

제28회 서울특별시학생탐구발표대회

탐구보고서

출품번호

트러스 구조를 변형한
워렌 삼각뿔 트러스로
나만의 튼튼한 다리 만들기

미기재

출품 부문

물리

2013. 10 . 7 .

목 차

I. 탐구주제설정	-----	1
1. 탐구주제		
2. 주제설정의 동기 및 목적		
II. 탐구 계획 및 탐구 방법	-----	1
1. 탐구기간		
2. 탐구 장소 및 준비물		
3. 탐구 계획 및 방법		
4. 탐구 결과 예상		
III. 탐구 과정과 탐구 내용	-----	3
1. 다리의 구조		
가. 거더교		
나. 아치교		
다. 트러스교		
라. 현수교		
2. 트러스	-----	4
가. 트러스의 정의		
나. 트러스가 안정적인 이유		
다. 트러스의 종류		
라. 트러스교 형태에 따른 장단점		
마. 트러스 구조의 명칭		
바. 트러스가 사용된 사례		
3. 실제 트러스 구조 제작	-----	7
가. 수직재가 있는 워렌 트러스 구조		
나. 하우 트러스 구조		
다. 우리가 만든 워렌 변형 삼각뿔 트러스		
4. 트러스 구조 무게 버팀 실험하기	-----	10
가. 빨대로 만든 트러스 구조 무게 버팀 실험하기		
나. 나무로 만든 트러스 구조 무게 버팀 실험하기		
5. 실험 결과	-----	12
가. 빨대로 만든 트러스 구조 무게 버팀 실험결과		
나. 나무로 만든 트러스 구조 무게 버팀 실험결과		
6. 예상한 탐구 결과와 실제 결과를 비교하기	-----	13
IV. 탐구를 통하여 알게 된 점 및 앞으로의 과제	-----	15
V. 탐구를 통해 느낀 점 및 앞으로의 과제	-----	15
1. 탐구를 통해 느낀 점		
2. 앞으로의 과제		
VI. 참고문헌	-----	16

I. 탐구주제 설정

1. 탐구 주제

: 트러스 구조를 변형한 워렌 삼각뿔 트러스로 나만의 튼튼한 다리 만들기

2. 주제 설정의 동기 및 목적

우리는 일상생활에서 여러 가지 다리를 사용한다. 다리는 우리가 강 위에 놓여 강을 건너게 도와 주지만, 요즘에는 순환도로나 고속도로를 위하여 사용하는 경우도 많다. 그런데 다리가 자칫 무너지기라도 하면 큰 인명피해를 입게 된다. 그렇기 때문에 요즘 다리들은 거의 다 안정적인 트러스 구조로 되어 있지만 붕괴된 한강의 성수대교와 워싱턴 대교도 트러스 구조로 되어 있었다. 이 사실을 알게 된 우리는 조금 더 안정적이고 튼튼한 트러스 구조를 만들어야겠다고 생각했고, 이 기회를 통해 기존에 있는 트러스 다리 구조들의 단점을 보완하고 변형하여 튼튼한 우리만의 트러스 다리를 만들기로 했다.

II. 탐구 계획 및 탐구 방법

1. 탐구 기간

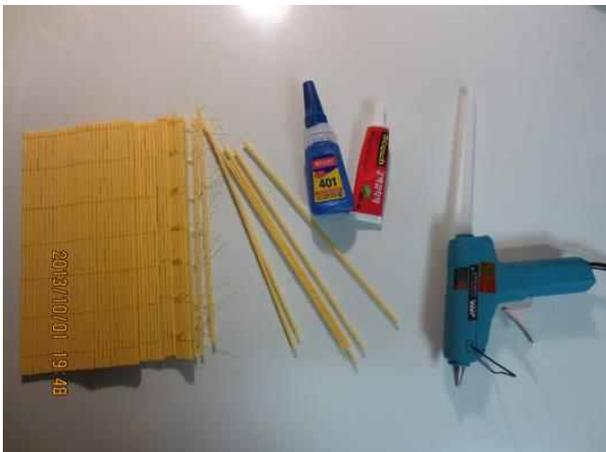
가. 1차 탐구기간 : 2013년 7월 ~ 2013년 8월까지

나. 2차 탐구 기간 : 2013년 9월 ~ 2013년 10월까지

2. 탐구 장소 및 준비물

가. 장소 : 학교 과학실과 이동준, 윤완상 집

나. 준비물 : 지름 5mm 빨대(학교 과학실에서 빌림), 글루건(집, 학교 과학실), 펜과 종이, 자, 실과 바구니(납작하고 중간크기), 송곳, 가위, AA 사이즈 건전지 100개(다리 위에 무게를 알기 위해 올려놓을 물체) 나무로 만든 발, 여러 가지 무게의 추



3. 탐구 계획 및 방법

가. 1차 탐구 계획 및 방법

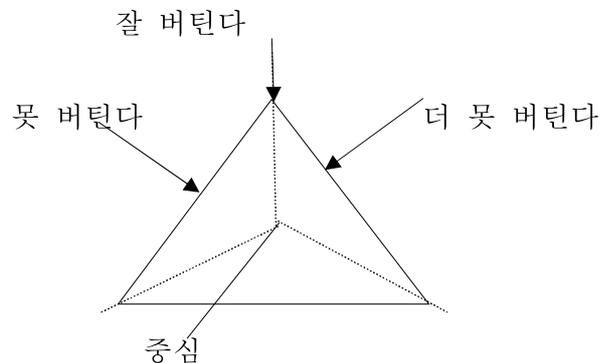
- 1) 먼저 사전 조사로 다리의 구조와 트러스 구조란 무엇인지를 알아보고, 트러스 구조의 종류와 사용처 등을 알아본 뒤, 일반적으로 사용되는 트러스 구조 중 2개를 선택하여 세밀하게 설계한 다음, 빨대와 글루건을 사용하여 만든다.
- 2) 나머지 트러스 구조 1개는 기존의 트러스 구조를 변형하여 우리가 생각한 더 무거운 무게를 버틸 수 있는 트러스 구조를 설계하여 만든다. 즉 다리에 힘이 가해졌을 때, 삼각형에 힘의 작용점이 삼각형의 꼭짓점에, 힘의 방향이 삼각형의 중심 쪽으로 가해지게 직접 설계한 다음, 빨대와 글루건을 사용하여 설계대로 만든다.
- 3) 직접 만든 세 개의 트러스 구조에 각각 견전지를 얹어 얼마나 무게를 감당하는지 측정하여 비교한다.

나. 2차 탐구 계획 및 방법

동부교육청 대회를 마치고 선생님께 여러 가지 조언을 듣고 우리는 트러스 구조를 만드는 재료를 빨대에서 나무로 바꾸어서 실험을 해 봐야겠다는 생각이 들었다. 1차 탐구를 계획할 때 빨대로 만든 이유는 두꺼운 나무는 강도가 강해 집에서 무게 버팀 실험을 하기가 어렵고, 얇은 나무는 접착이 어려울 것 같아서였다. 그래서 여러 나무를 알아보던 중 김발에 사용되는 나무와 글루건을 가지고 1차 실험과 같은 방법으로 3개의 트러스 구조를 만든 뒤 무게 버팀 실험을 하고, 두 재료가 같은 결과가 나오는지 또는 다른 결과가 나오는지 비교해 보기로 했다.

4. 탐구 결과 예상

이번 탐구를 계획하면서 탐구 결과를 예측해 보았다. 삼각형은 삼각형의 중심인 방향으로 꼭짓점을 누르면 힘이 적절하게 분산이 되어 잘 무너지지만, 그렇지 않은 방향으로 꼭짓점을 누르거나 변을 누르면 힘이 적절하게 분산이 되지 않아 잘 무너진다. 일반적인 트러스 구조는 다리에 힘이 가해졌을 때 힘이 적절하게 분산이 되지 않아 삼각형이 버틸 수 있는 최고 점보다 더 가벼운 힘에도 무너진다. 대부분의 다리 붕괴 사고는 가운데에서 일어나므로, 우리는 일반적인 트러스 구조의 가운데를 변형을 해서 설계해 다리에 힘이 가해질 때 삼각형이 힘을 최대로 버틸 수 있는 구조로 만들면 우리가 제작한 트러스 구조가 가장 무거운 물체를 버틸 것이다. 그리고 빨대와 나무의 재료의 차이는 생각보다 많이 나지 않을 것으로 예상했다.



III. 탐구 내용과 탐구 과정

1. 다리의 구조(거더교, 아치교, 트러스교, 현수교,)

현수교, 아치교, 트러스교, 거더교는 대표적인 4가지 다리의 구조인데, 다리뿐만 아니라 기계나 로봇의 골격 등을 만들 때도 도움이 되는 구조이다.

가. 거더교

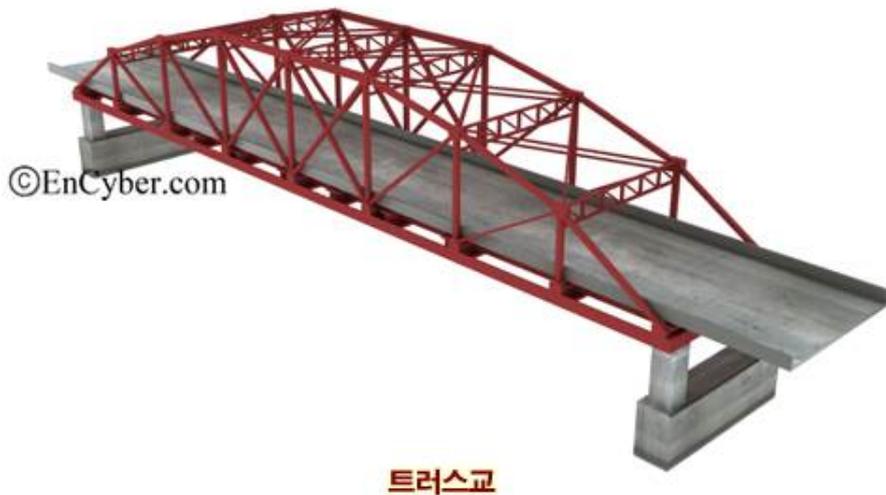
보통 집을 짓는 방식처럼 기둥(세로 막대)과 대들보(가로 막대)를 이용하는 방식이 거더교이다. 대들보의 길이와 두께가 한계가 있어 너무 길게 만들 수 없다. 대들보가 너무 길어지면 부러질 수가 있다.

나. 아치교

아치교는 무게가 원형을 따라 분산되는 효과가 있다. 그래서 기둥 없이 다리 길이를 길게 할 수 있는 묘미가 있다. 돔 형태의 건축을 하려면 이것을 통달해야 한다. 압축하는 힘에 잘 견디는 돌이나 콘크리트가 좋다.

다. 트러스교

가장 안정적인 구조가 삼각형이다. 삼각형으로 대들보를 만들어 길게 늘인 것이 트러스교이다. 휘려는 힘이 작용할 때 아래 쪽은 수평으로 당겨지고, 위쪽은 수평으로 압축된다. 이것을 버티게 해 준다. 단순하게 철골 대들보라고 보면 된다. 철근은 당기는 힘에는 강하지만 반대로 압축하는 힘에는 약해서 휘어진다. 이 구조에선 위에서 누르는 힘이 옆으로 당기는 힘으로 바뀌게 되어 철골 구조가 잘 버티는 것이다.

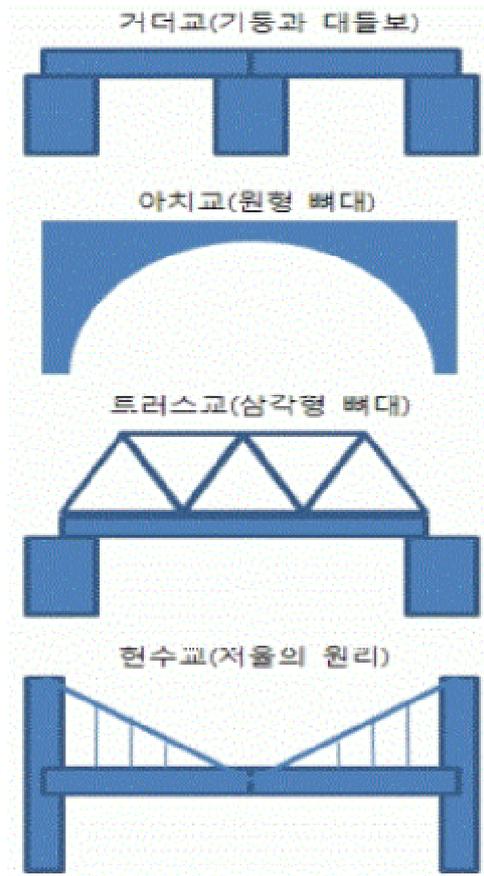


라. 현수교

양팔 저울의 원리를 적용한 것이 현수교이다. 기둥이 양쪽으로 대들보를 맞줄로 들고 있다고 상상하면 된다. 기둥의 좌우로 당기는 힘이 같아야 균형을 잡는다. 이렇게 만들면 기둥 1개나 2개로 긴 다리를 놓을 수 있다.

이런 여러 가지 다리의 구조들의 공통점은 아래로 휘려는 힘의 방향을 바꾼다는 것이다. 아치형은 힘의 방향이 바뀌어 원호를 따라가게 되고, 트러스교는 삼각형 뼈대로 인해 수직 방향의

힘이 수평 방향으로 바뀐다. 현수교는 밑으로 당기는 힘이 줄을 당기게 되고 양쪽에서 같은 힘으로 서로 당기면 균형을 유지하고 기둥에 힘이 걸리게 된다. 이렇게 해서 힘의 방향을 바꾸어 다리 길이를 길게 만드는 것이 다리 구조의 묘미다.



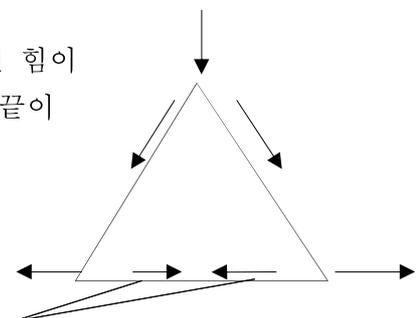
2. 트러스

가. 트러스의 정의

트러스 구조는 16세기 이탈리아에서 개발하였는데, 트러스란, 곧은 강재나 목재를 삼각형을 기본으로 그물 모양으로 짜서 무거운 하중을 지탱하는 구조방법이다. 트러스교는 삼각형으로 연결된 트러스의 강성을 이용한 교량으로 일반적으로 지간이 50m~100m 정도의 단순교 형태나 70m~200m의 연속교 형태에 알맞는 형식이다. 19세기에 미국은 수많은 트러스교를 지었다. 짧고 가벼운 재료를 조립해서 긴 다리를 쉽게 만들 수 있었기 때문이다. 당시의 트러스교는 정사각형에 대각선을 이은 구조로 삼각형의 안정성을 잘 살렸다. 19세기 초에는 나무를 쓰다가 후반으로 갈수록 철강을 사용했다.

나. 트러스가 안정적인 이유

삼각형이 안정적인 이유는 삼각형의 꼭짓점에 힘이 가해지면 힘이 꼭짓점을 이루는 두 개의 변으로 분산이 되고, 두 개의 변의 끝이 서로 멀어지려고 하는 것을 밑변이 막아서 잘 부서지지 않고 휘지 않기 때문이다. 트러스는 이런 삼각형이 연속적으로 이루어져 있어 쉽게 무너지거나 휘지 않는다.



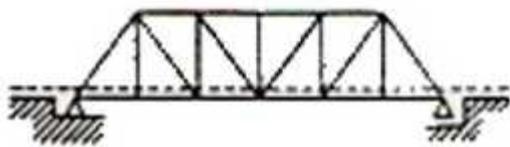
밑변이 끌어당기는 힘

다. 트러스의 종류

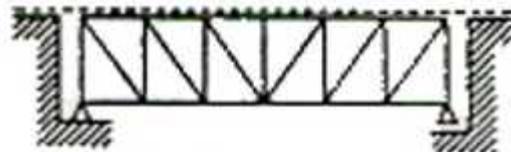
트러스 구조의 종류에는 프랫 트러스(PRATT TRUSS), 하우 트러스(HOWE TRUSS), 워렌 트러스(WARREN TRUSS), 수직재가 있는 워렌 트러스, K 트러스, 그리고 콰커 트러스 등 여러 가지 종류의 트러스가 있다.

라. 트러스교 형태에 따른 장단점

- 1) 프랫 트러스(PRATT TRUSS) : 사재가 최대 버틸 수 있는 하중(만재하중)에 따라 인장력을 받도록 배치한 트러스. 상대적으로 부재의 길이가 짧아 휘어짐(좌굴)에 유리한 수직재가 압축력을 받는 장점이 있다. 지간 50m 내외에서 적용 가능하다.
- 2) 하우 트러스(HOWE TRUSS) : 사재가 만재하중에 따라 압축력을 받도록 배치한 트러스다.
- 3) 워렌 트러스(WARREN TRUSS) : 상로의 짧은 지간에 적용한다. 지간 60m 내외에 사용된다.
- 4) K 트러스(K-TRUSS) : 외관이 좋지 않아 주가 되는 트러스(주트러스)에는 사용하지 않는다. 저항력(응력)을 구할 때 설정한 가정이 실제와는 다르기 때문에 생기는 2차 응력이 작은 장점이 있다. 지간 90m 이상에 적용한다.
- 5) 볼티모어 트러스(BALTIMORE TRUSS) : 분격트러스의 일종이다. 지간 90m 이상에 적용한다.



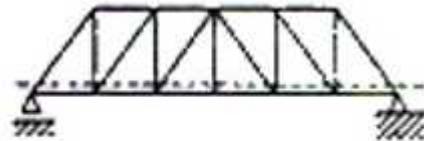
Pratt 트러스(하로)



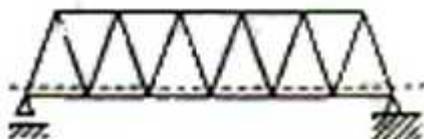
Pratt 트러스(상로)



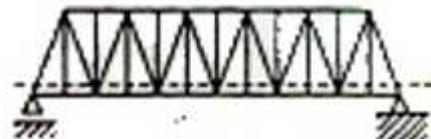
곡형 Pratt 트러스



Howe 트러스



Warren 트러스



수직재가 있는 Warren 트러스



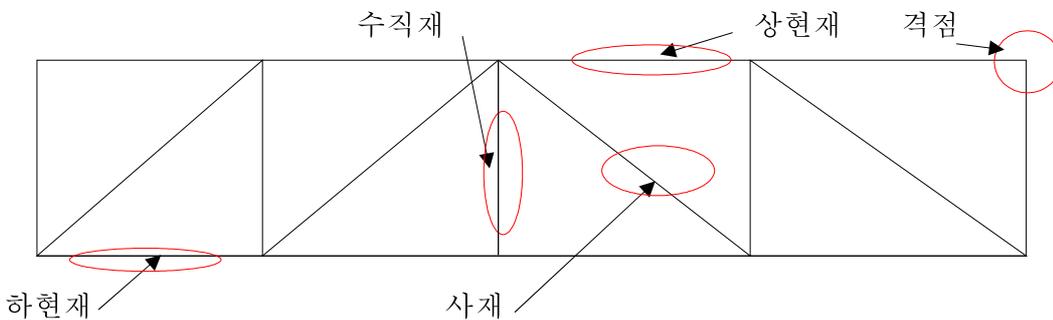
K 트러스



Baltimore 트러스

마. 트러스 구조의 명칭

트러스는 상현재, 하현재, 수직재, 사재, 격점으로 구성된다.



바. 트러스가 사용된 사례

트러스 구조는 대부분 교량이나 고속도로, 지붕, 골조 구조물에 사용되지만, 기중기, 로봇이나 기계, 건물의 구조물, 천막, 사다리 등 다양한 곳에도 사용이 된다.

지금까지 세계 최대의 트러스교는 외팔보(캔틸레버)형식과 아치형식의 트러스를 조합한 548m의 스패를 가진 캐나다의 퀘백교이다.

우리나라의 대표적인 트러스 교량으로는 성산대교, 성수대교, 한강철교, 동호대교 등이 있다. 특히 한남대교와 성수대교 사이에 있는 동호대교는 연속 트러스교이다. 다리 중앙에 지하철 3호선 전철교가 지나고, 각각 2차선으로 된 도로교가 그 양옆으로 난 복합교량이다. 이 다리는 직선적인 워렌 트러스(warren truss)에, 완만하게 휘어진 주구(主構)트러스를 사용한 곡선 트러스로 되어 있으며 동작대교 및 잠실철교와 마찬가지로 병용교량으로서 전차가 주행하는 부분이 트러스교이고 그 좌우에는 도로교로 구성되어 있다.



< 한강의 동호대교 >



< 한강철교 >

3. 실제 트러스 구조 제작

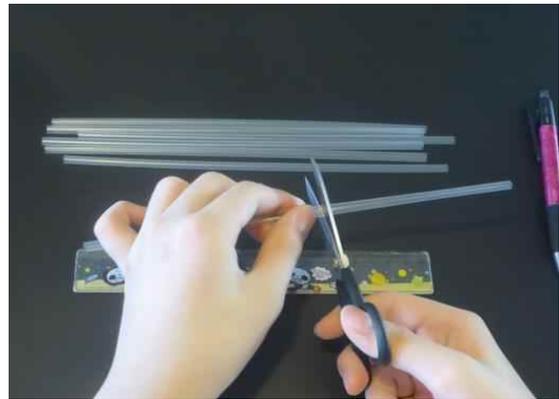
우리는 이번 탐구를 위하여 수직재가 있는 워렌 트러스, 하우 트러스를 만들기로 했고, 우리가 설계해 만들 다리는 수직재가 있는 워렌 트러스의 가운데를 변형하여 워렌 삼각뿔 트러스를 만들어 우리만의 튼튼하고 독창적인 다리를 만들기로 했다.

가. 수직재가 있는 워렌 트러스

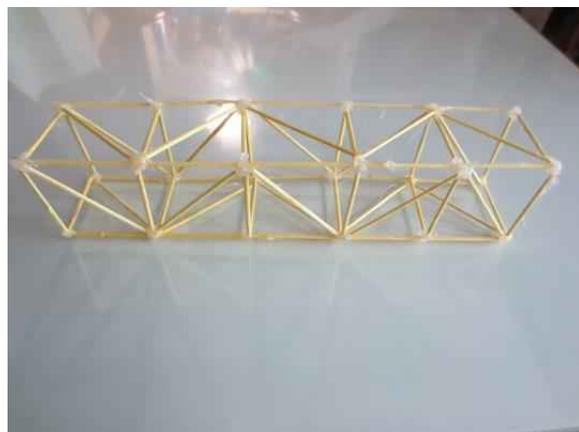
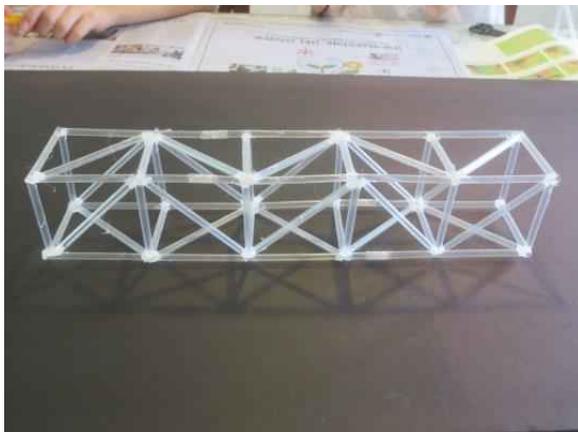
먼저, 우리는 사이즈가 다를 경우 동일한 조건으로 실험을 할 수 없으므로 세 개의 트러스는 동일 조건으로 설계하기로 하였다.

그래서 1차 실험은 다리의 길이는 35.5cm, 폭과 높이는 7cm로 하기로 통일하고, 2차 실험은 다리의 길이는 32.5cm, 폭과 높이는 각 부재의 길이를 6.5 cm로 통일했다. 다리의 수직재도 6개로 통일했다. 설계가 끝난 다음, 과학 선생님께 빨대와 글루건을 빌려와 1차 실험에는 빨대의 치수를 재고 잘라내어 글루건을 붙여 설계도대로 만들었고, 2차 실험에는 나무로 만든 발의 나무의 치수를 재어 설계도대로 만들었다.

우리가 수직재가 있는 워렌 트러스 다리를 선택한 이유는 우리가 나중에 워렌 트러스 다리를 변형한 새로운 트러스 다리를 만들 것이기 때문에 우리가 만든 다리와 비교하기 위해 만들었다.

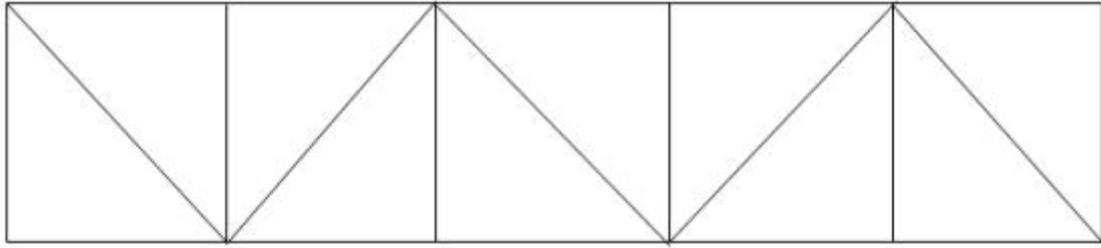


< 실제 다리를 제작하고 있는 모습 >



< 수직재가 있는 워렌 트러스 다리의 완성품(왼쪽은 빨대 재료, 오른쪽은 나무 재료)

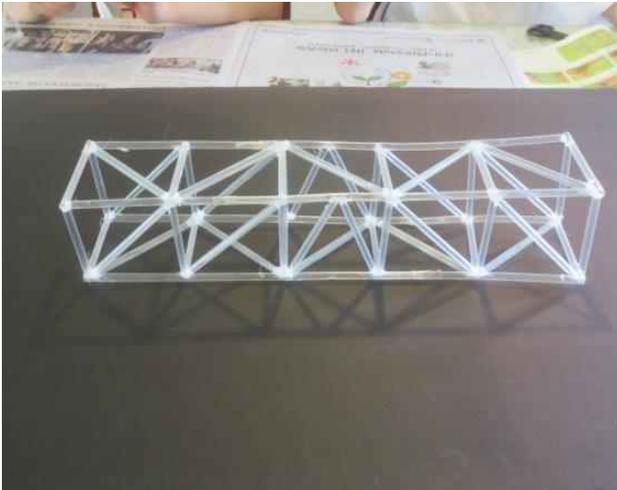
>



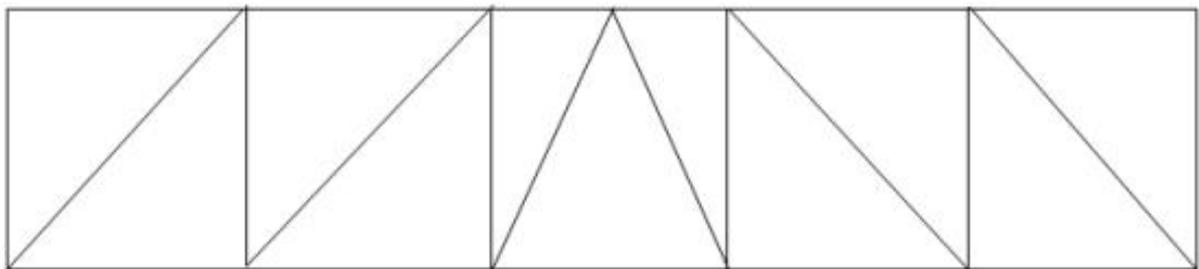
< 수직재가 있는 워렌 트러스 구조도 >

나. 하우 트러스

우리는 원래 하우 트러스 다리와 똑같이 만들려고 했지만, 보통 하우 트러스는 수직재가 홀수이고 우리는 수직재를 짝수로 했기 때문에 살짝 변형을 가해 아래 사진처럼 만들었다. 수직재가 있는 워렌 트러스도 마찬가지다. 여러 종류의 트러스 중에 하우트러스를 선택한 것은 평소에 많이 보는 다리의 형태이기 때문에 하우 트러스를 골랐다.



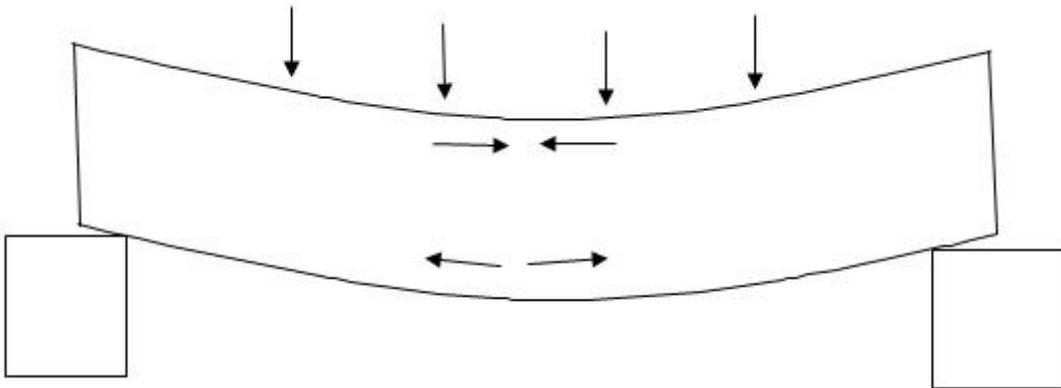
< 하우 트러스 >



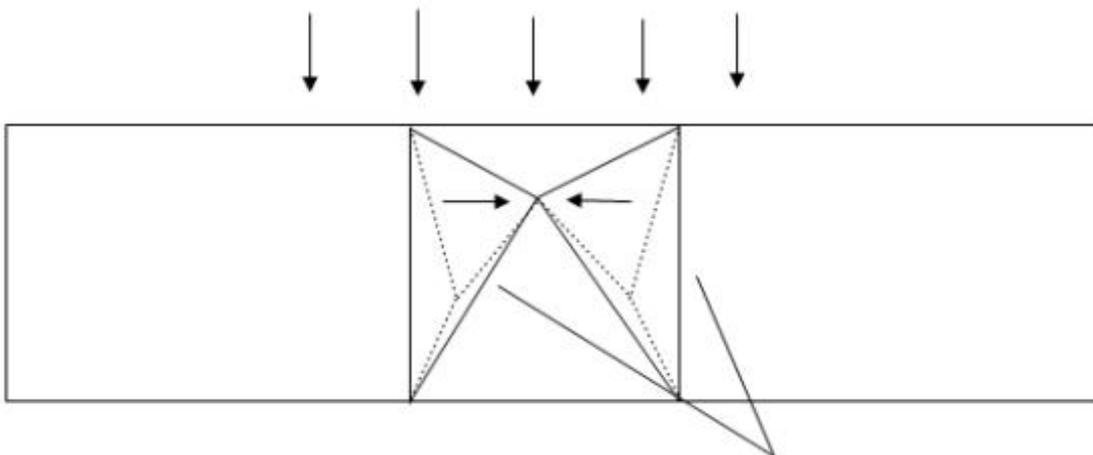
< 하우 트러스 구조도 >

다. 우리가 만든 워렌 변형 삼각뿔 트러스

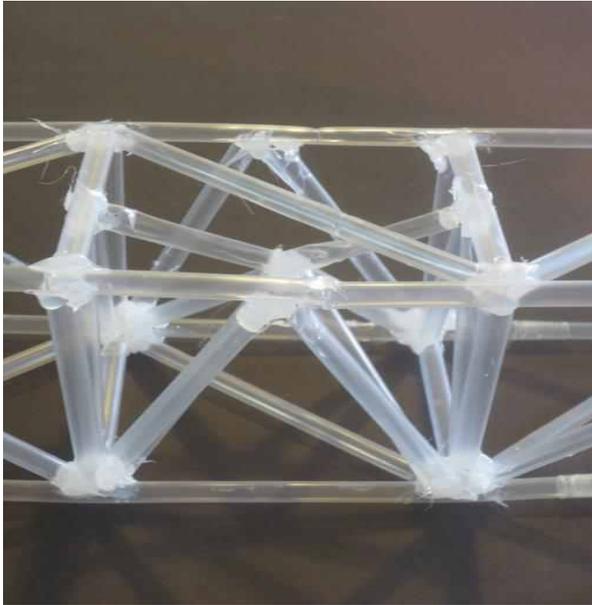
다리에 힘이 가해지면, 다리의 위쪽에는 서로 미는 힘이, 다리의 아래쪽에는 서로 당기는 힘이 작용한다. 그러다 너무 많은 힘이 가해지면, 다리의 아랫부분이 끊어지거나 다리의 윗부분이 찌그러져 다리가 휘어 무너지게 된다. 우리는 다리의 윗부분을 보강하기로 했다. 왜냐하면 우리가 다리의 재료로 쓸 빨대가 끊어질 일은 없다고 판단했기 때문이다. 따라서 윗부분에 삼각형, 혹은 삼각뿔 2개를 마주보게 설치하면 미는 힘을 더 잘 버틸 수 있다고 생각했다. 그래서 그것을 중점으로 설계를 했고, 워렌 트러스의 중심에 삼각뿔 2개를 만들어 붙였다. 즉 다리에 힘이 가해졌을 때, 삼각형에 힘의 작용점이 삼각형의 꼭짓점에, 힘의 방향이 삼각형의 중심 쪽으로 가해지게 설계하였다.



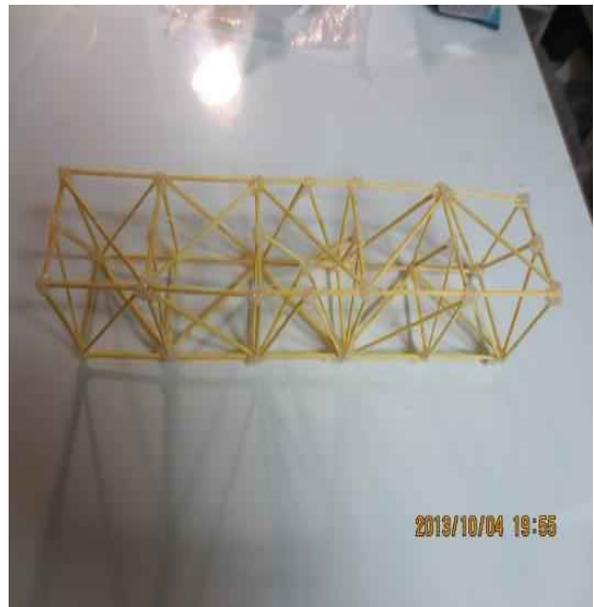
< 다리에 힘이 가해졌을 때 일어나는 힘의 작용 >



< 워렌 변형 삼각뿔 트러스의 구조도(가운데) > 꼭짓점을 맞대고 있는 삼각뿔



< 우리가 만든 워렌 삼각뿔 트러스의 가운데 부분인 삼각뿔 모습 >



< 워렌 삼각뿔 트러스 다리의 전체 모습 >

4. 트러스 구조 무게 버팀 실험하기

가. 빨대로 만든 트러스 구조 무게 버팀 실험하기

- 1) 다리에 건전지를 올려놓을 수 있도록 바구니에 송곳으로 구멍을 뚫고 실을 묶은 다음, 자에 실을 고정한다.
- 2) 높이가 동일한 받침대에 다리를 각각의 받침대에 3cm 걸치게 하도록 받침대 사이의 거리를 조절한 다음, 바구니를 설치한 다리를 올려놓는다.
- 3) 바구니에 3초 마다 AA크기의 건전지를 다리가 무너질 때까지 하나씩 올려놓는다.

- 4) 3개의 다리를 다 실험할 때까지 2)번, 3)번을 반복한다.
- 5) 각각의 다리가 무너지기 전 까지 버틴 건전지의 개수를 세고, AA크기의 건전지가 몇 그램인지 알아내어 다리가 버틴 무게를 g으로 환산한다.



< 위렌 트러스 -AA 건전지 35개 버팀 >



< 하우 트러스 -AA 건전지 54개 버팀 >



< 변형 위렌 삼각뿔 트러스
-AA 건전지 96개 버팀 >

나. 나무로 만든 트러스 구조 무게버팀 실험하기

- 1) 다리에 추 밑 건전지 등의 물체를 올려놓을 수 있도록 철 바구니의 구멍에 실을 묶은 다음 자에 실을 고정한다.
- 2) 높이가 동일한 받침대에 다리를 각각의 받침대에 3cm 걸치게 하도록 받침대 사이의 거리를 조절한 다음, 바구니를 설치한 다리를 올려놓는다.
- 3) 바구니에 3초 마다 다양한 무게의 추와 무거운 물체를 다리가 무너질 때까지 하나씩 올려놓는다.
- 4) 3개의 다리를 다 실험할 때까지 2)번, 3)번을 반복한다.
- 5) 각각의 다리가 무너지기 전 까지 버틴 다양한 추의 개수를 세고, 무거운 물체는 무게를 재어 다리가 버틴 무게를 g으로 환산한다.



< 위렌 트러스- 3640g 버팀 >



< 하우 트러스- 4385g 버팀 >



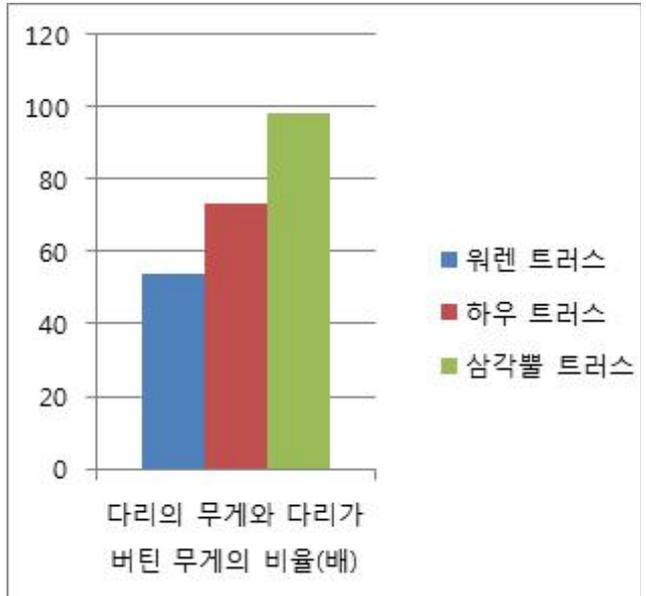
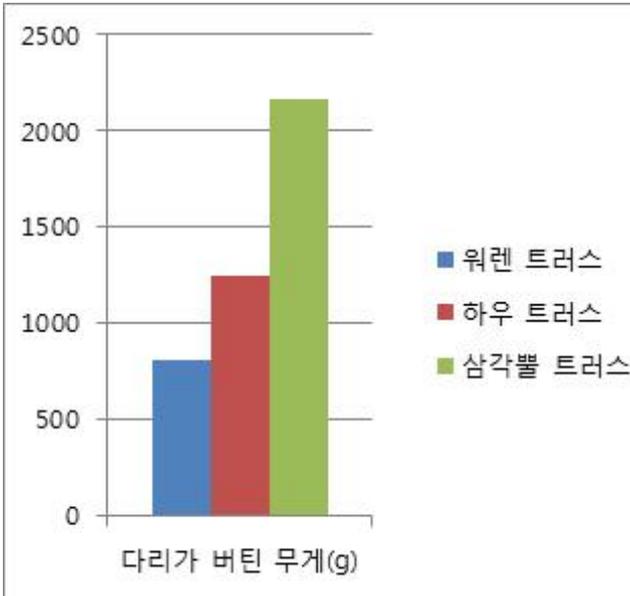
< 변형 위렌 삼각뿔 트러스- 5605g 버팀 >

5. 실험결과

가. 빨대로 만든 트러스 구조 무게 버팀 실험결과

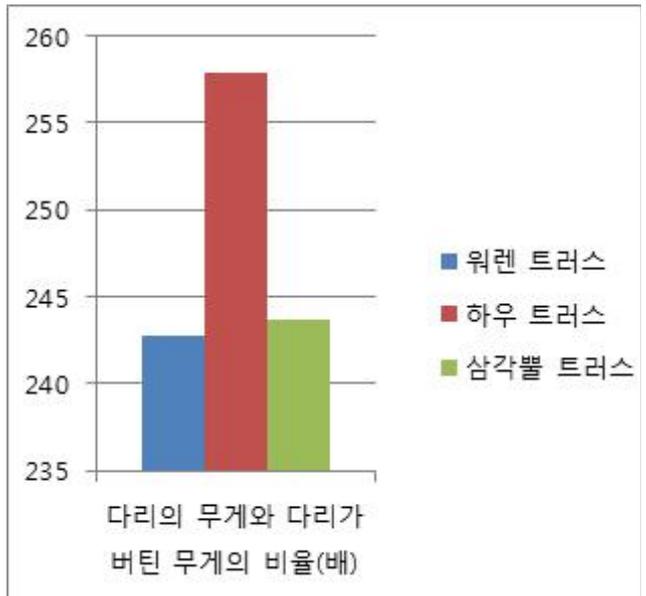
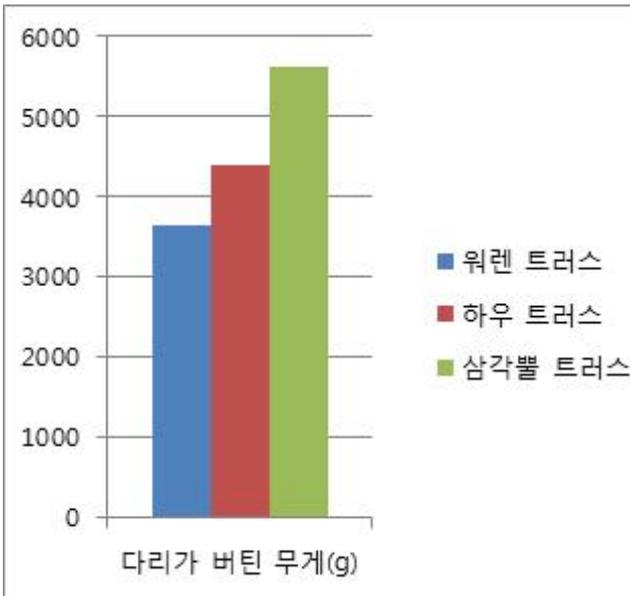
우리가 만든 다리 중에 위렌 트러스 다리는 건전지 35개, 하우 트러스 다리는 54개, 우리가 설계하여 만든 위렌 트러스 변형 삼각뿔 다리는 96개를 버텼다. 일반 AA 건전지는 약 23g 이므로 위렌 트러스 다리는 약 805g, 하우 트러스 다리는 약 1242g, 우리가 만든 위렌 변형 삼각뿔 트러스 다리는 약 2162g을 버틴 것이다. 다리의 무게를 재었더니 위렌 트러스는 약 15g, 하우 트러스는 약 17g, 위렌 변형 트러스는 약 22g 이었다.

따라서 위렌 트러스는 자신의 무게의 약 53.6배, 하우 트러스는 자신의 무게에 약 73.0배, 위렌 변형 삼각뿔 트러스는 자신의 무게에 약 98.2배를 버텼다.



나. 나무로 만든 트러스 구조 무게 버팀 실험결과

우리가 만든 다리 중에 워렌 트러스 다리는 약 3640g, 하우 트러스 다리는 약 4385g, 우리가 만든 워렌 삼각뿔 트러스는 약 5605g을 버텼다. 다리의 무게를 재었더니 워렌 트러스는 약 15g, 하우 트러스는 약 17g, 워렌 삼각뿔 변형 트러스는 약 23g으로 1차 실험과 무게가 비슷했다. 따라서 워렌 트러스 다리는 자신의 무게의 약 242.7배, 하우 트러스 다리는 자신의 무게의 약 257.9배, 그리고 워렌 삼각뿔 트러스는 자신의 무게의 약 243.7배를 버텼다.



6. 예상한 탐구 결과와 실제 결과 비교하기

트러스 구조를 실제로 제작하기 전에, 우리는 우리가 변형하여 설계한 다리가 다리 위에 힘이 가해졌을 때 다리 위쪽에 발생하는 미는 힘을 삼각뿔에 적절하게 분산시키는 구조를 가지고 있어 일반적 트러스 구조를 가진 다른 다리보다 어느 정도는 더 많은 무게를 버틸 것이라고 예상했다.

가. 1차 - 빨대로 만든 트러스의 실험 결과

우리가 변형하여 설계한 다리가 일반 트러스 구조 다리보다 더 많은 무게를 버틴 것은 물론, 우리의 예상보다 훨씬 더 많은 무게를 버티 우리를 놀라게 했다. 버틴 무게는 워렌 트러스 약 805g, 하우 트러스 약 1242g, 우리가 만든 워렌 변형 삼각뿔 트러스 약 2162g을 버텼다. 다리의 몸무게와 버틴 무게의 비율도 워렌 트러스는 약 53.6배, 하우 트러스는 약 73.0배에 비해 우리가 변형한 워렌 삼각뿔 트러스는 다른 다리에 비해서 훨씬 더 높은 비율인 98배를 버텼다.

나. 2차 - 나무로 만든 트러스의 실험 결과

우리는 나무 트러스를 실험하기 전에 나무는 빨대보다 강도가 더 세기 때문에 기본적으로 빨대보다 더 많은 무게를 버티고, 버틴 무게의 비율은 빨대로 만든 트러스의 비율과 비슷할 것으로 예상했다. 그러나 우리의 예상과 조금 다른 점이 있었다. 버틴 무게로만 보았을 때, 워렌 트러스는 약 3640g, 하우 트러스는 약 4385g, 우리가 만든 워렌 삼각뿔 트러스는 약 5605g을 버티, 빨대로 만든 트러스보다 많은 하중을 버텼다. 우리가 만든 워렌 삼각뿔 트러스도 다른 다리보다 더 많은 무게를 버텼다. 그러나 다리의 무게에 대한 비율은 워렌 트러스는 약 242.7배, 하우 트러스는 약 257.9배, 그리고 워렌 삼각뿔 트러스는 약 243.7배로, 빨대로 만들었을 때엔 우리가 변형한 워렌 삼각뿔 트러스가 다른 다리에 비해서 훨씬 더 높은 비율을 버텼는데, 이번 경우엔 워렌 트러스보다만 조금 더 높았고, 하우 트러스 다리보단 못 미친 것이다.

왜 이렇게 되었을까? 우리는 우리가 만든 두 재료의 부서진 다리의 모습을 자세히 살펴보았다. 그랬더니 빨대로 만든 워렌 삼각뿔 트러스와 나무로 만든 워렌 삼각뿔 모두 우리가 직접 설계하여 만든 삼각뿔 2개는 멀쩡했고 그 부분이 아닌 다른 부분, 즉 워렌 트러스 부분이 부서져 있었다.

다. 1차 실험과 2차 실험을 통해 얻은 결론

첫째, 1차와 2차 실험 모두 우리가 변형하여 만들어 넣은 삼각뿔 구조는 부서지지 않고 잘 버티고 있는데, 다른 트러스 구조 부분이 하중을 견디지 못하고 무너진 것으로 보아, 우리가 처음 생각한 우리만의 튼튼한 삼각뿔 트러스를 만든 이번 실험은 성공적이라고 생각한다.

둘째, 1차 실험과 2차 실험의 무게 버팀 비율이 서로 조금 다른 것은 접착부분의 문제인 것 같다. 일반 트러스는 보통 탄성력이 강한 강철, 혹은 목재를 사용한다. 이런 재료들은 접착물 등으로 접착시키는 것이 아니라 대부분 나사나 용접 등 더 강하게 고정시킨다. 우리는 재료를 빨대와 나무로 하고, 두 재료 모두 글루건을 이용하여 접착하였다. 1차 실험에서 빨대는 글루건에 닿으면 살짝 녹아 글루건과 하나가 되어 튼튼하게 고정되었는데, 2차 실험에서는 얇은 나무를 글루건으로 접착시켜서 접합부가 튼튼하게 고정되지 않아 다리가 빨리 붕괴된 것 같다.

IV. 탐구를 통하여 알게 된 점

- 가. 우리가 만든 삼각뿔 트러스 구조는 일반 트러스 구조에 비해서 트러스에 발생하는 힘을 적절하게 분산시켜 더 많은 하중을 견디는 것을 알 수 있었다.
- 나. 트러스를 직접 만들고 실험하면서 이음새 연결 부분이든 재료의 강도든 트러스 구조의 어느 한 곳만 강하면 안 되고, 다리 전체의 구조가 골고루 강해야 된다는 것을 알게 되었다.
- 다. 재료가 달라지면 그에 따라 접착제도 달라져야 된다는 것을 알게 되었다. 즉 실제 구조에서도 다리에 사용되는 재료에 따라 그에 알맞은 이음새 연결 방법이 있을 것 같다.

V. 탐구를 통해 느낀 점 및 앞으로의 과제

1. 탐구를 통해 느낀 점

- 가. 사전조사를 하며 다리의 구조와 트러스에 관해서 많이 알게 되었다. 그리고 트러스 구조에도 여러 가지 종류가 있고, 우리 주변에서 트러스 구조가 많이 이용되고 있다는 것도 알게 되었다. 1학년 기술가정 교과서에서 트러스 구조가 나오는데, 교과서를 통해서도 많은 지식을 얻었다.
- 나. 트러스 구조를 실제로 설계하고 제작하고 실험하면서, 이론으로 배운 것이 우리의 힘으로도 실험을 통해 입증되고 증명되는 뿌듯한 경험을 했다. 그 중에서 특히 의미가 있었던 것은 우리가 직접 설계하고 변형하여 만든 워렌 변형 삼각뿔트러스 구조가 기존의 일반 트러스 구조 다리보다 훨씬 더 많은 하중을 버텨준 것이다. 우리는 이것을 통하여, 과학의 세계는 이미 밝혀진 것이 제일 좋은 것이 아니라는 것을 알게 되었다. 친구들도 우리처럼 의문을 가지고 직접 도전을 하고 실험을 하여, 그 과정에서 무언가를 얻으면 좋겠다.

2. 앞으로의 과제

- 이번 탐구를 하면서 앞으로 좀 더 실험을 해보았으면 하는 것이 몇 가지 생겼다.
- 가. 다음에는 글루건 이외의 튼튼하게 접착되는 방법을 더 찾고, 나무 중에서 접합부가 잘 떨어지지 않을 더 적당한 나무를 찾아 실험을 해보고 싶다. 나무 재료를 인터넷에서 찾아 보다가 발사목이라는 재료를 찾았는데, 길이가 길고 발사목의 지름과 모양이 다양하기 때문에 다음에는 그 재료를 사용해 실험해보고 싶다.
- 나. 그리고 이번 실험에는 다리의 가운데 부분에만 삼각뿔 구조 1개를 만들어 넣었는데, 다음에는 다른 부분에도 삼각뿔을 넣어 더욱더 튼튼한 트러스 구조를 제작하고 싶다.
- 다. 이번 실험에서는 삼각뿔 구조를 만들었는데, 다음에는 사각뿔 구조와 육각뿔 구조를 만들어 어느 것이 가장 강한 무게를 버티는지 알아보고 싶다.
- 라. 무게 버팀 실험을 할 때 우리는 다리 상부에 자를 놓고 실험을 하였는데, 동부교육청에서 발표를 할 때 심사위원 선생님께서 무게 버팀 실험을 할 때 다리에 힘을 받는 부분을 아래에도 해보면 좋을 것이라고 하셨는데, 그것도 실험해 보고 싶다.

VI. 참고문헌

1. 도움을 주신 선생님

- 원목중학교 이정은 선생님, 이은유 선생님
- 휘경중학교 신소영 선생님

2. 책

- 중학교 1, 3학년 기술가정 교과서(원교재사)
- 마리오살바도리, 왜 건물은 지진에 무너지지 않을까(다른출판사)
- 김종성, 건축 구조디자인과 모형(구미서관)
- 동아세계대백과사전(동아출판사)

3. 인터넷 사이트

- 다리의 과학 : 네이버 캐스트(<http://navercast.naver.com>)
- 한국민족대백과사전
- 두산 백과사전