Transactions of KSAE, Vol. 13, No. 4, pp.160-166 (2005)

Copyright © 2005 KSAE
1225-6382/2005/076-21

RV 차량 시트의 적재물 침입 강도해석

배 진 우[1] · 강 성 종[*2]

리어 코리아 기술연구소[1] · 대구가톨릭대학교 기계자동차공학부[2]

Strength Analysis of Luggage Intrusion into Recreational Vehicle Seat

Jinwoo Bae[1] · Sungjong Kang[*2]

[1]Lear Korea R&D Center, World Merdian Venture Center, Gasan-dong, Seoul 153-801, Korea
[2]School of Mechanical and Automotive Engineering, Catholic University of Daegu, Gyeongsan-si, Gyeongbuk 712-702, Korea

(Received 10 January 2005 / Accepted 10 March 2005)

Abstract : In recent, recreational vehicles, which efficiently provide wide inner space for various utilities, are highly preferred in automobile market. Though those vehicles enable to load much luggage in space behind the last seat, in case of frontal impact with high velocity the luggage strongly collides into the seat back and the passengers in the last seat could be severely injured. Therefore, high strength against luggage intrusion is required for the last seat, and it is regulated by law of ECE R17. In this study, for a recreational vehicle under developing, an analysis technique for simulating seat crash in accordance with luggage intrusion test of ECE R17 was investigated. The results exhibited good correlation with the test ones.

Key words : Luggage intrusion(적재물 침입), Impactor cylinder(임팩트 시험기), SRP(착석기준점), Headrest(머리지지대), Back frame(백 프레임), Floor mounting(플로어 마운팅)

1. 서 론

사회적 환경의 변화에 따른 주 5일 근무제 확산과 웰빙 붐이 일어나면서 가족들끼리 여행하기에 편리하고, 시트를 다양하게 이용할 수 있는 스포츠 유틸리티 차량(SUV: Sports Utility Vehicle)과 미니 밴, 다목적 차량을 찾는 소비자가 늘어나고 있다.[1,2] 이러한 레크레이셔널 차량(RV: Recreational Vehicle)들은 넓은 짐칸(luggage room)을 확보하기 위해서 시트 등판을 접는 백 폴딩(back folding), 등판을 접은 후 시트전체를 세울 수 있는 더블 폴딩(double folding)과 같은 기능을 갖춘 다기능 시트를 적용하고 있다. 그러나 넓은 실내공간에 많은 짐을 실을 수 있는 장점이 있는 반면에, 차량이 충돌하거나 급제동시 적재되어있는 화물이 앞으로 운동하여 마지막 시트 승객에게 치명적 상해를 입힐 수 있는 위험이 있으므로, 이에 대비하여 시트의 충돌강도를 충분히 확보할 필요가 있다. 유럽에서는 이를 법규 시험항목(ECE R17 : luggage block intrusion test)으로 제정하였으며, 시험에서 차량의 가속도와 시트의 머리지지대(headrest), 백 프레임(back frame) 최대 변위량을 규제하고 있다. 본 연구에서는 ECE R17 법규에 준하여 적재물 침입에 의한 시트충돌 거동을 모사하기 위한 해석기술을 개발하였다. 개발 중인 SUV 차량 시트를 대상으로 시험과 해석을 비교, 검증함으로써 해석의 신뢰성을 확인하고, 그 결과를

*To whom correspondence should be addressed.
sjkang@cu.ac.kr

설계에 반영하였다. 해석은 비선형해석 프로그램인 LS-DYNA를 사용하였다.[3]

2. 법규 및 시험조건

ECE R17은 전방 충돌 시 차량 짐칸의 적재물이 전방으로 운동하여 시트 뒷면에 부딪히면서 큰 변형을 발생시키고, 시트가 과도하게 앞으로 접히면서 시트에 앉아 있던 승객에게 상해를 입히는 것에 대비한 법규이다. 시험블록의 형상 및 규격, 시험블록의 위치선정, 시험방법, 평가 기준 등을 주요 내용으로 하고 있다.[4]

2.1 시험 블록의 제원 및 위치

시험블록은 강체로서 기하학적 중심과 무게 중심이 일치해야 하며 재질은 정해져 있지 않으나 일반적으로 목형을 사용한다. 형상은 Fig. 1과 같이 한 변의 길이가 300mm인 정육면체로 각 모서리는 라운드(R=20mm) 처리 되어있으며, 무게는 18kg이다.

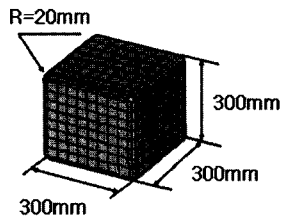


Fig. 1 Luggage block

시험블록은 Fig. 2와 같이 시트에서 수평거리로 200mm 떨어진 위치에 놓여지며, 2열 시트의 경우 2개의 블록을 차량중심선을 기준으로 좌 · 우 25mm 씩 50mm의 거리를 두고 위치시킨다.

2.2 시험 방법

시험은 Fig. 3과 같이 대차(sled) 위에 차체(BIW)를 고정시키고 시험하고자 하는 시트를 장착시킨 후, 법규에 정해진 위치에 시험블록을 놓고 대차에 임팩터 시험기(impactor cylinder)의한 충격을 가해 대차를 가속운동 시켜 정면충돌을 재현한다.

이때, 차체에서 측정된 가속도가 Fig. 3 아래 우측과 같이 법규 규정범위를 만족하고 시험 블록과 시

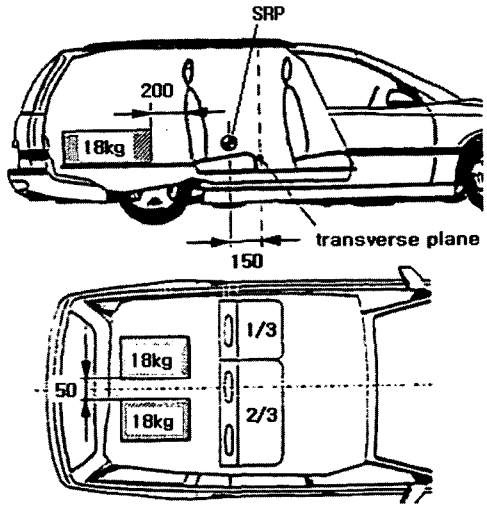


Fig. 2 Block position before testing

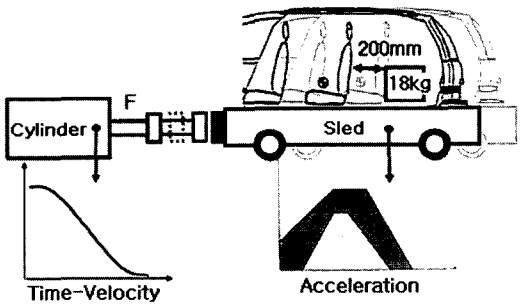


Fig. 3 Generation of sled acceleration

트가 충돌하는 순간 대차 속도가 $50^{+0}_{-2} km/h$ 가 되도록, 시험기를 통해 대차에 가해질 임팩터의 속도 이력을 결정한다.

법규에서 규정한 가속도 범위는 특이함수(singularity function)에 의해 다음 식으로 표현된다.

$$a_1(t) \le a(t) \le a_2(t) \tag{1}$$

$$a_1(t) = \frac{20g}{0.02} < t-0.03 >^1 - \frac{20g}{0.02} < t-0.05 >^1 - \frac{20g}{0.038} < t-0.062 >^1 + \frac{20g}{0.038} < t-0.10 >^1$$

$$a_2(t) = 10g < t-0 >^0 + \frac{18g}{0.048} < t-0 >^1 - \frac{18g}{0.048} < t-0.048 >^1 - \frac{28g}{0.047} < t-0.078 >^1 + \frac{28g}{0.047} < t-0.125 >^1$$

2.3 시험 결과 분석

대차 위에 장착된 차체에 파이프로 지그를 만들고 좌, 우, 상 방향 세 곳에 고속 카메라를 설치하여 실시간 동영상 파일을 저장하게 되며, 이를 통해 시트의 거동을 확인할 수 있다. 더불어 차체 내부에 법규 허용 최대변위가 표시된 빔 구조물을 설치하여, 만족 여부를 손쉽게 판단할 수 있도록 한다.

2.4 평가 기준

시트의 최대 변위는 Fig. 4와 같이 머리지지대는 SRP(Seating Reference Point) 전방 150mm 이내, 백프레임은 SRP 전방 100mm 이내가 되어야 한다.

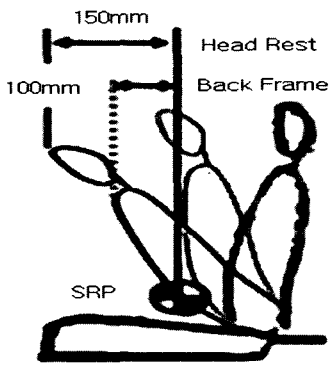


Fig. 4 Displacement limits required by ECE R17

3. 해 석

기존에는 시트를 고정한 상태에서 블록에 속도를 가하여 시트에 충돌시키는 방법을 사용하기도 하였으나, 실제 시험에서는 전방에서 임팩터가 대차를 가격함에 따라 대차가 뒤로 가속운동을 하게 되고, 전방 관성력을 받으면서 후방으로 운동 중인 시트에 전방으로 가속된 블록이 충돌하게 되므로 해석에서도 시험과 같이 시트의 관성운동을 고려하여 해석 하였다.

임팩터에 의해 대차에 가해지는 속도곡선은 완성차업체에서 법규시험에 사용하기 위해 산출한 곡선을 적용하였다.

3.1 1차 해석

설계 초기단계 모델에 대한 해석을 실시하여 법규 만족 여부 및 설계 문제점을 파악하였다.

3.1.1 모델 구성

해석 모델은 Fig. 5에서 보듯이 전체적으로 쉘 요소(shell element)로 구성되었으며, 시트의 총 요소수는 24,535개 이며, 블록과 플로어 요소 수는 1,403개이다. 하중을 실차처럼 부여하기위하여 Fig. 5의 A에서처럼 모든 플로어 마운팅 하단부에 강체 플레이트를 모델링 하여 시험에서 임팩트에 의해 가해진 속도이력을 입력하였다. 용접부 E는 강체링크로 연결하였으며, 핀으로 연결된 B부와 백폴딩을 하는 C부에는 회전 조인트(revolution joint)을 정의하여 축 방향 회전이 가능하게 모델링 하였다.[5,6]

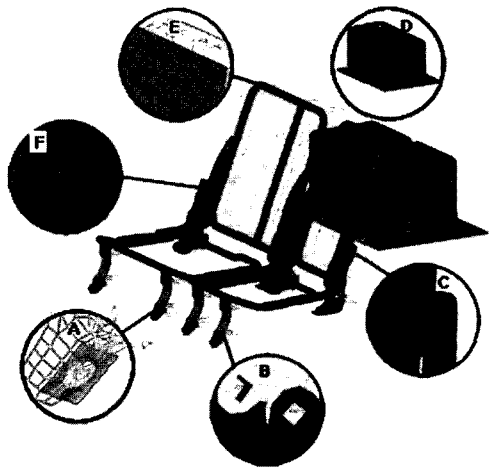


Fig. 5 Model for the first stage analysis

리클라이너(recliner) 부는 충분히 충격에 강도가 유지된다고 가정하여 강체로 모델링 하였으며, 상호 접촉이 예상되는 시트 구조물 사이(마찰계수=0.12)와 블록과 플로어 사이(마찰계수=0)에 접촉 조건을 부여하였다.[7] 또한, 비선형 재료물성치는 시험 확보중인 물성 데이터베이스를 적용하였다.

3.1.2 해석 결과

시트 블록이 충돌함에 따라, 시트 백 프레임(seat back frame)은 최대의 변형이 일어나게 되며. 이후 시간의 경과에 따라 시트는 안정화되고 영구변형이 남게 된다.

1차 해석을 수행한 결과, Fig. 6과 같이 강체부에서 측정한 가속도 파형이 법규를 만족하였다. 시험

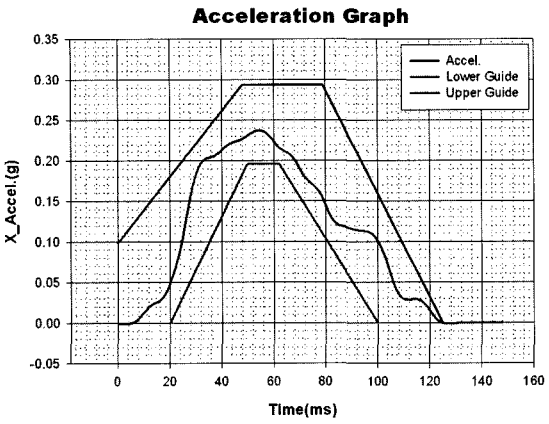


Fig. 6 Sled acceleration curve

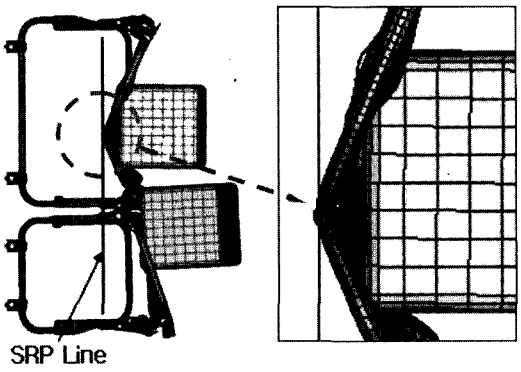


Fig. 7 Deformation (Top view)

의 경우 시트 백 프레임에 패드와 커버링이 결합된 상태이지만, 해석에서는 단지 프레임 상태에서 해석을 수행하였으므로, 해석결과에 프레임 변형량에 백 프레임 외측에서 패드 끝단까지의 거리 100mm를 감안하여 변형거리를 산출하였다.

Fig. 7로부터 패드두께를 고려하여 백 프레임이 최대변위가 SRP 기준으로 100mm를 초과하는 것으로 나타났으며, 이는 특정 플로어 마운팅(floor mounting)부의 브래킷(bracket)에서의 과도한 국부변형과 국부응력이 원인이라 판단되었다. 따라서 적재물과 충돌 시에 시트의 변형감소를 위해서는, 우선적으로 플로어 마운팅 방법과 형상 변화를 통해 각 마운팅 부의 발생 반력을 되도록 고르게 할 필요가 있으므로 여러 가지 변화 모델을 구성하여 충돌해석을 통해 반력 분포를 비교 분석하였다.

3.2 반력 비교 해석

3.2.1 플로어 마운팅 부 모델 구성

초기 모델을 바탕으로 마운팅 브라켓의 형상 및 두께 변화에 따라 총 6가지 새로운 해석모델들을 구성하였다. Fig. 8은 플로어 마운팅 부 구성 및 명칭을 나타내며, Fig. 9는 대표적인 플로어 마운팅 부 모델 4가지를 나타낸다. 해석에서 마운팅 부의 반력을 산출하기 위하여 그 부분에 구 조인트(spherical joint)를 사용하였으며, 각 모델의 특징은 Table 1과 같다.

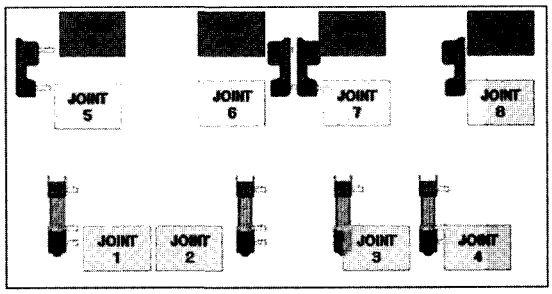


Fig. 8 Names of floor mountings

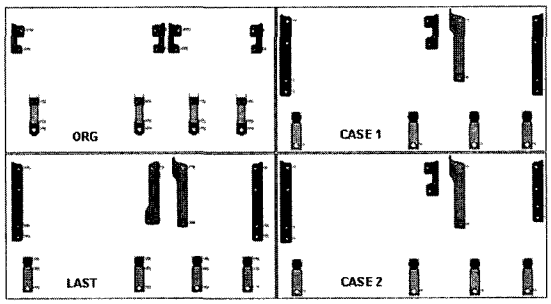


Fig. 9 Floor mounting models

Table 1 Feature of floor mounting models

모델명	특 징
ORG	초기 사양
LAST	마운팅 브라켓 형상 변경 및 길이확장. JOINT 6과 10 사이 두 겹 보완
LAST_MOD	모델 LAST에서 JOINT 6과 10 사이 인너 브라켓 삭제
CASE 1	모델 LAST + JOINT 6과 10을 모델 ORG와 동일하게 함.
CASE 2	CASE 1 + JOINT 8과 12 사이 길이 축소
CASE 3	CASE 1 + JOINT 6과 10 사이 보강재 삭제
CASE 4	CASE 3 + JOINT 8과 12 사이 길이 축소

3.2.2 반력결과 비교

마운팅 부의 각 조인트별로 발생되는 반력의 크기를 Fig. 10에 나타내었다. 모든 조인트에 균일하게 작은 반력이 분포되는 것이 가장 바람직하나, 모델 ORG의 경우 조인트 5, 11, 12에서 반력이 크게 산출됨을 알 수 있으며, 이로 인해 1차 해석에서 해당 마운팅 부에 국부적인 변형이 발생하고 있음을 알 수 있다.

반면, 모델 LAST, CASE3에서는 전체적으로 반력의 크기가 고르게 분포함을 알 수 있으며, 이는 시트에 작용되는 하중이 국부적 집중 없이 고르게 마운팅 부로 전달됨을 나타내며, 결국 국부적인 변형 발생이 억제되어 시트 백 프레임 전방 변형이 감소되어 시트강도에 매우 유리한 결과가 산출되리라 기대할 수 있다.

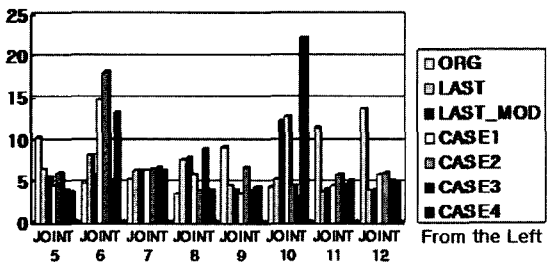


Fig. 10 Reaction forces developed at floor mountings

3.3 2차 해석 및 ECE R17 시험

플로어 마운팅부를 변경하고 백프레임 일부를 보강한 수정모델을 구성하여, 추가 해석을 수행하였다.

3.3.1 해석

앞의 해석결과로부터 마운팅부 반력이 고르게 나타나는 모델 LAST를 기준으로 Fig. 11에서처럼 마운팅 브래킷을 변경하였고, 백 프레임 강도를 향상시키기 위해 블록이 집중적 충돌이 발생하는(Fig. 7), 우측 시트의 백 프레임 안쪽 아래에 보강 브래킷을 추가하였다. 다른 부분은 기존 1차 해석과 동일하게 구성하였으며 1차 해석과 동일한 기법을 사용하여 해석을 수행하였다. Fig. 12는 블록의 시트 충돌 과정을 단계적으로 나타내고 있다.

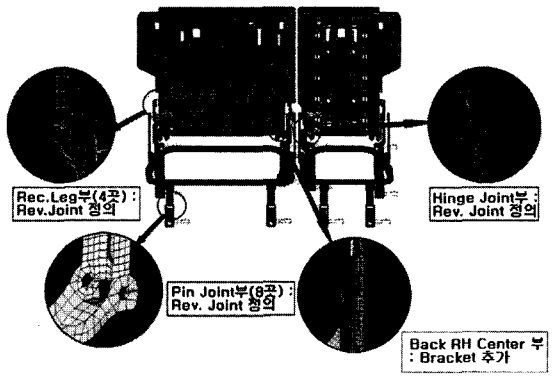


Fig. 11 Model for the second stage analysis

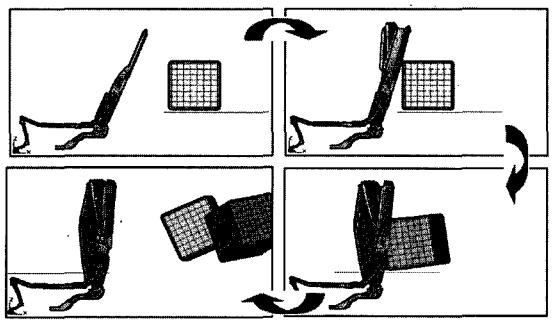


Fig. 12 Analysis results: Deforming process

3.3.2 ECE R17 시험

변위 측정은 측면 고속카메라를 통해 판독하였으며, Fig. 13에 보이는 것처럼 전방에 구조물을 설치하여 간단히 법규 만족 여부를 판단하였다.

Fig. 13 Test results: Deforming process

3.3.3 결과 분석

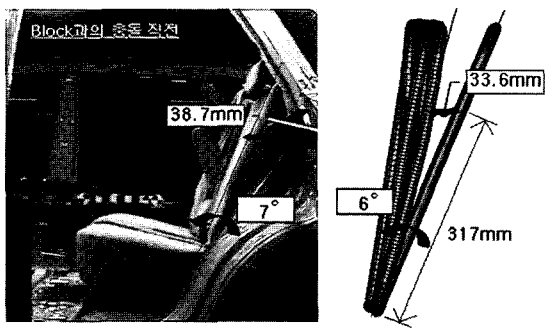
1) 시트 백 프레임 충돌 직전 변형

블록이 시트 백 프레임에 충돌하기 직전 리클라이너 위치에서 317mm 떨어진 지점(해석에서 변형이 크게 예측된 지점)에서의 백프레임 전 방향 변위와 리클라이너에서의 회전각에 대한 시험과 해석 결과를 Fig. 14에 나타내었다. 시험 결과 백 프레임의 전방향 변위 38.7mm, 회전각 약 7°가 발생되었으며, 해석결과는 백 프레임의 전방향 변위 33.6mm, 회전각 약 6°가 산출되었다. 따라서, 시험 블록이 충돌직전까지 시험과 해석 결과가 잘 일치되고 있어 해석모델의 신뢰성을 나타내고 있다.

2) 최대변위 발생

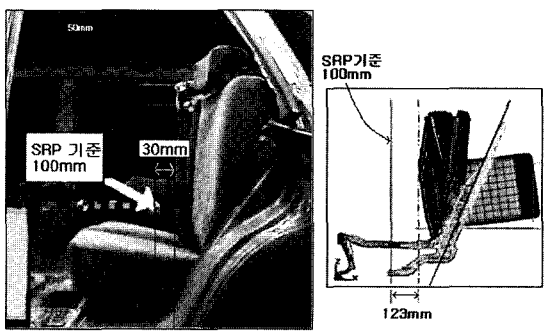
최대변위의 경우 1차 해석과 마찬가지로 백 프레임 상태인 해석 결과에 백 프레임 외측에서 패드까지의 거리 100mm를 고려하여 법규 만족 여부를 검토하였다.

Fig. 15는 최대변위 발생시의 모습을 나타내며,



(a) Test (b) Analysis

Fig. 14 Deformation before being impacted by blocks



(a) Test (b) Analysis

Fig. 15 Maximum displacement

변위는 SRP 100mm를 기준으로 시험의 경우 후방 30mm, 해석에서는 후방 23mm로 나타나, 모두 법규를 충분히 만족시키고 있음을 알 수 있었다.

4. 결 론

RV 시트에 대하여 법규 ECE R17에 준하는 적재물 침입 강도해석을 수행하였고, 시험 결과와 비교 검토하였다.

먼저, 초기 사양에 대해 시험과 같이 시트의 관성을 고려한 모델을 구성하여 해석결과를 고찰하였으며, 플로어 마운팅 브라켓 형상을 변경하면서 작용력이 균등하게 되도록 설계안을 도출하였다. 다음으로 플로어 마운팅 브라켓과 시트 백 프레임을 보강한 개선사양에 대해 모델을 구성하여 해석하고, 시험을 수행한 결과 충돌직전의 변위와 최대변위 모두 매우 근접하게 산출되었다.

이를 통해 해석기술의 신뢰성을 확인할 수 있었으며, 유럽 수출용 차량의 시트에 적용되는 법규 ECE R17 성능을 해석적으로 평가할 수 있는 설계기술을 확보하였다.

References

1) D. S. Lim, S. H. Kim, H. Y. Kim and W. K. Na, "Study on Application of High Strength Frame to Rear Center Belt-in Seat for Entry-level Sedan," Spring Conference Proceeding, KSAE, pp.1139 -1144, 2004.
2) H. Y. Kim and S. K. Lee, "Prediction of Impact Characteristics for Automobile Seat," Transactions of KSAE, Vol.7, No.3, pp.196-204, 1999.
3) LSTC, LS-DYNA Keyword User's Manual; Nonlinear Dynamic Analysis of Structure, May, 1999.
4) "Regulation No.17 Annex 9 ; Test Procedure for Device Intended the Occupants against Displacement of Luggage," E/ECE/TRANSE/505, pp.54-58, 2002.
5) S. J. Kang and B. K. Chun, "An Effective Approach to Prediction of the Collapse Mode in Automotive Seat Structure," Thin-Walled

Structures, Vol.37, pp.113-125, 2000.

6) S. J. Kang and B. K. Chun, "Strength Analysis of Automotive Seat Belt Anchorage," Int. J. of Vehicle Design, Vol.26, No.5, pp.496-508, 2001.

7) J. M. Lim and I. S. Jang, "The Strength Analysis of Passenger Car Seat Frame," Transactions of KSAE, Vol.11, No.6, pp.205-212, 2003.