

# 자동차용 차세대 통합형시트 개발을 위한 공정 및 최적화설계 기법 연구 (하이드로포밍 공법을 이용한 경량 시트프레임 설계)

표창률<sup>†</sup> · 전병희 · 조명래\* · 전한수\*\*

인덕대학 기계과 · \*인덕대학 기계설계과 · \*\*산업기술정책연구소

(2000. 1. 14. 접수 / 2000. 2. 1. 채택)

## The Study on Process and Optimal Design for Development of Next Generation Integrated Restraint Seat for Automobile (The Design of Lightweight Seat Frame made by the Hydroforming Process)

Chang-Ryul Pyo<sup>†</sup> · Byeong-Hee Jeon · Myoung-Rae Cho\* · Han-Su Jeon\*\*

Department of Mechanical Engineering, Induk Institute of Technology

<sup>†</sup>Department of Machine Design, Induk Institute of Technology · \*\*Korea Institute of Industrial Technology

(Received January 14, 2000 / Accepted February 1, 2000)

**Abstract :** The hydroforming process is rapidly gaining popularity in the sheet metal forming industry. In this study, hydroforming process is applied to the seat back frame. The load-deformation characteristics of seat frame are simulated according to the test requirements by FMVSS. Structural analyses were performed with an analysis package program named I-DEAS for the conventional and the hydroforming seat back frame. The seat back frame made by hydroforming is not only about 23 percent lightweight, but also about 20 percent high strength compared with conventional that.

### 1. 서 론

많은 자동차 부품 중 시트는 승객과 직접 접촉하여 승객의 안전과 직결되는 부품이며 동시에 안락감을 제공해야 하는 부품이다. 또한, 전체 차량 무게의 10~15%를 차지할 정도로 많은 비중을 차지하고 있기 때문에 현재 자동차 산업계에서는 시트를 경량화시키면서 동시에 강도와 안락감을 확보할 수 있는 방향으로 많은 노력을 기울이고 있다.

시트의 강도와 무게는 대부분 시트프레임에 의해서 결정되는데, 일반적인 시트프레임은 다수의 강판과 파이프를 용접과 볼트체결 방법으

로 결합해서 만들어진다. 그러나, 이와 같은 방법으로 만들어진 시트프레임은 중량도 무거우며 용접 열영향부에서 강도가 저하되는 경향이 있다. 따라서, 고강도를 유지하면서 경량인 시트프레임을 만들기 위하여 섬유강화 플라스틱(fiber reinforced plastic, FRP)같은 복합재료나 알루미늄 합금 등의 비철금속 재료를 프레임에 적용<sup>1~3)</sup>하거나 하이드로포밍, 다이캐스팅 등의 방법으로 성형하여 시트프레임을 제작하기 위한 연구가 이루어지고 있다. 이 중에서 하이드로포밍 공법은 보통 두께가 얇은 판재나 원형 또는 사각 파이프를 성형틀에 넣고 수압 또는 유압을 가하여 성형하는 방법으로서 기존의 프레스 제품에서 얻을 수 없었던 강성의 증가, 용접공정의 감소 및 급형의 절감 등의 다양한 이점이 있다. 그러나, 지금까지 하이드로포밍을 적용하기 위한 연

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
crpyo@mail.induk.ac.kr

구는 대부분 서브프레임(sub-frame) 등의 차체부품<sup>4,5)</sup>에 대하여 이루어지고 있으며, 시트프레임에 하이드로포밍을 적용하기 위한 연구보고는 거의 없었다.

따라서, 본 연구에서는 자동차용 시트프레임에 하이드로포밍 성형법을 적용하기 위한 기초적 연구로서, 시트등반이를 하이드로포밍으로 제작한 경우 대하여 FMVSS (Federal Motor Vehicle Safety Standards, 미연방 자동차안전기준) 안전기준<sup>6,7)</sup>을 적용하여 강도를 평가하고 기존 시트프레임의 강도와 비교하였다.

## 2. 하이드로포밍 성형 개요

하이드로포밍 기술은 종래의 프레스 성형 방식과는 완전히 다른 개념으로 원형 또는 사각형 강관의 안쪽에서 압력을 가함으로써 강관을 팽창시켜 원하는 모양의 골격을 제작하는 방식이다. Fig. 1은 기존의 프레스 방식 성형과 하이드로포밍 방식 성형의 공정상의 차이를 개략적으로 나타낸 것으로 종래의 방법은 최종단면을 얻기 위하여 스탬핑, 트리밍 및 점용접 공정과 같은 최소한 3가지 공정을 거쳐야 하지만, 하이드로포밍 공법을 이용하면 강관에 액압을 가하는 확관의 1가지 공정으로 제작이 가능하게 된다. 이렇게 하이드로포밍을 이용하여 성형하면, 복잡한 형상의 부품을 하나의 다이틀 이용하여 생산이 가능하므로 공정이 단축되며 얇은 두께로도 충분한 강성을 확보할 수 있다. 또한, 점용접

에 필요한 플랜지를 생략할 수 있으므로 경량화를 이룰 수 있으며, 스크랩이 없으므로 재료비의 절감효과까지 얻을 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 자동차용 시트프레임의 등반이에 하이드로포밍 성형법을 적용하였는데, 기존의 시트등반이는 파이프를 등반이 형태로 굽히고 추가되는 부품을 등반이 파이프에 용접하여 붙이는 방법으로 제작되는 반면 하이드로포밍을 적용하여 시트 등반이를 제작하면 한 공정으로 원하는 형상을 만들 수 있으며, 용접을 하지 않으므로 강도를 향상시키면서 경량화의 효과도 얻을 수 있는 장점이 있다.

## 3. 시트의 강도평가 기준

자동차용 시트는 충돌시 승객의 안전에 직접적인 영향을 미치기 때문에 시트강도에 대한 안전기준이 규정되어 있으며 시트의 설계 및 제작시 이 안전기준을 반드시 만족하도록 해야 한다. 본 연구에서는 세계 각국의 안전기준에서 근본으로 삼고 있는 FMVSS 기준중 시트에 적용되는 FMVSS 207(seat strength, 시트강도)과 FMVSS 202(head restraint, 머리지지대)에서 규정하고 있는 시트의 강도기준을 유한요소해석에 적용하였다.

### 3.1. 시트 강도(FMVSS 207)

이 시험은 충돌시 시트 취부장치의 이탈, 시트의 과도변형, 잠금장치의 파손 등으로 인한 승객의 상해를 감소시키기 위하여 시트 및 시트잠금장치에 대한 강도를 시험하기 위한 것으로서 후방모멘트시험, 전후방 하중시험 및 시트잠금장치 강도시험의 세가지 항목으로 규정되어 있다.

후방모멘트시험은 착석기준점(hip point)에 대하여 38 kgfm의 후방모멘트를 발생시키는 힘을 Fig. 2와 같이 등반이 프레임 상단부에 가하는 시험으로서 시트프레임의 강도를 평가하는 시험이다. 전후방 하중시험은 충돌시 관성으로 인하여 시트 취부장치가 차체 바닥으로부터 이탈되지 않도록 시트 취부장치의 강도를 규정한 것으로서, 시트 무게중심에 시트무게의 20배 힘을 자동차 길이방향에 평행한 수평 각도로 전후방으로 각각 가할 때 시트 취부장치가 견디어야 한다. 또한, 시트잠금장치 강도시험에서는 접이식 시트(folding seat)의 경우에 등반이 잠금장치의

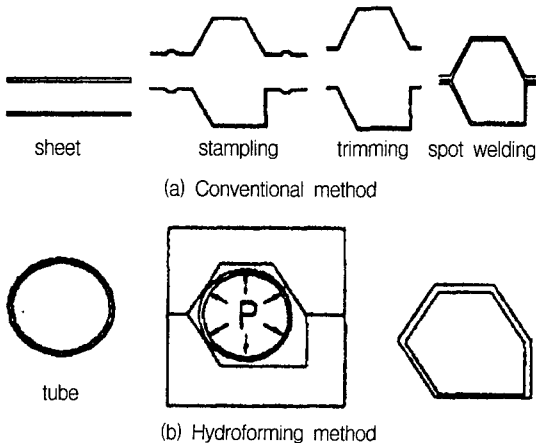


Fig. 1. Comparison conventional with hydroforming for forming process

강도를 규정한 것으로서, 시트등받이 무게의 20 배 하중을 등받이의 무게중심 위치에서 전방으로 가할 때 잠금장치가 견디어야 한다.

### 3.2. 머리지지대(FMVSS 202)

이 시험은 차량의 충돌이나 추돌시 승객의 목 부상을 방지하기 위한 것으로서 일차적으로 앞 좌석 시트에는 반드시 머리지지대를 설치해야 하며, 이 머리지지대의 강도에 대한 안전기준을 규정하고 있다. 시험 방법은 먼저, 시트등받이에 3차원 마네킹의 등판을 이용하여 착석기준점에 대하여 38 kgf의 후방모멘트가 발생하도록 하중을 가하여 보정몸통기준선을 정한 후 마네킹 등판을 제거하고 165 mm의 구형 머리모형을 이용하여 머리지지대 최상단에서 65 mm 아래 위치에 착석기준점에 대하여 38 kgf의 모멘트를 가할 때 머리지지대의 후방 변위량은 102 mm 이하이어야 한다. 또한, Fig. 3과 같이 머리지지대에 90 kgf의 하중을 가할 때 머리지지대의 파손이나 이탈이 없어야 한다.

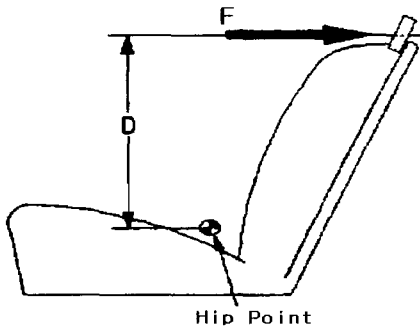


Fig. 2. Loading condition of seat back moment test

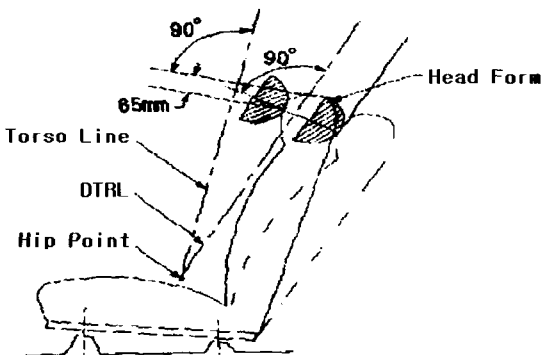


Fig. 3. Loading condition of headrest strength test

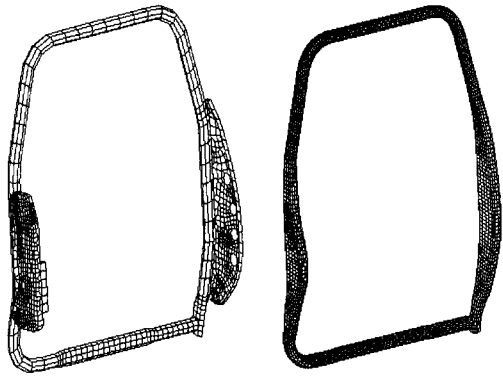
## 4. 해석모델 및 방법

Fig. 4는 기존의 시트등받이와 하이드로포밍으로 성형된 시트등받이의 유한요소해석 모델을 나타낸 것으로서 기존 시트등받이가 3개의 부품을 용접하여 만든 것에 반해 하이드로포밍으로 제작된 것은 단일 부품으로 만들어졌으며 무게도 23% 경량화 되었다. 하이드로포밍 모델은 현재 일반적으로 사용하는 고압 하이드로포밍에서 최소 모서리 반경이 두께의 3배, 단면 확장율이 30%인 경우로 설정<sup>5)</sup>하였으며, 두 시트등받이의 특징을 Table 1에 비교하여 정리하였다. 하이드로포밍 제품은 팽창으로 인하여 원래 두께 1.5 mm가 연속적으로 감소하여 최소 두께부에서는 1.05 mm까지 줄어들었다. Fig. 5는 기존의 시트프레임과 하이드로포밍 등받이를 적용한 시트프레임의 강도해석을 위한 유한요소 모델을 나타낸 것으로서 요소는 쉘요소와 솔리드요소를 사용하였고, 전체 요소 수는 대략 11000여 개, 절점 수는 12000여 개이며, 실제 시험조건과 동일하게 최후단으로 슬라이딩시키고 등받이 각도를 설계표준각도인 24°로 설정하였다. 여기서 시트 각 단품들의 상호연결 및 구속을 정의하기 위하여 시트등받이에 부착되는 브라켓이나 시트트랙 연결부와 같은 용접부분은 강체요소를 적용하여 변형이 되지 않고 서로 하중을 그대로 전달할 수 있도록 하였다. 경계조건은 실제 시트 설치 상태를 고려하여 차체 바닥에 고정되는 시트 마운팅 레그 4개 위치에서 x, y, z 방향의 변위를 모두 구속하였다.

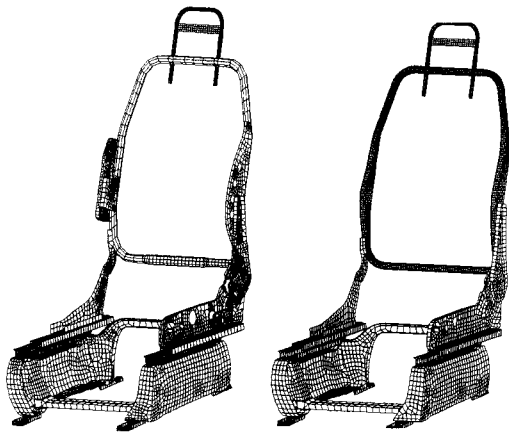
이 상태에서 시트프레임의 강도를 평가하기 위하여 후방모멘트 시험과 머리지지대 강도 시험에 대하여 유한요소해석을 수행하였는데, 후방모멘트는 본 해석에서 사용한 시트의 착석기준점에서 등받이 상단까지의 거리(D)가 580 mm 이므로 이로부터 힘을 계산하여 65.4 kgf의 하중을 가하였고, 머리지지대 강도 시험은 실제 시험 시 시트의 파손이 가장 많이 발생하는 90 kgf의 대하중시험에 대하여 해석을 수행하였다. 한편, 재료물성치로 탄성계수 E는 20500 kgf/mm<sup>2</sup>, 푸아송 비  $\nu$ 는 0.3, 밀도는 7800 kg/m<sup>3</sup>을 적용하였고, 유한요소해석은 범용 유한요소해석 프로그램인 I-DEAS MS68)을 이용하였다.

Table 1. Comparison of seat back frame characteristic

Items	Number of parts(ea)	Weight (kgf)	Thickness (mm)
Conventional type	3	2.85	1.5
Hydroforming type	1	2.19	1.05 ~ 1.5



(a) Conventional seat back (b) Hydroforming seat back  
Fig. 4. Seat back for FE analysis



(a) Conventional type (b) Hydroforming type  
Fig. 5. FE analysis model for seat frame

## 5. 해석결과 및 고찰

### 5.1. 후방모멘트 시험

Fig. 6과 Fig. 7은 38 kgfm의 후방모멘트를 가하였을 때 변형 전후와 응력분포를 나타낸 것이며 Fig. 8은 최대응력이 발생한 왼쪽 너클부의 응력분포를 나타낸 것이다. 최대응력은 시트 등

받이에 부착된 브라켓의 연결부에서 발생하였으며, 기존 시트에서 37.5 kgf/mm<sup>2</sup>, 하이드로포밍 시트에서 35.7 kgf/mm<sup>2</sup>로서 비슷한 수준이었으나, 후방변위는 각각 18.4 mm와 14.6 mm로서 하이드로포밍 시트의 변위가 22% 더 작았다. 따라서, 하이드로포밍으로 제작한 시트등받이의 강성이 더 크다는 것을 알 수 있다.

또한, 시트등받이 부분만의 응력을 Fig. 9에 나타내었는데, 기존 시트는 프레임 오른쪽의 용접부에서 응력집중이 발생하여 하이드로포밍 시트보다 20% 정도 더 큰 응력이 발생하였으며,

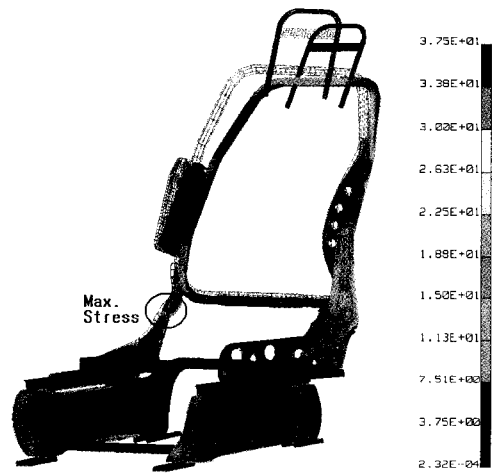


Fig. 6. Von Mises stress contour and deformed shape of seat frame with the conventional seat back

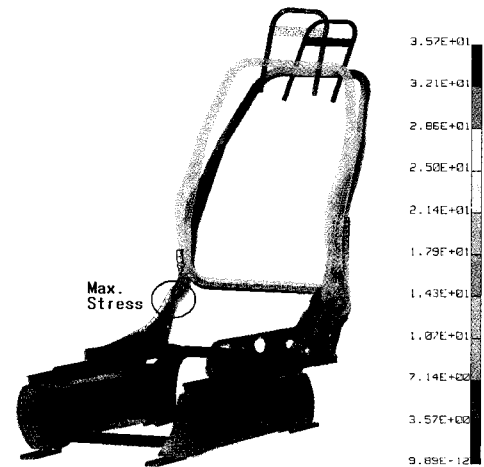


Fig. 7. Von Mises stress contour and deformed shape of seat frame with the hydroforming seat back

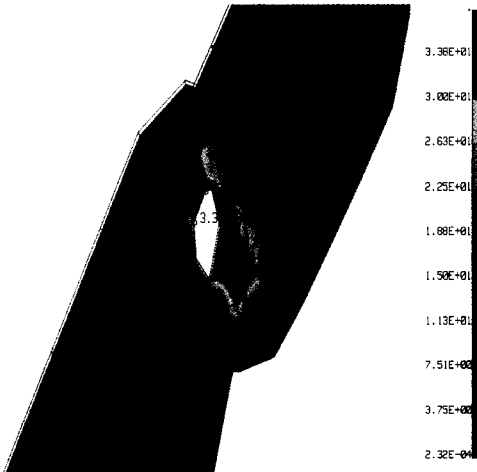
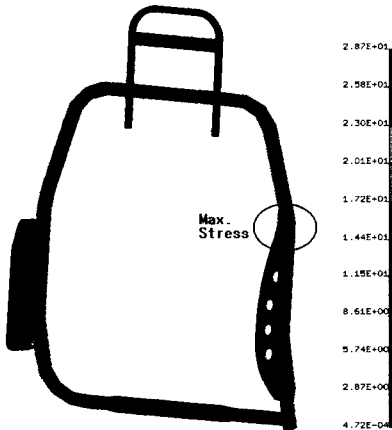
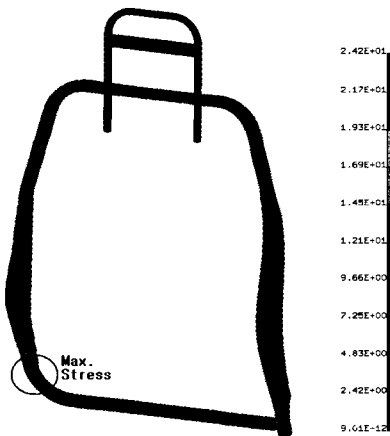


Fig. 8. Maximum Von Mises stress distribution



(a) conventional seat back



(b) hydroforming seat back

Fig. 9. Von Mises stress distribution of seat back

하이드로포밍 시트는 왼쪽 하단의 상대부품 연결부에서 최대응력이 발생하였다. 더욱이, 기존 시트의 경우 최대응력 발생부가 용접부이므로 용접 열영향으로 인하여 최대응력값 차이 이상의 강도 차이가 발생할 것으로 예상된다. 결과적으로 하이드로포밍으로 시트등받이를 제작할 경우, 강성이 향상되고 최대응력을 감소시키면서 동시에 경량화 효과를 얻을 수 있다.

## 5.2. 머리지지대 강도 시험

Fig. 10과 Fig. 11은 90 kgf의 하중을 머리지지대에 가했을 때 응력분포를 나타낸 것이다. 최대응력은 각각 머리지지대 오른쪽 연결부와 시트 등받이 왼쪽 연결부에서 발생하였는데, 기존시트에서 44.7 kgf/mm<sup>2</sup>, 하이드로포밍 시트에서 43.2 kgf/mm<sup>2</sup>로서 재료의 항복강도인 39 kgf/mm<sup>2</sup>를 약간 초과하였으며, 두 모델에서 응력의 크기는 하이드로포밍 시트가 약 3% 더 작았다. 또한, 후방변위는 각각 24.3 mm와 21.7 mm로서 강성이 큰 하이드로포밍 시트의 변위가 11% 정도 더 작았다.

이 시험의 목적은 90 kgf 부하시 머리지지대의 지지능력 유지 여부를 파악하는데 있으므로 시트프레임에서의 국부적인 소성변형은 허용된다. 따라서, 해석결과의 최대응력이 재료의 항복강도를 약간 초과하더라도 인장강도보다 작다면 90 kgf의 하중을 지지하고 있는 것이므로 안전하다고 할 수 있다.

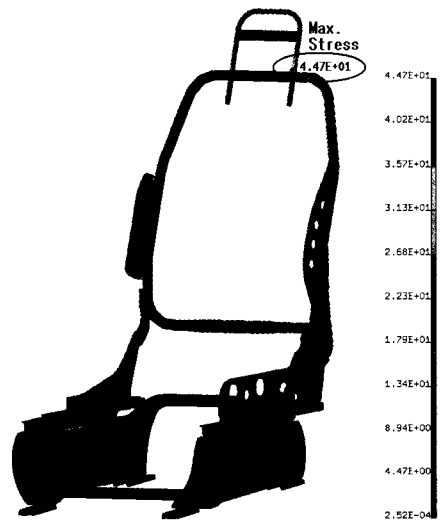


Fig. 10. Von Mises stress distribution of conventional seat frame

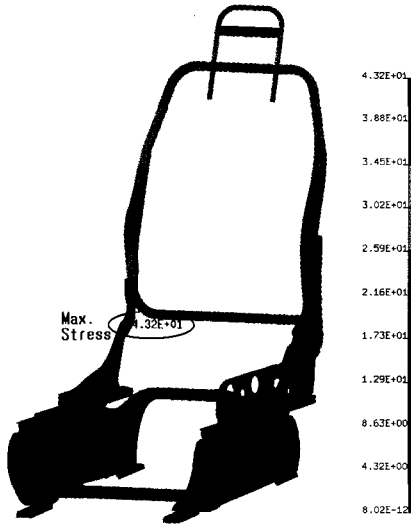


Fig. 11. Von Mises stress distribution of hydroforming seat frame

## 6. 결론

자동차용 시트프레임에 하이드로포밍 성형법을 적용한 경우 FMVSS 안전기준에 따른 강도해석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 시트등받이를 하이드로포밍 성형법으로 제작할 경우 약 23%의 경량화 효과를 얻을 수 있다.

(2) 하이드로포밍을 시트등받이에 적용할 경우, 후방모멘트 시험 및 머리지지대 강도 시험시 응력과 변위를 20% 이상 감소시킬 수 있다.

(3) 하이드로포밍으로 시트프레임을 성형할 경우 부품 개수를 감소시킬 수 있으므로 생산성

향상 및 원가절감이 가능하다.

(4) 자동차용 시트프레임의 경량화, 강도 및 강성 향상을 위하여 하이드로포밍 성형법을 적용하는 것은 매우 효과적인 방법이다.

**감사의 글 :** 이 논문은 1998년 한국학술진흥재단의 학술연구비에 의하여 지원된 것으로서, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 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) J. C. Wainwright, Integrated Restraint Seat with Composite Frame, SAE 940218, pp. 9~14, 1994.
- 3) 최금호, 송병록, 승용차 운전석용 경량 시트 프레임 시제품의 개발, 추계학술대회 논문집, 한국자동차공학회, pp. 855~863, 1997.
- 4) F. Dohmann, Ch. Hartl, Hydroforming-a Method to Manufacture Light-Weight Parts, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 60, pp. 669~676, 1996.
- 5) F. Dohmann, Ch. Hartl, Hydroforming-Research and Practical Application, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 71, pp. 174~186, 1997.
- 6) Seating System, FMVSS 207, NHTSA USA.
- 7) Head Restraint, FMVSS 202, NHTSA USA.
- 8) I-DEAS FEM, User's Guide Manual, SDRC.
- 9) 이호용, 임중연, FMVSS 강도테스트에 따른 자동차 시트프레임 유한요소 해석, 한국자동차공학회논문집, Vol. 7, No. 6, 1999, pp. 241~247.