

승용차 시트프레임의 구조설계에 관한 연구

A Study on the Structural Design of a Seat Frame in Automotive Vehicles

김홍진*, 조영태 (전주대학교 기계산업공학부, 공학기술종합연구소)

Hong Gun Kim* Young Tae Cho

(Department of Mechanical and Industrial Engineering, Jeonju University)

최금호, 이병휘 (국립기술품질원 자동차기술과)

Gum Ho Choe, Byeong Hu Lee

(National Institute for Technology and Quality)

ABSTRACT

A seat frame structure in automotive vehicles made of polymer matrix composite to achieve weight reduction at low cost was developed. In order to design and manufacture the actual product, studies on material selection, and structural analyses were performed. Structural analyses were performed with a finite element analysis. Analyses were done for several cases suggested in various safety regulations of FMVSS(Federal Motor Vehicle Safety Standards). Each result was utilized to modify the actual shape to obtain a lighter, safer and more stable design. The final design was used to produce a sample bottom plate of the seat structure. Substitution of the material resulted in a weight reduction effect with equivalent strength, fatigue and impact characteristics. Furthermore, several effects

from the replacement of the material besides weight reduction were also examined.

1. 서론

자동차용 시트는 승객의 안전과 만족도에 관계된 중요한 역할을 하고 있으며, 탑승자의 지지가 적절하고 노면으로부터의 진동을 흡수하며 피로를 최소한으로 하여야 할 뿐 아니라 가능한 한 경량화 및 경제적인 체계를 갖추어야 한다.

일반적으로 시트는 전체 차량의 가격과 중량의 3-5%를 차지하므로, 자동차 산업계에서는 연비 개선과 가격 경쟁력 확보의 측면에서 이 구조물의 가격과 중량을 최소화하는 동시에 안전성과 안락감을 확보하는 연구에 많은 노력을 기울이고 있다.

한편 시트 구조물의 재료는 종전의 강구조물 위주의 재료에서 복합재료로 대체하는 방법이 다양하게 연구되고 있으며[1], 이미 실용화도 이루어지고 있다(BMW 3 Series, Dodge Viper). 재료를 복합재료로 대체할 경우 효과적

으로 경량화를 이룰 수 있지만, 기존의 재료에 비해 강도가 떨어지므로 안전성에 대한 검증이 충분히 수행되어야 한다. 본 연구에서는 우선적으로 적절한 복합재료[2]의 선택을 선행하고, 복합재료로 이루어진 시트 구조물에 대한 구조 해석을 통해 안전성을 검증하는 동시에 최적의 경량화 효과를 얻을 수 있는 설계를 얻는 데에 초점을 두었다. 또한 이와 같은 안전성과 경량화를 동시에 추구할 수 있는 모델을 제시하였다.

2. 차량시트의 구조해석 절차

일반적으로 복합재료는 강화 섬유 방향에 따라 물성이 방향성을 가지는 물론, 그 물성치의 크기 또한 수직과 섬유의 물성이 조합된 새로운 값을 가진다. 따라서 복합재료를 이용한 해석시 물성치 및 지배방정식의 선택에 대한 충분한 고려가 필수적이다[2].

본 연구에서 사용하는 재료는 단섬유 강화 복합재료로서, 이 경우에는 강화 섬유의 길이가 짧을뿐더러 구조물의 형상이 복잡할 경우 그들이 늘어서는 방향 또한 무방향성이 되어, 거시적인 관점에서 등방성 재료로 취급할 수 있다. 이러한 가정을 하면 다음과 같은 일반적인 응력-변형 관계를 나타내는 3차원 탄성방정식을 사용할 수 있다[3].

$$\begin{aligned} \epsilon_x &= \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)] & \gamma_{xy} &= \frac{\tau_{xy}}{G} \\ \epsilon_y &= \frac{1}{E} [\sigma_y - \nu(\sigma_z + \sigma_x)] & \gamma_{yz} &= \frac{\tau_{yz}}{G} \\ \epsilon_z &= \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)] & \gamma_{zx} &= \frac{\tau_{zx}}{G} \end{aligned}$$

그리고 본 연구에서는 수치해석 방법으로 유한요소해석(Finite Element Analysis, FEA)을 채택하였으며 두 시트 구조물 제조사(Chrysler 및 대원강업(주))에서 제시한 안전성 기준에 의거하여 구조해석을 수행하였다.

2.1 정적 하중에 대한 해석

Chrysler의 안전기준(Performance Standard

8401) 중 정적 하중에 대한 기준은 다음과 같다.

- (1) 등받이에 각각 1700N과 2500N의 힘이 가해졌을 때 파괴가 일어나지 않을 것
- (2) 좌석판에 각각 890N과 1780N의 힘이 가해졌을 때 파괴가 일어나지 않을 것

2.2 동적 하중에 대한 해석

실제 상황에서 발생하는 대부분의 하중들은 동적 하중들이므로, 비정상적 효과를 고려하는 동적 해석(Dynamic Analysis)을 수행하여야 한다. 하지만 이러한 동적 해석은 매우 복잡하므로, 많은 경우 이러한 동적 하중을 그 때의 움직임에 의한 가속도를 계산하여 질량을 곱하는 방식 등을 이용하여 정적 하중으로 변환하여 해석을 수행한다.

본 연구에서는 대원강업(주)의 안전성 기준에 의거하여 이같이 변환된 하중에 대한 해석을 수행하였다. 제시된 기준에 의하면 좌석판에 경우 다음의 표 1과 같이 다섯 가지의 하중에 대한 안전성을 시험한다.

Table 1. Loading Conditions of Dae Won Kang Up Co. Safety Regulations

사례 번호	하중 조건
1	좌석판의 앞 고정부 위의 경사면에 6566N을 38°의 각도로
2	좌석판의 앞 끝단 부분에 1303N을 수직으로
3	좌석판의 뒤 고정부 좌우에 4645N을 압축력으로
4	좌석판의 앞 고정부 좌우에 10290N을 압축력으로
5	좌석판의 앞 뒤 고정부 좌우에서 2587N을 전후방향 인장력으로

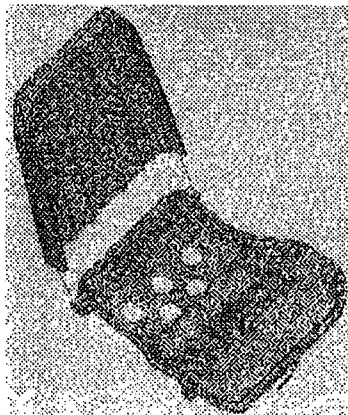
2.3 피로(Fatigue)에 대한 해석

또한 피로도의 계산시 ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section III에 제시된 기준에 따라 산술적 응력계산을 하고, Miner's rule에 따라 피로도 누적계산을 수행할 수 있

다[4]. Chrysler사는 피로한계에 대한 기준을 명시하고 있는데, 이에 의하면 좌석판은 1110N의 하중이 100,000회 반복되어도 피로에 의한 파괴가 일어나지 않아야 하며 등받이는 동일한 1110N의 하중의 10,000회 반복을 견뎌야 한다.

3. 기존 차량시트의 유한요소 모델

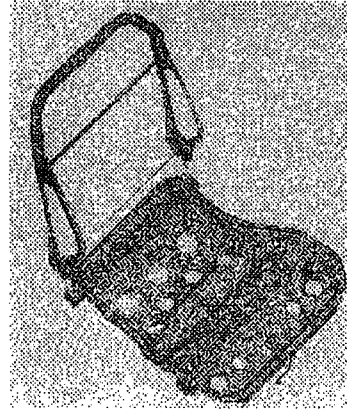
차량시트 경량화를 위한 모델은 최근 기존의 연구[5]에서 세 가지 형상에 대한 해석이 수행되었으며 대표적인 형태는 다음의 Fig. 1(a), (b), and (c)와 같다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 1 Diagram of FEA Model Systems

위 Fig. 1(a)의 형상은 전통적인 Steel 좌석판의 형상과 유사한 형상의 복합재료 좌석판과 실험적 설계 형태의 등받이로 이루어진 구조물이다. 이에 대한 구조해석의 결과, 안전성을 보장하는 복합재료 등받이를 구현하는 것이 어렵다는 결론에 도달하여 등받이를 기존의 steel 구조물로 바꾼 Fig. 1(b)와 같은 격자계를 구성하였다. 그리고 이러한 형상에 대한 구조해석의 결과를 고찰하여 경량화를 꾀하며 성능을 개선시킬 수 있는 설계의 좌석판을 장착한 Fig. 1(c)와 같은 세 번째 격자계를 생성하였다. 여기서 생성된 격자계는 대부분 두께가 2mm인 3차원 shell 요소들로 구성되어 있다.

따라서 위의 3가지 모델 중 Fig. 1(c)와 같은 세 번째 모델이 가장 적합한 설계임이 검증되었으며 경량화의 효과를 관해서는, 좌석판을 복합재료로 대체함으로써 전체적으로 약 16%의 경량화를 꾀할 수 있었다. 좌석판만을 독립시켜 생각하면 경량화의 효과는 무려 40%로 커진다. 또한 설계를 수정하므로써 220g의 경량화를 가져왔으며, 등받이의 경우에도 격자계를 이용한 중량 계산에 의하면 기존의 Steel Pipe 구조에 비해 복합재료 판 구조는 중량이 이의 65% 수준 밖에 나가지 않아 국부 파괴의 문제만 보완된다면 상당한 경량화의 효과를 가져 올 수 있을 것으로 분석되었다. 이에 대한 모델은 대칭이므로 아래에서 본 그림은 Fig. 2

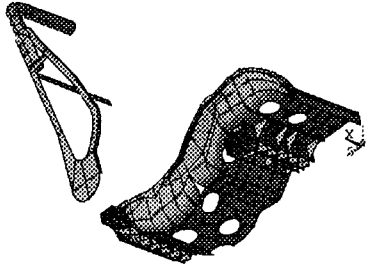


Fig. 2 Diagram of Symmetric FEA Model

와 같이 된다.

그러나 동적 하중에 관하여 충격시 다소 문제가 있는 것으로 나타났으며 실제의 마네킹을 이용한 충격시험 결과, 심한 파괴 현상이 발생되었다. 따라서 충격에 관한 보강설계가 필요하다는 것이 요구되었으며 보강구조물이 추가된 새로운 설계로의 접근을 시도하게 되었다.

4. 새로 보강된 설계의 차량시트 모델

차량 시트를 충격으로부터 보호하기 위하여 다음의 Fig. 3에서 보이는 것과 같이 X-Shape의 굴곡있는 강판을 사용하여 보강하도록 설계하였으며 시트프레임의 복합재료 재질은 GMT (Glass Mat Thermoplastics)으로 변경하였다. 이는 Glass Fiber를 매트상으로 제조한 후 수

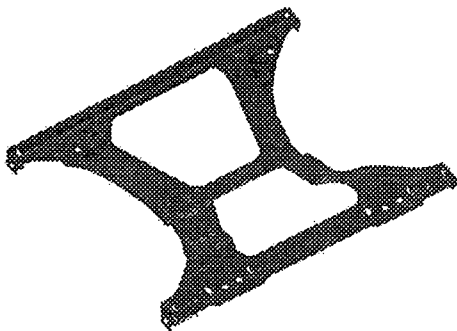


Fig. 3 FEA Model of Reinforced Seat Plate

지에 함침시켜 압축한 다음 판상재료로 만든 후 금형에 넣어 성형한 것이다. 물론 열가소성이므로 재활용이 가능하며 가볍고 충격강도가 우수한 특성이 있어 본 구조물의 재질로써 적합할 것으로 검토되었다[6,7].

5. 구조해석 결과 및 고찰

차량 시트프레임의 하부 보강판을 Fig. 3와 같이 모델링하여 유한요소법에 의해 구조해석해 본 결과, 전방충돌에 관한 변위 및 응력이 각각 Fig. 4 및 5와 같이 나타났고 또 후방충돌에 관한 변위 및 응력은 Fig. 6 및 7과 같이 각각 나타났으며 이와 같은 X-Shape의 보강판으로 인해 충격에 의한 큰 보완이 될 것으로 검토되었다.

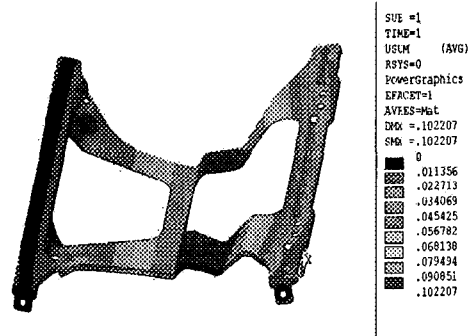


Fig. 4 Displacement Result of Reinforced Seat Plate for Frontal Impact.

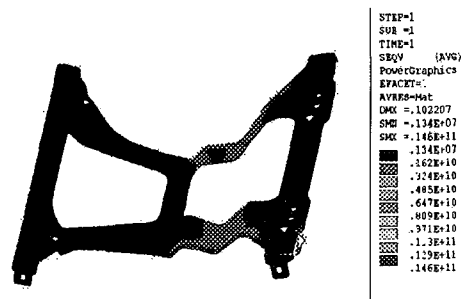


Fig. 5 Equivalent Stress Result of Reinforced Seat Plate for Frontal Impact.

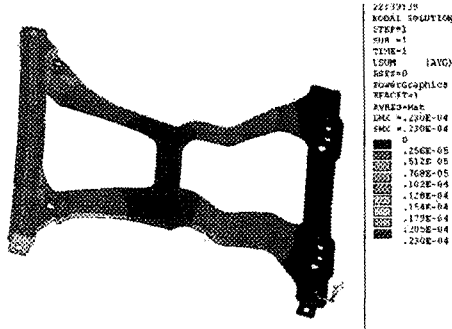


Fig. 6 Displacement Result of Reinforced Seat Plate for Rear Impact.

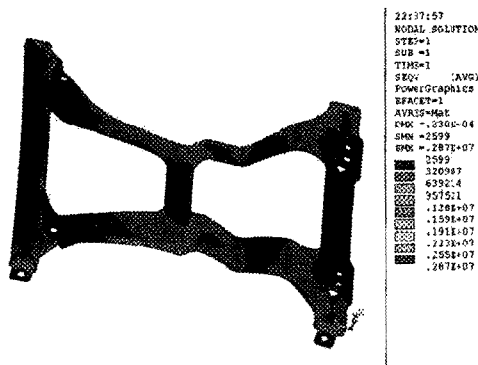


Fig.6 Stress Result of Reinforced Seat Plate for Rear Impact.

이와 같이 시트 구조물의 유한요소해석을 통하여 적절한 구조설계에 관한 연구를 수행함으로써 안전하고 경량, 경제적인 모델을 제시하였으며 시트벨트와의 접합부 및 기타 고정부의 국부적인 파괴현상이나 골목부의 보완과 불필요한 부위의 질량감소 등 더욱 합리적인 설계를 위한 검토대상이 향후과제로 남아 있다. 이와 관련된 연속적인 해석이 현재 수행 완료 단계에 있으며 충돌시험 결과와 함께 곧 제시 될 것이다[8].

6. 결론

자동차의 시트 구조물 재료를 경량화하기

위하여 복합재료로 대체하며 유한요소해석을 통하여 각종 안전성 기준에 관한 구조 해석을 수행하였다. 기존 모델의 경우 국부적인 파괴로 인해 대체가 곤란한 실저였지만 본 설계와 같이 보강판을 사용할 경우 대체가 가능함을 알 수 있었다. 또한 구조해석 결과에서 도출해 낼 수 있는 여러 가지 다른 효과들은 향후 고려대상으로 남겨 놓았다. 특히 각종 주위 부품과의 결합 부분의 모델링 및 안전성 기준의 개선, 보다 적절한 형상 설계에 대한 연구 등은 차후 과제[8]로 남아 있다.

참고문헌

1. K.N. Tribbett, J.C. Lynn, "Evaluation of Automotive Front Seat Structure Constructed of Polymer Composite", *SAE 920335*, pp.270-274, 1992.
2. P.K. Mallick, S. Newman(eds), "Composite Materials Technology: processes and properties", *Oxford Univ. Press*, 1990.
3. S.H. Crandall, N.C. Dahl, T.J. Lardner, "An Introduction to the Mechanics of Solids", *McGraw-Hill, Inc.*, 1978.
4. P. Kohnke(ed), "ANSYS User's Manual", *Swanson Analysis Systems, Inc.*, 1992.
5. 최금호외 3인, "승용차 운전석용 경량시트 프레임의 개발", 한국자동차공학회 1997년도 추계학술대회, pp. 855-862, 1999.
6. A.B. Strong, "Fundamentals of Composites Manufacturing", *Society of Manufacturing Engineers*, 1989.
7. L.E. Nielsen, R.F. Landel, "Mechanical Properties of Polymers and Composites", *Marcel Dekker, Inc.*, 1994
8. 김홍건, 조영태, 최금호, 이병휘, "승용차 시트프레임의 경량화설계에 관한 연구", to be submitted, 1999.