

유한요소해석을 이용한 차량용 시트 백 프레임의 최적설계

신현호* · 강희용**,[†] · 양성모***Optimal Design of Automotive Seat Back Frame
Using Finite Element AnalysisHyeonho Shin*, Hee Yong Kang**,[†], Sung Mo Yang***

Key Words : Seat back frame(시트 백 프레임), Finite element analysis(유한요소해석), Optimal design(최적설계), Topology optimization analysis(위상최적화 해석), FMVSS 207(미연방 자동차 안전 기준 207)

ABSTRACT

The seat back frame of the vehicle is subjected to load on the passenger behavior. Because of steel material, it is necessary to optimize the frame considering lightweight and safety. In this paper, finite element analysis is used for the optimal design of the seat back frame. First, a lightweight material is applied to reduce the weight of the seat back frame. Secondly, the design position of the pipe part fastened in the seat back frame was selected by considering the strength against the load generated by the occupant. Third, the shape of the side frame was derived by performing the phase optimization analysis for the AFT load condition. And we have compared the initial model with the optimal model to verify the light weighting and safety. As a result, the optimal design model of the seat back frame satisfying the weight reduction and safety has been proposed.

1. 서론

차량의 주요 구성 부품에서 시트는 자동차의 총 중량의 약 10%를 차지하고 있으며 전동 조정 기구 및 안전, 편의 장치의 적용으로 인해 매년 지속적으로 중량이 증가하고 있는 부품이다. 이로 인해 시트를 구성하는 하위 부품들은 경량화 설계가 필수적으로 요구 되고 있다. 차량용 시트는 크게 백 프레임, 리클라이너, 쿠션프레임 부품으로 구성된다.

시트 백 프레임은 시트 부품 중 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 탑승자를 지지하는 역할을 하는 부품으로 경량화와 안전성을 고려한 최적설계가 이루어져야 한다. 시

트 백 프레임의 안전성은 CAE 분석을 통해 검증되고 있으며, 주로 시트 관련 법규에서 제시된 후방 모멘트 시험 조건을 적용하고 있다.⁽¹⁻⁴⁾

그러나 차량의 운행 시 탑승자는 안전벨트와 시트 링에 의해 시트 백 프레임에 구속되어 있으며, 시트 백 프레임은 탑승자의 거동에 의한 하중을 받게 된다. 따라서 시트 백 프레임의 설계는 후방 모멘트 시험 기준 뿐만 아닌 탑승자의 하중 조건을 고려해야 한다. 또한 시트 백 프레임의 경량화를 위해서는 기존 강판 재질을 대체 할 수 있는 경량 재료를 적용해야 하며, 이와 동시에 재료의 성형성과 시트에 요구되는 강도를 고려하여 부품의 형태를 최적화 하고, 소재의 사용을 최소화 할 수 있는 구조적 경량화가 필요하다.

본 논문에서는 임의의 시트 백 모델을 구성하고 유한요소 해석을 이용하여 경량화와 안전성을 만족하는 차량용 시트 백 프레임의 최적설계 설계를 수행하였다. 첫 번

* 전북대학교 기계설계공학과, 학생

** 교신저자, 전북대학교 기계설계공학과, 교수

*** 전북대학교 기계시스템공학부, 교수

[†]E-mail : hykang@jbnu.ac.kr

째로 기존 스틸 재질 시트 백 프레임의 경량화를 위해 경량 소재를 이용한 모델링을 수행하고 탑승자에 의해 발생하는 하중 조건을 고려하였다. 두 번째로 유한요소 해석을 이용하여 시트 백 프레임 내측 체결되는 파이프 부품의 설계 위치를 고려하여 위상최적화 방법으로 사이드 프레임의 형상을 설계하였고, 초기 모델과 비교하여 최적설계 모델의 경량화와 안전성을 검증하였다.

2. 시트 백 프레임 모델 및 시험 조건

시트 백 프레임의 초기 모델은 국내 양산되고 있는 강관 시트 백 프레임의 형상 및 치수 조건을 고려하여 Fig. 1과 같이 모델링 하였으며, 2개의 사이드 프레임과 어퍼 프레임으로 구성하였다. 사이드 프레임은 압축 성형성을 고려하여 관통이 가능하도록 모델링 하였고, 어퍼 프레임은 경량 소재를 적용한 파이프를 적용 하였다. 또한, 시중 양산되는 리클라이너와 호환이 가능하도록 하단의 리클라이너 체결부와 볼트 체결부를 형성하였다.

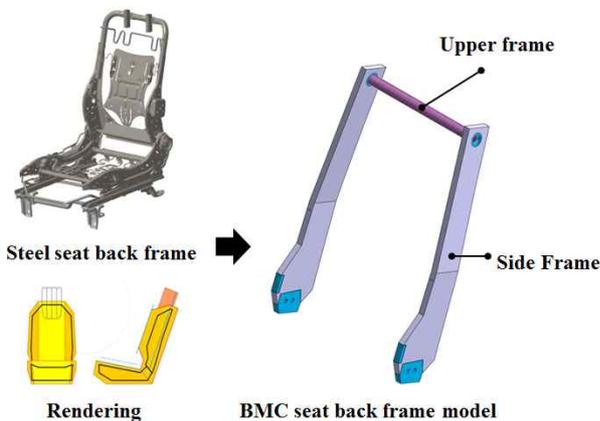


Fig. 1 Three components of a seat back frame

2.1. 시트 백 프레임의 유한요소 모델

시트 백 프레임의 유한요소 모델은 Fig. 2와 같다. 해석의 간략화를 위해 어퍼 프레임은 중공축 파이프 단면 특성을 적용한 1D 요소를 적용하였다. 유한요소 해석 프로그램은 MIDAS NFX를 이용하여 테트라 요소와 헥사 요소를 복합적으로 배치한 하이브리드 요소망을 적용하였다.

Table 1과 같이 시트 백 프레임은 재료적 경량화를 위해 사이드 프레임은 탄소 섬유 BMC 그리고 어퍼 프레임은 CFRP 파이프로 적용하였다.

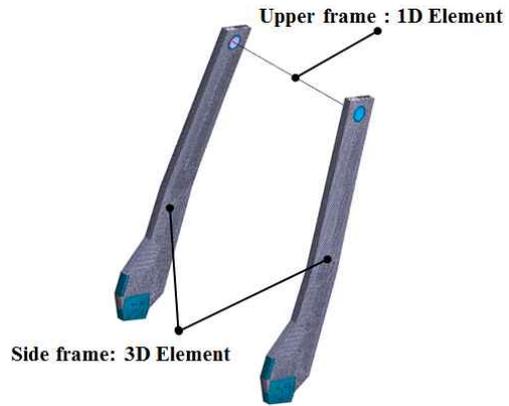


Fig. 2 Finite element model of seat back frames

Table 1 Mechanical properties of seat back frames

Properties	Side frame	Upper frame
Young's modulus	1.9 GPa	10 GPa
Tensile strength	70 MPa	50 MPa
Density	1.5 g/cm ³	1.6 g/cm ³

2.2. 후방 모멘트 시험 조건

차량용 시트 백 프레임은 탑승자 안전과 직접적으로 연관 되어 있기 때문에 시트 강도 시험 기준을 준수해야 한다. 본 논문에서는 시트 백 프레임 모델의 안전도 평가를 위해 FMVSS 207 Seating Systems 에서 제시된 후방 모멘트(AFT load)강도 시험 방법을 Fig. 3과 같이 적용하였다.⁽⁵⁾

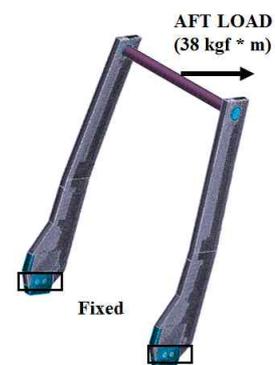


Fig. 3 AFT load test conditions

2.3. 측면 하중과 편심 하중 시험 조건

차량의 회전이 일어날 경우 탑승자는 시트윙, 안전벨

트 등의 구속시스템에 고정되어 있기 때문에 시트 백 프레임은 탑승자의 거동에 따른 하중을 받게 된다. 이를 고려하기 위해 측면과 편심 방향의 하중 조건을 Fig. 4와같이 부여 하였다.⁽⁶⁾

측면 하중 조건은 리클라이너 힌지 포인트와 백 라인을 기준으로하여 어퍼 프레임의 좌측에 부여 하였고, 편심 하중은 후방 모멘트 하중 조건을 적용하여 어퍼 프레임의 우측에 부하하였다. 경계 조건은 후방 모멘트 시험 조건과 동일하게 부여하였다.

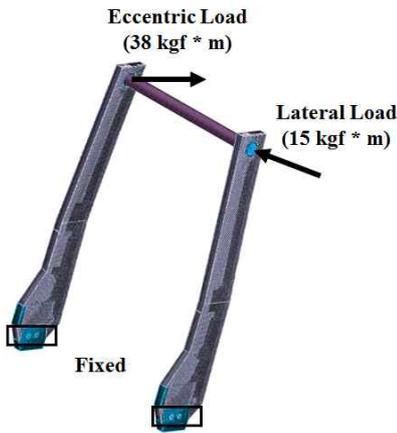


Fig. 4 Lateral and eccentric loading conditions

3. 시트 백 프레임의 최적설계

3.1. 측면부 위상 최적화

위상 최적화는 한정된 구조내 강성을 고려하여 효율적으로 재료를 재배치 함으로써 최적의 형상을 도출하는 기법으로 재료의 성형성과 경량화와 안전성이 요구되는 구조물에 적용되고 있다.⁽⁷⁾ 본 논문에서는 사이드 프레임의 경량화 및 최적설계를 위해 밀도법을 이용한 위상 최적화 하였다.

3.1.1. 설계 영역 및 비설계 영역

유한요소법을 이용한 위상 최적화를 위해서 강성을 고려하여 요소를 재배치할 설계 영역과 잔존 영역으로 보존할 비설계 영역을 정의해야 한다. 따라서 시트 백 프레임이 제기능을 수행하기 위해 반드시 필요한 영역인 리클라이너 체결부, 시트 윙, 내측 파이프 체결부, 어퍼 프레임 체결부를 비설계 영역으로 정의하였고, 그 이외의 영역을 설계 영역으로 정의 하여 Fig. 5와 같이 위상 최적화를 위한 해석 모델을 분할하였다.

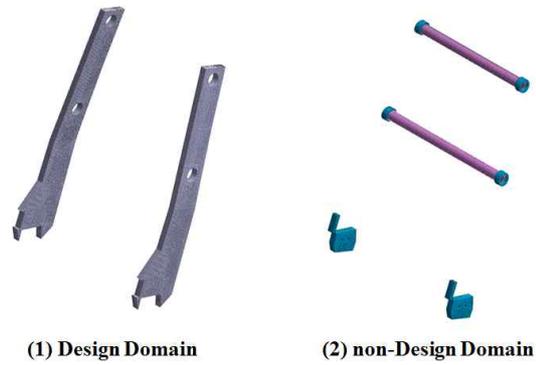


Fig. 5 The design domain and the non-design domain of the seat back frame

3.1.2. 위상 최적화 해석 조건

시트 백 프레임 모델의 위상 최적화 해석을 위한 목적함수는 설계 영역의 부피비로 정의하였으며, 최적 구조 형성에 대한 제약 조건은 경량 소재의 압축 성형성을 고려하여 다이 캐스팅 방향의 관통 조건을 부여하였다. 시트백 프레임 모델은 탑승자 1인 기준의 하중 조건을 고려 하여 모델링 되었으나 가혹 조건에 대한 안전율을 고려하기 위해 후방 모멘트 하중(AFT load)의 1.5배 조건을 부여하였으며, 경계 조건은 리클라이너 체결부를 구속하였다.

3.1.3. 위상 최적화 해석 결과

위상 최적화 해석 프로그램은 MIDAS를 이용 하였으며 후방 모멘트 하중의 강성을 고려한 위상 최적화 해석 결과는 Fig. 6에 나타내었다.

해석 결과 사이드 프레임의 설계 영역에서 최적 패턴

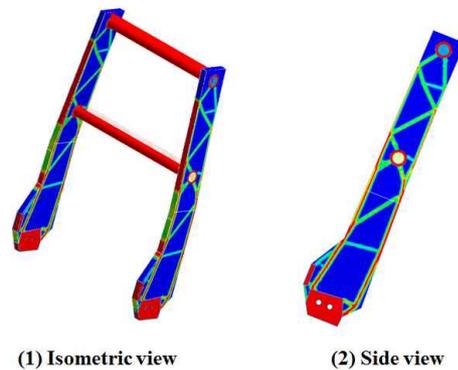


Fig. 6 Topology optimization analysis results for seat back frames

구조가 형성 되었으며, 비설계 영역이 고려된 최적 형상이 나타난 것을 확인하였다. 또한 위상 최적화 형상은 다이 캐스팅 방향의 성형 조건이 적용되어 금형에서 취출이 가능하도록 형성되었고, 요소 밀도 제어를 통해 도출된 최적 형상을 결정하여 사이드 프레임 설계에 반영하였다.

3.2. 리클라이너 체결부의 두께 설계

3.2.1. 리클라이너 체결부 모델링

시트 백 프레임과 리클라이너는 볼트 부품으로 체결되어 있으며, 외부 하중이 부하 될 경우 시트 백 프레임의 볼트 구멍에서는 최대 응력이 발생되기 때문에 가장 취약한 영역이다. 따라서 리클라이너 체결부는 탑승자의 하중 조건을 만족하는 최적 두께 설계가 필요하여, 유한요소 해석 및 응력 분석을 통해 리클라이너 체결부를 모델링한다. 리클라이너 체결부는 상용 리클라이너 부품의 형상을 고려하여 Fig. 7과 같이 모델링 하였다.

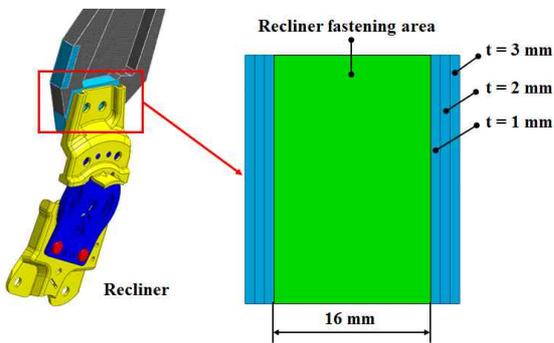


Fig. 7 Fastening area model of a recliner

리클라이너 체결부의 최적 두께 조건을 도출하기 위해 초기 두께에서 1mm, 2mm, 3mm 증가된 3가지 모델을 제시 하였으며, 각 모델에 대한 유한요소 해석을 통해 시트 백 프레임에 적절한 리클라이너 체결부 형상을 판단하였다.

3.2.2. 경계 하중 조건

Fig. 8에서 하중 조건은 시트 백 프레임에서 가장 많이 발생 되는 후방 모멘트 하중(AFT load)을 부여 하였으며, 가혹 조건을 고려하기 위해 시험 기준 보다 3배 높은 하중 조건을 적용하였다. 경계 조건은 사이드 프레임과 리클라이너가 체결되는 볼트 구멍을 고정 구속하였다.

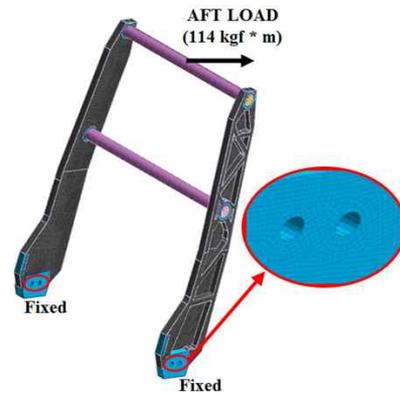


Fig. 8 Boundary and load conditions of seat back frame

3.2.3. 유한요소 해석 결과

리클라이너 체결부 두께에 따른 유한요소 해석 결과는 Fig. 9와 Table 2에 나타내었다.

해석 결과 Model 1과 2에서는 재료의 인장강도 이상

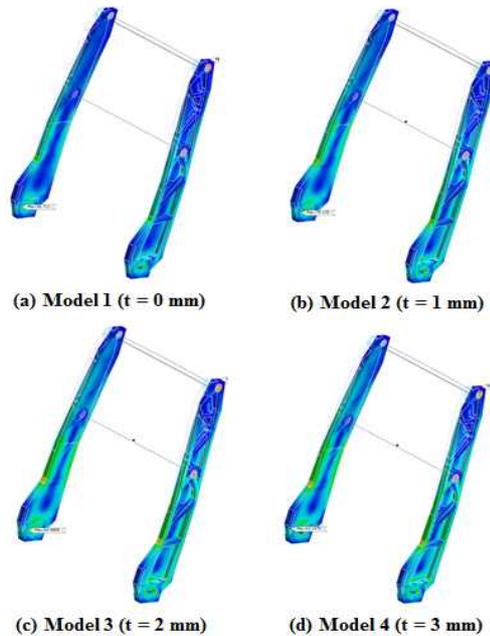


Fig. 9 Results according to recliner fastening area thickness

Table 2 Maximum stress of recliner fastening area

Model number	Maximum von Mises stress
Model 1	96.71 MPa
Model 2	78.12 MPa
Model 3	64.58 MPa
Model 4	63.10 MPa

의 응력이 도출되어 리클라이너 체결부의 형상 조건에 적합하지 않는 것을 확인하였다. Model 3과 4에서는 재료의 인장강도 이하의 응력이 나타났으며, Model 3을 기준으로 최대 응력 상승률이 대폭 낮아지는 경향이 나타났다. 최대 응력은 Model 1~4 모두 리클라이너와 체결되는 볼트 구멍에서 발생되었다. 유한요소 해석 결과 경량성과 안전성을 고려할때 리클라이너 체결부에 적합한 모델 형상은 Model 3으로 판단하였다.

3.3. 시트 백 프레임의 최적설계 결과

시트 백 프레임의 내측 파이프, 사이드 프레임, 리클라이너 체결부의 설계 결과를 참조하여 경량성과 안전성을

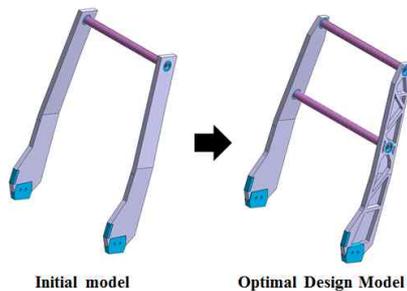


Fig. 10 Optimal design result of seat back frame

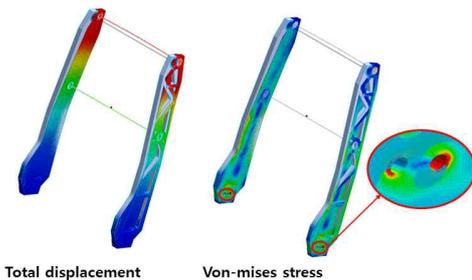


Fig. 11 Finite element analysis results for AFT load

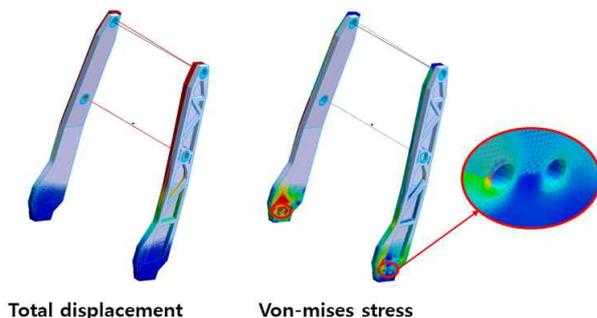


Fig. 12 Finite element analysis results for eccentricity and lateral load

Table 3 Comparison of initial model and optimal model

	Initial design model	Optimal design model
Weight	2.62 kg	1.59 kg
Maximum stress (AFT load)	28.16 MPa	21.52 MPa
Maximum displacement (AFT load)	18.66 mm	22.30 mm
Maximum stress (Eccentricity and Lateral load)	67.53 MPa	44.82 MPa
Maximum displacement (Eccentricity and Lateral load)	52.01 mm	45.13 mm

고려한 시트 백 프레임의 최적설계 모델을 Fig. 10과 같이 나타내었으며, 초기 모델과 최적설계 모델의 비교 분석을 위해 후방 모멘트 하중(AFT load), 편심 및 측면 하중에 대한 유한요소 해석 결과를 Fig. 11과 12에 각각 나타내었고 결과 값을 Table 3에 정리하였다. 해석 결과 최적설계 모델은 후방 모멘트(AFT load)와 편심 및 측면 하중에 대한 강성이 초기모델 보다 증가 하였으며, 중량이 절감된 것으로 나타났다.

4. 결론

본 논문에서는 후방 모멘트(AFT load), 편심 하중, 측면 하중의 3가지 하중 조건으로 유한요소 해석과 위상 최적화 해석을 통해 BMC 소재를 적용한 차량용 시트 백 프레임의 경량화 및 최적설계에 대한 연구를 진행 하였다. 이에 대한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 사이드 프레임은 밀도법을 이용한 위상 최적화 해석 방법으로 최적 패턴 조건을 설계하였다. 또한 편심 및 측면 하중 해석을 통해 적합한 두께 설계를 수행 하였으며, 해석 결과를 통해 사이드 프레임의 최적 형상을 설계하였다.
- 2) 리클라이너 체결부의 최적설계를 위해 0~3mm 범위의 보강 모델을 제시하였고, 후방 모멘트 하중(AFT load)의 3배 가속 조건에 대한 강성을 지닌 최적설계 모델을 도출하였다.
- 3) 유한요소 해석 결과와 위상 최적화 해석 결과를 바탕으로 시트 백 프레임의 최적설계 모델을 제안 하였으며, 최적설계 모델은 40% 경량화하였다.

참고문헌

- (1) S. H. Jung, B. T. Seo and T. H. Kim, 2016, "A Study of safe and lightweight car seat by applying multi material design", KASA Annual Conference Proceedings, pp. 124~129.
- (2) H. S. Oh, C. H. Jeong and S. S. Cheon, 2016, "Evaluation of Structural Strength Characteristics According to Cross-sectional Shape of Lightweight Seat Frame", Journal of KSMT, Vol. 19, No. 4, pp. 445~451.
- (3) K. S. Kim, S. S. Kim, S. H. Kim and J. U. Cho, 2013, "Study on Structural Strength Analysis of Automotive Seat Frame", Journal of KAIS, Vol. 14, No. 1, pp. 39~44.
- (4) S. K. Lee, H. Y. Kim and K. S. Lee, 1996, "Optimum Design and Impact Characteristics for Automobile Seat", KSAE Annual Conference Proceedings, pp. 409~416.
- (5) NHTSA USA, Seating Systems, FMVSS 207.
- (6) H. H. Shin, H. Y. Kang, S. M. Yang, J. C. Yoo and I. T. Lee, 2017, "Seat Back Frame Reinforcement Design for Eccentric and Lateral Load", KASA Annual Conference Proceedings, pp. 9.
- (7) H. H. Shin, H. Y. Kang, S. M. Yang, B. J. Baek, J. C. Yoo and I. T. Lee, 2017, "Design of Automobile Seat Back Frame considering the Compression Molding of Composites materials", KSAE Annual Conference Proceedings, pp. 931.