
(제목: Golden Gate Bridge)

2021072442 서영훈

- 제작품 선정 배경
- 모델링 과정
- 제작품 이미지

제작품 선정 배경

1. 제작 동기

1. 동일한 크기의 다리로 물리적인 시뮬레이션을 돌리는 것은 현실적으로 한계임.
2. 3D 프린팅을 이용해 정밀하게 스케일을 줄인 축소 모형을 제작하면, 지진이나 강풍 등 현실에서 발생할 수 있는 다양한 예측 상황을 구현하고 검증할 수 있어 이번 모형 제작을 기획함.

2. 3D 프린팅 제작의 장점

1. 스케일을 축소한 모형을 통해 다리 구조물에 물리적으로 가해지는 하중과 인장력을 직관적으로 분석이 용이함.
2. 외부에서 인위적인 힘을 가했을 때 응력이 집중되어 부러지기 쉬운 취약 지점을 시뮬레이션하고 정확히 예측할 수 있음.
3. 현수교 특유의 복잡한 케이블 구조나 트러스 패턴을 정밀하게 출력하여 실제 교량과 유사한 역학적 특성을 재현할 수 있음.

제작품 선정 배경

3. 기존 공정과의 차별점

1. 형상을 깎아서 만드는 수작업 방식과 달리, CAD 데이터를 기반으로 복잡한 형상을 3D 프린터로 한 번에 출력할 수 있어 제조 오차를 크게 줄일 수 있음.
2. 실험 중 모형이 파손되거나 설계 수정이 필요할 경우, 디지털 도면의 수치만 변경하여 출력할 수 있어 반복 연구에 훨씬 유리.
3. 필요한 부분에만 재료를 층층이 쌓아 올리는 적층 제조 방식을 사용하므로 기존의 절삭 가공 방식보다 재료의 낭비가 현저히 적음.

모델링 과정

1. 직접 모델링한 부분

1. Scale Ratio = 약 1 : 8,000

- 모형의 주경간 길이: 160mm, 실제 주경간 길이: 1,280m

- 모형의 주탑 높이 :30mm, 실제 주탑 높이: 227m

- 이외의 데이터(교량의 폭, 케이블 직경)는 출력 해상도 문제 때문에 임의 조정.

2. 금문교의 핵심 구조인 트러스와 현수 구조를 직접 모델링하여 구현함.

2. 아웃소싱한 부분

1. 금문교의 실제 구조 데이터와 공개된 제원을 참고하여 축소 비율을 산정하였고, 이를 바탕으로 3D 모델링 및 출력에 반영함.

(<https://structurae.net/en/structures/golden-gate-bridge>)

모델링 과정(문제점 및 해결과정)

1. 디테일과 스케일의 문제 (해상도 한계)

1. 3D 프린터의 한계로 인해 케이블이나 트러스 구조를 얇게 만들면 제대로 표현되지 않거나 뭉개질 수 있기 때문에 $D = 1.6\text{mm}$ 으로 조정하여 출력하였음.
2. 디테일을 너무 살리게 되면 출력 시간과 재료 소모가 기하급수적으로 늘어나는 문제점이 생기는 현상을 고려하여 불필요한 형상은 생략함.

2. 구조적 강성과 하중 검증의 오차

1. 3D 프린팅으로 출력된 재료(PLA, ABS 등)는 금문교에 쓰이는 철강이나 콘크리트와는 물리적, 기계적 특성(탄성, 인장강도 등)이 전혀 다름.
2. 금문교의 역학적 특성을 잘 반영할 수 있는 재료로 형상을 출력하면, 하중과 인장력의 이론값과 측정값을 비교·분석할 수 있음.

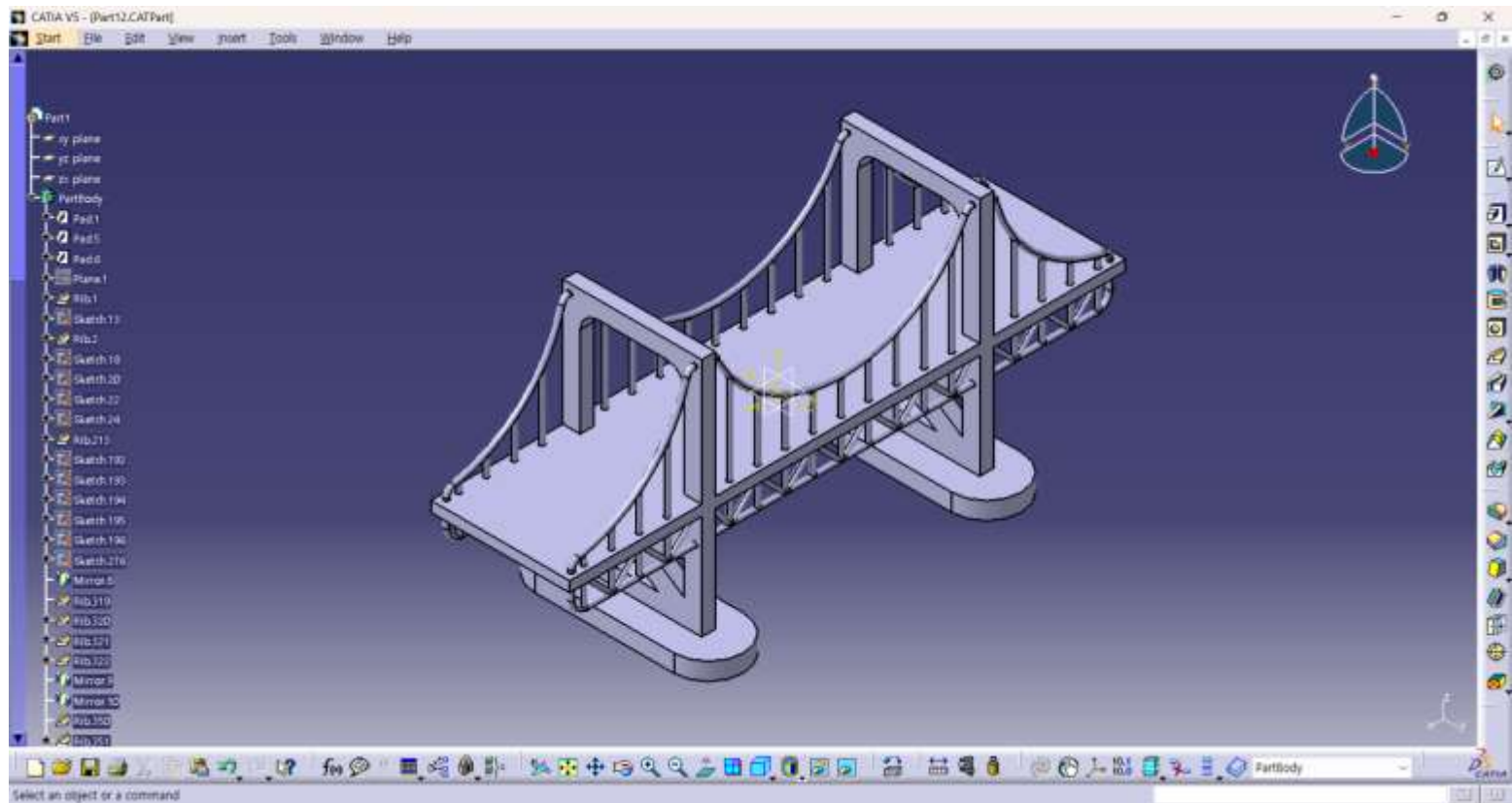
모델링 과정(문제점 및 해결과정)

3. 변환 및 출력의 문제

1. 얇은 레이어 층으로 겹겹이 쌓아 올리는(G-code) 적층 가공의 특성상, 공중에 떠 있는 현수교의 케이블이나 상판을 지지하기 위해 대량의 '서포트(Support)'를 함께 출력해야 하는데, 출력 후 이 서포트를 제거하는 과정에서 형상이 쉽게 파손될 위험이 있음.

제작품 이미지

- CATIA V5 모델링 결과 캡처

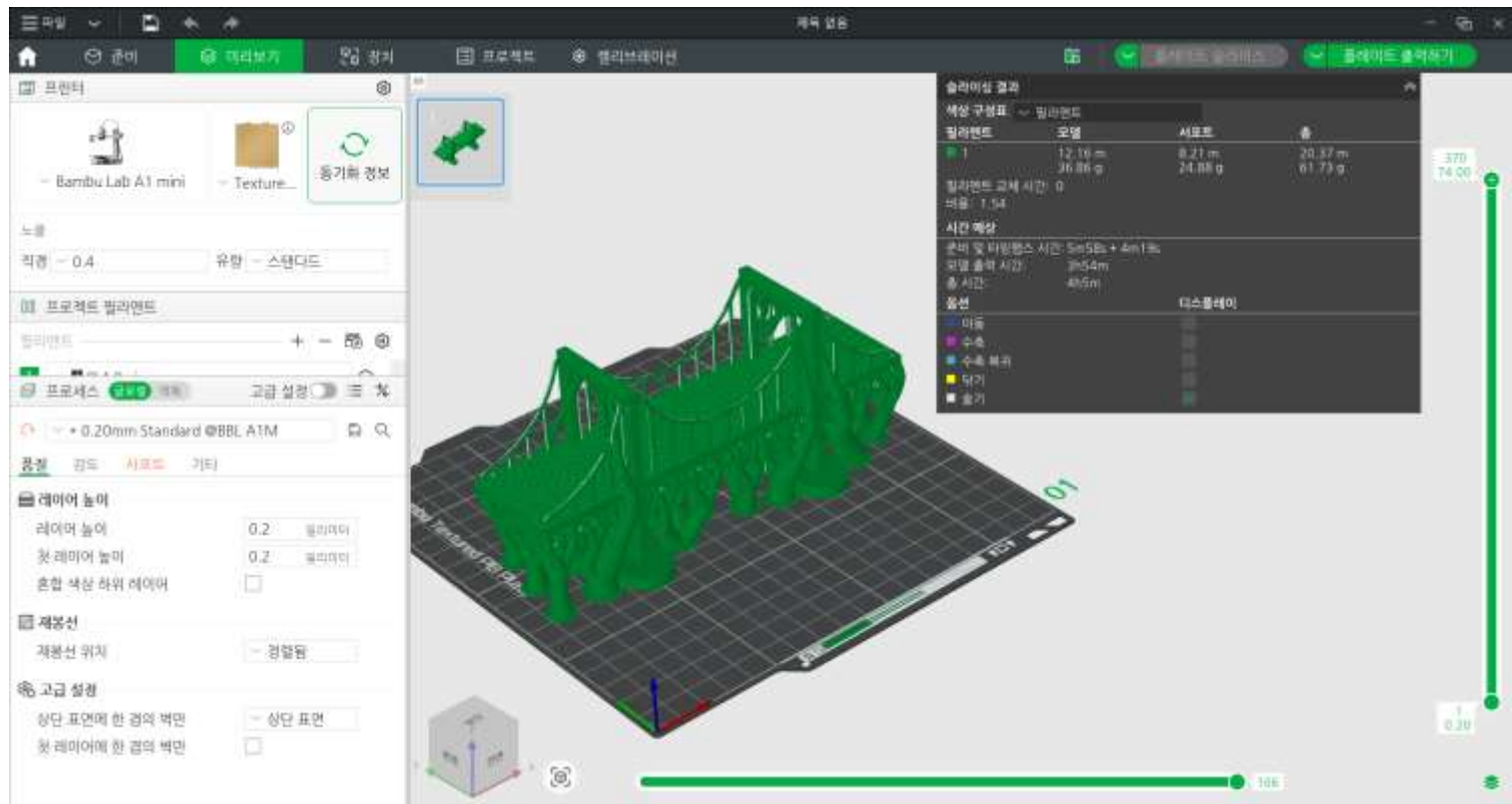


제작품 이미지 (실물)



사용 재료량과 제작시간 확인

- 소요시간 : 4h 5m



고찰

1. PLA Properties

- Young's Modulus : 약 3.5 GPa
- Poisson's Ratio : 약 0.36
- Density : 약 1,240 kg/m³
- Yield Strength : 약 30 Mpa

2. Cable이 버틸 수 있는 최대 하중

$$\sigma_{all} = \frac{\Delta F}{\Delta A} = \frac{F}{\frac{\pi D^2}{4}}$$

$$F_{max} = \sigma_{all} \times A = (30 \times 10^6) \left(\frac{\pi}{4} 0.0016^2 \right) = 60.3 N$$



고찰

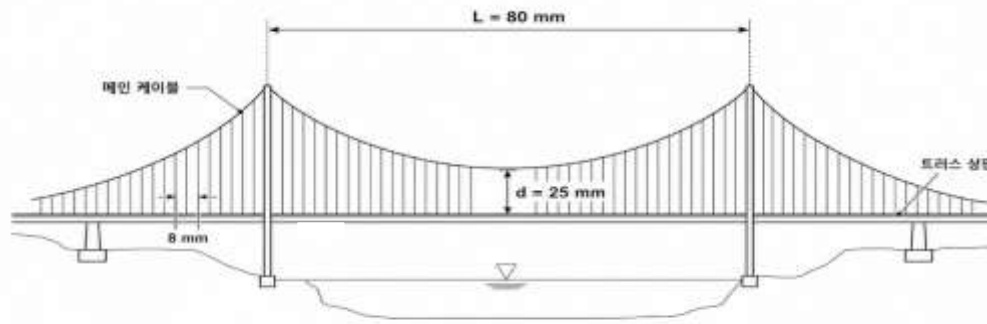
2. 메인 케이블 양 끝단(주탑 꼭대기)에 걸리는 최대 장력

- 수평 장력 : $H = \frac{WL}{8d}$

- 메인 케이블 최대 장력 : $T = \sqrt{H^2 + \left(\frac{W}{2}\right)^2}$

- 다리 상판이 버틸 수 있는 최대 하중 :

$$W = \frac{T}{\sqrt{\left(\frac{L}{8d}\right)^2 + \frac{1}{4}}} = \frac{60.3}{\sqrt{\left(\frac{0.8}{8(0.025)}\right)^2 + \frac{1}{4}}} = 94.2N$$



고찰

3. 현가구조와 트러스 구조의 분석

- 현수교에서는 현가 구조인 주케이블이 상판의 하중을 위로 지지하고, 트러스가 상판의 흔들림과 처짐을 억제함으로써 다리 전체의 안정성을 높인다.
- 현가구조만 고려하여 허용응력을 계산하면

$$\sigma_{all} = \frac{F}{A(\text{도로의 넓이})} = \frac{94.2}{0.16 \times 0.04} = 14.7KPa$$

약 15KPa이 나오며, 여기에 트러스 구조를 적용하면 하중이 더욱 분산되어 허용응력은 이보다 더 높게 나타날 것으로 예상된다.

4. 고찰의 의의

Generative Structural Analysis 도구를 이용하면 FEM(유한요소해석) 기법을 적용할 수 있지만, 이번 분석에서는 Solid Mechanics에서 배운 이론을 바탕으로 직접 계산을 수행하였다. 이를 통해 구조물의 하중 분산 원리와 응력 거동을 보다 직관적으로 이해할 수 있었다.