

## 승용차 시트프레임의 강도해석

임종명·장인식\*

홍익대학교 기계설계학과

## The Strength Analysis of Passenger Car Seat Frame

JoungMyung Lim · Insick Jang\*

Department of Mechanical Design & Production Engineering, Hongik University, Chungnam 339-701, Korea

(Received 4 April 2003 / Accepted 30 September 2003)

**Abstract** : This paper may provide a basic design data for the safer car seat mechanism and the quality of the material used by finding out the passenger's dynamic behavior when protected by seat belt during collision. A computer simulation with finite element method is used to accomplish this objective. At first, a detailed geometric model of the seat is constructed using CAD program. The formation of a finite element from a geometric data of the seat is carried out using Hyper-Mesh that is the commercial software for mesh generation and post processing. In addition to seat modeling, the finite element model of seat belt and dummy is formed using the same software. Rear impact analysis is accomplished using Pam-Crash with crash pulse. The part of the recliner and right frame is under big stress in rear crash analysis because the acceleration force is exerted on the back of the seat by dummy. The stress condition of the part of the bracket is checked as well because it is considered as an important variable on the seat design. Front impact model which including dummy and seat belt is analyzed. A part of anchor buckle of seat frame has high stress distribution because of retraction force due to forward motion of dummy at the moment of collision. On the basis of the analysis result, remodeling and reanalysis works had been repeatedly done until a satisfactory result is obtained.

**Key words** : Seat mechanism(시트 메카니즘), Finite element model(유한요소모델), Rear impact(후방충돌), Front impact(전방충돌), Stress distribution(응력분포), Recliner(리클라이너), Seat belt(시트벨트), Seat bracket(시트브라켓)

### 1. 서론

승용차의 사용이 점차 증가함에 따라 자동차 본래의 기능인 운반의 수단은 기본적으로 충족되고, 부가적으로 안전이나 승차감에 대한 관심이 날로 높아지고 있는 추세이다. 승차감이나 안전에 관련된 부분으로는 현가장치나 자동차 전체의 구조와 샤시 등이 있으며, 운전자와 직접적으로 관계되는 부분으로 시트를 들 수 있다. 자동차의 시트는 탑승

자의 안락함을 보장하고 사고 시 충격으로부터 승객의 안전을 보장할 수 있도록 설계되어야 한다.

또한, 운전자의 체격이나 운전 조건에 적합하도록 시트 전체의 전후 작동이 가능해야 하고, 상하의 움직임이 가능하고, 등받이의 각도 조정이 가능해야 하는 등 상당히 복잡한 메카니즘을 가지고 있다.

이렇게 복잡하고 다양한 제품에 대한 개발 기간의 단축과 생산비용의 절감을 위하여 CAE (Computer Aided Engineering) 기법을 많이 적용하고 있다. CAE 기법은 설계 단계에서 시트가 가지고 있

\*To whom correspondence should be addressed.  
ljm@daebu.co.kr

는 특성을 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 예측함으로써 실제 제작 단계를 거치지 않고 설계 개선을 통한 최적의 성능을 가지는 제품을 만들 수 있다는 장점이 있다. 이러한 기법을 많이 사용하는 분야로 충돌해석 분야가 있는데, 차량의 충돌 상황을 컴퓨터를 이용하여 해석함으로써 안전성이 높은 자동차를 제조하는데 필요한 기초 데이터를 얻어낸다. 이렇게 함으로써 승객의 안전을 고려한 차량의 개발을 위해 차체의 구조나 안전 벨트, 시트등 승객의 안전과 직결되는 승객보호장치에 대해 CAE 해석을 통하여 승객의 안전도를 높이는 방향으로 제품을 설계, 생산할 수 있다.<sup>1-3)</sup>

지금까지 연구형태를 보면 자동차 사고시 탑승자의 부상 메커니즘(injury mechanism)에 대한 자동차 안전 시스템의 향상을 목적으로 많은 생체 역학적 연구가 이루어지고 있는 것이 현실이다.<sup>4,5)</sup> 하지만 본 연구에서는 자동차 사고 시 시트가 승객에게 미치는 영향이 아닌 승객이 시트에 미치는 영향을 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 알아보고자 한다. CAD 프로그램을 이용하여 시트의 기하학적 모델을 구성한 후, 시트와 안전벨트 및 승객을 모델링 하였으며, 이 유한요소 모델을 충돌해석 전용 상용 코드<sup>6)</sup>를 이용하여 동적 거동해석을 수행한다. 자동차 충돌 시 승객을 보호하는 장치(안전띠)에 의하여 보호받는 승객의 동적 거동과 후방추돌시 승객을 구속하고 있는 시트의 주요 부분에 발생하는 응력이나, 나타나는 변형 상태를 알아냄으로써 보다 안전한 시트의 구조나 사용되는 재질에 대한 기본 설계 데이터를 제공하고자 한다.

시트의 기본적인 기능을 만족하면서 승객의 승차감과 안전성을 향상시키기 위한 시트 설계에 CAE 기법을 적용하여 시트에 대한 안락도 평가를 수행하고 이를 바탕으로 제품을 개선하는 여러 가지 방법들이 연구되고 있지만, 시트의 구조물이 너무 단순화되어 있다. 기존의 이 단순한 시트의 구조물을 보다 구체적으로 모델링한 후 유한요소법<sup>7,8)</sup>을 이용하여, 변형률 분포 등을 충돌 조건을 변화시키면서 시트의 응력이나 변형 상태 등을 조사하여 이 후 성능이 개선된 시트의 설계에 필요한 데이터를 찾아내고자 한다.

## 2. 유한요소 모델링

### 2.1 시트의 유한요소 모델링

본 논문에 이용된 시트의 기하학적인 형상은 Pro/E<sup>9)</sup>를 이용하여 구성하였으며, 충돌해석을 위한 유한요소 모델링을 하기 위해서 불필요한 부품과 기하학적 요소를 제거하고, 나머지 필요한 부분은 유한요소 모델링이 용이하게 표면(surface)을 다듬거나 조합하는 전처리(preprocessing)를 수행하였다. 이와 같이 전 처리된 차량 CAD 데이터를 삼차원 유한요소 모델링 전용 소프트웨어인 Hyper-Mesh10)를 이용하여 유한요소 모델링을 수행하였다.

후방추돌에 있어서 시트는 승객 상해와 관련된 가장 중요한 차체 구조물중 하나이다. 이는 후방추돌시 승객에 전달되는 충돌하중이 시트를 통하여 이뤄지기 때문이며, 이러한 현상을 보다 실제적으로 표현하기 위해서 본 연구에서는 시트에 대한 상세 유한요소 모델을 완성하였다.

Fig. 1에는 쿠션을 포함한 기하학적 모델을 도시하였다.

Fig. 2에는 쿠션을 포함한 유한요소 모델을 도시하였다. 쿠션은 3차원 솔리드요소(solid element)를 이용하여 구성하였으며, Table 1은 전체 시트의 유한요소 수를 요약한 것으로 유한요소 수는 13735개이며, 절점 수는 14000개이고 총 22개의 부품으로 구성되어 있다.

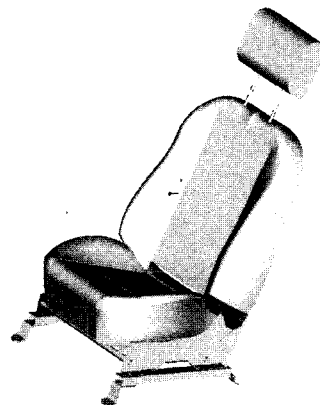


Fig. 1 Geometric modeling of total seat

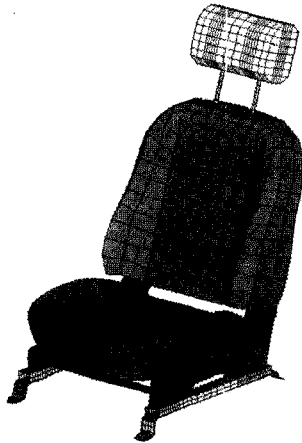


Fig. 2 Finite element modeling of total seat

Table 1 F.E. model of whole seat

	요소의 개수	재료의 타입
Shell	12225	Type #101
Solid	1510	Type #21

Table 1에는 전체 시트의 유한요소 모델과 재료의 타입을 요약하여 보여주며, 쿠션은 폴리우레탄 재질로 되어 있어 기계적인 특성이 프레임과 아주 다르다. 본 연구에서는 Table1과 같이 PAM-CRASH에서 제공하는 2가지 재료모델(material model)을 사용하였다.

모델링된 시트 프레임요소의 물성은 Type #101인 탄성(elastic)재질로 정의하였으며, 쿠션요소의 물성의 경우에는 Type #21 폴리우레탄(elastic foam with hysteresis)을 사용하였다.

### 2.2 시트와 더미의 유한요소 구성

더미에 대한 유한요소모델은 충돌해석 전용프로그램인 PAM-SAFE에서 제공하는 Hybrid III 50% 더미를 이용하였다. 이 더미는 머리, 목, 흉부, 골반 및 수족 등을 나타내는 18개의 강체 요소를 조인트로 연결되어 있다.<sup>11)</sup> Table 2는 더미와 시트의 유한요소 모델의 개수를 나타내고 있다.

Table 2 F.E. model of dummy and seat

	Shell	Solid	Beam	Rigid body	Load curves
유한요소수	15809	1510	34	29	87

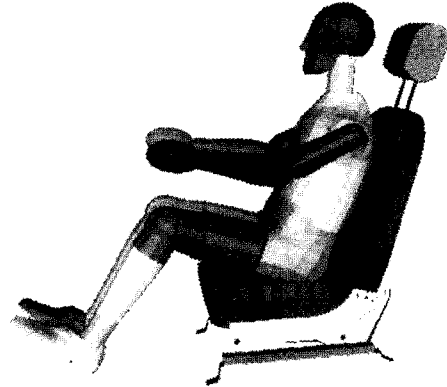


Fig. 3 A Finite element modeling of dummy and seat

Fig. 3에서는 시트에 더미가 앉아 있는 경우의 모델을 나타내었다.

### 2.3 HIP-POINT의 계산

Hip-point란 사람이 시트에 앉았을 때 가장 편안한 자세를 취하고 있는 위치를 말하는 것으로 더미를 포함하는 동적해석에서는 해석의 시작위치를 나타낸다. 여기서는 유한요소 더미를 이용하여 Hip-point를 해석적으로 구하였다. Fig. 4에서 보여주는 바와 같이 실제 시험에서의 더미위치와 각 관절부의 각도를 맞추어 주기 위하여 PAM-CRASH에서 제공하는 포지셔너(PAM-SAFE)를 이용하여 더미의 Seating position을 맞춘 후에, 더미를 이루는 각 강체의 무게중심(C.O.G) 점에 IG의 가속도를 주고 시트에 놓는 방법으로 Hip-point를 구하였다.

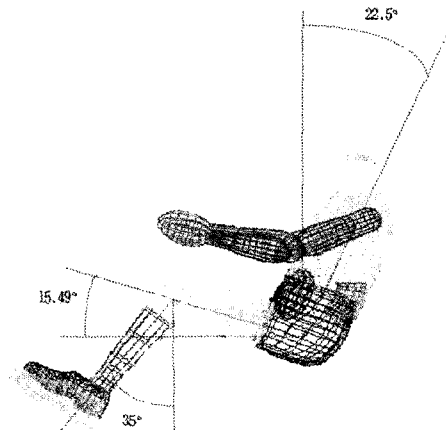


Fig. 4 Seating position of dummy

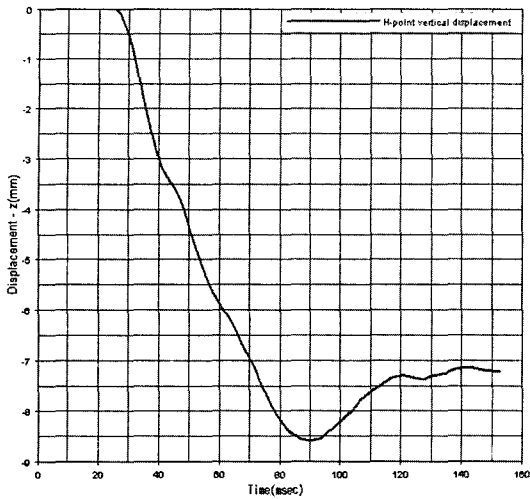


Fig. 5 Displacement of Dummy hip-point

Fig. 5 결과에 따르면 더미는 시트에 앉은 후 90msec 경과 후에 최대 8.6mm까지 내려갔다가 시간의 경과 후 약 7.5mm의 변위를 가지면서 정착됨을 알 수 있다.

### 3. 후방추돌 해석

Fig. 6은 위와 같은 연구 수행 절차를 보여주는 그림이다. 위에서 개발된 유한요소 모델을 GENERIS<sup>12)</sup>에 넘겨서 PAM-SAFE을 이용하여 충돌해석을 수행 할 수 있는 입력파일을 작성하였다. 충돌해석 결과의 후처리는 PAM-VIEW<sup>13)</sup>를 이용하여 수행하였다.

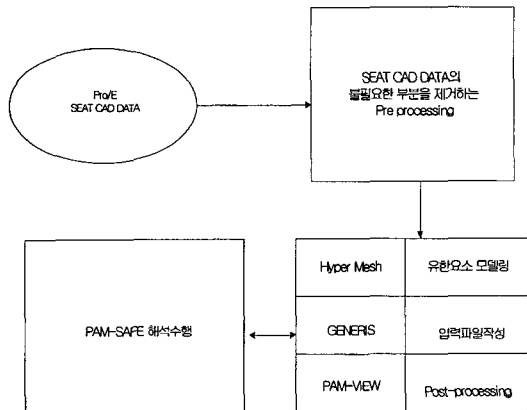


Fig. 6 Analysis procedure flowchart

### 3.1 후방추돌 해석 모델

Fig. 7은 후방추돌 시험의 초기 상태를 보여주고 있다. 시트 등받이는 직선과 25°를 이루며, 시트의 수평위치는 중간지점을 택했으며 머리 받침대의 위치는 최상단으로 하였으며, 더미가 정면을 보고 있을 때를 기준으로 좌측과 우측을 정의하였다.

후방추돌을 모사하기 위해서 가속도의 형태를 Fig. 8과 같은 11개의 점에 대한 스플라인 곡선(spline curve)으로 근사화하였다.

시트 프레임에 지지하는 네 곳의 지지부를 쉘 요소로 모델링하여 구속조건을 주고 시트로 전달되는 하중을 계산하였다. 그리고 양쪽의 리클라이너의 가해지는 응력을 계산하였다.

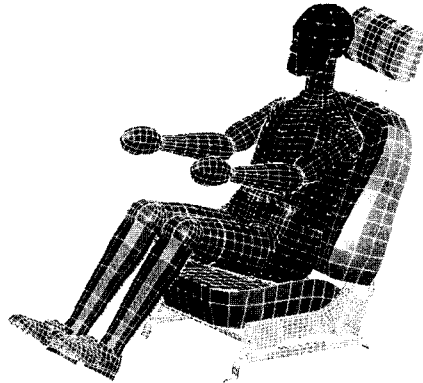


Fig. 7 Rear end impact of initial state

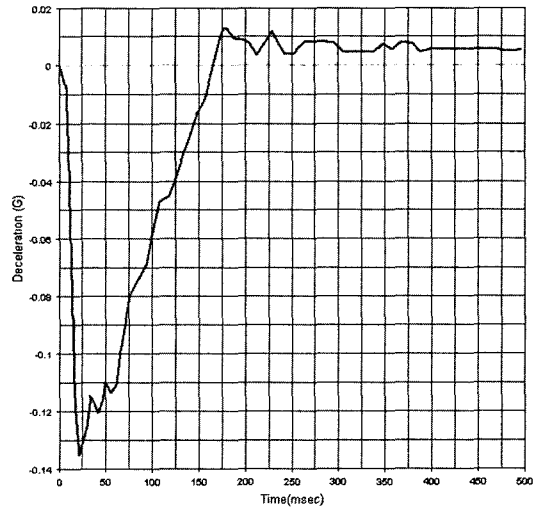


Fig. 8 Definition of deceleration for rear end impact<sup>14)</sup>

Fig. 9(a)~(f)에서는 각 시간대 별로 더미의 거동을 보여주고 있다.

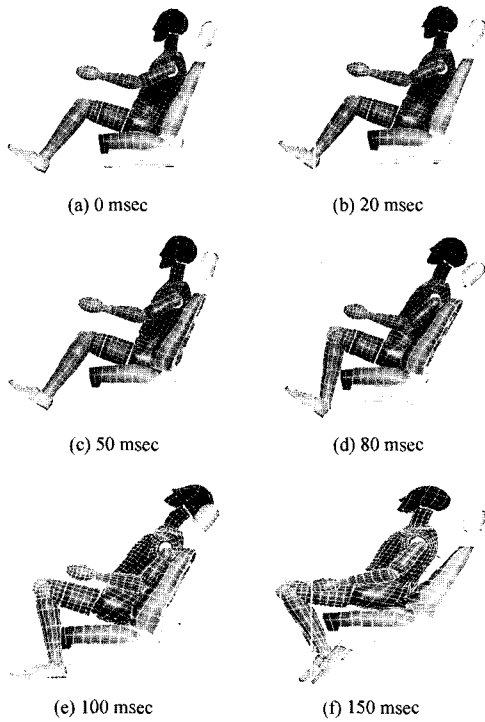


Fig. 9 Dummy movement at the each time step

### 3.2 후방충돌 시 해석 결과

동적 해석에서 시간에 따른 응력 변화 중 Fig. 10은 후방충돌시 가장 큰 응력 값을 갖는 69msec 때의 응력 분포를 나타내는 것으로 하부 우측 프레임과 후방 우측 브라켓에 가장 큰 응력이 발생하는 것을 알 수 있다.



Fig. 10 Stress distribution at 69msec

Table 3은 Fig. 10의 응력 분포의 값을 각 부분별로 요약해 놓은 것이다. 우측 프레임 부분에서 최대 값이 나타남을 알 수 있다.

Fig. 11은 후방충돌 시 최대 변위를 나타내는 시점인 78msec에서 head rest 부분에서 87.6mm의 변위를 볼 수 있으며 리클라이너 부분에서는 23.57mm 변위가 생긴 것을 볼 수 있다. Table 4는 Fig. 11에서 주요 부분의 변위를 나타낸 것이다.

Table 3 Stress value for each part at 69msec (MPa)

Position	Value
리클라이너	422
우측 프레임	497
전방 우측 브라켓	169
전방 좌측 브라켓	88
후방 우측 브라켓	214
후방 좌측 브라켓	162

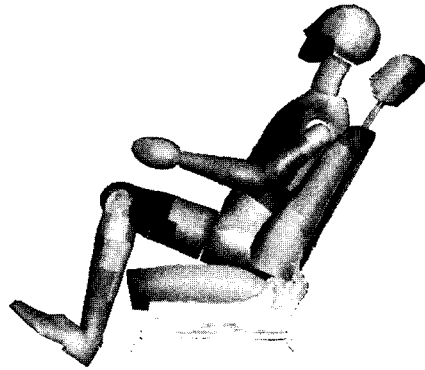


Fig. 11 Maximum displacement at 78msec

Table 4 Maximum displacement for each part at 78msec (mm)

Position	Value
Head rest	87.6
리클라이너	23.57

## 4. 전방충돌 해석

### 4.1 3점 식 시트벨트(Seatbelt) 모델

전방 충돌 시에는 감속도의 방향이 전방이므로 더미의 이탈을 구속하는 시트 벨트가 필요하다. Fig. 12에는 전방 충돌 해석에 필요한 시트벨트의 모델을 나타내었다. 그림에 나타난 3점식 좌석벨트 매커니즘을 살펴보면 B 필라(B-pillar)부근의 벨트 수

측 장치로부터 바깥쪽 고정점(Outer anchor)까지의 안전벨트가 하나의 띠로 연결되어 있다. 이 때문에 벨트를 적절히 모델링 하는 것에는 많은 어려움이 있었으나, 본 연구에서는 몸통과 벨트의 접촉현상을 Safe-Editor에서 제공하는 belt editor를 이용하여 모델링 하였다. 슬립량과 느슨한 정도, 그리고 적정한 힘이 걸리는 순간에 풀림량이 정지하여 이후부터는 순수하게 벨트의 신장량에 따른 반응이 일어날 수 있도록 하였다.

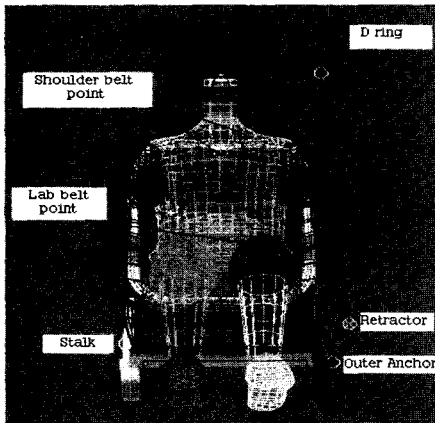


Fig. 12 Fixed points for belt segment

#### 4.2 전방 충돌 해석

Fig. 13은 전방 충돌 시험의 초기 상태를 보여주고 있다. 시트 등받이는 후방 충돌과 동일하게 수직선과 25°를 이루며, 시트의 수평위치는 중간지점을 택했으며 머리 받침대의 위치는 최상단으로 하였다.

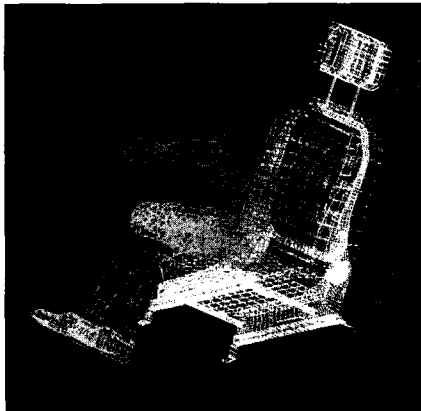


Fig. 13 The initial state of frontal impact

전방충돌을 모사하기 위해서 해석프로그램에 입력하기 위한 가속도의 형태를 Fig. 14와 같은 11개의 점에 대한 스플라인 곡선(spline curve)으로 근사화 하였다.

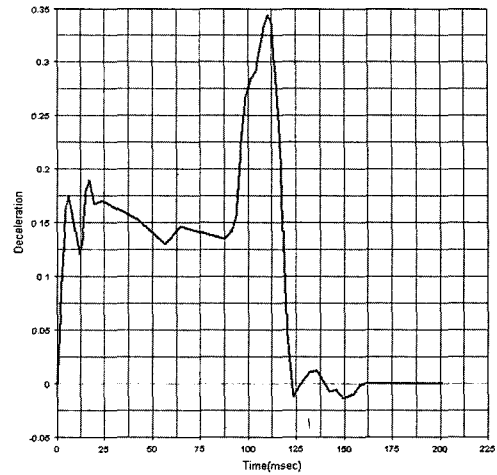
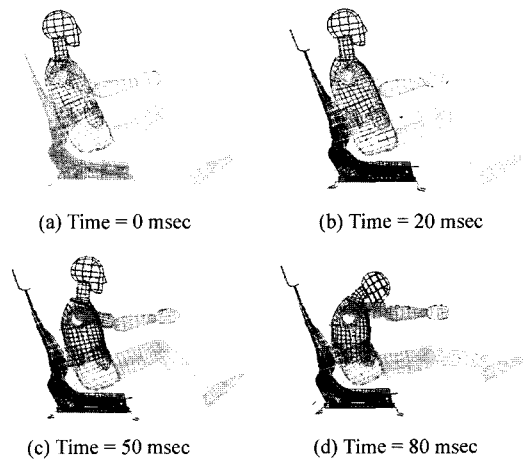


Fig. 14 Definition of deceleration for Frontal impact<sup>14)</sup>

전방충돌시에도 후방충돌과 마찬가지로 시트 프레임에 지지하는 네 곳의 지지점을 쉘요소로 모델링 하여 고정된(fixed) 구속조건을 주었다. Fig. 14의 전방충돌시 가속도를 더미의 가슴부분에 가하고, 시트로 전달되는 하중을 계산하였다. 그리고 양쪽의 프레임에 가해지는 응력과 변위를 계산하였다.

Fig. 15(a)~(f)에서는 각 시간대 별로 변화하는 더미의 거동을 보여주고 있다.



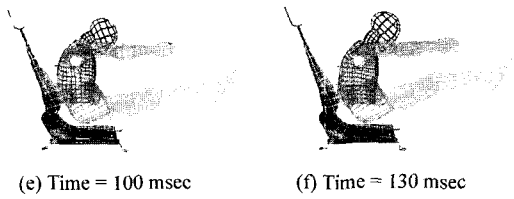


Fig. 15 Dummy movement at the each time step

### 4.3 전방충돌 시 해석결과

전방충돌 해석 시에는 시간에 따라 응력 분포가 달라지는데, Fig. 16은 50msec일 때의 응력분포를 나타낸 것으로 하부 우측프레임보다 후방 우측 브라켓에 응력이 집중되는 것을 알 수 있으며, Table 5는 Fig. 16의 응력분포의 값을 각 부분별로 요약해 놓은 것이다.

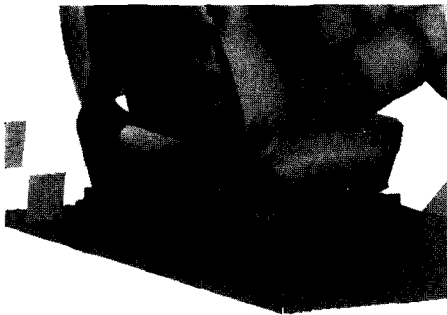


Fig. 16 Stress distribution at 50msec

Table 5 Stress value for each part at 50msec (MPa)

Position	Value
우측 프레임	54
전방 우측 브라켓	33
전방 좌측 브라켓	44
후방 우측 브라켓	147
후방 좌측 브라켓	30

Fig. 17은 전방 충돌 시 최대변위를 나타내는 시점인 100msec에서의 변위를 나타내는 그림으로 좌측프레임 부분의 3.8mm의 변위를 볼 수 있으며 후방 좌측브라켓 부분에서는 5.2mm 변위가 생긴 것을 볼 수 있다. Table 6은 Fig. 17 중에서 주요 부분의 변위를 나타낸 것이다.

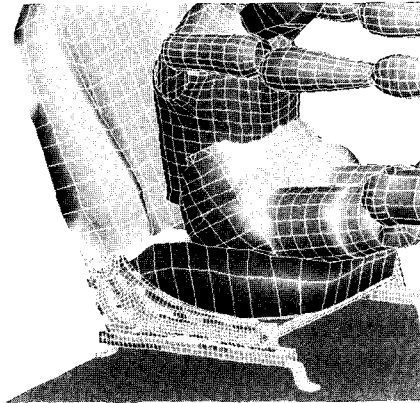


Fig. 17 Maximum displacement at 100msec

Table 6 Maximum displacement for each part at 100msec (mm)

Position	Value
우측프레임	3.8
후방좌측브라켓	5.2

### 5. 결론

본 연구에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 자동차 전방 충돌 시 승객을 보호하는 장치(안전띠)에 의하여 보호받는 승객의 동적 거동과 이에 따른 자동차 시트의 응력과 변위를 계산하고, 후방충돌시 승객을 구속하고 있는 시트의 주요 부분에 걸리는 응력이나 나타나는 변형상태를 알아보았다. 이 계산을 통하여 보다 안전한 시트의 구조에 대한 기본 설계 데이터를 제공하고자 하였다.

CAD 프로그램을 이용하여 시트의 기하학적인 모델을 구성한 후, 전후 처리용 소프트웨어를 이용하여 시트와 더미에 대한 유한요소 모델을 생성후 PAM-SAFE를 이용하여 동적 거동을 해석했다.

동적 거동은 후방충돌 시와 전방 충돌 시의 두 가지의 경우로 나누어 계산해보았다.

먼저, 후방충돌 시 시트에 더미를 착좌 시키고 감속도를 가하여 계산해 보았다. 총 0~150msec까지의 해석시간 동안에는 69msec에서 우측 프레임과 리클라이너에 큰 응력이 집중되는 것을 볼 수 있었으며, 시트를 지지하고있는 4군데의 브라켓을 보면 후방우측 브라켓에서 가장 큰 응력이 발생하는 것을 알 수 있었다. 전체적으로 0~69msec까지는 응력

이 증가하는 형상을 보이다가 69msec에서 최고치를 보이고 69msec에서 150msec까지 감소하는 형상을 볼 수 있었으며, 150msec에서는 후방충돌시에 시트가 뒤쪽으로 밀려나가다가 다시 Rebounding 되는 시간으로 하부프레임의 응력집중이 아닌 더미의 등을 받치고 있는 상부 프레임에 응력이 집중되는 것을 알 수 있었다.

전방충돌 시에는 프레임에 3점식 벨트를 부착하는 모델을 사용하였는데, Safe-Editor에서 제공하는 belt editor를 이용하여 모델링하였다. 후방충돌시와 마찬가지로 시트에 더미를 좌좌시키고 감속도를 가하여 계산하였다. 총 해석시간 0~150 msec 동안에 100msec에서 후방 우측 브라켓과 우측frame에 가장 큰 응력이 집중되는 것을 알 수 있었다. 시트에 사용된 재질은 SAPH45를 사용하였는데 인장강도 550 Mpa에 비하여 각 파트별 Stress값과 비교하였을 때 전체적으로 안전한 시트구조물임을 알 수 있었다. 이 연구를 통해서 시트구조물의 형상에 맞게 유한요소를 생성하는 과정에서 유한요소의 크기가 매우 작아져서 충돌해석 시 시간간격이 과도하게 짧아져서 해석하는 데 많은 시간을 소비하게 되었으나, 이를 여러 번의 수정보완을 통하여 유한요소 모델링을 재 생성하여 해석을 수행하였다.

본 연구에 사용된 시트의 모델은 실제 사용되는 상용시트로서 업체에서 기하학적 상세 데이터를 제공받았다. 해석에 사용된 유한 요소 모델은 시트의 구조를 가능한 한 상세히 나타내도록 하였다. 충돌시 시트의 동적 거동 해석에 대한 결과는 향후 다른 시트의 설계에 참고가 될 것이며, 여러 가지 충돌상황을 모사하는 구조해석결과를 고찰하여 형상 개선을 시도할 것이다.

## 후 기

이 논문은 2002년도 홍익대학교 학술연구 조성비에 의하여 연구되었음.

## REFERENCE

1) J. G. Park, Y. S. Park, J. Y. Lee, K. S. Jung, M. W. Suh, I. H. Wi, "A Theme About the Occupant Analysis for Automobiles," Journal of

KSAE, Vol.14, No.6,1992.  
 2) J. G. Kim, G. H. Choe, B. H. Lee, W. I. Lee, H. S. Kim, "Development of Hybrid Type Automotive Drivers Seat," Transactions of KSAE, Vol.9, No.1,2000.  
 3) K. H. Digges, J. H. Morris, A. C. Malliaris, "Safety Performance of Motor Vehicle Seat," SAE 930348, 1993.  
 4) M. K. Shin, K. J. Park, G. J. Park, "Occupant Analysis and Seat Design to Reduce the Neck Injury for Rear End Impact," SAE 99370296, 1999.  
 5) H. S. Kim, Y. E. Kim, "Development of a Model for the Analysis of Occupant Response subjects in Low-Speed Rear-End Collision," SAE 2000-03-0054, 2000.  
 6) PAM-SAFE User's Manual the Software Company of ESI Group, Inc., 2001.  
 7) T. J. R. Hughes, The Finite Element Method, Prentice-Hall, Inc., 1987.  
 8) K. J. Bathe, Finite Element Procedures, Prentice-Hall, Inc., 1987.  
 9) HWARANGGISUL, and MIRR Pro Engineer Ver. 2001-2002 Performance Design Scientific Technique, 2002.  
 10) HYPERMESH User's Manual Revision 5.0, YEWON, Inc., 2002.  
 11) T. C. lin, W. W. Charles, B. K. Tawfik, "Evaluation of the Hybrid III Dummy Interactions with Air Bag in Frontal Crash by Finite Element Simulation," 39th Stapp Car Crash Conference Proceedings, No.952705, 1995.  
 12) GENERIS User's Manual, The Software Company of ESI Group, Inc., 2001.  
 13) PAM-VIEW User's Manual, The Software Company of ESI Group, Inc., 2001.  
 14) E. P. Hong, M. K. Shin, G. J. Park, "Determination of Crash Pulse to Minimize Injuries of Occupants and Optimization of Crash Components Using Response Surface Method," Transactions of KSAE, Vol.9, No.2, 2001.