

자유설계 계란낙하 보호구조물

자유 설계

2025년 10월 23일

고무줄 서스펜션 기반 탄성 충격 흡수 구조물

Contents

1	설계 개요	3
1.1	설계 목표	3
1.2	핵심 아이디어	3
2	구조 상세	3
2.1	기본 치수	3
2.2	정육면체 구조	3
3	부품 구성	3
3.1	1. 정육면체 프레임	3
3.2	2. 낙하산 시스템	4
3.3	3. 고무줄 서스펜션 시스템	4
3.4	4. 계란 보호 본체	4
4	재료 목록	5
5	조립 순서	5
5.1	단계 1: 정육면체 프레임 제작	5
5.2	단계 2: 계란 보호 본체 제작	5
5.3	단계 3: 고무줄 서스펜션 설치	6
5.4	단계 4: 낙하산 시스템 부착	6
5.5	단계 5: 최종 검사 및 테스트	6
6	충격 흡수 원리	6
6.1	4단계 충격 흡수 시스템	6
6.2	작동 흐름도	7
7	예상 성능	7
7.1	성능 계산	7
7.2	장점	8
7.3	주의사항	8

8	수학적 계산	8
8.1	고무줄 탄성 에너지	8
8.2	낙하산 효과	8
9	참고 자료	9
9.1	관련 물리 원리	9
9.2	개선 아이디어	9

1 설계 개요

1.1 설계 목표

본 구조물은 높은 곳에서 떨어뜨린 계란을 보호하기 위한 복합 충격 흡수 장치입니다. 정육면체 프레임의 구조적 안정성과 고무줄 서스펜션의 탄성 복원력을 결합하여 설계했습니다.

1.2 핵심 아이디어

1. 정육면체 프레임: 안정적인 기본 골격과 균등한 하중 분산
2. 낙하산 시스템: 낙하 속도를 줄여 충격 에너지 자체를 감소
3. 12개 고무줄 서스펜션: 계란을 중앙에 매달아 모든 방향 충격 흡수
4. 3단계 보호층: 지점토, 에어캡, 솜으로 계란 직접 보호

2 구조 상세

2.1 기본 치수

항목	치수
정육면체 크기	400 mm × 400 mm × 400 mm
낙하산 직경	300-400 mm
고무줄 자연 길이	200 mm (각각)
보호층 총 두께	약 40-50 mm
구조물 전체 크기	약 600 mm × 600 mm × 600 mm

2.2 정육면체 구조

400mm 정육면체는 12개 모서리와 8개 꼭짓점으로 구성됩니다:

- 하면 4개 모서리 (바닥면)
- 상면 4개 모서리 (윗면)
- 수직 4개 모서리 (기둥)
- 8개 꼭짓점에서 12개 고무줄 연결점 제공

3 부품 구성

3.1 1. 정육면체 프레임

기능: 전체 구조의 기본 골격 역할

- 부품: 400 mm 길이 막대 12개
- 직경: 5-8 mm

재질: 플라스틱 막대 또는 나무 막대

역할: 구조적 안정성 확보, 고무줄 연결점 제공

3.2 2. 낙하산 시스템

기능: 낙하 속도 감소로 충격 에너지 자체를 줄임

크기: 직경 300-400 mm

재질: 비닐봉지 또는 얇은 천

부착 위치: 정육면체 상면 중앙

연결: 상면 4개 모서리에 실로 연결

역할: 공기 저항으로 터미널 속도 감소

3.3 3. 고무줄 서스펜션 시스템

기능: 12개 고무줄로 계란을 3차원 공간에서 중앙 서스펜션

상면 연결: 4개 고무줄 (상면 4개 꼭짓점 계란 본체)

하면 연결: 4개 고무줄 (하면 4개 꼭짓점 계란 본체)

측면 연결: 4개 고무줄 (4개 측면 중심 계란 본체)

길이: 각 200mm (자연 상태)

재질: 중간 강도 고무줄

역할: 탄성 복원력으로 충격 에너지 흡수

3.4 4. 계란 보호 본체

기능: 계란 직접 보호 및 3단계 충격 완화

1단계: 지점토 보호층 (5-8mm)

재질: 지점토 약 50g

특성: 소성 변형으로 충격 흡수

장점: 계란 형태에 정확히 맞춤

2단계: 에어캡 보호층 (10-15mm)

재질: 버블랩 2-3겹

특성: 공기 쿠션 효과로 충격 분산

장점: 가볍고 효과적인 충격 흡수

3단계: 솜 보호층 (20-30mm)

재질: 솜 또는 부드러운 완충재

특성: 최종 완충 및 미세 진동 흡수

용기: 대형 종이컵에 담아 형태 유지

4 재료 목록

부품명	규격	수량	재질
정육면체 모서리	400 mm, 직경 5-8 mm	12개	플라스틱/나무 막대
연결 부품	꼭짓점용	8개	글루건/연결고리
낙하산	직경 300-400 mm	1개	비닐봉지/천
고무줄	길이 200 mm	12개	고무줄
지점토	50g	1세트	점토
에어캡	폭 300mm, 1m	1롤	버블랩
솜	-	적량	완충재
종이컵	대형	1개	종이
연결 실	-	적량	실/끈

참고사항:

고무줄은 너무 강하면 충격 전달, 너무 약하면 바닥 충돌 위험

낙하산 중앙에 작은 구멍을 뚫어 공기 배출구 만들기

지점토는 계란에 직접 감싸서 형태 고정

종이컵은 보호층을 담고 고무줄 연결점 역할

5 조립 순서

5.1 단계 1: 정육면체 프레임 제작

1. 400 mm 막대 12개 준비
2. 8개 꼭짓점에서 막대들을 연결하여 정육면체 형성
3. 글루건으로 모든 접합부 고정
4. 구조가 흔들리지 않는지 확인
5. 각 꼭짓점과 측면 중심에 고무줄 연결점 표시

5.2 단계 2: 계란 보호 본체 제작

1. 계란에 지점토를 5-8mm 두께로 균등하게 감싸기
2. 에어캡을 2-3겹으로 감싸기 (지점토 위에)
3. 솜으로 최종 보호층 형성 (총 두께 40-50mm)
4. 완성된 보호 계란을 종이컵에 넣어 형태 고정
5. 종이컵 가장자리에 고무줄 연결 구멍 뚫기

5.3 단계 3: 고무줄 서스펜션 설치

1. 상면 4개 꼭짓점에서 계란 본체로 고무줄 4개 연결
2. 하면 4개 꼭짓점에서 계란 본체로 고무줄 4개 연결
3. 4개 측면 중심에서 계란 본체로 고무줄 4개 연결
4. 계란이 정육면체 정중앙에 위치하도록 길이 조정
5. 모든 고무줄의 장력이 균등한지 확인

주의: 12개 고무줄이 모두 균등한 장력을 가져야 중앙 위치 유지

5.4 단계 4: 낙하산 시스템 부착

1. 낙하산 중앙에 지름 3-5cm 구멍 뚫기 (공기 배출용)
2. 상면 4개 모서리 중점에 실 연결
3. 실의 다른 끝을 낙하산 가장자리에 균등하게 연결
4. 낙하산이 펼쳐졌을 때 대칭인지 확인
5. 낙하산 전개 테스트 실시

5.5 단계 5: 최종 검사 및 테스트

1. 모든 연결부 재점검
2. 계란이 정중앙에 있는지 확인
3. 고무줄 장력 균등성 재확인
4. 낙하산 전개 상태 점검
5. 낮은 높이에서 예비 테스트

6 충격 흡수 원리

6.1 4단계 충격 흡수 시스템

1단계: 낙하산 작동 (낙하 중)

공기 저항으로 터미널 속도 감소

낙하 속도 30-40% 감소 충격 에너지 대폭 감소

에너지 = $\frac{1}{2}mv^2$ 이므로 속도 감소 효과 매우 큼

2단계: 고무줄 서스펜션 작동 (착지 순간)

12개 고무줄이 동시에 늘어나며 충격 에너지 흡수

운동에너지 탄성에너지 변환: $E = \frac{1}{2}kx^2$

충격력의 40-50% 흡수

탄성 복원력으로 2차, 3차 충격 방지

3단계: 보호층 작동 (잔여 충격)

지점토: 소성 변형으로 에너지 흡수 (10-15%)

에어캡: 공기 쿠션 효과로 충격 분산 (5-10%)

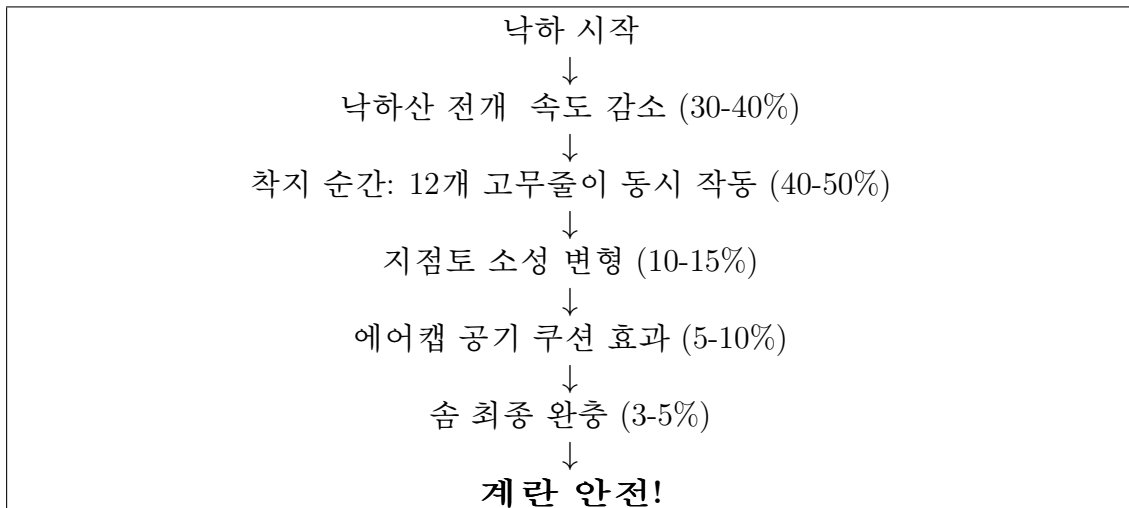
솜: 최종 완충 및 미세 진동 흡수 (3-5%)

4단계: 종이컵 최종 보호

계란과 직접 접촉하는 최후 보호벽

형태 유지 및 보호층 고정 역할

6.2 작동 흐름도



7 예상 성능

항목	예상 값
목표 낙하 높이	3-5 m
구조물 무게	425-585 g
전체 크기	약 600 mm × 600 mm × 600 mm
충격 흡수율	70-80% (4단계 합산)
제작 시간	약 3-4시간
예상 비용	7,000-12,000원

7.1 성능 계산

총 충격 흡수율:

각 단계의 흡수율을 r_1, r_2, r_3, r_4 라 하면:

$$\text{총 흡수율} = 1 - (1 - r_1)(1 - r_2)(1 - r_3)(1 - r_4) \quad (1)$$

$$= 1 - (1 - 0.35)(1 - 0.45)(1 - 0.125)(1 - 0.075) \quad (2)$$

$$= 1 - 0.65 \times 0.55 \times 0.875 \times 0.925 \quad (3)$$

$$= 1 - 0.290 = 71.0\% \quad (4)$$

7.2 장점

1. **높은 충격 흡수율**: 4단계 시스템으로 70% 이상 흡수
2. **전방향 보호**: 12개 고무줄로 어떤 방향 충격도 대응
3. **탄성 복원**: 고무줄이 원상복구되어 2차 충격도 흡수
4. **재사용 가능**: 고무줄과 프레임은 재사용 가능
5. **안정적 구조**: 정육면체로 구조적 안정성 확보

7.3 주의사항

1. 고무줄 장력이 불균등하면 계란이 한쪽으로 치우침
2. 낙하산이 비대칭이면 회전하며 낙하할 위험
3. 보호층이 너무 두꺼우면 무게 증가로 충격 에너지 증가
4. 종이킥과 고무줄 연결이 약하면 분리 위험

8 수학적 계산

8.1 고무줄 탄성 에너지

12개 고무줄의 탄성 계수를 k , 변형량을 x 라 하면:

총 탄성 에너지:

$$E_{elastic} = 12 \times \frac{1}{2} kx^2 = 6kx^2$$

충격 에너지 흡수: 계란의 운동 에너지 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 가 탄성 에너지로 변환

8.2 낙하산 효과

터미널 속도: 공기 저항 = 중력일 때의 속도

$$v_{terminal} = \sqrt{\frac{2mg}{\rho AC_d}}$$

여기서:

m : 구조물 질량

g : 중력 가속도 (9.8 m/s²)

ρ : 공기 밀도 (1.225 kg/m^3)

A : 낙하산 면적

C_d : 항력 계수 (약 1.3-1.5)

낙하산 면적: 직경 350mm 낙하산의 경우

$$A = \pi r^2 = \pi \times (0.175)^2 \approx 0.096 \text{ m}^2$$

9 참고 자료

9.1 관련 물리 원리

후크의 법칙: $F = kx$ (고무줄 탄성력)

에너지 보존: 운동에너지 \leftrightarrow 탄성에너지 변환

공기 저항: $F_d = \frac{1}{2}\rho v^2 C_d A$ (낙하산 효과)

충격량-운동량 정리: 충격 시간 증가 충격력 감소

9.2 개선 아이디어

1. 고무줄 대신 스프링 사용 더 정확한 탄성 계수
2. 댐핑 기능 추가 진동 감소
3. 낙하산 형태 최적화 항력 계수 향상
4. 보호층 재료 변경 무게 대비 성능 향상

— 자유설계 설계서 끝 —