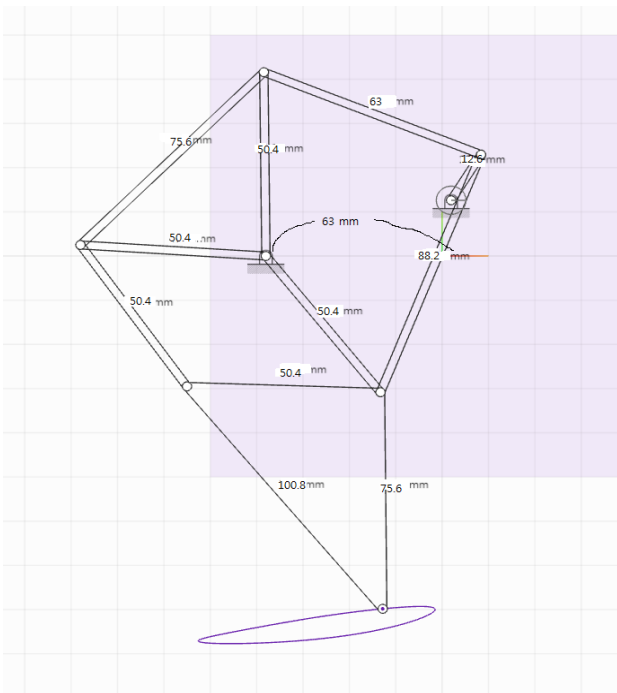


Fig. 7 Original link dimension from Science Box

1, 3 번 다리 길이를 본래 기준 값으로 고정하

분산 분석					
	DF	Adj SS	Adj MS	F-값	P-값
출처	9	0.304790	0.033866	1.12	0.399
모형	3	0.180716	0.060239	2.00	0.153
선형					
1번	1	0.014792	0.014792	0.49	0.493
3번	1	0.031417	0.031417	1.04	0.322
4번	1	0.134508	0.134508	4.46	0.050
제곱	3	0.003198	0.001066	0.04	0.991
1번*1번	1	0.001826	0.001826	0.06	0.809
3번*3번	1	0.000178	0.000178	0.01	0.940
4번*4번	1	0.001195	0.001195	0.04	0.845
2차 교호작용	3	0.120876	0.040292	1.34	0.296
1번*3번	1	0.038081	0.038081	1.26	0.277
1번*4번	1	0.055624	0.055624	1.84	0.192
3번*4번	1	0.027170	0.027170	0.90	0.356
오차	17	0.512718	0.030160		
총계	26	0.817509			

Fig. 8 Analysis of Variance of data from Table 1

고 4 번 길이를 3.15mm 씩 감소시키며 결과 값을 내었음. 4 번 길이를 4 회 감소시켰을 때 공학적으로 다리 구조가 성립될 수 없으므로 결과값을 도출하지 못하였음. 따라서 3 회 감소시킨 값을 기준으로 중심합성 계획법(Center Composite Design)에 따라 실험을 수행하여 데이터 추출 및 반응 표면을 형성하였음.

그러나 결과값이 기계공학적 모델이 성립되는 지점을 넘어서는 지점에 나타나는 것으로 표현되어 결과값을 도출하지 못하였음. 따라서 기계공학적 모델이 성립되는 한계 지점을 두고 일반적인 실험을 진행하였음. 하지만 여기에서도 마찬가지로 결과값은 기계공학적 모델 성립 한계 지점 너머에 나타나는 것으로 표현되어 반응표면 설계 최적화 기법을 더 이상 수행할 수 없었음.

Fig. 9 은 같이 공학적 모델 성립 한계 지점에서의 결과를 보여주고 있음. 노란색 화살표 방향으로 나타낸 것과 같이 데이터 표면도는 4 번 링크의 길이 값이 감소하고 1 번 링크의 길이 값이 감소할수록 Result 값이 커지는 것을 나타낼 수 있음. 하지만 이 이상의 데이터 값은 기계공학적 한계를 넘어서서 구현이 불가능하므로 이 이상 실험을 진행할 수 없었음.

Table 2 Coded data for finding optimum area

1 번	3 번	4 번	Result
0	0	0	-0.138
0	0	-1	-0.055
0	0	-2	0.007
0	0	-3	0.067
0	0	-4	X

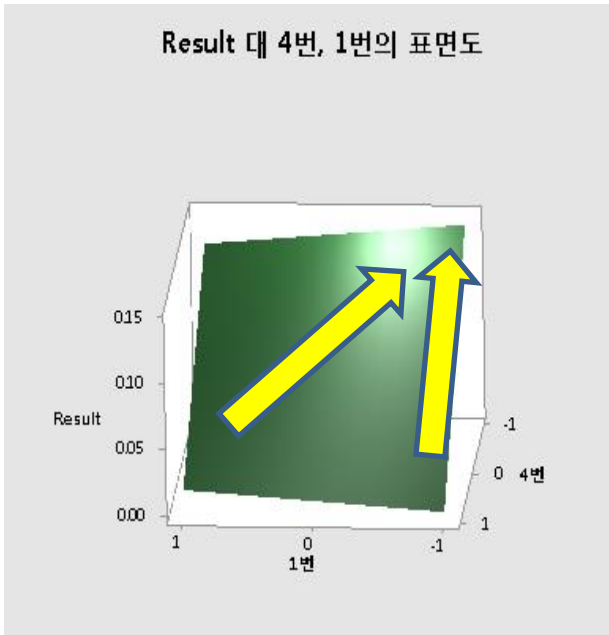


Fig. 9 Response Surface model near mechanical limit

이와 같은 기계공학적 한계 지점에서의 양센 메커니즘은 Fig. 10 과 같은 궤적을 나타내었음. Groundscore 는 작은 값을 나타내고 Dragscore 는 최소화됨으로써 궤적의 지면의 닿는 부분의 수평 속도의 변화가 거의 없는 원의 형태를 나타내고 있음을 볼 수 있음. Fig. 10 에서 보이듯이 EH(4 번)의 길이가 더 작아지면 기계공학적으로 구조가 성립되기 어려움. 따라서 지금까지의 데이터를 기반으로 직관적 추론을 통하여 최적설계 및 실험을 진행하였음.

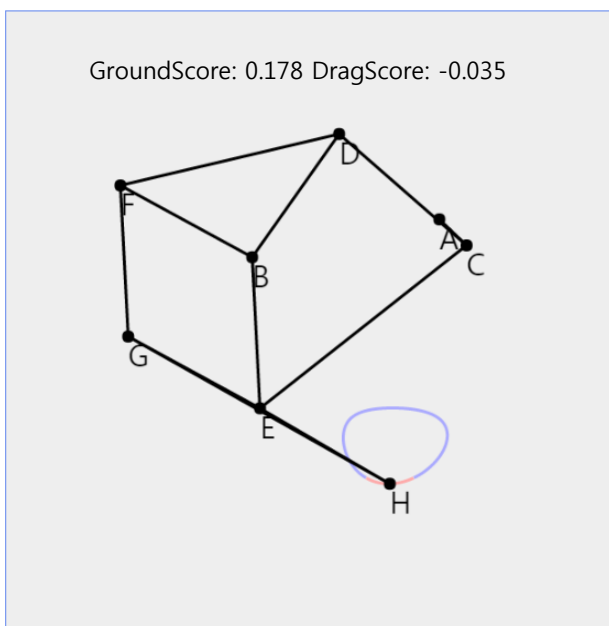


Fig. 20 Footpath of Jansen Mechanism near mechanical limit

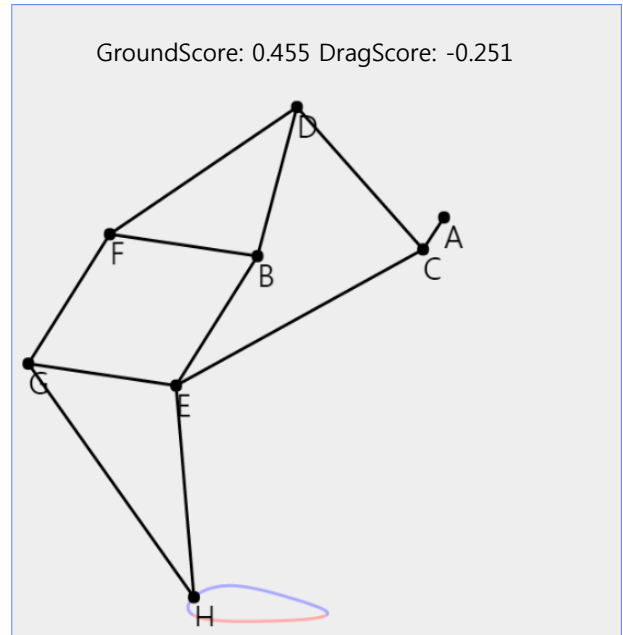


Fig. 11 Footpath of the intuitive design

3.5 직관적 추론을 통한 설계 수행

지금까지의 추출된 데이터를 기반으로 양센이 직접 설계한 보행기구와 비슷한 궤적을 나타내는 각 링크 길이 데이터를 추출하였고 그 데이터에서 기준 길이를 기준으로 3, 4 번 링크의 길이가 작아질 때 그리고 2 번 링크의 길이가 기준 길이보다 길어질 때 Fig. 11 과 같이 양센이 직접 설계한 보행기구와 가까운 궤적과 Ground Score 및 Drag Score 를 나타내었음.

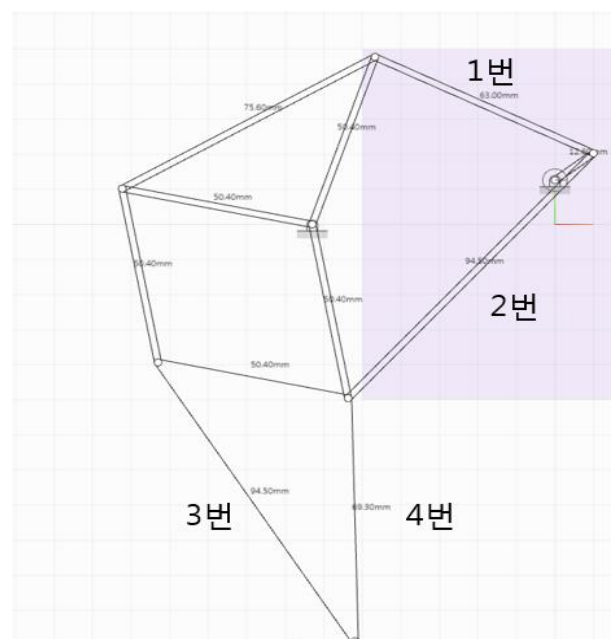


Fig. 12 Link dimensions derived from intuition

이를 통해 기존의 기준 길이를 기준으로 m.sketch 를 통해 Fig. 12 와 같이 안셈이 직접 설계한 보행기구와 비슷한 궤적과 Ground Score 및 Drag Score 를 나타내는 1,2,3,4 번 링크 길이 변수를 구하였음.

3.6 Box-Behnken 반응표면설계 수행

이번엔 앞서 수행한 반응표면설계와는 좀 다른 Box-Behnken 설계법으로 실험하였음. Minitab17 을 사용하여 Table 3 과 같은 데이터를 형성하여 최적 설계와 그에 필요한 실험을 진행하였음. Table 3 데이터는 Fig. 7 과 같이 과학상자의 기본 링크 길이 값을 토대로 Fig. 6 과 같은 길이의 비율로 설정하였음. 기본값을 0, 6.3mm 증가시킨 값을 1, 감소시킨 값을 -1 로 설정함으로 코드화시켜 Minitab 에 입력하였음.

Result 값은 안셈이 직접 설계한 보행기구의 Ground Score 0.520, Drag Score -0.285 를 실험으로 통해 나온 Ground Score 와 Drag Score 값에 각각 뺀 다음 그 값을 제공하여 더한 값으로 나타내었음. 이 Result 값이 0 에 가까울수록 원하는 실험 값을 얻을 수 있음.

Table 3 Coded data for finding optimum area

1 번	2 번	3 번	4 번	5 번	Result
-1	-1	0	0	0	0.209
1	-1	0	0	0	0.124
-1	1	0	0	0	0.100
1	1	0	0	0	0.051
0	0	-1	-1	0	0.055
0	0	1	-1	0	0.065
0	0	-1	1	0	0.320
0	0	1	1	0	0.087
0	-1	0	0	-1	0.142
0	1	0	0	-1	0.150
0	-1	0	0	1	0.103
0	1	0	0	1	0.071
-1	0	-1	0	0	0.259
1	0	-1	0	0	0.094

-1	0	1	0	0	0.058
1	0	1	0	0	0.086
0	0	0	-1	-1	0.054
0	0	0	1	-1	0.287
0	0	0	-1	1	0.088
0	0	0	1	1	0.078
0	-1	-1	0	0	0.163
0	1	-1	0	0	0.124
0	-1	1	0	0	0.106
0	1	1	0	0	0.068
-1	0	0	-1	0	0.045
1	0	0	-1	0	0.078
-1	0	0	1	0	0.333
1	0	0	1	0	0.116
0	0	-1	0	-1	0.233
0	0	1	0	-1	0.069
0	0	-1	0	1	0.069
0	0	1	0	1	0.064
-1	0	0	0	-1	0.092
1	0	0	0	-1	0.246
1	0	0	0	1	0.103
-1	0	0	0	1	0.057
1	0	0	0	1	0.087
0	-1	0	-1	0	0.099
0	1	0	-1	0	0.065
0	-1	0	1	0	0.197
0	1	0	1	0	0.081
0	0	0	0	0	0.070
0	0	0	0	0	0.070

0	0	0	0	0	0.070
0	0	0	0	0	754
0	0	0	0	0	0.070
0	0	0	0	0	754
0	0	0	0	0	0.070
0	0	0	0	0	754

Box-Behnken 실험 결과 모형 A, B, C, D, E, 즉 1 번, 2 번, 3 번, 4 번, 5 번의 P-값이 전부 0.05 이하로 유효한 값을 알 수 있음. 또 모형 요약에서 R-제곱 값이 93.89%로 신뢰도가 높음을 알 수 있음. 이 데이터 값을 가지고 반응 최적화를 수행하였음. Result 값이 0 으로 나오는 걸 목표로 하고 있기 때문에 이 값의 목표 값을 0 으로 입력함. 과학상자 도구를 이용하고 설계할 보행기구 크기제한 때문에 3 번, 4 번의 목표 값은 -1 로 고정함.

반응 최적화: C10

모수

반응	목적	하한	목표값	상한	가중치	중요도
C10	목적값	-0.0000000	0	0.33346	1	1

변수 범위

변수	값
A	(-1, 1)
B	(-1, 1)
C	-1
D	-1
E	(-1, 1)

솔루션

솔루션	A	B	C	D	E	C10 적합치	종합 만족도
1	-0.414141	0.595960	-1	-1	1	0.0370334	0.888942
2	-0.876192	0.971093	-1	-1	1	0.0449403	0.865230
3	0.307646	-0.568361	-1	-1	-0.481171	0.0647008	0.805971
4	0.574144	0.883497	-1	-1	0.772753	0.0664982	0.800581
5	1	-0.916834	-1	-1	-0.920348	0.0714548	0.785717
6	-0.323212	-0.898839	-1	-1	0.715379	0.0719172	0.784330
7	-0.770543	-0.746125	-1	-1	1	0.0761106	0.771755
8	0.953994	0.803917	-1	-1	-0.829302	0.0842392	0.747378

Fig. 14 Results derived by using response optimization tool

반응 최적화를 시행한 결과 솔루션이 8 개가 있음을 확인할 수 있음. 솔루션 8 개를 다 확인해 본 결과 8 번 솔루션이 Ground Score 0.517, Drag Score -0.305 로 안센이 설계한 보행 기구의 Ground Score 및 Drag Score 에 Result 값이 0.00045 밖에 차이가 나지 않아 지금까지 찾은 값 중 가장 근접함을 확인할 수 있었음.

이 솔루션을 갖고 과학상자의 제한조건에 맞춰 최적의 링크 길이를 찾음.

4. EDISON Designer 및 m.sketch 를 통한 모델 설계 및 제작

4.1 EDISON Designer 를 통한 CAD 모델 설계

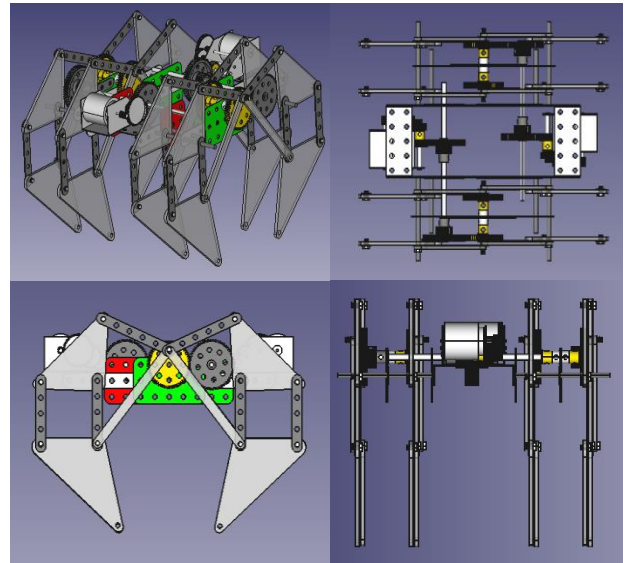


Fig. 16 Leg component created by EDISON Designer

A+D	1	0.015606	0.015606	25.59	0.000
A+E	1	0.007449	0.007449	12.26	0.002
B+C	1	0.000000	0.000000	0.00	0.987
B+D	1	0.001705	0.001705	2.81	0.106
B+E	1	0.000376	0.000376	0.62	0.439
C+D	1	0.014895	0.014895	24.52	0.000
C+E	1	0.009171	0.009171	15.10	0.001
D+E	1	0.014674	0.014674	24.16	0.000
오차	25	0.015185	0.000607		
적합성 결미	20	0.015185	0.000759		+
순수 오차	5	0.000000	0.000000		
총계	45	0.248471			

모형 요약

S	R-제곱	R-제곱(수정)	R-제곱(예측)
0.0246453	93.89%	89.00%	75.55%

Fig. 13 Analysis of variance of data from Table 3

앞서 설계한 m.sketch 에서 출력되는 도면을 바탕으로 출력이 예상되는 아크릴 요소의 수치를 참조하여 Fig. 15 과 같이 EDISON Designer 에서 각 아크릴 요소를 생성하였음. 이에 더해 Fig. 16 와 같이 기존의 과학상자 부품으로 8 족 보행기구 CAD 모델을 형성하였음. 총 124 개의 부품이 사용되었음. 과학상자의 수치에 맞게 CAD 모델을 형성함.

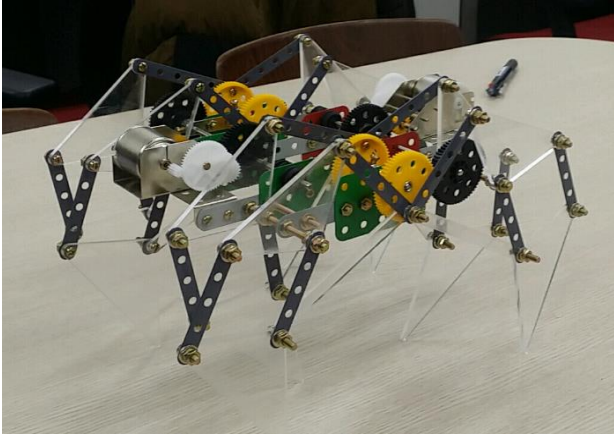


Fig. 18 Complete structure of EDISON Walker

4.2 m.sketch 및 Adobe Illustrator 를 통한 출력 도면 형성

앞서 설계한 각 링크 길이를 m.sketch 에 대입하여 도면을 추출하였음. m.sketch 는 직관적인 프로그램이기에 앞서 구한 각 최적 링크 길이 값을 수치적으로 대입하는데 어려움이 있었음. 각 링크가 구성되어 있는 관절 부위의 좌표 값을 입력할 수 있지만 관절을 연결하는 링크 길이의 값을 수정하려면 마우스로 수정을 해야 하고 이 때 고정관절을 제외한 여타 관절이 이동하고 그와 연결된 다른 링크 길이 값도 변경되어 정확한 각 링크 길이 값을 대입하는 데에 어려움이 따름. 이를 해결하기 위해 Matlab 을 통해 처음의 두 고정 점을 중심으로 각 고정 점에서의 각 링크 길이 값에 맞는 원을 형성하여 두 원의 교점을 통한 각 관절의 정확한 위치를 계산하였음. 여기서 계산된 좌표를 m.sketch 에 대입하여 정확한 값의 각 링크 길이를 구현할 수 있었음.

이후 도면 출력 기능을 통해 도면을 출력하였음. 그리고 출력된 도면에서 필요한 요소를 추출하여 Adobe Illustrator 를 통해 수정하였음.

Fig. 17 에 수정한 도면이 나타나는데 이는 m.sketch 로 도면을 바로 출력할 경우 각 링크 길이의 값은 위 그림과 같이 각 도면에서 구멍이 뚫린 지점의 중심에서 다른 구멍의 중심까지로 설정되어 있고 이는 실제 보행에서 최적 값과 다른 보행 궤적을 나타낼 수 있으므로 오른쪽 위의 보행기구 구성 요소와 같이 각 링크의 길이 값이 바닥에 닿는 점과 직접 연결되도록 하였음.

또한 Illustrator 로 도면의 색을 빨간색으로 바꾸어 레이저 커터 프로그램이 레이저 커팅을 해야 하는 위치를 파악하도록 하였음.

Benheken 이전에 직관적 추론을 통한 설계 도면을 갖고 경북공 옆에 위치한 국립현대미술관 내 위치한 무한상상실의 레이저 커터를 사용하여 아크릴로 구성된 8 족 보행기구 요소를 출력하였음. 출력된 아크릴 요소와 과학상자의 기존 부품, 링크와 결합하여 새로운 안센 메커니즘 8 족 보행장치를 완성하였음.

Fig. 18 과 같은 8 족 보행 장치를 코스에 넣고 코스를 도는 실험을 진행하였고 성공적으로 실험을 완수하였음. Benheken 을 이용한 최적 설계 값으로는 추후 다시 새로운 모델을 만들 예정임.

5. 결론

본 연구를 통해 안센 메커니즘을 과학상자에도 적용할 수 있었고 안센이 직접 설계한 보행기구의 링크의 길이 값이 나타내는 Ground Score 및 Drag Score 에 가깝게 도달할 수 있었음. 따라서 안센이 의도한 최적설계 값은 다양한 분야에 응용될 수 있고 안센이 직접 설계한 보행기구에 준하는 성능을 낼 수 있음이 밝혀짐.

본 연구는 종합설계가 무엇인지를 잘 보여주는 사례임. 최적화된 설계 변수 값을 얻기 위해 사용되는 m.sketch 및 이외의 프로그램이 사용되었고 여기서 추출한 데이터를 통해 최적설계를 진행하는 데에 있어서 Minitab 및 Matlab 이 사용되어 다양한 최적설계 기법을 활용하였음. 이를 통해 도출된 최적 값으로 EDISON Designer 를 통해 CAD 모델을 형성하고 m.sketch 를 통해 설계 도면을 형성하고 형성된 설계도면을 Adobe Illustrator 를 통해 수정하였음. 이를 직접 무한상상실에 찾아가 레이저 커팅을 통해 원하는 구성 요소를 획득하였음. 앞서 활용한 모든 방법이 동원되어 과학상자를 비롯한 물리적 구성요소를 한데 모아 조립하였고 이 과정 가운데에서 이론적인 설계와 실제 설

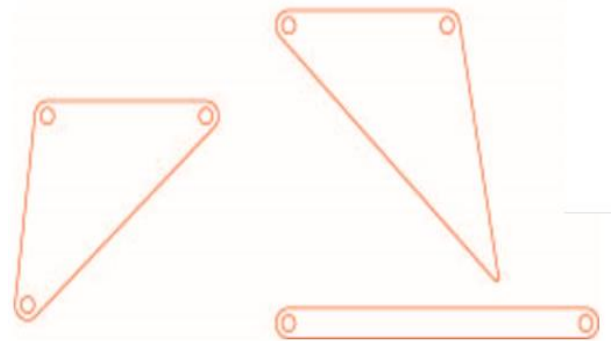


Fig. 17 Layout for intuitive design

계 및 제작 과정 가운데에서의 차이와 수많은 시행착오를 겪게 되었음. 기존의 설계 과정에서 찾지 못한 예상치 못한 변수와 어려움을 겪으며 최종 결과물을 만들었을 때 종합설계가 무엇인지 배우게 되었음.

EDISON 에서 제공된 여러 프로그램과 툴을 사용하는데 있어 여러 어려움도 따랐음. EDISON Designer 를 사용하는데 있어 어떤 한 부품에 대해 구속 조건이 두 개가 형성되었을 때 부품이 가리키는 각도를 바꾸어야 할 때 각도가 바뀌지 않아 오류가 발생함을 발견하였음.

m.sketch 의 경우 프로그램이 매우 직관적이어서 링크를 쉽게 그리는데 유용했지만 링크 길이를 수정하는데 있어 직접 손으로 마우스를 움직여 가며 수행해야 하기 때문에 모든 길이 값이 변화되는 경우가 많아 정확한 수치를 입력하기 어려움. 부가적으로 Matlab 을 사용하여 두 원의 교점을 찾아 각 링크 관절부에 좌표값을 넣어 정확한 값을 찾을 수 밖에 없었음.

위와 같은 단점에도 불구하고 EDISON Designer 와 m.sketch 모두 무료로 사용할 수 있는 사용자 편의를 충분히 고려하여 조작성이 간편한 프로그램임. 각각 과학상자를 쉽게 설계할 수 있다는 것과 보행기구를 쉽게 설계할 수 있다는 장점이 있음. 앞으로 더 발전하여 많은 이들에게 유익을 줄 수 있는 가능성이 있는 프로그램이라 여겨짐.

EDISON 경진 대회를 통해 수많은 프로그램들이 개발되고 사용 되어 지고 널리 알려지는 것이 유익하다 여겨짐. 본 연구를 통해 종합설계 능력 배양과 함께 다양한 접근 방식의 프로그램을 배울 수 있어서 유익하고 각 프로그램 발전에 도움이 되는 것이 많은 이들에게 이롭다고 여겨짐.

감사의글

본 논문은 2015 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단 첨단 사이언스·교육 허브 개발 사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2014M3C1A6038793)

참고문헌

1. Kim, Sun-Wook. Kim, Dong Hun., 2011, Kinematic Analysis of a Legged Walking Robot Based on Four-bar Linkage and Jansen Mechanism, *JKIIS*, 21(2), pp. 159-164
2. Ghassei, Amanda. Choi, Phil. Whitaker, Dwight., 2011, The Design Optimization of a Crank-Based Leg Mechanism, Pomona College Department of Physics and Astronomy
3. <http://garethrees.org/2011/07/04/strandbeest/>