

I. 생체모방 연구에 대한 관심으로 보인 노력

나는 생체모방 기술에 대해 옛날부터 관심이 많았고, 고등학교에 진학하며 갖게 된 아이디어들을 실제 연구로 연결하기도 했고, 연구 계획을 세우는 경험을 했다.

1. 고양이의 골격구조를 모방한 착륙장치의 개발

연구요약

본 연구는 드론이 안전하게 착지할 수 있도록 하는, 고양이의 골격 구조를 모방한 착륙 장치의 설계 및 제작을 목적으로 한다. 3D 프린팅을 통해 모델을 제작하고 낙하 실험을 진행하였다. 충격을 완화하기 위해 관절 사이에는 자석을 부착하여 자석 사이 반발력을 이용하였고 발밑에 PVC폼을 부착하였다. 초음파센서를 이용하여 낙하 높이를 변화시키며 낙하 중 위치와 속도, 가속도를 측정하였고, PASCO Capstone을 이용해 데이터의 변화를 그래프로 나타내었다. 낙하 높이가 높아질수록 착지 시 완충 작용에서 감쇠 진동의 진폭과 주기가 컸다. 높이와 질량, 다리의 배열을 변화시키며 실험을 진행한 결과 1.5kg의 모델이 1m 높이에서 안정적으로 착지함을 확인할 수 있었으며, 50cm 이하에서 낙하할 경우 3kg의 모델 역시 안정적으로 착지함을 알 수 있었다. 또한 다리의 배열은 고양이처럼 일자형이 아닌 방사형으로 해야 완충 성능이 더욱 뛰어나도록 확인할 수 있었다.

중심어 : 완충 작용, 골격 구조, 고양이, 자석, 감쇠 진동

A B S T R A C T

This research includes design and developing process of landing gear mimicking cat skeleton structure, which is needed for safe drone landing. We developed this model with 3D printing, and had drop experiments with the model. We attached magnet between joints to relief damages, and attached PVC foam under the foot. With supersonic wave sensor, we measured displacement, velocity, acceleration depending on the drop height, and plotted graph of those values with PASCO Capstone. The higher the drop height, the amplitude and cycle of damp vibration in the buffer action increased. Experiments by varying the height, mass, and leg arrangement showed that a 1.5kg model landed reliably from a height of 1m, and a 3kg model also landed reliably if dropped from less than 50cm. In addition, the arrangement of the legs should be radial rather than straight like cats to confirm better buffer performance.

Key words: Buffer action, Skeleton structure, Cat, Magnet, Damped Oscillation

I. 서론

1. 연구동기

라스베가스에서 열린 컨퍼런스에서 아마존 소비자사업부문 CEO 제프 윌크는 자사 드론이 2.3kg 이하의 택배 상자를 들고 25km까지 이동할 수 있다고 말하며, 수개월 내로 택배 배송용 드론을 사용할 것이라고 발표했다. 드론 택배의 경우, 우리는 드론이 택배를 배달하며 택배를 떨어트릴 때 내부 물건이 파손될 수 있다는 점을 깨닫고 파손을 줄이기 위한 착륙 장치의 개선이 필요하다고 생각하였다. 연구를 계획하는 중에 드론 등의 비행체가 착지할 때 가해지는 충격을 줄일 방법으로 고양이의 착지 방식을 떠올렸다. 고양이가 충격을 흡수하는 데에는 고양이의 골격 구조가 영향을 미친다고 생각하였다. 고양이의 골격 구조에 대해 알아보고 골격 구조를 모방한 착륙 장치를 개발하고자 하였다. 충격을 흡수하는 장치를 만들어 낙하 실험을 하여 충격의 흡수 정도를

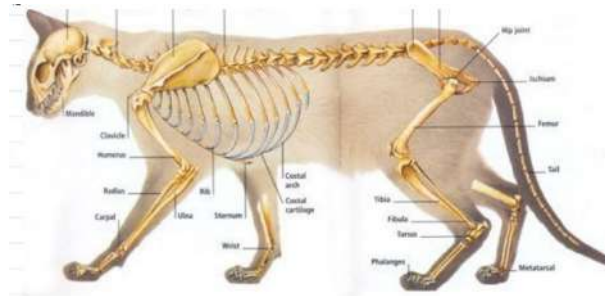
비교하고 착륙 장치를 직접 만들어보게 되었다.

2. 연구목적

고양이의 골격 구조를 모방한 드론 착륙 장치 설계 및 제작을 목적으로 본 연구를 진행하였다. 기본적으로 골격 구조는 고양이의 실제 골격 구조를 보고 비율을 같게 하여 3D모델링으로 제작하였다. 관절 사이 반발은 자석의 같은 극끼리 밀어내는 척력을 이용해서 자석이 용수철과 같은 역할을 하여 바닥에 착지할 때에 관절이 바로 접히지 않도록 하였다. 마지막으로 모델에서는 바닥에 직접 충돌하는 발바닥 부분에 PVC 폼을 부착하여 충격을 더욱 줄였다. 충격을 흡수할 수 있는 자석과 PVC 폼을 활용하여 최종 모델을 만들어서, 기존에 존재하는 드론을 안전하게 떨어지도록 도와주는 착륙 장치를 개발하고자 하였다.

II. 이론적 배경

1. 고양이의 골격 구조



[Fig. 1] Skeleton structure of cat [1]

고양이는 대부분의 포유류처럼 일곱 개의 경추와 열세 개의 흉추, 일곱 개의 요추, 세 개의 천골 척추, 22개~23개의 꼬리뼈를 가지고 있다.[2] 요추와 흉추의 추가는 인간보다 척추가 이동할 범위를 늘려 주며, 유연성 또한 향상해준다. 꼬리뼈는 꼬리를 형성하는 것뿐만 아니라 고양이가 빨리 움직일 때에 몸의 균형을 잡는 데에 사용되기도 한다. 고양이의 척추 사이에는 elastic discs(탄력성 연골)이 있어 점프하고 착지할 때의 충격을 완화시키는 데에 유용하다. 사람의 팔과는 달리, 고양이의 앞다리는 자유로운 쇄골의 뼈로 어깨에 붙어 있기 때문에 머리가 들어가는 공간은 어디나 몸을 통과시킬 수 있다.

III. 연구 방법 및 절차

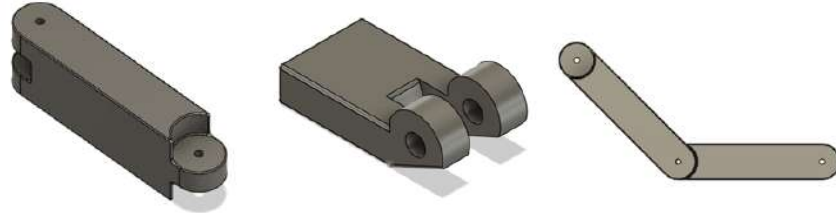
1. 실험 설계

고양이 착지 과정에서 고양이의 관절의 움직임을 분석한 후 고양이의 앞다리와 뒷다리의 골격 구조를 수치화하고 Fusion 360 프로그램을 이용해 다리를 직접 디자인했다.[6] 각 관절을 개별적으로 제작하고 조립한 후 충격흡수 성능을 검증하기 위한 실험을 진행했다. 다리는 높이 30mm에 원 반지름 5mm, 길이는 계속 바꾸었다.

가. 1차 설계

관절이 맞물려서 돌아갈 수 있도록 관절 부위를 둥글게 만들었다. 장치가 낙하하기 전에 최대로 퍼지는 각도를 제한하기 위해 실을 연결하기 위해 동근 홈을 팠다. 발은 면을 두 개를 만들어서 안정적으로 착지할 수 있게끔 하였다. 리벳으로 다리를 연결하기 위해서 지름 4mm의 구멍을 뚫

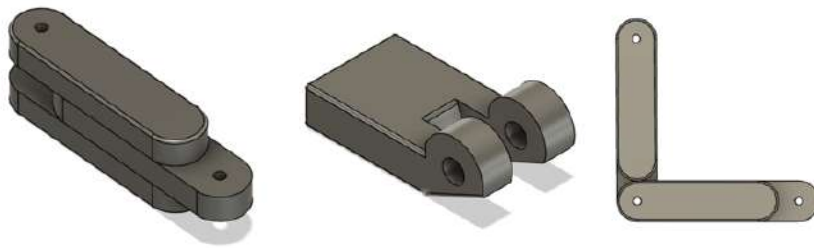
었다. 고양이의 골격 구조를 모방하여 다리를 만들기 위해 다리의 길이 비율을 비슷하게 설계하였다. PVC폼을 다리 사이에 붙여서 충격을 완화하고자 했다. 다리의 길이는 40mm, 45mm, 50mm, 80mm으로 하였다.



[Fig. 4] 1st 3D modeling (80mm leg, foot, angle: 135 °)

나. 2차 설계

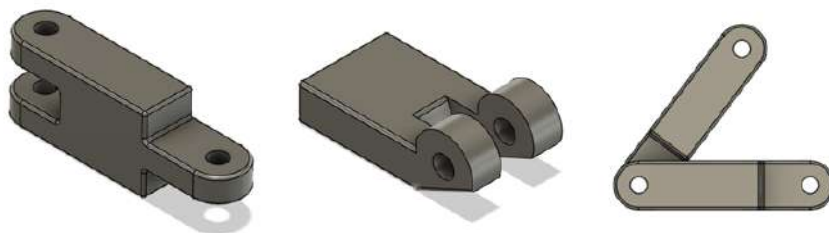
1차 설계에서 만든 다리는 최대 45도밖에 벌어지지 않는다. 보완하기 위해서 둥글게 말린 부분을 밖으로 잘라내어 더 많이 돌아갈 수 있도록 하였다. 2차 설계에서는 최대 90도까지 돌아갈 수 있도록 만들었다. 다리의 길이는 40mm, 45mm, 50mm, 80mm으로 하였다.



[Fig. 5] 2nd 3D modeling (80mm leg, foot, angle: 90 °)

다. 3차 설계

충격 흡수하는 정도를 늘리기 위해 다리를 더 깎아내어 120도까지 돌아갈 수 있도록 하였다. 내구성을 높이기 위해 다리를 리벳 말고 볼트와 너트를 이용해서 연결하기로 하였다. 구멍의 지름을 7mm로 늘렸다. 다리의 길이는 40mm, 45mm, 50mm, 80mm으로 하였다.



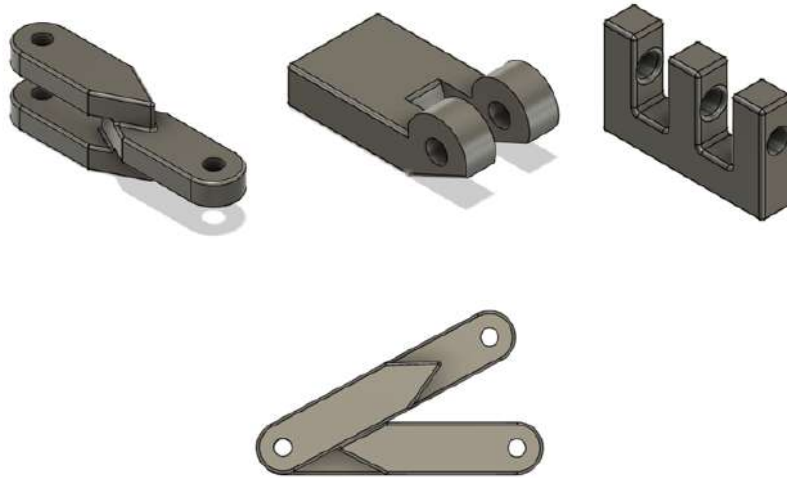
[Fig. 6] 3rd 3D modeling (70mm leg, foot, angle: 60 °)



3차 설계본을 프린트한 모습

라. 4차 설계

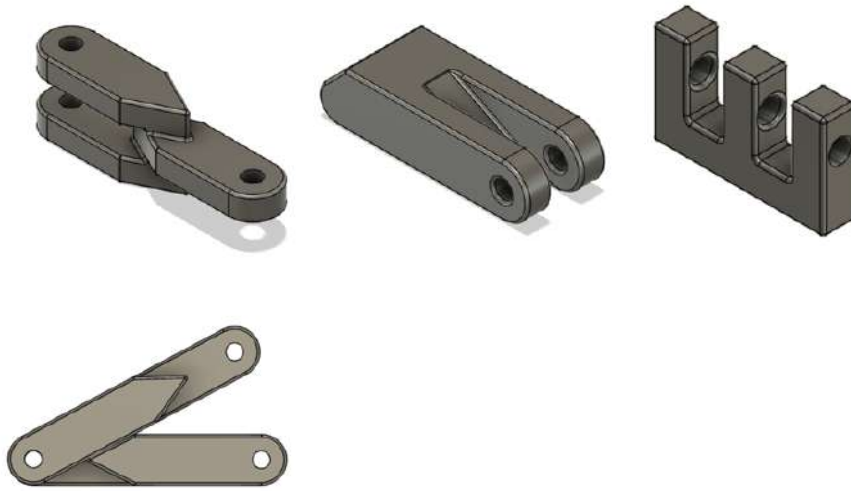
고양이의 다리는 완전히 굽혀지는 반면에 3차 설계에서 제작한 다리는 120도까지 벌어지므로 조금 더 깎아서 고양이를 최대한 모방하였다. 다리가 접하는 부분을 삼각형 모양으로 잘라서 152도까지 돌아간다. 착륙 장치의 다리와 드론 본체 역할을 해주는 강체를 연결하는 접합부를 제작했다. 강체는 10mm 두께의 300mm*300mm 면적의 나무판이다. 다리의 길이를 20mm씩 늘렸다. 다리의 길이는 60mm, 65mm, 70mm, 100mm으로 하였다.



[Fig. 7] 4th 3D modeling (70mm leg, foot, connection, angle: 28 °)

마. 5차 설계

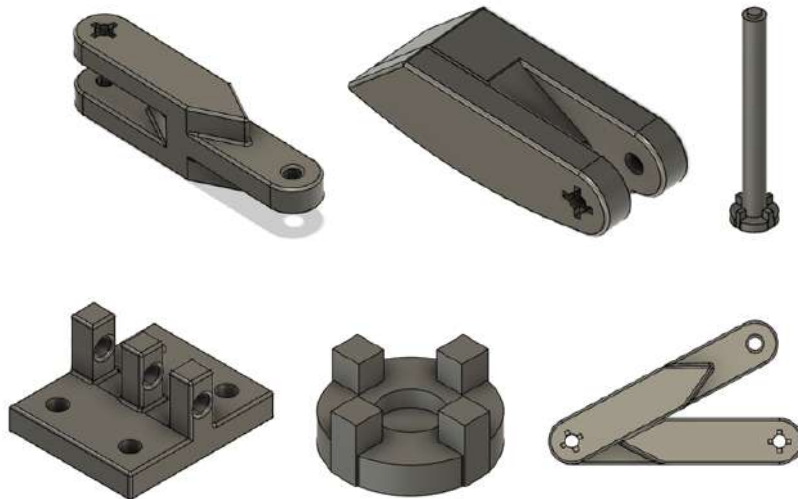
발의 디자인을 약간 수정했다. 앞쪽으로 조금 더 길어지게 하여 안정성을 보완했고 실제 발처럼 앞부분을 부드럽게 하였다. 다리의 길이는 60mm, 90mm으로 하였다.



[Fig. 8] 3D modeling (60mm leg, foot, connection, angle: 28°)

바. 6차 설계

다리를 연결하는 볼트와 너트를 3D 프린팅으로 제작하였다. 볼트는 끝부분을 돌출시켜 너트의 파인 부분과 정확하게 결합할 수 있도록 하였다. 볼트와 너트 모두 십자 모형으로 돌출 부위를 만들어 다리 모델과 접합하는 부위에서 흔들리지 않게 하였다. 발은 안정적으로 착지하기 위해 밑 부분을 둥근 모양으로 만들었다. 다리의 길이는 60mm, 90mm으로 하였다.

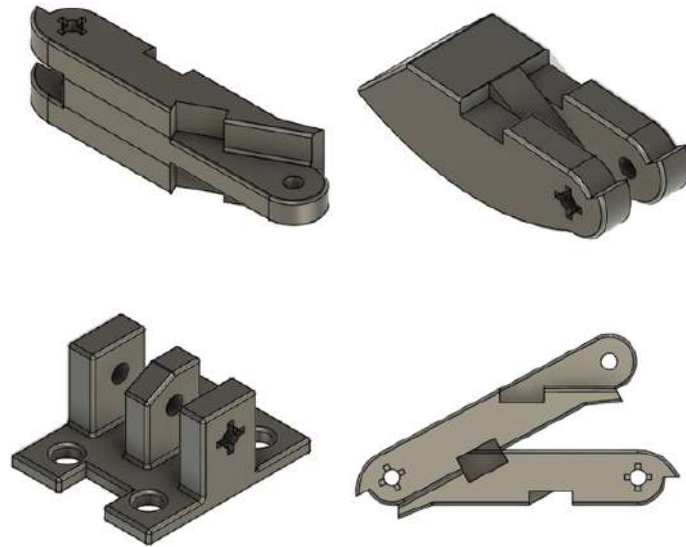


[Fig. 9] 3D modeling (90mm leg, foot, 50mm bolt, connection, nut, angle: 28°)

사. 7차 설계

PVC 폼을 이용하는 것보다 자석의 밀어내는 힘을 이용한 착륙 장치가 더 좋을 것이라고 생각해서 네오디뮴 자석을 붙인 다리를 설계하였다.[7] 다리 접합부에 각각 15mm*10mm*4mm 크기의 자석을 붙이는 공간을 만들어 본드로 붙인다. 접합부를 나무판에 나사를 조여서 고정할 수 있게끔 설계하였다. 네오디뮴 자석을 수월하게 붙이기 위해 같은 다리 반대편에 부착된 자석들은 서로 다른 극이다. 나무판에 일자형으로 구멍을 파서 접합부를 고정하고 그 위에 다리를 연결했다. 고양이랑 비슷하게 만들기 위해 앞다리와 뒷다리를 다르게 만들었는데 자석이 세서 안정적으로 서 있지 못했다. 다리를

모두 앞다리로 만들고 일자형이 아닌 방사형으로 바꾸었다. 3D 프린팅한 볼트와 너트는 내구도가 너무 약해 실제 볼트와 너트로 바꿨다. 다리의 길이는 60mm, 90mm으로 하였다.



[Fig. 10] 3D modeling (90mm leg, foot, connection, angle: 27.92 °)



[Fig. 11] Complete model (left: leg, right: full skeleton structure)

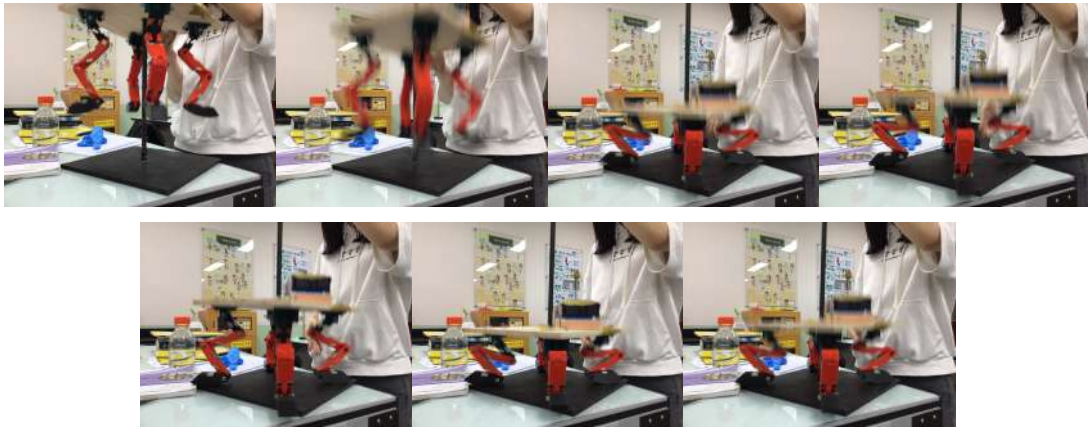
IV. 실험 과정

PASCO motion sensor를 이용해 낙하 중 위치와 속도, 가속도를 측정하였고, PASCO Capstone을 이용해 이를 그래프로 나타내었다.

모델이 낙하 도중 초음파 센서의 측정 가능 구역을 벗어나거나 착지하면서 넘어져 파손당하는 일을 방지하기 위해 모델 한가운데에 구멍을 뚫고 원형 막대를 끼워 낙하 실험을 진행하였다. 막대와 모델 사이의 마찰을 줄이기 위해 접촉 면에 테프론테이프를 부착하였다. 실험은 3회 반복 실험으로 진행하였고, 모든 수치를 그래프로 표현하였다.



[Fig. 12] Setting for experiment



[Fig. 13] High-speed continuous shooting of simple drop experiment (from upper left)

완충 작용이 일어나는 다리 부위는 나무판에 비해 흔들림이 덜한 것이 확연히 관찰된다. 착지 후 진동하는 것을 확인할 수 있다.

1. 실험 1: 높이에 따른 낙하 실험

본 실험을 통해 등가속도 운동 공식에 따라 높이가 높아질수록 감쇠 진동의 진폭이 커지고 진동 시간 역시 길어짐을 검증하고자 하였다. 30cm부터 100cm까지 10cm 간격으로 낙하 실험을 진행하였다. 모션 센서가 150cm 높이에서 아래 방향으로 길이를 측정하였기 때문에 그래프의 position에 나타난 값을 150cm에서 뺀 값이 실제 높이이다.

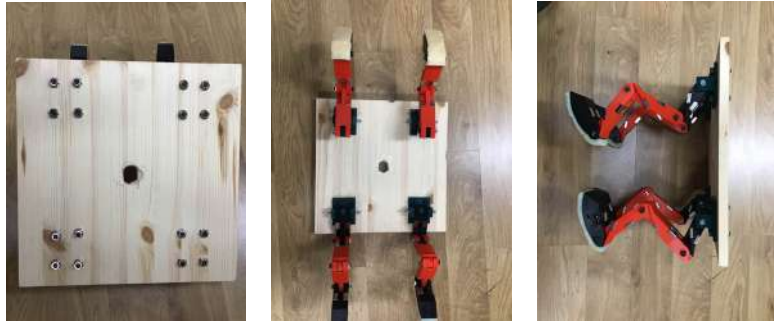
비교 실험으로 아무런 장치가 없는 나무판(모델의 사용된 것과 동일)의 낙하 실험 역시 모델의 낙하 실험과 동일 절차로 진행하였다. 본 실험과 달리 3회 반복 없이 높이 별로 1회씩 진행하였다. 실험 모델은 방사형으로, 추의 추가 없이 진행하였다.



[Fig. 14] Wooden board drop experiment

2. 실험 2: 다리의 배열 형태에 따른 낙하 실험

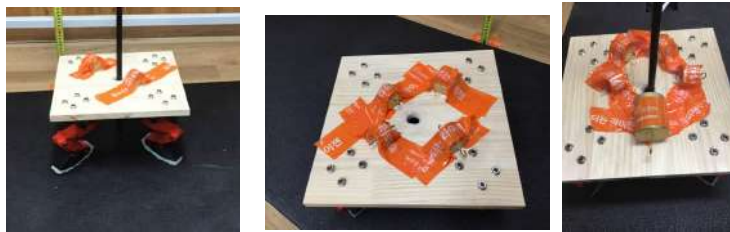
다리의 배열 형태에 따른 완충 효과를 분석하기 위해 본 실험을 진행하였다. 50cm 높이와 70cm 높이에서 11자형 배열과 방사형 배열 모델을 떨어뜨려 완충 효과를 비교하였다. 모션 센서가 175cm 높이에서 아래 방향으로 길이를 측정하였기 때문에 그래프의 position에 나타난 값을 175cm에서 뺀 값이 실제 높이이다.



[Fig. 15] 11-shaped leg arrangement model

3. 실험 3: 무게에 따른 낙하 실험

기존 모델에 추를 달아 무게를 늘려 50cm 높이에서 낙하 실험을 진행하였다. 기존 모델은 1.47kg이었고, 여기에 0.5kg, 1.0kg, 1.5kg씩 무게를 추가하였다. 모션 센서가 175cm 높이에서 아래 방향으로 길이를 측정하였기 때문에 그래프의 position에 나타난 값을 175cm에서 뺀 값이 실제 높이이다.



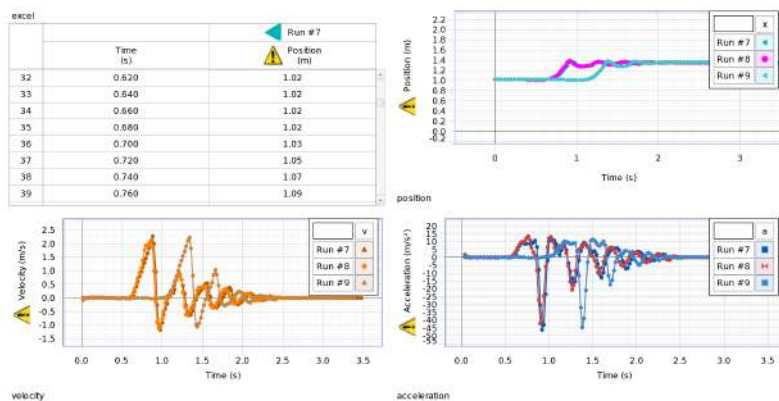
[Fig. 16] +0.5kg, +1.0kg, +1.5kg

V. 연구 결과

연구결과를 그래프로 표현하고 분석한 내용은 다음과 같다.

1. 실험 1: 높이에 따른 낙하 실험

가. 50cm 실험 결과

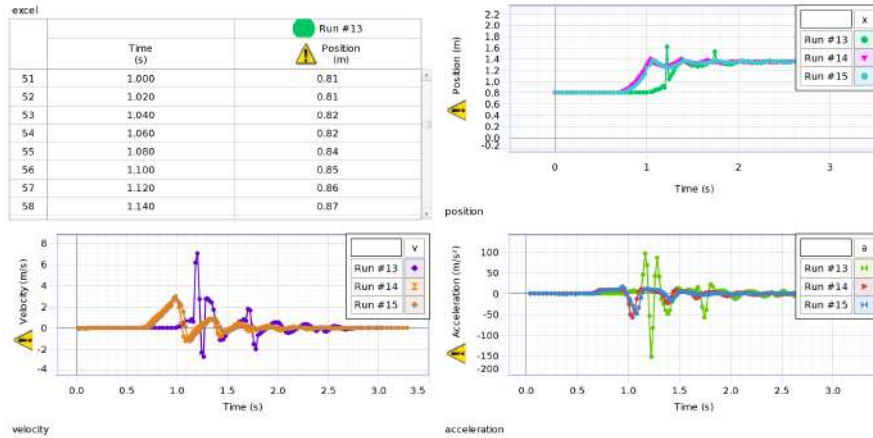


[Fig. 17] 30cm drop experiment result (position, velocity, acceleration)

9차시만 유독 뒤쪽에 있는 것을 확인할 수 있는데, 이는 9차시에서 초음파 센서가 다른 실험보다 약 0.5초가량 일찍 측정을 시작했기 때문이다. 왼쪽으로 9차시 그래프를 조금 밀면 다른 두 그래프와 겹치는 것을 확인할 수 있다.

비교적 세 그래프의 일치율이 높다.

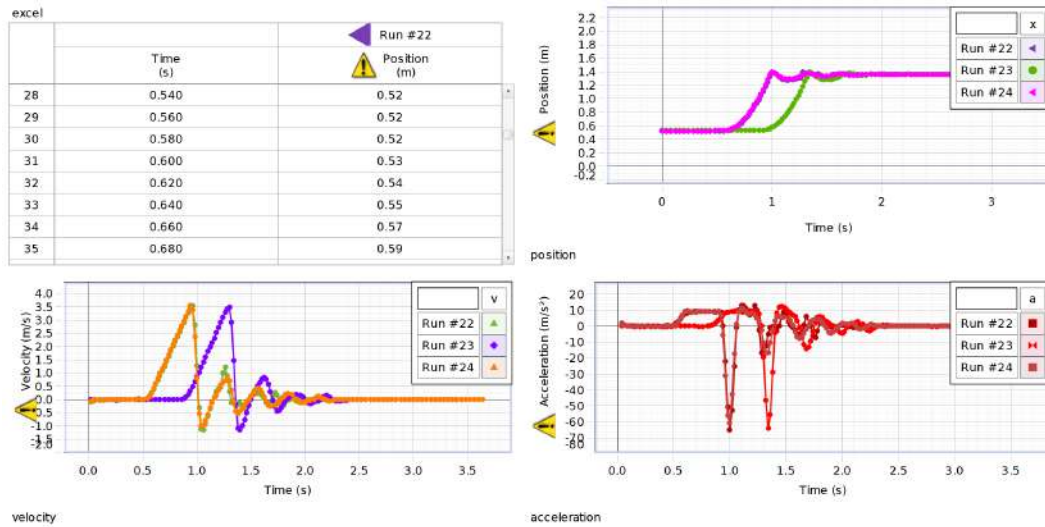
나. 70cm 실험결과



[Fig. 18] 70cm drop experiment result (position, velocity, acceleration)

13번째 실험에서 position이 1.6m를 넘어서는데, 초음파 센서의 오류라 생각된다. velocity와 acceleration 그래프에서도 13번째 실험의 그래프만 유독 진폭이 심한 것을 보면 모종의 이유로 인해 출발 시 중력 이상의 힘을 받았다고 생각된다.

다. 100cm 실험결과



[Fig. 19] 100cm drop experiment result (position, velocity, acceleration)

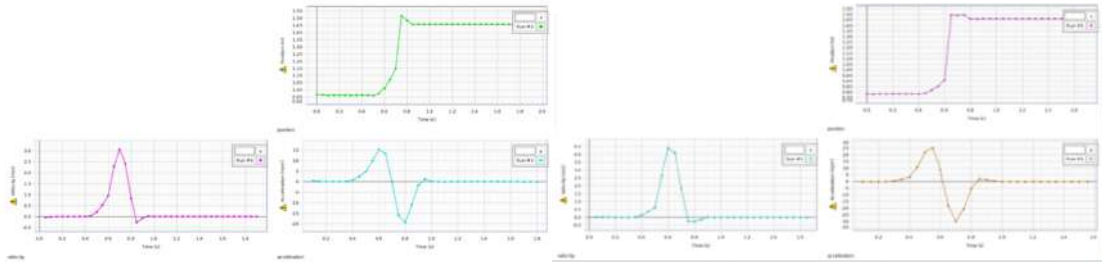
100cm 낙하 실험은 측정 오류가 단 한 번도 발생하지 않았는데, 24번째 실험의 그래프를 왼쪽으로 밀면 세 그래프의 개형이 거의 완벽하게 일치함을 알 수 있다. 자세히 보면 24번째 실험이 굉장히 성공적이었다는 사실을 확인할 수 있는데, 모델을 엄청난 속도로 감속시켜 완벽하게 완충 작용을 이뤄 냈다.

실험 1에서의 모든 최대, 최소 속도와 최대, 최소 가속도 데이터를 정리하여 나타내면 다음과 같다.

<Table 1> Max, min velocity and acceleration per height

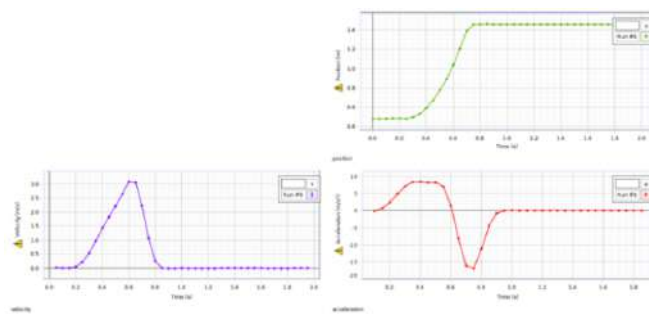
	Max velocity (m/s)	Min velocity (m/s)	Max acceleration (m/s ²)	Min acceleration (m/s ²)
실험 1	1.35	-0.84	9.14	-28.82
실험 2	1.26	-0.80	8.77	-28.58
실험 3	1.30	-0.84	8.70	-28.21
실험 4	1.75	-93.00	8.89	-34.50
실험 5	4.67	-2.71	67.44	-107.72
실험 6	1.85	-0.96	9.88	-35.91
실험 7	2.28	-1.19	12.29	-46.40
실험 8	2.11	-1.14	13.69	-41.99
실험 9	2.23	-1.07	11.41	-44.59
실험 10	3.16	-2.59	24.90	-85.70
실험 11	2.46	-1.93	30.92	-48.48
실험 12	2.56	-2.27	43.93	-62.24
실험 13	7.07	-2.73	98.14	-152.49
실험 14	2.82	-1.23	11.55	-56.75
실험 15	2.99	-1.24	17.57	-49.04
실험 16	2.96	-1.74	30.67	-51.89
실험 17	6.88	-2.96	69.32	-153.92
실험 18	3.16	-0.86	11.74	-50.10
실험 19	3.75	-2.77	58.20	-97.20
실험 20	4.05	-2.85	69.05	-59.89
실험 21	10.53	-7.92	193.91	-173.39
실험 22	3.57	-1.14	13.20	-65.19
실험 23	3.50	-1.16	12.25	-63.67
실험 24	3.57	-1.00	11.43	-60.90

자. 나무판 낙하 실험 결과



[Fig. 20] Wooden board drop experiment_50cm

[Fig. 21] Wooden board drop experiment_70cm



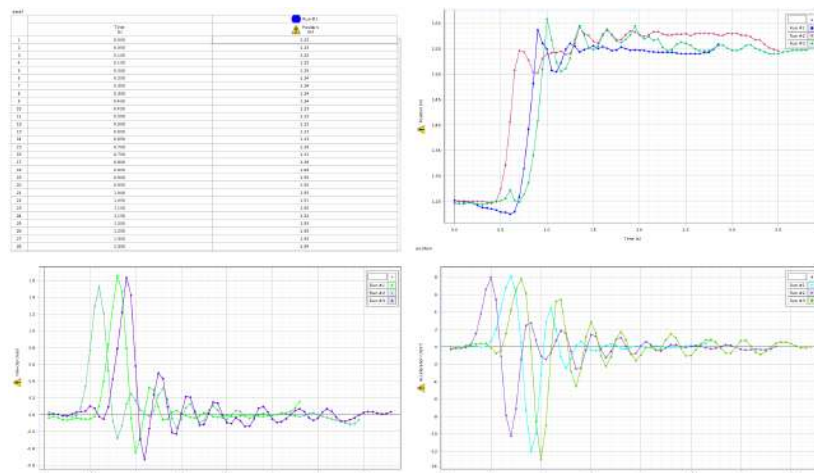
[Fig. 22] Wooden board drop experiment_100cm

오른쪽 위가 position, 왼쪽 아래가 velocity, 오른쪽 아래가 acceleration이다. position은 모델의 낙하 실험과 마찬가지로 1.5m-(그래프의 값)이 나무판의 지면으로부터의 높이이다.

2. 실험 2: 다리의 배열 형태에 다른 낙하 실험

모델이 수정된 관계로 대조군으로 사용될 기존에 했던 방사형 모델의 낙하 실험 역시 다시 진행하였다.

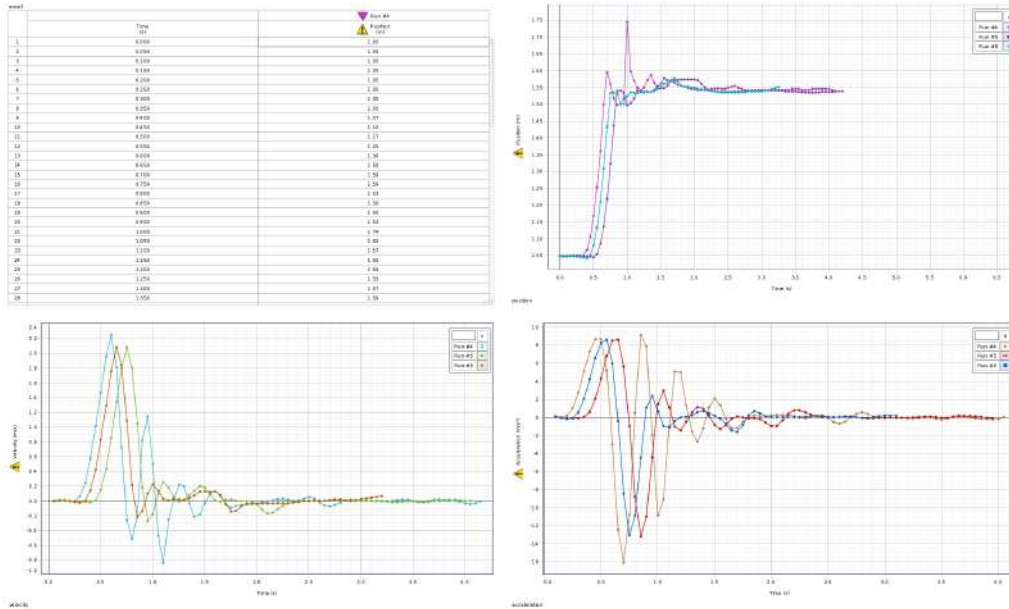
가. 방사형 다리 배열 50cm 낙하 실험 결과



[Fig. 23] Radial leg arrangement_50cm drop experiment result (position, velocity, acceleration)

실험 1과 달리 모션 센서의 위치가 높아져 position의 값들이 실험 1에 비해 25cm 정도씩 높다.

나. 방사형 다리 배열 70cm 낙하 실험 결과

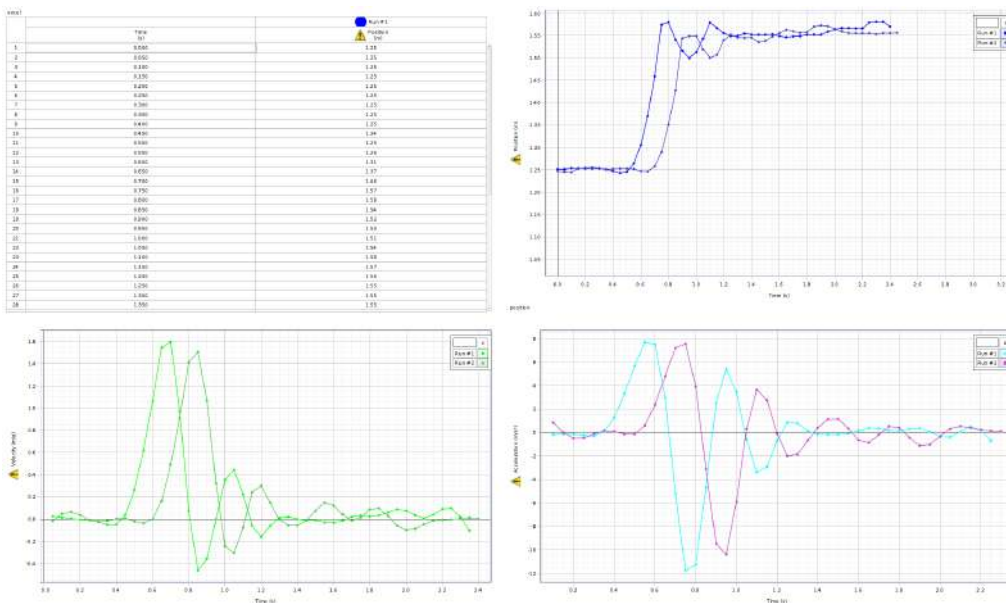


[Fig. 24] Radial leg arrangement_70cm drop experiment result (position, velocity, acceleration)

위의 '방사형 다리 배열 50cm'와 마찬가지로 실험 1의 [Fig.21]과 같은 양상을 보이며 position의 값들이 조금씩 더 크다. 진동의 폭이 조금 커졌다.

가.

다. 11자형 다리 배열 50cm 낙하 실험 결과

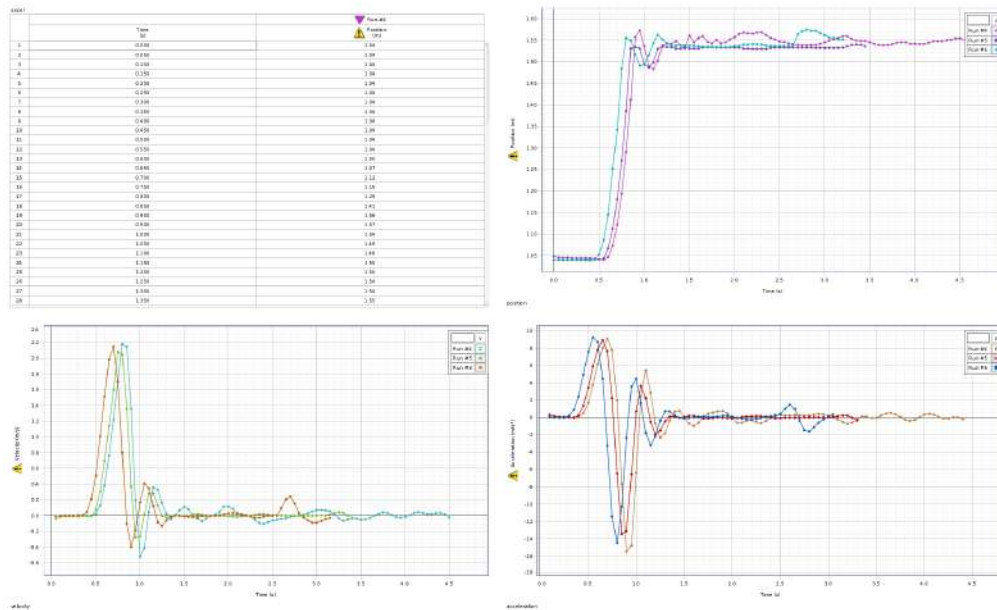


[Fig. 25] 11-shaped leg arrangement_50cm drop experiment result (position, velocity, acceleration)

방사형 다리 배열의 낙하 실험을 실험 4와 함께 진행하고 11자형 다리 배열의 낙하 실험을 독립적으로 진행한 관계로 넘버링이 1부터 다시 시작되어 있다.

실험 1, 실험 2만을 보았을 때는 방사형 다리 배열의 50cm 낙하 실험[Fig. 23]과 매우 비슷한 모양임을 확인할 수 있다. 표 3과 표 4의 데이터 비교를 통해 방사형보다는 완충 효과가 덜함을 알 수 있다.

라. 11자형 다리 배열 70cm 낙하 실험 결과



[Fig. 26] 11-shaped leg arrangement_70cm drop experiment result (position, velocity, acceleration)

위의 '11자형 다리 배열 50cm'와 마찬가지로 [Fig.24]와 같은 양상을 보인다. 마찬가지로 동일 조건의 방사형 배열보다는 완충 효과가 덜함을 확인할 수 있다.

<Table 2> Max, min velocity and acceleration of radial leg arrangement model drop experiment

	Max velocity (m/s)	Min velocity (m/s)	Max acceleration (m/s ²)	Min acceleration (m/s ²)
실험 1	1.65	-0.45	8.11	-12.03
실험 2	1.52	-0.28	7.97	-10.28
실험 3	1.63	-0.53	7.8	-12.96
실험 4	2.25	-0.84	9.13	-16.09
실험 5	2.08	-0.27	8.62	-13.22
실험 6	2.08	-0.22	8.6	-13.1

실험 1, 실험 2, 실험 3: 방사형 50cm

실험 4, 실험 5, 실험 6: 방사형 70cm

<Table 3> Max, min velocity and acceleration of 11-shaped leg arrangement model drop experiment

	Max velocity (m/s)	Min velocity (m/s)	Max acceleration (m/s ²)	Min acceleration (m/s ²)
실험 1	1.59	-0.46	7.7	-11.76
실험 2	1.51	-0.3	7.56	-10.4
실험 3	2.26	-0.62	9.16	-16.93
실험 4	2.17	-0.52	9.08	-15.5
실험 5	2.08	-0.28	8.89	-13.44
실험 6	2.15	-0.4	9.24	-14.51

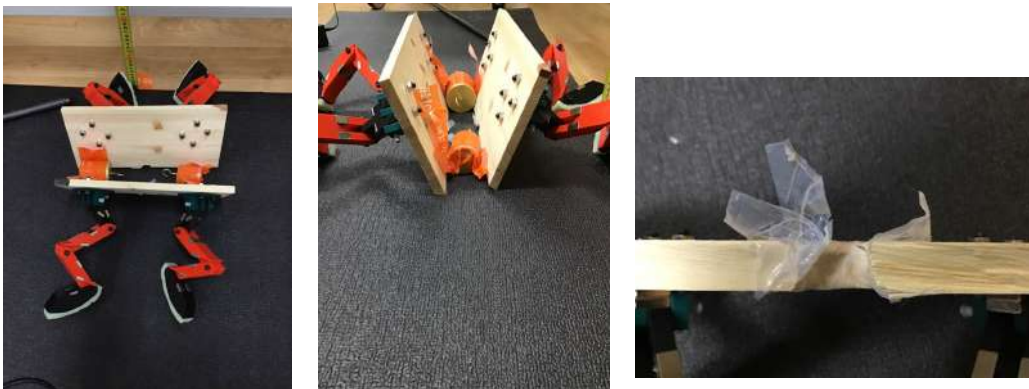
실험 1, 실험 2, 실험 3: 11자형 50cm

실험 4, 실험 5, 실험 6: 11자형 70cm

전반적으로 [Table 2]의 값들이 [Table 3]의 값보다 작은 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 방사형 다리 배열의 완충 효과가 더 뛰어나다는 것을 알 수 있다.

3. 실험 3: 무게에 따른 낙하 실험

가. 1회 실험



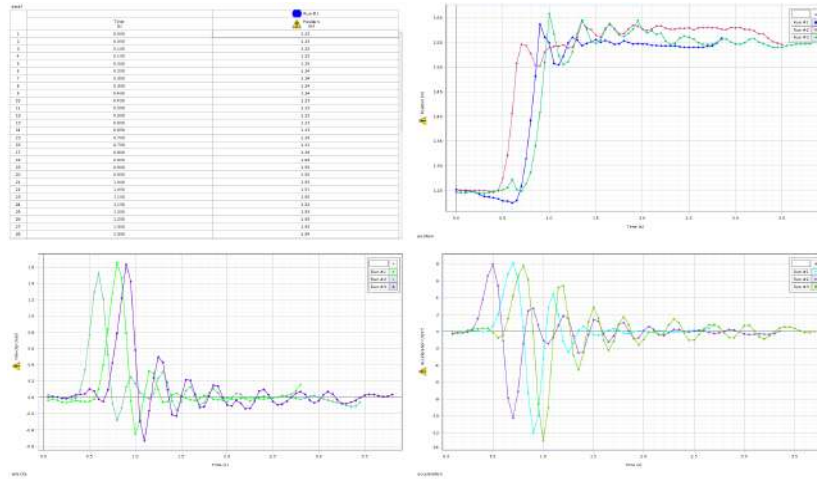
[Fig. 27] Broken model

3kg 모델(기존 1.5kg + 추 1.5kg)을 약 50cm 높이에서 떨어뜨렸더니 파손되었다. 1kg의 추와 500g의 추를 질량을 분산해서 붙이지 않고 나무판의 결을 따라서 구멍을 중심으로 일직선으로 붙였으며, 사용한 나무판이 적당히 두껍지 않았기 때문이라고 생각한다. 또한, 모델의 완충 장치는 충격을 분산시킬 뿐이므로 추의 무게가 중심축으로 편중되어 나무판이 그 힘을 버티지 못해 파손된 것으로 추정된다.

[Fig. 27]에서 나무판의 절단면과 테프론 테이프의 뜯어진 모습을 통해 순간적으로 얼마나 강한 충격이 가해졌는지 알 수 있다. 다리의 완충 효과만 고려하고 다리의 위치를 고정시킬 나무판

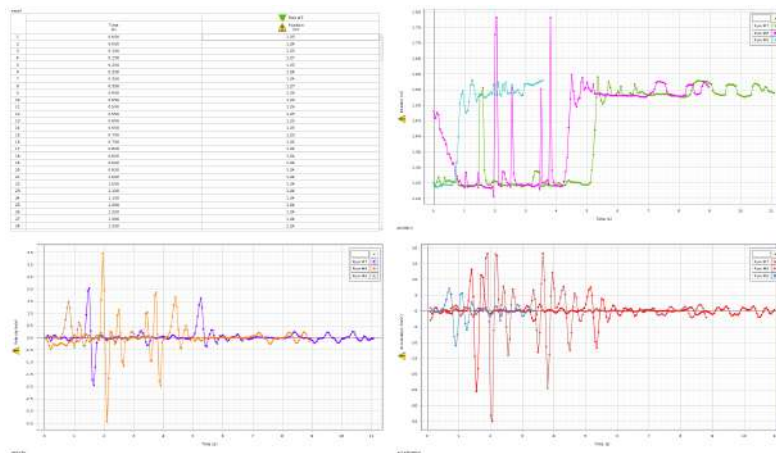
의 내구도를 고려하지 않았기 때문이라 생각된다. 따라서 이후의 실험은 더 두꺼운 나무판으로 교체하고, 추를 적당히 분산해서 달았더니 안정적으로 낙하하여 갈라지지 않고 착지할 수 있었다.

나. +0kg 낙하 실험 결과



[Fig. 28] +0kg drop experiment result (position, velocity, acceleration)

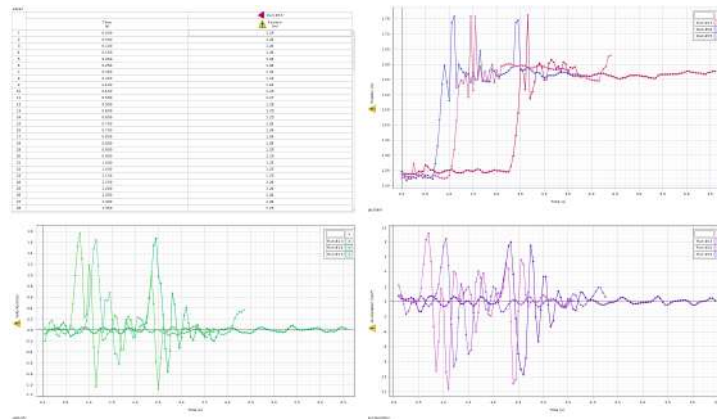
다. +0.5kg 낙하 실험 결과



[Fig. 29] +0.5kg drop experiment result (position, velocity, acceleration)

실험 7과 실험 8은 센서 오류로 요동치는 것으로 생각된다. 실제로 실험 7(연두색)은 5sec부터가 낙하 실험이며, 실험 8(분홍색)은 4sec부터가 낙하 실험이다. 추를 달지 않았을 때와 큰 차이를 보이지 않는다.

라. +1.5kg 낙하 실험 결과



[Fig. 30] +1.5kg drop experiment result (position, velocity, acceleration)

무게가 2배나 커진 관계로 확실히 진동이 심해졌다. [Table 4]의 값들을 비교해보면 이러한 결과가 여전히 드러난다.

<Table 4> Max, min velocity and acceleration per weight

	Max velocity (m/s)	Min velocity (m/s)	Max acceleration (m/s ²)	Min acceleration (m/s ²)
실험 1	1.65	-0.45	8.11	-12.03
실험 2	1.52	-0.28	7.97	-10.28
실험 3	1.63	-0.53	7.8	-12.96
실험 7	1.61	-0.37	7.65	-11.77
실험 8	1.66	-0.44	7.76	-12.59
실험 9	1.47	-0.4	7.2	-11.04
실험 10	1.58	-0.48	7.86	-12.02
실험 11	1.43	-0.39	7.08	-10.6
실험 12	1.47	-0.38	7.35	-10.59
실험 13	1.67	-0.76	7.98	-9.75
실험 14	1.76	-1.07	9.1	-11.65
실험 15	1.64	-0.62	8.39	-8.69

실험 1, 실험 2, 실험 3: +0kg

실험 7, 실험 8, 실험 9: +0.5kg

실험 10, 실험 11, 실험 12: +1.0kg

실험 13, 실험 14, 실험 15: +1.5kg

VI. 연구 결론

1. 고찰

착지 직후 엄청난 크기의 음의 가속도(위로 작용)가 생기는데, 완충제로 자석을 사용했기 때문이라 생각한다. 자석은 착지할 때에는 시간을 늦추지만, 퍼텐셜 에너지를 다시 방출하기 때문에 충돌 후 튀어 올라오게 된다. 높이가 높아지자 노이즈가 나타났다. 낙하 시간이 길어져 지지용 막대가 유의미한 영향을 주었기 때문일 것으로 추정한다. 90cm 이상으로 높아지자 오히려 노이즈가 줄어드는 현상을 보이는데, 이는 착지 속도가 빨라져 막대에 의한 영향이 상대적으로 작아졌기 때문으로 추정한다.

나무판의 자유 낙하 운동은 position의 시작 위치만 다르고 모든 높이에서의 낙하 운동 그래프가 자유 낙하 운동의 기본 그래프와 비슷하게 나타났다.

일자형과 방사형을 나눠서 실험한 결과 방사형이 그래프에서 나타나는 진동의 수가 적고 안정적으로 착지하였다. 방사형이 다리가 모든 방향으로 분산되어 있어서 착륙할 때 더 안정적이라고 결론지었다.

모델의 무게가 무거워질수록 진폭이 크고 받는 충격도 컸지만 총 3kg 정도는 안정적으로 착지할 수 있는 것으로 보인다. 추를 중심에 일렬로 붙이고 낙하하였을 때 모델이 충격을 흡수하지 못하고 부서진 것으로 보아 질량을 분산시켜야 안정적인 착지가 가능한 것을 알 수 있다. 모델이 파손된 이유는 구조의 문제가 아닌 얇은 나무판의 내구도 문제로 생각된다. 실제 착륙 장치에 적용할 때에는 기체의 내구도가 나무판에 비해 강할 것이기에 이러한 파손 사고는 없을 것이라 생각된다.

2. 오차 분석

낙하 높이가 높아질수록 측정의 오류 빈도가 높아진다. 반복적으로 나오는 오류가 있었는데, 모델이 바닥에 붙어도 1.5m밖에 안 돼야 할 position이 1.6m까지 올라가는 것이었다. 낙하 전부터 이런 현상이 나타나는 것으로 보아 측정 장비의 오류로 생각된다. 이러한 오류는 30cm와 100cm를 제외한 구간에서 일괄적으로 나타났으며, 본 실험에서는 정량적인 값이 아닌 그래프의 감쇠하는 개형을 통해 모델의 성능을 파악했으므로 결론에 유의미한 영향을 주지 않았다.

3. 연구 결론

나무판에 아무런 장치 없이 낙하했을 때에는 순간적으로 멈추는 것을 확인할 수 있다. 즉, 퍼텐셜 에너지가 한 순간에 충격으로 전해지게 된다. 하지만 제작한 모델을 낙하했을 때에는 감쇠 진동 운동을 통해 서서히 정지한다. 이 과정에서 충격을 받는 시간을 길게 끌며 충격력을 감소시킨다. 고로, 본 연구에서 제작한 모델이 성공적으로 완충 작용을 일으킴을 확인할 수 있다.

낙하 시작 높이가 높아질수록 착지 후 완충 작용에서의 진폭이 커지고 진폭 주기가 커진다. 하지만 그래프의 안정성으로 보았을 때, 오히려 1m 가까이 높이가 높아지면 완충 작용이 더욱 잘 되었다. 따라서 해석 결과는 다음과 같다. 첫째, 전체 질량이 약 1.5kg일 때, 1m 정도의 높이에서는 안정적으로 착지가 가능함. 둘째, 50cm에서 낙하할 경우 3kg 정도의 모델은 안정적으로 착지가 가능함. 셋째, 다리가 4개일 경우 일자형 배열보다 방사형 배열이 안정적임. 고로 우리는 본 연구에서 제작한 모델이 실제 산업용 드론에 장착되어도 충분한 성능을 보였다고 결론지었다.

4. 추후 연구 방향

완충제의 종류는 자석 대신 메모리폼을 사용해보려 한다. 현재는 발바닥 부위에만 PVC폼이 부착되어 있는데, 추가 연구에서는 골격 구조에서 다리 사이의 자석을 빼고 메모리폼을 끼우려 한다. 메모리폼은 자석처럼 반발력이 작용하지 않고 충격을 아예 흡수하기 때문에 완충제로 사용할 경우 본 실험에 비하여 뛰어난 완충 효과를 보일 수 있을 것으로 기대된다.

본 실험에서는 모델의 파손 방지 및 센서의 오류 최소화를 위해 모델에 구멍을 뚫고 원형 막대에 끼워 낙하 실험을 진행했다. 하지만 실제 드론이 떨어질 때 막대에 끼워져서 떨어지지 않는다는. 그렇기에 더욱 안정된 착지를 할 수 있는 모델을 개발하여, 막대를 빼고 낙하 실험을 진행해 모델 자체만의 순수한 착지 능력을 측정할 계획이다.

■ 참고문헌

- [1] <http://www.animalspot.net/category/mammals>
- [2] Aurora M. Sebastiani, Dale W. Fishbeck (2005). Mammalian Anatomy: The Cat, Morton Publishing Company
- [3] Ellenberger W., Davis Frances A. (1956). An Atlas of Animal Anatomy for Artists, Dover Publications
- [4] https://www.researchgate.net/figure/Double-tube-shock-absorber-functioning_fig1_263082846
- [5] https://www.researchgate.net/figure/Cross-section-of-an-oleo-strut-right-and-its-implementation-in-a-landing-gear-left_fig4_331472993
- [6] Randy Shih(2019). Parametric Modeling with Autodesk Fusion360(Spring 2019 Edition), SDC Publications
- [7] Seong-Ho, Y. (2016). Analysis of Bicycle Cushion System byusing Repulsive Force of Magnetics. Journal of the Computational Structural Engineering Institute of Korea, 29(1), 45-52.