

의자 다리와 스트레처를 중심으로 한 형상 최적화 설계

이 영 민^{1*} · 정 훈¹

¹서울과학기술대학교 기계공학과

Optimal Shape Design of Legs and Stretcher Parts of Chair

Young-Min Lee^{1*}, Hoon Jeong¹

¹Department of mechanical engineering, Seoul National University of Science and technology, Korea

Abstract

In this paper, Shape optimal design for a chair with 4 legs and 2 stretchers consisting of stainless steel was conducted. The shape was transformed by identifying stress and deformation for the part of leg and stretcher. In addition, load condition and mesh was designed using Hypermesh. The stress analysis was carried out using CSD_Elast that is one of EDISON program. In seat test, Maximum equivalent stress was showed at the contact part between seat and legs. As a result, a leg cross-section with rectangular and arch was designed. And optimal height of stretcher was found to reduce a deformation. Also, maximum deformation was reduced by designing a stretcher with ellipse cross-section. So, Optimal chair having 4 legs with rectangular cross section and 2 stretchers with ellipse cross section was shown to satisfy the safety ratio.

Keywords : Chair, Stretcher, Optimal design, Finite element method, Seat test

1. 서 론

학교나 가정, 사무실, 카페 등에서 볼 수 있는 의자의 종류는 앉을 수 있는 좌판과 등을 기댈 수 있는 등받이, 그리고 하중을 지탱하는 네 개의 다리 등으로 구성 되어 있다. 의자는 스테인리스 강, 나무, PVC 등 다양한 재질로 사용되고 있으며 부분별 다양한 형상 설계를 통해 편안함과 내구성, 안정성을 높이고 있다. 하지만 주변에서 볼 수 있는 의자 다리 단면 형상은 정사각형이 대부분을 차지하고 있다. 이런 상황 속에서 다리 부분에서의 파손이나 휨, 안정성의 문제가 여럿 발생하고 있다. 제작의 어려움이나 비용적인 측면에서 단순형상이 사용되어져 왔지만, EDISON, ABAQUS 등 선구조해석 프로그램 적용 범위의 확대와 3D 프린터의 발전과 보급에 따라 다른 형상을 연구해볼 가치가 늘어나고 있다.

본 논문에서는 의자에서 하중을 가장 많이 받는 다리를 CSD 프로그램에 기반하여 응력 및 변형량 해석을 진행하였다. 동일질량시 최대 등가 응력을 낮추는 형상 최적 설계와 다리와 다리 사이를 이어주는 스트레처의 변형량을 줄여 전체적인 안정성을 높이는 최적화 설계를 본 논문의 목적으로 한다.

2. 본 론

이 장에서는 해석모델의 물성치와 경계조건에 대하여 설명하고 다리와 스트레처의 형상 변화 과정을 순차적으로 보여주며 해석결과를 보여주고 최종 모델을 제시한다.

2.1 해석모델

Inventor를 이용하여 4개의 다리, 엉덩이 부분의 하중을 받는 좌판, 등받이, 마지막으로 다리와 다리 사이를 이어주는 스트레처를 제작하였다. 좌판과 등받이의 형상은 모든 모델에서 동일하게 진행하였으며 그 규격은 Fig. 1과 같다.

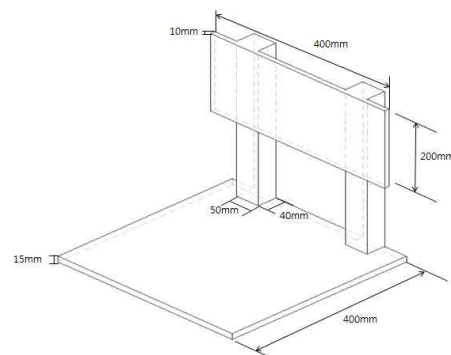


Fig 1. Dimension of Seat and Back.

제5회 첨단 사이언스·교육 허브 개발(EDISON) 구조동역학 경진대회

다리와 스트레처의 형상을 변화시키며 진행하였으며 다리 길이는 400mm로 고정하였고 그 위치는 좌판 가장자리에서 좌판 중심으로 50x50mm 만큼 들어간 곳에 다리 단면의 중심이 위치한다.

전처리 프로그램은 Hypermesh를 이용하였고 의자모델을 3D Tetra Mesh로 약 100,000 elements 로 나누어 해석하였다. 해석결과와 정확성을 높이기 위하여 Use Proximity 기능을 사용하여 다리 부분의 elements size를 4 로 지정하고 나머지는 10으로 진행하였다. 그리고 후처리 프로그램인 CSD_ELAST 프로그램을 이용하여 선형 정적 구조해석으로 형상에 따른 등가 응력분포 및 변형량을 확인하며 형상 최적화 과정을 진행하였다.

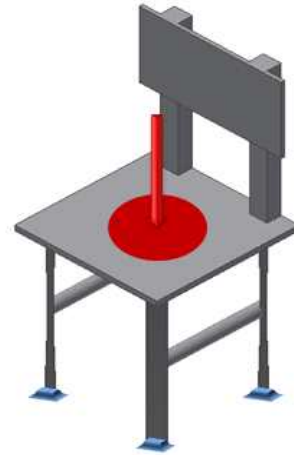


Fig. 2 Seat load and fixed condition

2.2 재료의 물성치 및 경계 조건

의자 다리의 재료로 가장 많이 쓰이는 스테인리스 강 (Stainless Steel 304)으로 해석을 진행했으며 그 물성치는 다음과 같다.(Table 1)

Table 1 Mechanical Properties of Stainless Steel

| | |
|---------------------------------|------|
| Young's Modulus(Gpa) | 193 |
| Density(g/cm^3) | 8.00 |
| Poisson's Ratio | 0.33 |
| Yield Strength(Mpa) | 205 |
| Tensile Ultimate Strentght(Mpa) | 515 |

다리 4개의 질량은 2.9105 kg이고 형상의 변화 과정에서 그 질량의 오차는 최대 0.028%로 진행하였다. 스트레처 무게는 1.37kg이며 그 오차는 최대 2.7%로 진행하였다. 의자에 부여하는 경계조건은 가구-의자 및 스텔-강도와 내구성 시험방법(KS G ISO 7173)의 규격에 따라서 아래 세 가지 시험을 실시하였다.

a. 좌판 시험

4개의 다리의 바닥면을 고정시킨 상태로 좌판의 중심에서 지름 300mm 원 안에 1332N(Cload)을 가했다.

b. 등받이 시험

좌판 시험과 동일하게 고정시킨 후 등받이의 중심에서 지름 150mm 원 안에 600N 을 가했다.

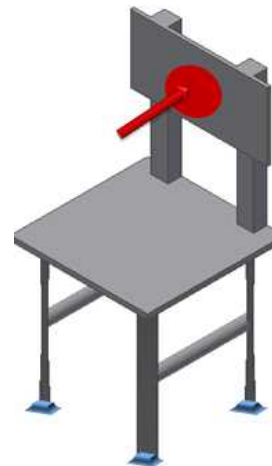


Fig. 3 Back load and fixed condition

c. 다리 전면부 시험

다리의 후면부를 고정시키고 다리의 전면부의 바닥으로부터 30mm 지점에서부터 45mm 부분까지 400N을 가했다.

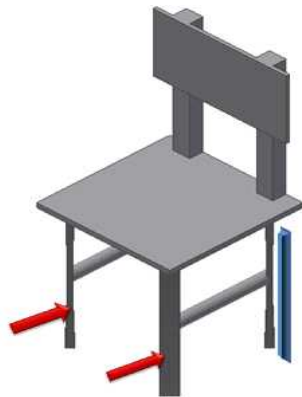


Fig. 4 Leg forward load and fixed condition

2.3 다리 형상의 최적화 설계

다리 형상의 최적화 설계의 경우 수직 하중의 영향이 지대하므로 Fig.2의 좌판시험에 따라 진행하였다. 모든 다리 형상에 대해서는 중공 형상을 적용했고 기본모델은 30x30mm 정사각형으로 설계했다. 등가응력은 좌판과 다리가 맞닿는 부분에서 집중되었고 정사각형의 모서리 부분에 최대 등가 응력이 발생하는 것을 확인하였다(Fig 5.)

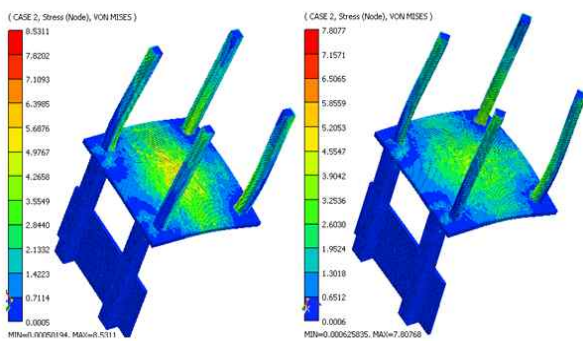
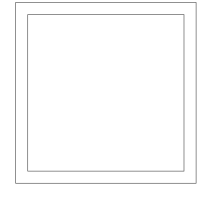
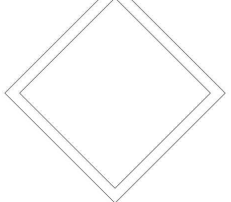


Fig. 5 Comparison of Equivalent (Von-Mises) stress with basic and rotated leg

좌판 중심으로부터 하중이 퍼져나가므로 응력이 닿기 시작하는 다리의 안쪽 부분의 응력 집중을 막고자 다리를 45도 돌려 모델을 제작했다(Table 2). 해석 결과 최대 등가 응력이 8.53Mpa에서 7.8Mpa으로 줄어 들며 좌판이 주는 하중을 정사각형 한번으로 고르게 분포함을 파악했다.

Table 2 Dimension and result of square

| Square | Basic | 45° Rotated |
|----------------------|--|---|
| Cross section |  |  |
| Thickness | 2mm | 2mm |
| σ_{max} (Mpa) | 8.53 | 7.8 |

위의 실험에서 좌판에서 오는 하중 방향으로 각도를 돌려서 응력 분포 시킨 것을 확인한 것에 착안하여 동심원 형태의 힘을 넓게 분배 시키고자 직사각형 형상을 설계하였다. 단면의 형상을 각각 45x20, 50x18, 60x15, 72x12.5mm 로 바뀌어가며 제작했고 전체적으로 정사각형 모델보다 낮은 응력 값을 얻었다.(Fig. 6)

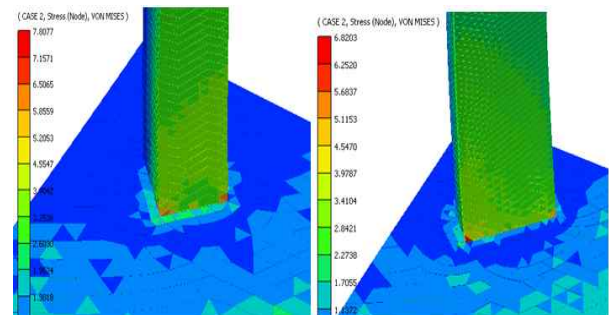
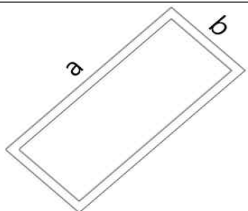


Fig. 6 Comparison of Equivalent (Von-Mises) stress with square(left) and rectangular(right)

직사각형의 긴 변을 늘릴 수록 최대 등가 응력이 증가함을 확인 할 수 있었고, 긴 변길이를 45mm로 낮추어 적정길이 선정했다.

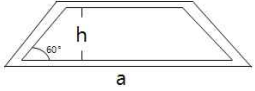
Table 3 Dimension and result of rectangular cross section

| Rectangular Cross section | Dimension(mm) | | | σ_{max} (Mpa) |
|--|---------------|------|------|----------------------|
| | a | b | t | |
|  | 45 | 20 | 1.83 | 6.213 |
| | 50 | 18 | 1.74 | 6.820 |
| | 60 | 15 | 1.56 | 8.448 |
| | 72 | 12.5 | 1.38 | 10.516 |

제5회 첨단 사이언스·교육 허브 개발(EDISON) 구조동역학 경진대회

응력의 분배와 함께 두께를 늘리기 위하여 사다리꼴 형상을 설계했다. 해석 결과 긴변의 모서리 부분이 뾰족한 형태를 띄어서 응력이 집중되었다.(Table 4).

Table 4 Dimension and result of trapezoidal cross section

| Trapezoidal | Dimension (mm) | | | σ_{max} (Mpa) |
|---|----------------|----|-----|----------------------|
| | a | h | t | |
|  | 45 | 20 | 2.1 | 9.253 |

다리의 단면 형상은 가장 좋은 응력 효율을 보인 직사각형(45x25mm)으로 선정하여 옆면의 형상을 설계했다. 좌판과 다리가 맞닿는 부분에서 최대 등가 응력이 발생하므로 하중을 분포시킬 수 있게 아래로 내려 갈수록 폭이 줄어드는 아치형태의 다리를 시도했다.

아치를 한 쪽면, 양쪽면에 두는 식으로 형태를 바꿔가며 응력분포를 확인했다.(Fig 7)

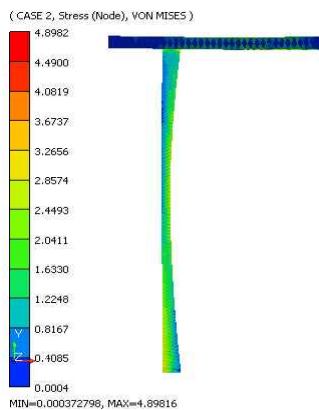
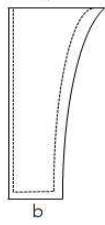
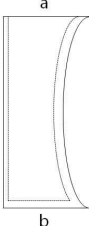



Fig. 7 Equivalent (Von-Mises) stress of Arch-shaped leg No. 2

아치 모델1의 경우 직사각형 모델과 비슷한 최대 등가 응력을 보였고, 아치 모델 2,3의 경우 응력 분포를 보면 좌판과의 이음부에서부터 바닥면까지 일정하게 분배 되는 것을 볼 수 있었다. 안쪽 면에만 아치를 준 형상이 중심에서 오는 하중에 집중적으로 받아들일 수 있었기에 더 낮은 최대 등가 응력 결과를 가져왔다.(Table 5)

Table 5 Dimension and result of arch Side cross section

| Arch | Dimension (mm) | | | σ_{max} (Mpa) | |
|------|--|----|----|----------------------|--------|
| | Side cross section | a | b | | t |
| 1 |  | 20 | 10 | 2.3 | 6.3505 |
| 2 |  | 20 | 20 | 2.06 | 4.8982 |
| 3 |  | 20 | 20 | 2 | 5.6040 |

2.4 스트레처 형상의 최적화 설계

의자 및 다리의 안정성과 변형에 직결되는 요소인 스트레처 형상의 최적화 설계를 진행했다. 스트레처 높이의 선정에는 의자 사용 시에 안정성을 고려하여 Fig.2의 좌판시험과 Fig. 3의 등받이 시험을 동시에 시행하였다. 스트레처의 경우 변형량을 중심으로 비교하였다.

스트레처의 적정 높이를 알아보기 위해 바닥면에서부터 100, 200, 300 mm 로 간격을 두었으며 이 때 스트레처의 단면 형상은 바깥 20x20mm 내부 10x10mm 인 중공 정사각형으로 진행하였다. 좌판과 등받이 시험을 동시에 시행하며 해석하였다.(Fig. 8)

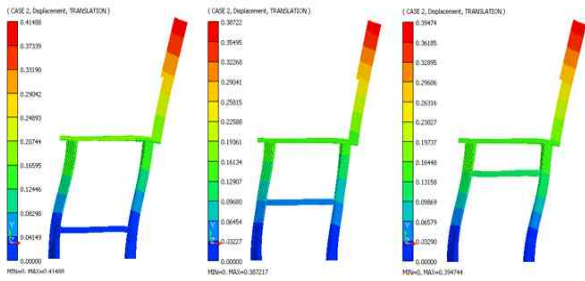


Fig. 8 Deformation of chair as the height of stretcher

변형량은 등받이의 가장 윗부분에서 나타났다. 스트레처가 중간 위치인 200mm에서 가장 적은 변형량을 보였고 그 위와 아래로 내려갈수록 스트레처는 변형량이 커지는 경향을 보였다.

Table 6 Comparison of the strecher in height

| Height from ground(mm) | Max. Deformation(mm) |
|------------------------|----------------------|
| 100 | 0.4148 |
| 200 | 0.3872 |
| 300 | 0.3947 |

Table 6의 결과에 따라 의자의 변형이 가장 적은 높이 200mm 에서 다리에 스트레처를 추가하였다.

위의 시험을 통해 선정 된 높이에 따라 스트레처 형상을 바꿔가며 Fig. 3의 다리 전면부 시험을 진행하여 다리의 변형량을 확인했다. 각 단면의 형상은 Table 7과 같이 수평 직사각형, 수직 직사각형, 타원형으로 설계했다.

Table 7 Dimension and deformation of stretcher

| | Cross section | Dimension (mm) | | Deformation(mm) |
|---|---------------|----------------|-------|-----------------|
| | | outer | inner | |
| 1 | | 35x13 | 24x7 | 0.5495 |
| 2 | | 10x40 | 4x30 | 0.4338 |
| 3 | | 30x50 | 25x45 | 0.368 |

수직으로 뻗어 있는 다리에 대해 스트레처도 수직 형상이 변형을 잘 잡아줌을 확인 하였고, 직사각형 보다는 수직 타원형상이 더 적은 최대 변형량을 보였다(Fig. 9).

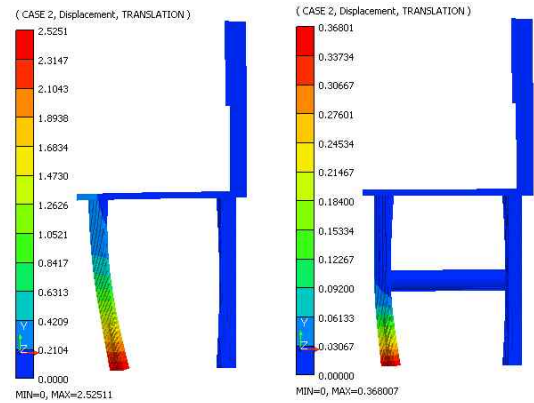


Fig. 9 Comparison of Deformation with No stretcher and the stretcher (ellipse)

높이 200mm 위치에 설치한 타원형의 스트레처와 스트레처가 없는 모델의 다리 시험에 대한 변형량을 비교해보면 스트레처를 설치 했을 경우 최대 변형량이 85% 낮아졌다. 이는 대부분의 의자에서 스트레처를 부착하는 이유이기도 하며 의자와 다리의 안정성을 고려한 설계라고 할 수 있다.

2.5 최종 의자 모델

다리와 스트레처의 형상 최적화 과정을 통해 최종 의자 모델을 설계했다. 다리 단면은 가장 좋은 응력 효율을 보인 직사각형(45x25mm)을 옆면은 아치 모델 2를 다리의 최종 모델로 선정하였고, 스트레처는 바닥면에서 높이 200mm에 타원형 단면으로 제작하였다.

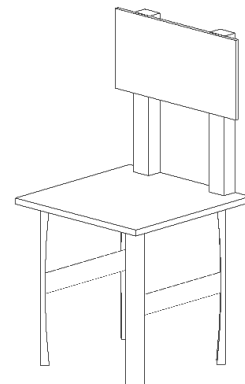


Fig. 10 The final chair of optimal leg and stretcher

감사의 글

최종모델에 좌판 시험과 등받이 시험을 동시에 가할 경우 최대 등가 응력은 44.82Mpa 이 나왔다. 제작된 의자는 강의 재질로 만들어진 의자이기에 안전계수를 3으로 지정하였고 안전계수를 만족할 수 있었다.

본 연구는 한국연구재단이 주관하는 첨단 사이언스 교육 허브 개발 사업(EDISON: NRF-2014M3C1A6038842)의 지원을 받아 수행한 연구결과입니다.

3. 결 론

- (1) 좌판시험의 다리 응력해석 결과 좌판과 다리 이음부 사이의 좌판 중심과 가까운 부분에서 최대 등가 응력이 발생함을 확인하였다.
- (2) 사람이 의자에 앉았을 때의 하중을 원형으로 단순화 하였을 때 다리의 단면은 45° 돌린 45x20mm 직사각형 형상이고 옆면은 아치형상으로 하여 기존 보다 42% 감소된 최대 등가응력 값을 얻을 수 있었다.
- (3) 스트레처 높이에 따른 의자의 변형을 확인, 적정 높이 200mm를 선정하였고, 다리 전면부 충격 시험을 통해 타원형상의 스트레처를 설계했다. 스트레처가 없는 모델보다 85% 감소된 결과를 얻을 수 있었다.

Reference

- Sung-soo Kang.** (2011) Shape Optimal Design for the Leg parts of Chair, *Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, 20, pp.735~739.
- Yunmin Nam.** (2015) Stress analysis and shape optimization of chair legs, *The Korean Society of Mechanical Engineering*, pp.246~247.
- Seid Hajdarevic.** (2015) Stiffness Analysis of Wood Chair Frame, *Procedia Engineering 100*, pp.746~755.
- 한국표준협회.** (2002) 가구-의자 및 스툴- 강도와 내구성 시험 방법, KS G ISO 7173.