

Ban Ban Moo Manh Ee

Ji Hyeok Jang
20120819
Dept. of Industrial Engineering
KAIST
natejjh2@kaist.ac.kr
010-9978-0480

Hyung Gi Ham
20120978
Dept. of Industrial Design
KAIST
hgham93@kaist.ac.kr
010-2790-6968

Hyein Lee
20130521
Dept. of Industrial Design
KAIST
thehil601@kaist.ac.kr
010-6401-7857

BACKGROUND

저희 조는 닭을 target animal 로 삼았습니다. 각종 요리재료로 쓰여 뼈의 모양마저 친숙한 닭은 이족 보행을 하며 특유의 고개 끄덕임이 특징입니다.

기존의 Kinetic animal project 에서 보여진 동물들이 대부분 사족 보행에 Theo Jansen linkage 를 사용하였기 때문에 다른 시도를 해보고 싶었습니다.

8 개의 다리를 갖고 있는 거미와 이족보행 하는 닭이라는 두 후보를 두고 동작을 조사하던 중, 거미도 Theo Jansen linkage 의 작은 변형으로 만들 수 있을 것으로 판단되어, 새로운 도전을 위해 닭을 골랐습니다. 저희 팀원들이 모두 93 년생 닭띠라는 점도 선정에 작은 영향을 끼쳤습니다.

DESIGN CONCEPT

닭의 이족보행과 고개 끄덕임, 그리고 주기적인 행동(모이 쪼기, 혹은 꼬리)을 추가하여 닭의 골격도와 동영상을 참고, 총 3 가지 모션을 재현하려 했습니다.

먼저 닭의 이족보행의 경우 다리가 올라가는 각도와 내려가는 각도(Fig.1.), 그리고 발을 디딜 때 빨라지는 속도의 차이(Ref.1.). 닭 발의 디테일을 고려해 실제 모션과 가장 가깝게 표현하는 것을 중점으로 두었습니다. 닭이 워낙 일반적인 동물이다 보니 모션 참고를 위한 구체적인 자료를 얻기는 힘들었으나, 닭의 조상인 공룡에 대한 분석 자료(Ref.2.~10.)가 풍부해 이족보행 재현에 이를 활용할 수 있었습니다.

고개의 끄덕임은 닭에 대한 동영상들을 보며 다리의 모션과 함께 자연스러운 움직임을 구사하려 했습니다.

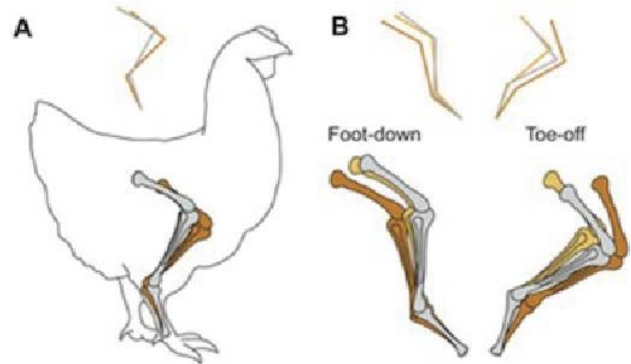


Figure 1. 다리의 주요 모션에 대한 뼈 각도

여기에 더해 다른 메커니즘을 사용하고 싶어, 특정 주기로 나오는 모션으로 모이 쪼기를 생각했습니다. 모이 쪼는 것은 다리를 굽히면서 목뼈의 각도들도 함께 변하지만 (Fig.2.), 너무 복잡할 경우 단순화 하여 얼굴-목이 각도 변화 없이 함께 까딱이는 것(Fig.3.)을 고려했습니다. 고개의 끄덕임과 함께 모이 쪼는 모션을 넣을 경우 설계에서 어려운 점이 많을 것을 예상, 이를 대비해 메커니즘을 꼬리에 집어넣는 방향도 함께 생각했습니다.



Figure 2. 새의 서 있을 때(좌)와 모이 먹을 때(우) 각도 변화

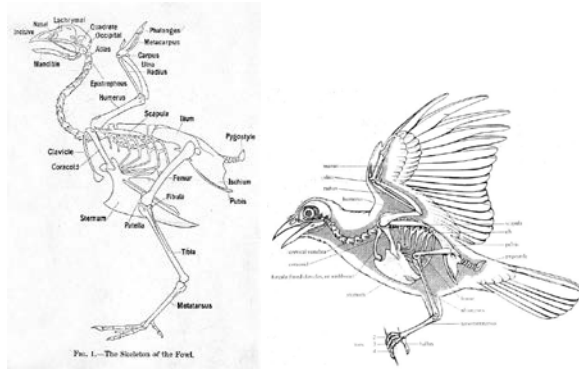


Figure 3. 서 있을 때(좌)와 몸을 구부렸을 때(우) 각도 변화

DESIGN PROCESS

1) Mechanism

이족보행에 대한 2 가지 메커니즘을 찾아 후보로 두고 진행했습니다. 하나는 일반적으로 모터가 링크에 연결, 직접적으로 움직이는 방식(Fig4., Ref.12.)이고, 다른 하나는 밑에서 기어가 돌아가면 그 회전이 위의 뼈대의 움직임에 영향을 주는 방식(Fig5., Ref.12.)으로 두 가지 모션 중 무엇이 움직임의 구현 정도가 높은 지와 시도를 통해 많이 배울 수 있는지를 고려했습니다.

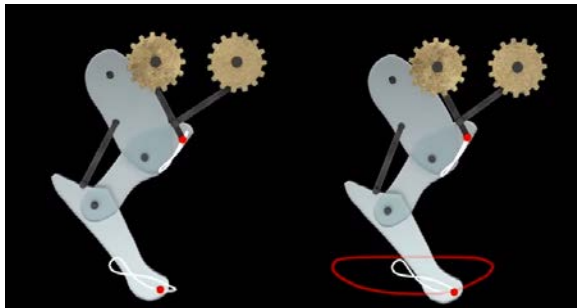


Figure 4. 동력이 다리의 기어에 바로 전달

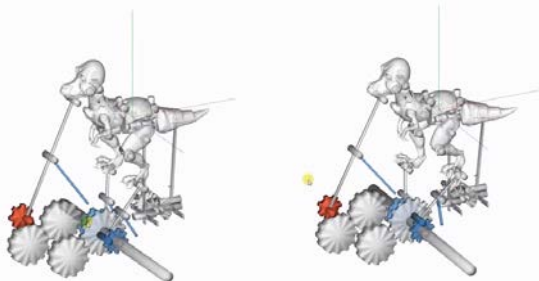


Figure 5. 동력이 밑에서 기어를 돌리고 뼈대에 전달

전자의 방식일 경우 닭의 움직임에 맞게 비율, 기어와 링크의 위치를 조정하여 움직여 준다면 원하는 걸음걸이가 나올 것이라 예상했고, 후자의 경우 뼈대의 비율만 조정하면 목의 움직임도 자연스럽게 적용할 수 있고 하단의 기어들로 오르골 같은 응용요소로 재미를 더할 수 있을 것으로 예상했습니다. 움직임이 실제와 같이 자연스럽게 조절할 수 있는 것은 후자의 방식이 더 탁월했지만 기존에 인식하던 방식과는 아예 다른 접근이어서 Theo Jansen Linkage 와 차별을 둔 이족보행 Linkage 를 만들었다 하기에는 비교하기 어렵다고 생각했습니다. 또한 움직임 구현은 어려워도 구현하기 위해 많이 배울 것 같아 후자 대신 전자의 메커니즘을 이용하기로 했습니다.

2) Simulation

움직임을 시뮬레이션 하기 위해 Linkage Program 을 사용했습니다. LinkSim_e 과 linkage2.0 이라는 두 가지 프로그램을 사용했는데, LinkSim_e (Fig.6.)는 비교적 기어와 링크가 구분되어있어 직관적으로 사용할 수 있었지만 비율이 정해져 있어 원하는 방식대로 자유롭게 조절할 수 없었습니다.

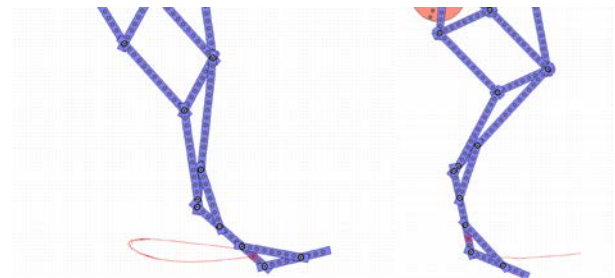


Figure 6. LinkSim_e 를 이용한 시뮬레이션(분홍색이 기어)

Linkage2.0(Fig.7.)은 기어가 없고 링크로만 구성되어 처음에 프로그램을 익힐 때는 어려웠으나 자유로운 길이조절, Input RPM 조절, actuator 등 다양한 기능들이 구성되어있어 익숙해진 후에 원하는 대로 메커니즘을 구현할 수 있었고 수정도 원활했습니다. 결국 LinkSim_e 대신 Linkage2.0 을 사용하여 설계를 진행했습니다.

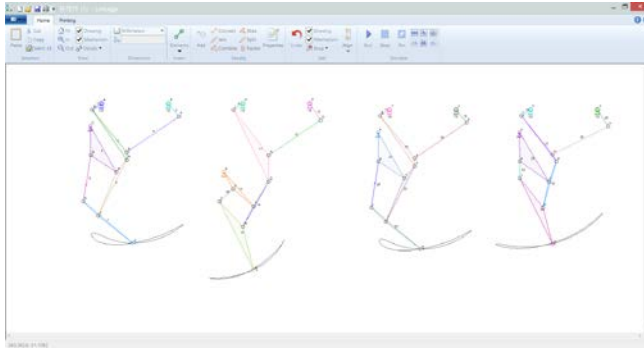


Figure 7. Linkage 2.0 을 이용한 시뮬레이션

실제로 링크를 닭의 다리 비율, 각도를 참고하며 만들었지만 모션패스가 원하는 만큼 나오지 않아 피드백과 함께 계속 수정해가며 가장 흡사한 비율, 위치를 찾아갔습니다. 이족보행의 메커니즘(Fig.8.)을 최종으로 정한 뒤에 기어로 동력을 이어줄 것을 생각하며 목의 끄덕임에 대한 메커니즘(Fig.9.)도 완성했습니다.



Figure 8. 다리 최종 메커니즘

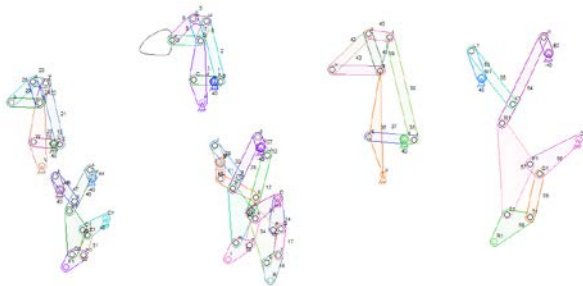


Figure 9. 목과 다리 최종 메커니즘

주기적인 모이쪼기에 대한 메커니즘은 처음에 기어에 힘을 파서 앞으로 푹 숙여지는 것을 생각했는데(Fig.10.), 이 경우에는 목의 끄덕임도 단순하게 처리하게 되어 끄덕이는 메커니즘도

유지하면서 목전체가 앞으로도 숙여질 순 없을지 고민했습니다. 허나 닭의 특성상 다리에 빠른 기어를 쓸 수 없고 최대로 느린 모터를 사용, 하나의 동력으로 모든 움직임이 이루어지는 시스템을 설계중이었기 때문에 목의 끄덕임을 담은 링크 전체를 숙이고 다시 올리기에는 힘이 크게 들것이라 생각했습니다.

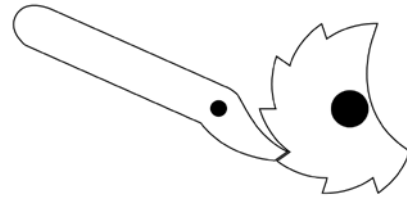


Figure 10. 모이 쪼기 초기 디자인(기어: CCW)

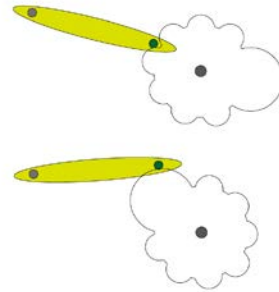


Figure 11. 모이 쪼기 메커니즘 최종 디자인(기어: CW)

숙여진 머리를 다시 올리는 힘을 줄이기 위해 메커니즘을 수정(Fig.11.)했지만, 이 역시 목의 끄덕임을 그대로 유지하며 중력을 지탱하기에는 무리라고 판단했습니다. 그래서 저희는 이 모이 쪼기 메커니즘을 주기적인 꼬리의 까딱거림에 추가하기로 변경했습니다.

DESIGN RESULT

주어진 메커니즘을 구현하도록 input anchor 부분을 기어로 대체, 한 동력으로 두 부분이 input anchor 가 될 수 있도록 기어의 반지름을 계산하였고 그 이후에는 프로그램으로 조정한 대로 크기를 맞추어 아래와 같은 내부(Fig.12.), 외부(Fig.13.)의 골격을 디자인했습니다. top-view 에서 보면, 하나의 모터(Fig.14)에서 동력이 다 전달되도록, 기어와 축의 위치를 설계했습니다(Fig.15.)

Technical drawing of a mechanical part showing front and side views with dimensions.

Front View (Left):

- Overall width: 31.6
- Overall height: 15.5
- Central hole diameter: $\varnothing 6$
- Inner hole diameter: $\varnothing 3$
- Distance from center to inner hole center: 5.5
- Distance from center to outer hole center: 3.3

Side View (Right):

- Overall width: 25
- Overall height: 80.0
- Top flange thickness: 10
- Top flange inner diameter: $\varnothing 6$
- Top flange outer diameter: $\varnothing 3$
- Top flange width: 12.5
- Top flange hole diameter: $\varnothing 3$
- Top flange hole position: 2.5 from center
- Top flange hole distance from center: 8
- Top flange hole distance from edge: 3
- Top flange hole distance from center: 12.5
- Top flange hole distance from edge: 12.5
- Top flange hole distance from center: 24.4
- Top flange hole distance from edge: 80.0

The diagram shows a mechanical system with a central red square motor. A red line traces a path from the motor, through a gear labeled "Bearing gear of leg", and then through a vertical shaft labeled "energy flow 1 (leg, tail)". Another red line goes from the motor to a gear labeled "First gear of leg", which is connected to a vertical shaft labeled "energy flow 2 (neck)". A scale bar at the bottom right indicates "100 s".

A simple line drawing of a cat's face, designed for coloring. The cat has large, almond-shaped eyes, a wide, open-mouthed smile showing its tongue, and two small whiskers on each side. The ears are pointed upwards. The entire drawing is composed of clean, black outlines on a white background.

Figure 15. 닭의 외형

MOTION ANALYSIS

주요 움직임인 목과 다리의 움직임을 complex number analysis 를 응용하여 한 점에 대한 position vector 를 두 vectors 의 합으로 표현하는 방식으로 Matlab 을 사용하여 각 joint 의 자취를 구하고 순간의 속도를 구하였습니다. (j 번째 점의 속도는 다음과 같이 출력할 수 있습니다 velocity(:,j)) (Matlab 파일은 첨부하였습니다.)

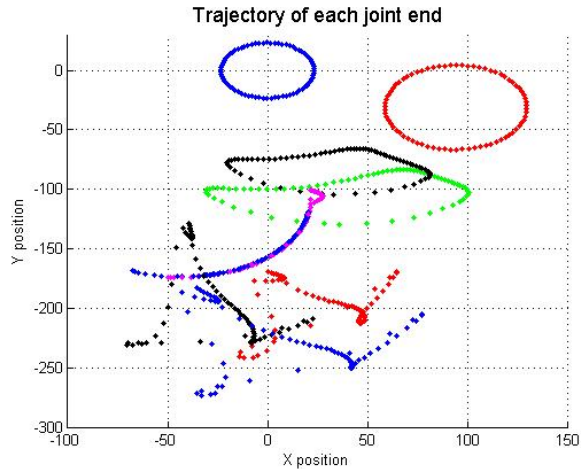


Figure 16. 다리 움직임 Analysis

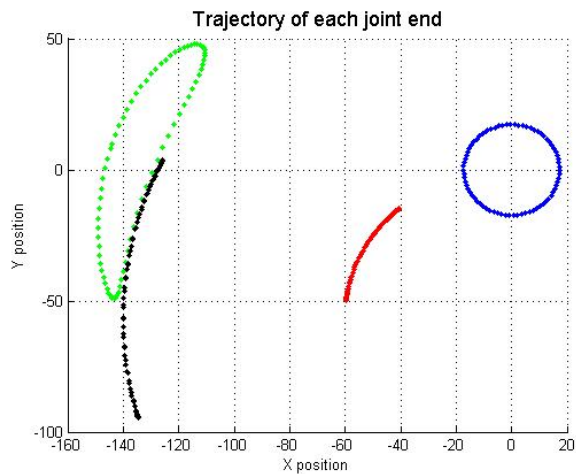


Figure 17. 목 움직임 Analysis

velocity polygon 을 통한 분석은 목의 움직임은 접근 할 수 있었으나 다리의 경우는 동력부분에 두 번째로 연결된 link 위의 두 joints 의 정보를 알기 힘들어 접근하지 못하였습니다.

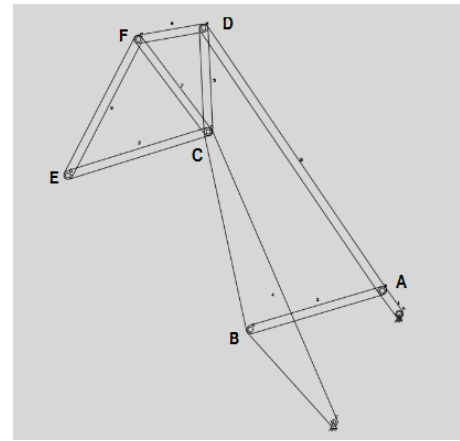


Figure 18. 목 각각 joint 의 명칭

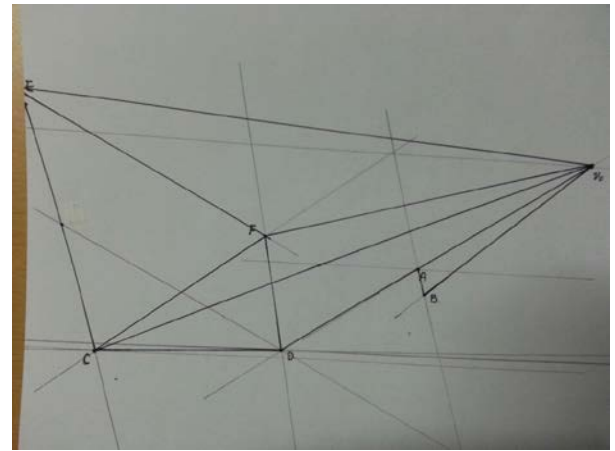


Figure 19. 목 움직임의 velocity polygon

Velocity polygon result (모터의 원래 각속도는 42rpm 이지만 움직임이 실제로 돌아가는 모습을 관찰한 결과 약 30rpm 으로 돈다는 것을 보고 수치를 바꿔 넣었습니다.)

$$v_A = 11\pi \text{ Cm/s}, \angle 214.2^\circ$$

$$v_B = 11.4\pi \text{ Cm/s}, \angle 227^\circ$$

$$v_C = 28.2\pi \text{ Cm/s}, \angle 203.5^\circ$$

$$v_D = 19.4\pi \text{ Cm/s}, \angle 214.7^\circ$$

$$v_E = 28.6\pi \text{ Cm/s}, \angle 175.9^\circ$$

$$v_F = 18\pi \text{ Cm/s}, \angle 195.2^\circ$$

PROTOTYPING PROCESS

1) Main Bone Structure

Auto CAD 를 이용하여 설계(Fig.20.), 다리와 목 링크는 아크릴 3T, 기어와 지지부분은 아크릴 5T 판(Fig.21.)을 레이저 커팅을 했습니다.

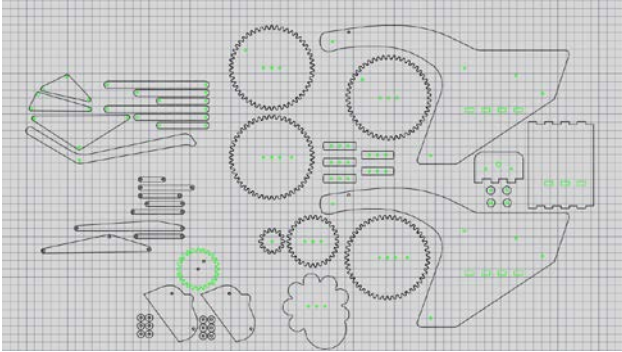


Figure 20. AutoCAD 설계파일



Figure 21. 아크릴 3T(좌), 5T(우) 레이저 커팅

링크와 링크 사이는 볼트와 너트 2 개를 사용하여 링크간에 움직일 공간을 주면서 너트가 2 개가 서로 다른 방향을 맞물리게 되어 풀리는 것을 방지합니다(Fig.22.). 판과의 높이를 맞추기 위해 상황에 따라 너트 1 개, 혹은 반대편에 너트를 더 집어 넣어 높낮이는 맞추는데도 사용했습니다.



Figure 22. 링크를 이어줄 때 볼트-너트 2 개의 조합으로 공간을 두며 고정 가능

한 개의 모터로 구동되는 시스템이어서 약한 동력으로 모든 기어에게 힘이 잘 전달되려면 축과의 미끄러짐이 없어야 합니다. 기어가 축과 미끄러지는 것을 방지하기 위해서 축이 꽂히는 구멍을 원형이 아닌 한 쪽이 편평하게 (Fig.23.) 만들고 쇠막대를 줄로 갈아 끼워 마찰을 늘렸습니다.



Figure 23. 축이 끼워지는 기어의 구멍이 한 쪽이 편평한 반원형이다.

동력이 가장 크게 전달되는 기어들에는 구멍을 3 개씩 뚫어 구멍이 뚫린 막대를 축과 고정, 그 막대와 기어를 다시 볼트와 너트로 고정함(Fig.24.)으로써 미끄러짐을 최대한 방지했습니다.

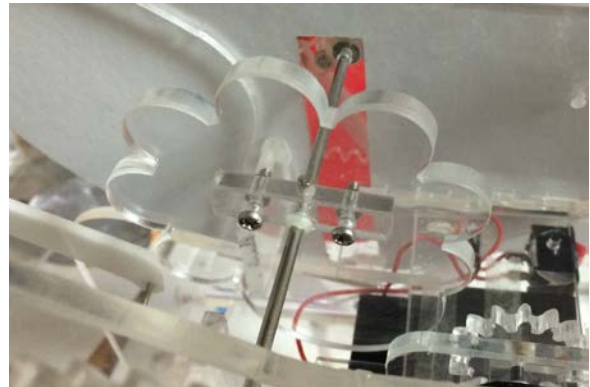


Figure 24. 기어와 축이 고정을 강화 시키는 막대.

또한 몸체와 다리가 일정 간격으로 떨어져있게 하기 위해서 작은 도넛모양의 아크릴들을 축에 끼워 사용했습니다(Fig.25., Fig.26.).



Figure 25. 간격 유지를 위해 축에 끼워 사용한 도넛모양의 아크릴



Figure 26. 간격 유지를 위해 축에 끼워 사용한 도넛모양의 아크릴



Figure 27. 모터에 전력 공급을 해줄 전지 케이스와 스위치 부품들을 조립, 축과의 고정을 강화하기 위해 순간접착제와 글루건을 사용하여 뼈대를 완성, 전지 케이스를 연결(Fig.27.)해 구동이 잘 되는 것(Fig.28.)을 확인했습니다.



Figure 28. 완성된 본체

여기에 끼워 쓸 수 있는 지지대를 무게 중심이 맞추어 디자인, 나중에 닭 발을 연결할 경우 닭 발이 땅을 짚을 수 있도록 설계하여 아크릴 5T 를 레이저 커팅(Fig.29.)하여 만들었습니다(Fig.30.).



Figure 29. 지지대(아크릴 5T) 레이저 커팅



Figure 30. 지지대에 고정시킨 본체

2) Decoration

머리와 날개, 꼬리는 빨간 아크릴(1T), 부리와 닭 발은 주황아크릴(1T), 그리고 몸통은 하드보드지를 레이저 커팅했습니다 (Fig.31.). 몸통의 경우 다리 기어 축에 넉넉하게 끼울 수 있도록 커팅을 했고, 나머지 데코레이션 부분은 링크의 아름다움을 느낄 수 있도록 탈부착이 쉬운 테이프를 이용해 본체에 붙였습니다



Figure 31. 레이저 커팅된 아크릴과 하드보드지.

PROTOTYPING RESULT

1) Materials

재료는 다음 표(Table 1.)와 같고 조립에 대한 상세 내용은 Prototype Process 에 명시되어있다.

링크	흰색 아크릴 3T
기어와 몸, 지지대	투명 아크릴 5T
머리, 날개, 꼬리	빨강 아크릴 1T
부리, 닭 발	주황 아크릴 1T
접착제	순간접착제, 글루건
조립	각종 볼트, 너트, 쇠막대
모터	GM24-KTX, DC4.5V, 42rpm
건전지	AAsize 4 개

Table 1.Materials

2) Photos

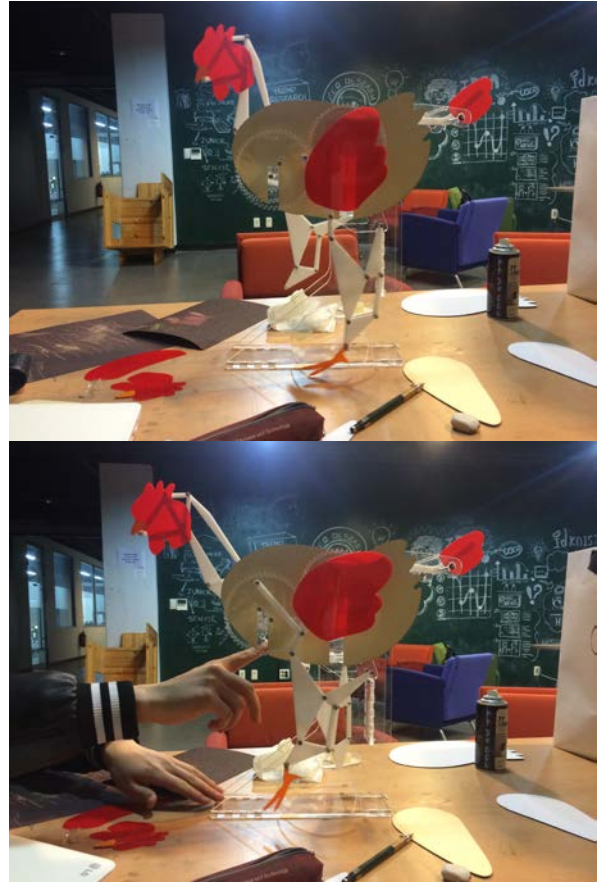


Figure 32. 닭의 움직임

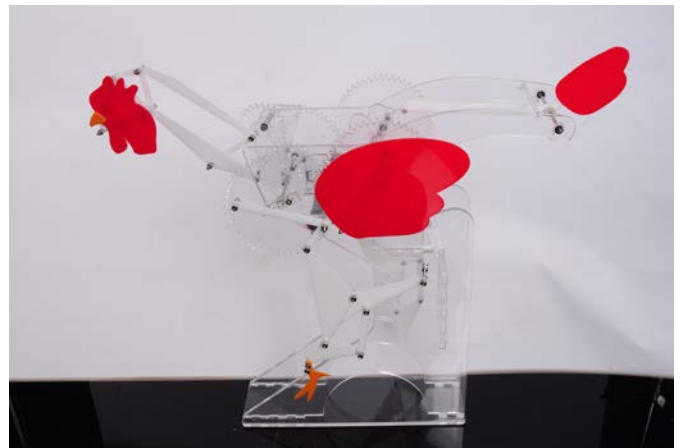


Figure 33. 전체

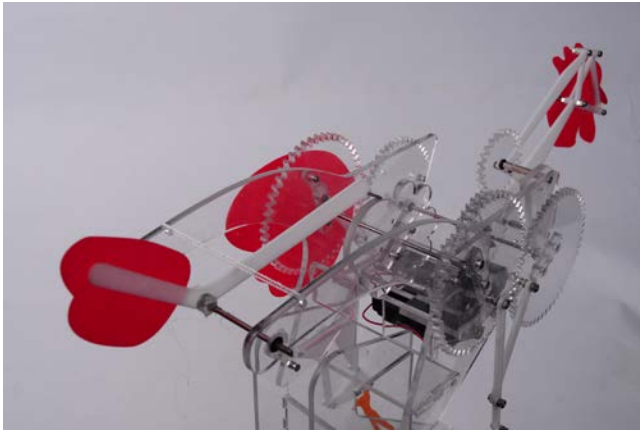


Figure 34. 닭의 뒷부분

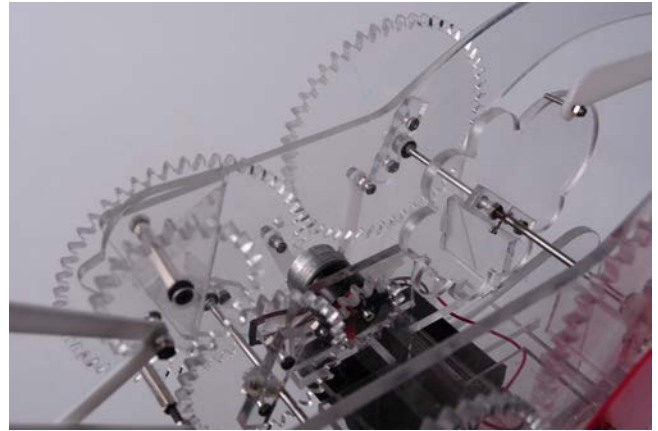


Figure 37. 닭의 중간 모터-기어 부분

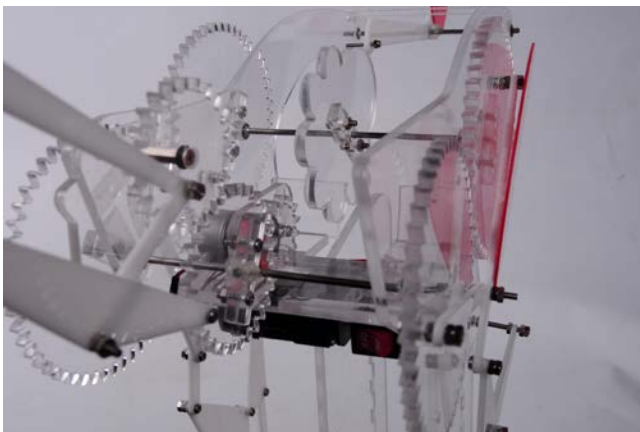


Figure 35. 닭의 앞부분

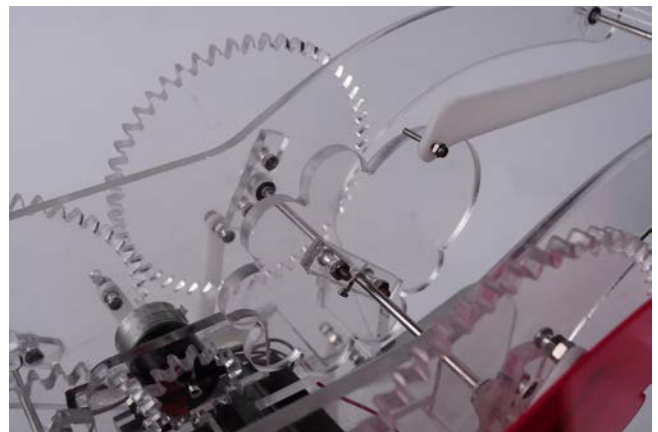


Figure 38. 꼬리 메커니즘 부분



Figure 36. 다리 부분



Figure 39. 꼬리 부분

3) Video

<http://www.youtube.com/watch?v=YBW5HBRZwzw&feature=youtu.be>

LESSONS LEARNED

동물의 행동을 그대로 재현하는 것, 그리고 그것을 효율적으로 나타내는 것이 어려운 일이라는 것을 알았습니다. 닭의 이족보행 움직임을 재현하기 위해 다른 메커니즘을 찾고, 비율과 위치를 조정해보았지만 Theo Jansen Linkage 만큼 효율적으로 걸림 없이 매끄러운 움직임이 나올 수 없었습니다.

이 부분은 또한 프로그램에서 중력을 고려하지 않는다는 것을 깨닫게 해주는 부분이었는데, 실제로 모터가 동작을 구현하는 데에 뼈대의 무게 때문에 시뮬레이션에 비해 동작이 덜 유연해 지는 것을 확인했습니다. 여기에 데코레이션을 위해 닭의 머리와 다리에 날개, 꼬리를 부착하니 모터가 이 중력들을 다 버티지 못해 가끔 따로따로 동작하는 것도 확인할 수 있었습니다. 다음부터는 설계할 때 프로그램만 보고 판단하는 것이 아닌, 중력을 고려할 필요를 느꼈습니다.

또한 기어와 링크가 움직이면서 조립할 때 최대한 신경을 썼음에도 몇몇 파트에서 링크간의 조립 너트와 풀리거나 축이 점점 풀려서 기어끼리 안 맞는 경우가 발생하여, 수리를 계속 해줘야 했습니다. 너트가 풀리는 경우에는 볼트의 길이를 조금 더 긴 것을 사용하는 방법을 사용하고 축이 풀려서 기어가 맞지 않았던 목의 경우에는 축을 양 옆에 고정할 수 있도록 설계해서

안정적으로 만들어야겠습니다. 이번 제품 만들 때 구조가 복잡해질 것 같아서 설계를 더 하진 않았지만 기어끼리 잘 맞지 않는 것을 해결하기 위해서는 양 옆에 레이어를 만들어 기어의 움직임이 안정적으로 평행을 유지할 수 있도록 해야겠습니다.

REFERENCES

1. http://www.youtube.com/watch?v=8Ks6U9_FcJU
2. <http://www.youtube.com/watch?v=yci5FuI1ovk>
3. <http://www.youtube.com/watch?v=6LylJJxAhYg>
4. <http://www.youtube.com/watch?v=C-wQRUqhyZ0>
5. <http://www.youtube.com/watch?v=QhVVpNJRul4>
6. <http://www.youtube.com/watch?v=RkFwfDquRI4>
7. <http://www.youtube.com/watch?v=ct37IMnadqw>
8. <http://www.youtube.com/watch?v=Ow8s6-3-oNU>
9. <http://www.youtube.com/watch?v=GxVv4WNlXMA>
10. <http://www.youtube.com/watch?v=vHjVV7AWaGM>
11. http://www.youtube.com/watch?v=V0u5RK_IL6s
12. <http://www.youtube.com/watch?v=DfznnUwywQ>
13. https://www.google.com/search?q=chicken+bone&rlz=1C1OPRA_enKR541KR541&espv=2&biw=1920&bih=947&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=pemSVKuvMczIuAS2poD4AQ&ved=0CAYQ_AUoAQ#tbm=isch&q=chicken+bone+structure