

## 자동차용 라운드 리클라이너 정적/동적 구조 강도 평가

이 동 재<sup>1)</sup> · 박 창 수<sup>1)</sup> · 이 경 택<sup>1)</sup> · 김 상 범<sup>2)</sup> · 김 현 영<sup>3)</sup>

(주)윤영<sup>1)</sup> · 강원대학교 기계메카트로닉스공학부<sup>2,3)</sup>

### Evaluation of Static/Dynamic Structural Strength for Automotive Round Recliner

Dongjae Lee<sup>1)</sup> · Changsoo Park<sup>1)</sup> · Kyoungteak Lee<sup>1)</sup> · Sangbum Kim<sup>2)</sup> · Heonyoung Kim<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Yoonyoung Company, 633-2 IAE 4th, Koan-ri, Backam-myun, Yongin-si, Gyeonggi 449-863, Korea

<sup>2)</sup>Institute of Industrial Technology, Kangwon National University, Gangwon 200-701, Korea

<sup>3)</sup>Division of Mechanical and Mechatronics Engineering, Kangwon National University, Gangwon 200-701, Korea

(Received 27 July 2004 / Accepted 24 November 2004)

**Abstract** : This study presents the development of a round recliner using the finite element method. That reduces the number of test repeating times and gives an information about stiffness. A simulation model of round recliner mounting seat module and tooth strength simulation are established using a PAM-CRASH and ABAQUS. With the optimization of gear profile, structural strength design of round recliner was achieved. The round recliner seat module simulation, structure strength simulation and a crash safety are requested by FMVSS test. Solution of round recliner optimum variable study and design problem are searched for round recliner stress, deformation and application. Also an examination of safety is made.

**Key words** : Finite element method(유한요소법), FMVSS(북미자동차 안전기준), Structural analysis(구조해석), Round recliner(라운드 리클라이너)

### 1. 서 론

자동차 산업에서는 제품의 성능이나 품질의 향상은 물론 개발기간의 단축과 생산비용의 절감 등이 요구되고 있다. 또한, 안전띠(seat belt), 시트(seat) 등 승객의 안전과 직결되는 장치에 대해 CAE 기법을 확대 적용하여 안전도를 높이는 방향으로 제품을 설계, 생산하고 있다.<sup>1,4)</sup> 이러한 승객안전장치 중에서 차량용 시트는 승용차에서 상용차에 이르기까지 기본적으로 적용되는 부품으로 단순한 좌석의 기능을 넘어 차량 주행 시 전달되는 충격이나 진동을 적

절하게 흡수하여 승객에게 안락한 승차감을 제공하고, 사고 시에는 승객을 보호하는 중요한 역할을 한다. 이와 같은 다양한 기능 때문에 차량용 시트는 충돌성능, 승차성능, NVH(noise vibration harshness)성능 등을 동시에 만족하는 설계가 이루어져야 한다. 또한, 차량 장착성, 최소중량, 최적가격까지 고려하여 개발이 이루어져야 한다. 차량용 시트는 쿠션부와 철제 구조물로 이루어지며 철제 구조물은 다시 백 프레임(back frame), 리클라이너(recliner), 시트 트랙(seat track)으로 나누어진다.<sup>2-7)</sup> 리클라이너는 시트 트랙과 백 프레임을 연결하는 부품으로 시트의 등받이 각도를 조절하는 기능을 한다. Fig. 1은 차량용 시트 구조물과 리클라이너이다. 기존의 리클

\*To whom correspondence should be addressed.  
khy@kangwon.ac.kr



Fig. 1 Conventional recliner module of automotive seat

라이너는 주변 부품의 구조에 따라 다른 형상으로 설계되어 리클라이너를 구성하고 있는 부품도 기존의 제품과 공용화가 거의 어렵다. 또한 구성 부품수도 16~18개 정도로 제품의 제조, 조립, 관리 등에서 심각한 문제가 발생하고 있으며, 이것은 원가와 품질 측면에서 제품 경쟁력에 심각한 영향을 주고 있다. 한편 해외에서 최근에 각광 받고 있는 라운드형 리클라이너는 기존의 리클라이너에 비해 작동, 내구, 충돌 성능에서 우수하며 모든 차량의 시트 부품의 공용화가 가능하다는 특징을 가지고 있다. 동일한 리클라이너를 대량 생산함으로써 생산성과 품질이 크게 개선되고, 제품의 설계 및 개발비용도 크게 줄일 수 있어 제품의 경쟁력을 크게 확보할 수 있다.<sup>8-10)</sup>

본 연구에서는 시작품 제작 횟수를 줄이고 설계 단계에서 강성에 대한 정보를 제공하기 위하여 유한요소해석을 적용하였으며, 라운드 리클라이너의 형상 최적화를 위하여 단품 구조/강도 해석을 수행하였다. 또한, 최적 치형 설계에 관한 연구를 수행하였으며, 각종 법규에 대응한 해석을 수행하여 시트 모듈과 관련된 구조 및 강성해석, 충돌안전도 해석을 수행함으로써 라운드 리클라이너의 안전성과 신뢰성을 검토하였다.<sup>11)</sup>

## 2. 라운드 리클라이너의 구조

리클라이너는 대표적으로 외치차 형(external type), 내치차 형(internal type), 다이얼 형(dial type)의

3가지 종류가 있다. 외치차 형은 조작이 간편하며 자기회복(self return)이 가능하고 유격이 작은 반면에 크기가 크고 이중 형(dual type) 적용이 곤란한 단점이 있으며, 중량은 대략 1.4kg이다. 내치차 형은 조작이 간편하고 자기회복이 가능하며 이중 형에 적용이 용이하지만, 조절 각도가 제한되어 공용화가 불리한 단점이 있으며, 중량은 대략 1.35kg이다. 다이얼 형은 크기가 작고 가벼우며 유격이 없지만, 레버(lever) 작동이 불편하고 자기회복이 안되는 단점이 있으며, 중량은 대략 0.85kg이다. Table 1은 기존의 리클라이너와 라운드 리클라이너를 비교한 표이다. 개발하고자 하는 라운드 리클라이너는 지름 72mm의 원형 형상의 캠과 기어를 일체화하여 내장한 형태로서 이 부품을 프레임의 브래킷(bracket)에 연결하여 시트 구조물에 장착하도록 한다. 라운드 리클라이너는 Fig. 2와 같이 360° 전 구간 작동하고 PCD(pitch circle diameter)는 직경 66mm의 구조를 갖으며, 중량은 1.0kg이다.

Table 1 Comparison between conventional recliner and round recliner

	Conventional recliner	Round recliner
No. of Parts	12~16	8~10
Weight	1.0~1.5 kg	1.0 kg
Price	10,000 won/EA	6,000 won / EA

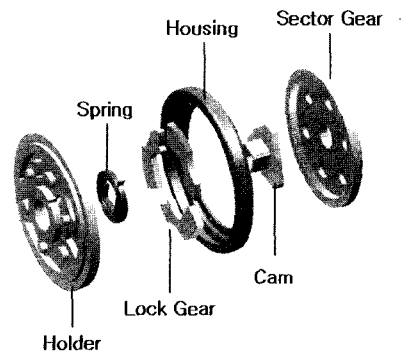


Fig. 2 Assemblage of round recliner

## 3. 강도평가 조건 및 유한요소 모델링

시트 구조물에 라운드 리클라이너를 장착하였을 때 시트 구조물의 신뢰성을 평가하기 위하여 북미 자동차 안전기준(FMVSS) 및 국내 자동차안전기준

에 따른 시트 강도 평가 항목인 시트 안전띠 부착장치 강도 시험(FMVSS 210)과 시트백 후방 모멘트 시험(FMVSS 207)에 대한 해석을 실시하였으며, 라운드 리클라이너 단품에 대한 정적 구조 강도 평가 방법을 제시 하였다. 시험 조건은 다음과 같다. 좌석 안전띠 부착장치 강도 시험 조건은 랩 벨트 시스템(lap belt system)에 22.24kN의 정 하중을 가하며, 랩 앤 숄더 벨트 시스템(lap and shoulder belt system)의 경우에는 각각의 바디블록에 13.35kN의 하중을 가한다. 하중 방향은 수평선을 기준으로 5~15° 상향이며, 이때 시트에 과도한 파손이나 변형이 발생하면 안 된다. 바디 블록과 시트 벨트의 처리는 접촉 처리를 하였으며 용접, 리벳, 볼트 등의 체결부위는 파손이나 변형이 없다고 간주하여 강체(rigid body) 결합하여 표현하였다. 변형량은 P1 과 P2의 두 점에서 측정하였다(Fig. 3). 시트 구조물의 요소 수는 총 14,056개 이며 절점 수는 14,850개이다. 요소의 평균 크기는 10mm로 균일하게 모델링 되었다. Fig. 4는 시트백 후방 모멘트 시험의 조건으로 최후방 위치에서 착석기준점에 대해 0.79kN의 힘을 시트백의 상부 가로 부재(upper cross member)에 수평하게 가한다.<sup>12)</sup>

기존 시트에서 리클라이너부를 제거한 후 라운드 리클라이너를 장착하여 강도 평가를 수행하기 위하여 라운드 리클라이너의 기어 부를 제외하고 모델링을 수행하였다. 부품은 1,524개의 육면체 요소를 사용하여 모델링 하였고, 요소의 평균 크기는 5mm로 균일하다. 라운드 리클라이너의 단품 정적 구조 강도 해석은 라운드 리클라이너의 arm에 1,000mm의 강체 봉(rigid bar)을 이용하여 605kgf·m의 모멘트를 가하도록 한다. 여기서 모멘트는 신 FMVSS 301 시험의 벤치마킹을 통하여, 인체모형(dummy)의 머리가 머리지지대(head rest)를 가할 때의 충격을 구한 값이다. Fig. 5는 강도 해석의 경계조건을 나타낸다.

라운드 리클라이너의 구조 강도 해석 시 기어 강도 해석을 위하여 라운드 리클라이너의 기어를 모델링 하였다. 요소 수는 121,800개의 셀 요소로 모델링 하였다. Fig. 5와 같은 경계조건을 부여하기 위하여 캠(cam)의 안쪽 면과 홀더(holder)를 고정 시킨 후

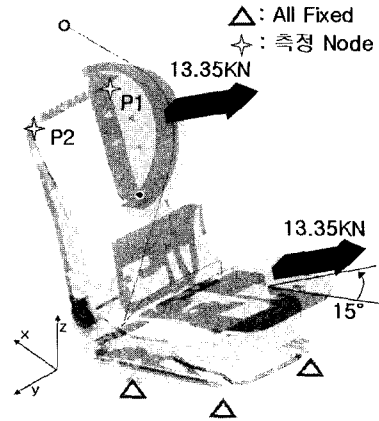


Fig. 3 Boundary conditions of FMVSS 210 test

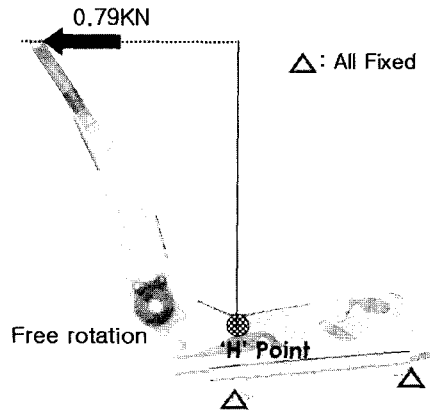


Fig. 4 Boundary conditions of FMVSS 207 test

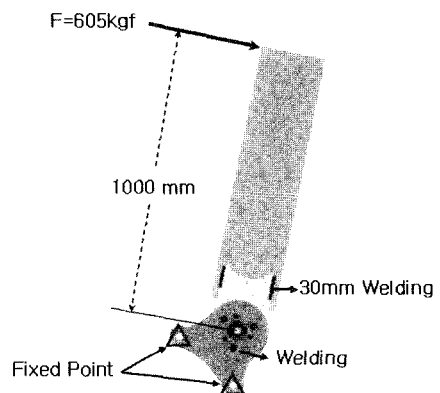


Fig. 5 Boundary conditions of static strength test of recliner

섹터 기어(sector gear)에 605kgf·m의 모멘트를 가하였다. Fig. 6은 라운드 리클라이너 구조 강도평가의 경계조건이다.

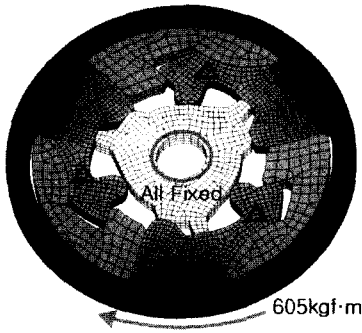


Fig. 6 Boundary conditions of static strength of round recliner

#### 4. 시트 모듈의 구조 강도 평가

##### 4.1 시트 모듈의 FMVSS 210 시험

기존 시트와 라운드 리클라이너를 장착한 시트의 시트벨트 앵커리지 시험을 해석하여 분석하였다. 기존 시트와 라운드 리클라이너를 장착한 시트 모두 최대하중을 부과하더라도 시트의 붕괴가 발생하지 않았다. 기존 시트 모듈의 P1과 P2의 변형은 각각 13.64mm와 36.11mm가 발생하였다. 또한 873.9MPa의 최대 응력이 트랙부에서 발생하였다. 라운드 리클라이너를 장착한 시트 모듈은 Fig. 7에서 보듯이 P1과 P2의 변형은 각각 19.343mm와 47.52mm이었으며, 599MPa의 최대 응력이 트랙부에서 발생하였다. 두 모델 모두 시트 구조물에서의 최대 응력치가 항복강도(DOCOL800DF, 875MPa)를 기준으로 안정함을 확인할 수가 있다.

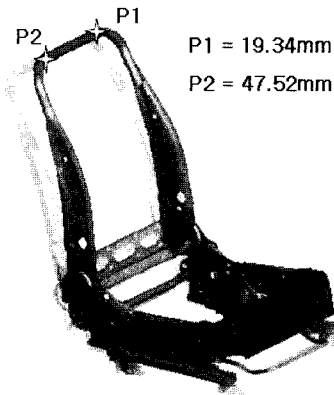


Fig. 7 Maximum displacement and deformed shape (FMVSS 210 Test)

##### 4.2 시트 모듈의 FMVSS 207 시험

시트의 백 프레임과 리클라이너의 암(arm)과 베이스(base)의 연결 부위의 강성을 평가하기 위하여 기존 시트 모듈과 라운드 리클라이너를 장착한 시트 모듈의 시트백 후방 모멘트 시험을 해석하여 비교하였다. 기존 시트 모듈의 해석 결과 최대하중 부과 이후 시트의 붕괴가 발생하지 않았으며, P1과 P2의 변형은 각각 5.906mm와 6.632mm로 좌우측의 상대 변위는 0.726mm 발생하였다. 또한 641MPa의 최대하중이 트랙부에 발생하였으며, 쿠션 사이드 멤버(cushion side member)에도 집중응력이 발생하였다. 라운드 리클라이너를 장착한 시트 모듈의 해석 결과 P1과 P2의 변형은 각각 18.348mm와 19.663mm로 좌우측의 상대 변위는 1.315mm 발생하였다. 또한 603.4MPa의 최대응력이 트랙부에 발생하였지만 과도한 변형이 발생하지 않았으며 항복응력 이하의 응력으로 구조적 안정성을 확인할 수가 있다. Fig. 8은 해석 결과의 최대 변위를 나타낸 것이다.



Fig. 8 Deformed shape (FMVSS 207 test)

##### 4.3 정적 구조 강도 해석

라운드 리클라이너의 단품을 구성하는 각각의 부품에 적합한 강도 기준 및 재료를 선정하기 위하여 여러 가지의 재료 모델에 대한 해석을 Fig. 6과 같은 시험조건으로 수행하였다. 암과 베이스는 2가지 재료, 라운드 리클라이너 부품은 3가지 재료를 사용하여 총 6가지의 경우에 해당하는 모델을 만들어 평가하였다. Fig. 9는 SAPH 440과 SPFH 590을 적용한 모델의 해석 결과이다.

SAPH 440의 경우, 항복강도 이상의 응력이 발생한 반면, SPFH 590을 적용하여 해석한 결과, 항복강

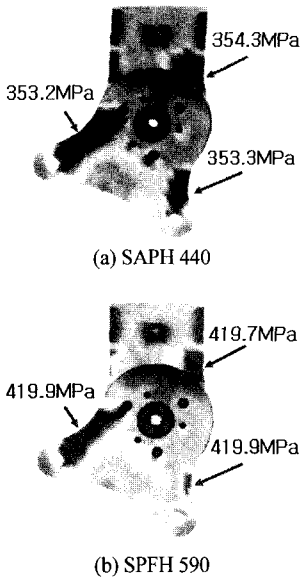


Fig. 9 Maximum stress distribution(static strength analysis)

Table 2 Material properties of SAPH 440 and SPFH 590

	SAPH 440	SPFH 590
항복강도(MPa)	338.9	518.2
파단강도(MPa)	583.5	668.4

도 이하의 응력이 발생하였으며 구조적 안정성을 확인할 수가 있다. Table 2는 SAPH 440과 SPFH 590의 재료 물성치이다.

#### 4.4 기어부 구조 강도 해석

라운드 리클라이너의 구조 강도와 안정성을 확보하기 위하여 기어부의 치형에 대한 구조 강도 해석을 실시하였다. Fig. 10은 기어부 구조 강도 해석의 유효응력 분포이다. 치형에 대한 유효응력과 주응력을 비교 분석한 결과, 락 기어와 섹터 기어에서 재

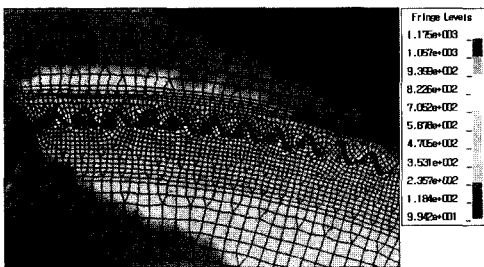


Fig. 10 Effective stress distribution of lock gear and sector gear(static strength analysis)

료의 항복응력을 초과하는 1.175GPa의 응력이 발생하였지만, 연신률 5% 미만의 소성변형률이 발생하였다. 약간의 변형은 발생하나, 파단에는 이르지 않을 것으로 판단된다. 향후 실제 시험과 보정을 통하여 추가 검증이 필요할 것이다.

### 5. 신 후방 충돌 시험

신 FMVSS 301 시험 법규는 기존 FMVSS 301 시험에 비해 가혹한 시험 조건을 가지고 있을 뿐 아니라 새로이 승객이 입는 상해 측정 항목을 추가 하였다. 후방 충돌에 의해 머리나 목의 상해로 인한 사상자가 많이 발생하자 후방 충돌에서도 승객을 보호하는데 초점을 맞춘 좀 더 엄격해진 후방 충돌 성능을 요구하여 상해를 낮추고자 하는 노력에서 신 FMVSS 301 법규가 제정되었다. 법규내용은 다음과 같다. 후방 충돌 법규에서 사용되던 강체 대차(rigid barrier)를 신 후방 충돌 법규에서는 FMVSS 214 측면 충돌에 사용하는 변형가능한 대차(deformable barrier)로 바뀌었다. 대차의 중량은 1362kg으로 줄었으나 충돌 속도가 80.5km/h로 상승하여 최종적으로 기존에 비해 2배 정도의 운동 에너지가 상승하였다. 충돌모드는 Fig. 11에서 보듯이 연료 주입구가 위치하는 쪽으로 70% 오프셋(offset)모드로 바뀌었다. 운전석과 조수석에 Hybrid III 50<sup>th</sup> 인체모형을 좌좌시켜 새로이 승객 상해를 측정하는 항목이 추가되었다. Fig. 12처럼 라운드 리클라이너를 장착한 시트 모듈에 더미를 좌좌시켰으며, Fig. 13의 실차 가속도 시험 결과를 이용하였다. 해석 결과 Fig. 14와 같은 시트 및 더미의 변형 양상을 보였으며, 머리상해치(HIC, head injury criteria)가 1000이하의 값인 690.13이고 목상해지수(N<sub>ij</sub>, neck injury)도 0.49로 1을 초과하지 않으며, corridor의 영역 안에 목 상해치가 존재하므로 안정성을 확인할 수 있다.

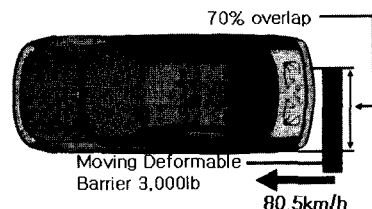


Fig. 11 Boundary conditions of FMVSS 301 test

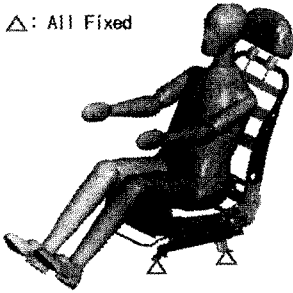


Fig. 12 Finite element method of FMVSS 301 test

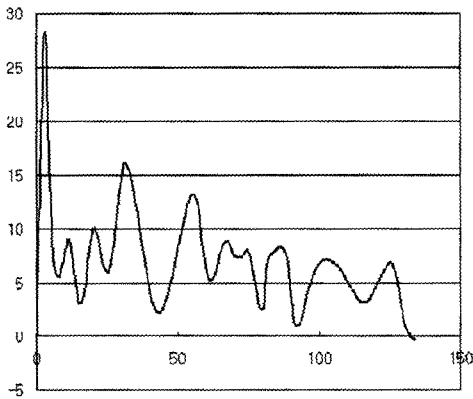


Fig. 13 Acceleration pulse used in real FMVSS 301 test



Fig. 14 Deformed shape(FMVSS 301 test)

## 6. 결론

- 1) FMVSS 210 시험 규정에 의거한 기존 시트와 라운드 리클라이너를 장착한 시트의 해석 결과 최대하중 부과 이후 붕괴가 발생하지 않았으며, 두 모델 모두 쿠션 사이드 멤버와 트랙 부에 집중응력이 발생하였는데 이는 재료의 항복응력 이하의 응력이므로 구조적 안정성을 확인 할 수가 있다.
- 2) FMVSS 207 시험 규정에 의거한 기존 시트와 라

운드 리클라이너를 장착한 시트의 해석 결과 최대하중 부과 이후 시트의 붕괴가 발생하지 않았으며, 구조적 안정성을 확인할 수가 있다.

- 3) 기어부의 구조 강도 해석 결과, 락 기어의 거의 모든 치형에서 섹터 기어와 접촉하는 부위의 최대주응력 값과 유효응력 값이 항복응력을 초과하였다. 소성변형을 역시 락 기어의 모든 치형에서 파단연신을 5% 미만으로 약간의 변형은 발생하나 파단에는 이르지 않는다는 결과를 얻었다.
- 4) 신 FMVSS 301 시험에서 HIC가 1000이하의 값인 690.3이고,  $N_{ij}$ 도 0.49로 1을 초과하지 않았으며, corridor의 영역 안에 상해치 값이 존재하므로 안정성을 확인할 수가 있다.
- 5) 라운드 리클라이너의 실제 시험에 의한 해석 결과의 분석을 통하여 이를 다시 최적 설계에 반영하는 연구가 필요하다.

## References

- 1) H. Y. Lee, J. Y. Lim and H. T. Bom, "The Finite Element Analysis of Car Seat Frame According to The FMVSS Strength Test," SAE 99370210, pp.241-247, 1999.
- 2) P. Glance, "Computer-Aided Engineering of Seat Structures," SAE 861394, pp.5396-5402, 1986.
- 3) P. K. Mallick and S. Newman, "Composite Materials Technology Processes and Properties," Oxford Univ. Press, 1990.
- 4) K. N. Tribbett and J. C. Lynn, "Evaluation of Automotive Front Seat Structure Constructed of Polymer Composite," SAE 920335 pp.270-274, 1992.
- 5) J. H. Cole, "Developing a Cost Effective Integrated Structural Seat," SAE 930109, pp.154-183, 1993.
- 6) J. F. Pywell, "Automotive Seat Design Affecting Comfort and Safety," SAE 930108, pp.142-151, 1993.
- 7) J. C. Wainwright, "Integrated Restraint Seat with Composite Frame," SAE 940218, pp.9-14, 1994.
- 8) F. S. Chang and J. O. Hallquist, "Finite Ele-

- ment Analysis of Low-Density High-Hysteresis Foam Materials and the Application in the Automotive Industry,” SAE 940908, pp.699-707, 1994.
- 9) R. Nagpal and E. Y. Kuo, “A Time-Domain Fatigue Life Prediction Method For Vehicle Body Structures,” SAE 960567, pp.607-616, 1996.
- 10) Y. S. Park, J. Y. Lee, J. M. Lim and G. J. Park, “Optimum Design of the Steering Column to Minimize the Injury of an Occupant,” Int. J. of Vehicle Design, Vol.17, No.4, pp.398-414, 1996.
- 11) G. H. Choe, B. R. Song, W. I. Lee and J. W. Shim, “A Study on the Development of a Lightweight Seat Frame Structure for Automotive Vehicles,” Spring Conf. KSME, pp.170-176, 1997.
- 12) Ministry of Construction and Transportation, “Regulation Regarding Auto Safety,” Revision 2003. 2. 25, Article 350 of Ordinance of Ministry of Construction and Transportation, 2003.