

측면 단동 릴리즈 시스템을 이용한 자동차용 루프 캐리어 개발 프로세스

The Development Process of Vehicle Roof Carrier using One Side Release System

장동환^{1,✉}, 고병두², 이인철²
Dong Hwan Jang^{1,✉}, Byung Doo Ko² and In Chul Lee²

1 인하공업전문대학 기계설계과 (Department of Machine Design, Inha Technical College)

2 인하대학교 기계공학부 (Department of Mechanical Engineering, Inha Univ.)

✉ Corresponding author: dhjang@inhac.ac.kr, Tel: 032-870-2156

Manuscript received: 2009.8.3 / Accepted: 2010.3.10

This paper presents the development process of roof carrier assembly using a one side release system for a vehicle. An RV(Recreational Vehicle) or SUV(Sports Utility Vehicle) has a roof carrier system on an upper surface of a roof panel for loading large or long size baggage. Such a roof carrier system is comprised of a roof rack longitudinally mounted on a roof panel and cross bar perpendicularly installed in the horizontal direction. Several locking mechanisms used in most vehicle roof carrier systems are composed with both side releasable locking ones. The obvious drawback to this arrangement is that when the user desires to reposition the cross bar, first one of the locking members must be unlocked and then the user must walk around to the opposite side of the vehicle to unlock the other member. In this paper, we proposed a newly locking mechanism, which allows a user simultaneously place both locking members of the roof carrier in locked and unlocked positions. In order to estimate design compatibility, structural and modal analysis is performed. Furthermore, a prototype based on the proposed design has been made, and then durability test carried out. From the simulation and experimental results, the proposed roof carrier system is proved effective and safe.

Key Words: Roof Carrier (루프 캐리어), One Side Release System (측면 단동 릴리즈 시스템), Locking Mechanism (잠금 기구), FEM Analysis (유한요소 해석), Durability Test (내구성 시험)

1. 서론

현재 개발되고 있는 자동차용 루프 패널(roof panel)은 소비자의 요구성능에 맞게 새롭게 변화하고 있는 상황이며 완성차 메이커들은 조립작업의 편리성과 적시생산시스템(just-in-time)을 위하여 루프모듈에 많은 관심을 가지고 있다. 최근까지도 자동차 구매자들은 이러한 루프모듈 중에서 대표적인 선택사양인 섀루프를 단순히 개폐가 가능한

기능으로 구매하였다. 그러나 점차적으로 차량 내부에서의 보다 넓은 시야성과 공조시스템과 연계된 쾌적성 확보로 감성품질을 향상시키는 방향으로 개발 방향이 전환되고 있다. 이러한 경향은 가족형 차량의 경우 더욱 뚜렷하게 나타나고 있으며 대부분의 경우에 자동차 내장부품에서 소화물 적재공간을 배제하고 있다.¹ 따라서, 이전에는 사용되지 않았던 루프 패널을 차량내부에서 적재하지 못하는 공간으로 활용하는 설계개념이 증가하고

있다. 이러한 이유로 현재 스포츠 유틸리티 차량(sports utility vehicle) 또는 레저용 차량(recreational vehicle)의 수요증가와 함께 자동차 실내공간의 협소함을 해소하기 위한 목적으로 차체 루프 패널에 루프 캐리어를 장착하고 화물을 적재하여 편리성을 향상시키는 구조가 폭넓게 적용되고 있다.^{2,3}

현재 대부분의 산업체에서는 신제품에 대한 개발 프로세스에 있어서 기존의 실험적인 시험방법에서 컴퓨터를 활용한 통합적인 성능평가를 이용한 방법이 적용되고 있다.^{4,5} 특히 이러한 방법론은 개발차에 대한 시간과 비용절감을 이유로 자동차 산업분야에서 주로 이용되고 있다.⁴ 설계는 설계방법이나 주위의 환경에 따라 다르게 분류할 수 있지만 크게 개념설계와 상세설계 단계로 구분할 수 있다. 개념설계는 초기작업으로 기능의 정의, 주요부품의 취사선택, 각 부품의 위치나 주변부품과의 간섭관계 등을 결정한다. 상세설계 단계에서는 개념설계에서 결정한 설계결과를 바탕으로 각 부품의 치수, 형상 등을 결정한다. 이때 제품의 성능을 판별하기 위해 공학적인 실험이나 해석이 수행된다.^{6,7}

본 논문에서는 기존의 양측 잠금/해제 방식을 개선하여 사용자의 편리성을 고려한 측면 단동 릴리즈 시스템이 적용된 자동차용 루프 캐리어 장치를 제안하여 시제품을 제작하였다. 제품개발을 위해서 요구성능을 고려하여 시스템 기본구조에 대한 개념설계를 수행하였으며 각 부품의 조립조건과 연동조건을 고려하여 잠금장치에 대한 상세설계를 수행하였다. 또한 설계된 장치에 대한 선행 성능평가를 위하여 유한요소법을 이용한 모의실험을 통해 구조해석을 수행하고 성능을 검토하여 시제품을 제작하였다.

2. 제품 모델링

2.1 루프 캐리어 시스템 개요

일반적으로 승용 세단형 자동차인 경우에는 화물은 차량 실내 또는 트렁크 공간 내부에 적재하도록 되어 있다. 그러나 이러한 차량의 내부에 대한 화물 수용공간은 그 크기가 한정되어 있기 때문에 상대적으로 부피가 크거나 길이가 긴 화물은 적재할 수 없다. 따라서 현재 이러한 공간적 제약성을 감안하여 스포츠 유틸리티 차량, 레저용 차량, 소형 승합용 차량 등은 루프 패널의 상단에 루프 캐리어(roof carrier)를 설치하여 화물을 적재하고 있다.^{8,9}

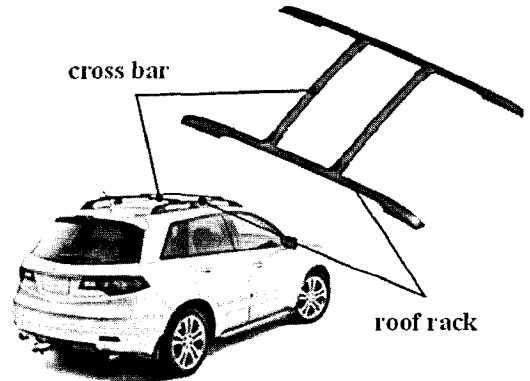


Fig. 1 The shape of roof carrier system

Fig. 1 은 루프 패널상단에 루프 캐리어가 장착된 차량과 시스템 형상을 나타낸 그림이다. 그림에서와 같이 루프 캐리어는 루프 패널에 직접 조립되는 루프랙(roof rack)과 루프랙에 대해 길이방향으로 이동이 가능한 크로스 바(cross bar)로 구성되어 있다. 현재 대부분의 이러한 루프 캐리어 시스템은 크로스 바에 대한 고정장치가 루프랙의 양단에 독립적으로 설치되어 있어서 사용자가 단독으로 양측을 동시에 잠금/해제 할 수 없는 구조로 되어 있다. 따라서 이러한 고정장치 사용에 대한 불편함으로 인하여 반드시 장치사용을 위한 또 다른 보조자가 있어야 하고 특히 노약자나 부녀자가 사용하는데 많은 어려움이 있었다.

앞서 언급했듯이 루프 캐리어는 화물을 적재하고 고정하는 장치이다. 따라서, 적용해야 할 대상 차량의 종류, 화물적재 방법, 요구 적재 하중에 따른 기계적 성능 등을 개념설계 단계에서 우선적으로 검토해야 한다. 본 논문에서 적용하는 대상 차량은 국내 완성차 메이커인 K 사의 스포츠 유틸리티 차량이며 기계적 요구성능은 Table 1 에 나타나 있다. 여기에서 윈드 노이즈(wind noise)는 차량 주행시 돌출된 형태의 외부물체가 유동에 노출된 경우 주기적으로 발생하는 칼만 와류(karman vortex)

Table 1 Mechanical specification for roof carrier

Conditions	Value
Tensile strength(MPa)	230 ↓
1 st bending mode(Hz)	13 ↑
Durability(cycles)	5,000
Wind noise(dB)	80 ↓

에 의한 풍절음이다. 본 논문에서는 이미 완성차 업체에서 상용화되고 있는 루프 캐리어 시스템을 고려하여 이러한 윈드 노이즈에 대한 공기역학적 성능은 검토하지 않았다.

2.2 기본 구조

본 논문에서는 루프랙의 임의의 한쪽에서 스위치 조작만으로 양측의 잠금 및 해제장치를 제어할 수 있는 구조의 크로스 바 고정장치 설계를 목적으로 한다. 이때 이러한 자동차용 루프 캐리어의 고정장치에 대한 제품설계에서 일반적으로 다음과 같은 3 가지의 요구사항을 고려해야 한다.

- (1) 사용자가 원하는 임의의 위치에서 조절이 가능하고 고정이 편리하여야 한다.
- (2) 사용자가 반복 사용하여도 내마모성이 우수하여 차량 운행중 진동이나 소음이 발생하지 않는 구조가 되어야 한다.
- (3) 제품의 생산성을 위하여 기구학적 메커니즘이 조립성이 편리한 구조가 되어야 한다.

Fig. 2 는 본 논문에서 제안된 루프 캐리어 장치에 대한 전체적인 형상을 나타낸 것이다. 그림에서 확대된 부분은 각각 루프랙의 메인 바에 장착되는 로킹부(locking body)와 크로스 바의 양단에 동력을 전달하는 회전 레버(rotary lever)를 나타낸 것이다. 제안된 로킹부에 대한 설계 모델은 고정위치의 선택을 위해서 메인 바의 안쪽면에 랙 기어(rack gear)를 형성하고 이곳에 체결되는 로킹부에 동일한 형상의 기어 홈(gear groove)을 구성하였다. 이러한 구조는 기존의 메인 바에 등간격으로 천공되어 있는 로킹 홀(locking hole) 방식¹⁰ 과 비교하여 상대적으로 위치 조절이 자유롭다는 장점이 있다. 그리고 로킹부의 후단에 일체형으로 연결된 가이드 로드(guide rod)에 코일 스프링을 조립하여 탄성력에 의해 루프랙으로 복원될 수 있도록 하였다. 크로스 바의 중앙부에 위치한 회전 레버는 로킹부의 양단을 두 개의 교차된 링크로 연결하여 레버의 회전에 의해 조작력을 반대쪽으로 전달하는 역할을 한다. 이러한 동력전달 메커니즘은 각각의 링크가 서로 독립적이면서 회전레버에 연결되어 일체형으로 동작되기 때문에 상대적으로 다른 주변부품들에 대한 간섭이 적고 조립성이 용이한 구조이다. 또한 구조적인 유연성으로 링크의 와이어 단면 형상도 조작력이나 요구되는 강성에 따라 자유롭게 선택할 수 있다.

2.3 잠금장치 구조

Fig. 3 은 루프랙의 로킹부의 잠금장치에 대해 작동 형태에 따른 단면형상을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 경첩(hinge)으로 체결된 노브(knob)를 회전축(rotary axis)에 대해 로킹부의 상단으로 이동하면 전단부에 있는 누름돌기(push protuberance)가 로킹부의 홈을 메인 바의 횡방향으로 압착하게 된다. 따라서 이러한 압착력으로 인하여 로킹부가 슬라이드 하우징(slide housing)을 따라 이동이 가능하게 된다. 이러한 구조는 가이드 핀 방식과 같은 기구학적인 메커니즘 방식과 비교하여 선접촉력을 이용하기 때문에 상대적으로 마모에 강건한 장점이 있다. 노브의 하단부에 있는 썸기형상의 로킹 돌기(locking protuberance)는 화물이 적재된 상태(잠금상태)에서 로킹 가이드에 있는 스프링과 함께 별도로 항상 로킹부를 지지하는 기능을 한다. 따라서, 차량이 주행중 급제동이나 충돌 등으로 인하여 로킹부에 가속력이 전달되었

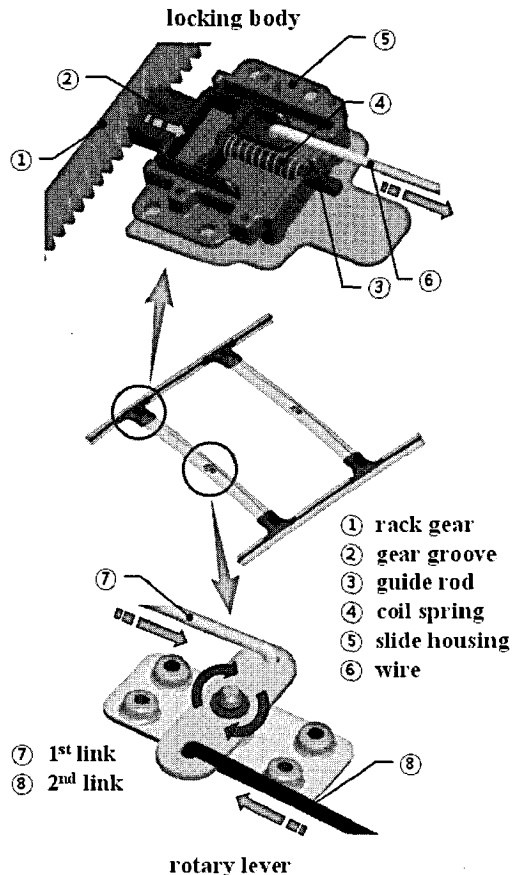
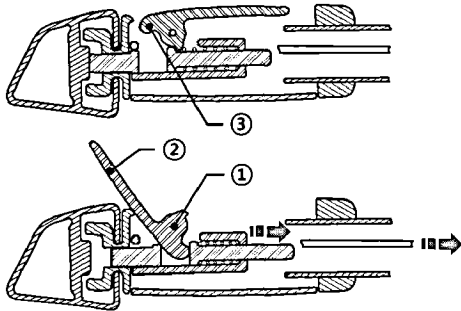


Fig. 2 The proposed roof carrier modeling



① rotary axis ② knob ③ push protuberance
Fig. 3 The section view for proposed locking mechanism

을 때도 견고하게 잠금상태를 유지할 수 있으므로 안전사고를 예방할 수 있다.

3. 제품 성능평가

3.1 해석조건

일반적으로 제품의 설계단계에서 기계적 성능에 대한 고려와 함께 반복되는 설계변경에 의한 시간이나 제작비용의 절감을 위해 자주 사용되는 방법이 수치해석적 평가 방법이다.¹¹⁻¹⁴ 특히 박육 형태의 단면형상을 갖고 있는 구조물에 대해 구조해석을 통한 기계적 강성에 대한 선행평가는 매우 중요하다.¹⁵ 본 논문에서는 설계된 루프랙의 3차원 모델에 대해 유한요소법을 이용하여 구조강도와 모달 해석(modal analysis)을 수행하였다. 해석된 결과를 통하여 앞장에서 언급된 기계적 요구성능을

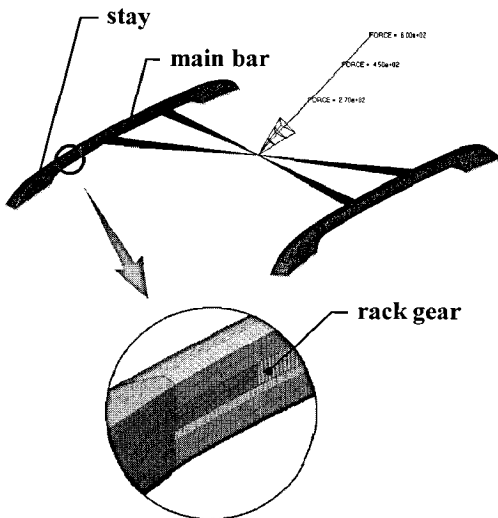


Fig. 4 Finite element model for roof rack

Table 2 Boundary conditions for simulation

Classification	Structural analysis			Modal analysis
	Fx(N)	Fy(N)	Fz(N)	Mass(kg)
Case I	1,800	900	1,800	45
Case II	3,000	1,500	3,000	75
Case III	4,000	2,000	4,000	100

만족하는지 평가하여 시제품 제작시간을 단축하였다.

Fig. 4는 모의실험을 위한 유한요소모델에 대한 요소망을 나타낸 것이다. 루프 패널과 조립되는 지지대(stay)는 육면체와 오면체로 구성된 솔리드 요소를 사용하였으며 랙기어를 포함한 메인 바는 쉘 요소망으로 구성하였다. 여기서 지지대와 메인 바의 접합부분은 강체요소(RBE2)로 결합하는 일반적인 방법을 사용하였다. 유한요소모델에 사용된 총 요소수는 18,501 개, 절점수는 23,805 개이며 전/후처리와 해석을 위하여 상용프로그램인 HyperMesh와 Nastran을 각각 사용하였다.

Fig. 5는 각각 구조강도와 모달 해석을 위한 경계조건을 나타낸 것으로 4 개의 지지대 부분을 구속하여 고정하였다. 그림에서 정적 강도해석에서

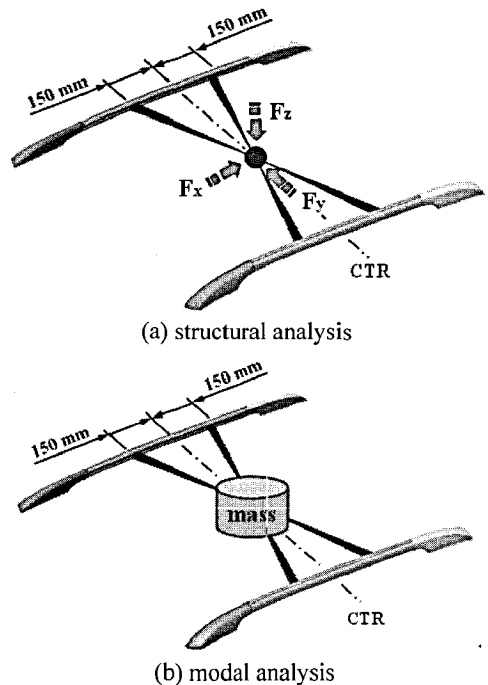


Fig. 5 Boundary conditions in each analysis

는 국내 완성차 메이커인 K 사의 설계규격에 따라 Table 2 에 주어진 3 가지 하중조건을 각 방향에 대해 부여하였으며 모달해석에서는 3 가지 경우의 가상 질량체를 중심에서 적용하였다. 해석에 사용된 소재는 메인바의 경우 두께 5mm 의 Al 6063 소재를 사용하였으며 랙기어와 지지대는 GE Plastics 의 Xenoy 1760¹⁶ 과 한국 BASF 의 8267GHS 나일론 수지¹⁷ 를 각각 적용하였다.

나타낸 그림으로서 3 가지 경우 모두 인장력이 가해지는 부분에서 최대응력이 발생하였다. 이러한 이유는 루프랙의 중간부분에 지지대가 없고 길이가 길기 때문에 국부적인 변위에 의해 발생한 것이다. 최대응력은 Case III 인 경우로 107.8MPa 이며 확대된 그림에서 알 수 있듯이 분포하는 영역도 세가지 경우 중에서 가장 넓게 나타났다.

Fig. 7 은 각각의 3 가지 경계조건에 대해서 모달 해석결과에 의한 1 차 굽힘 모드형상(1st bending mode shape)을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 Case I 인 경우 고유진동수가 가장 높게 나타났으며 Case III 인 경우는 질량증가효과로 상대적으로 낮은 수준을 보이고 있다.

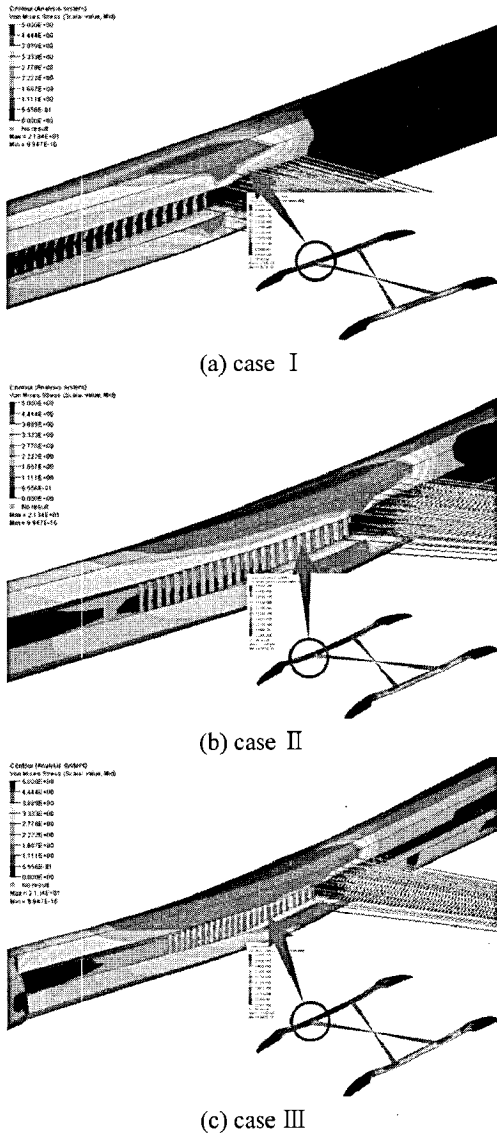


Fig. 6 The distributions of von Mises stress

3.2 해석결과

Fig. 6 은 해석결과에 의해 von Mises 응력분포를

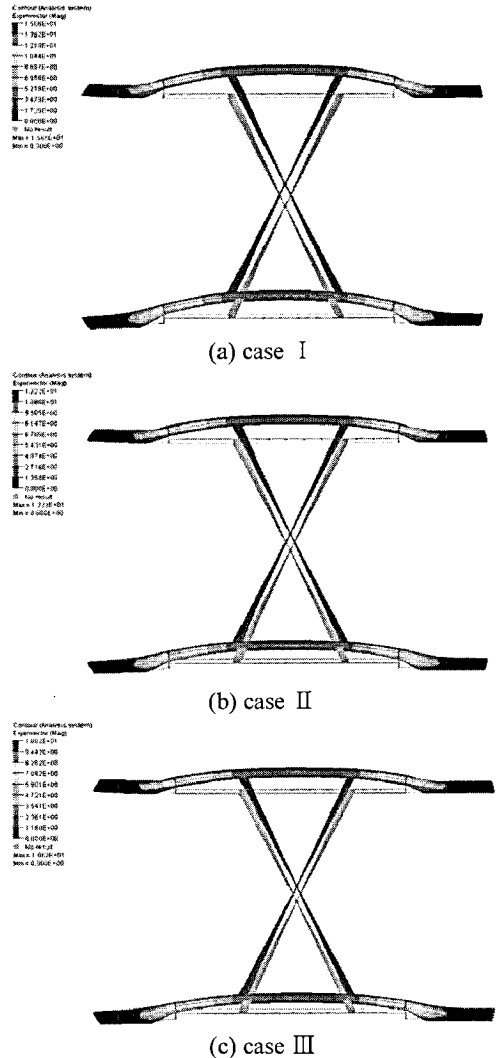


Fig. 7 The 1st mode of roof rack

Table 3 Simulation results

Classification	Max.von Mises stress (MPa)	Frequency (Hz)
Case I	48.5	20.5
Case II	80.9	16.0
Case III	107.8	13.9

Table 3 은 전체적으로 유한요소법에 의한 구조 강도와 모달 해석결과를 정리한 것이다. 표에서 알 수 있듯이 모든 경우에 대해서 앞서 언급했던 인장강도와 고유진동수에 대한 기계적 성능을 만족하였다. 따라서 이러한 결과를 바탕으로 제안된 랙기어 방식의 루프랙이 안정적으로 설계되었음을 검증할 수 있었으며 이러한 모델을 기반으로 시제품을 제작하였다.

4. 시제품 제작

본 논문에서는 루프 캐리어에 대한 또 하나의 요구조건인 내구성능을 평가하고 부품간의 기능확인을 위한 목적으로 시제품을 제작하였다. Table 4 는 설계된 주요부품에 대해서 시제품 제작에서 적용된 공법과 소재를 나타낸 것이다. 표에서 알 수 있듯이 두께 5mm 의 메인바와 크로스 바는 압출 금형을 이용하여 성형 후에 굽힘가공으로 제작하였다. 그 이외에 플라스틱 수지를 사용한 부품들은 사출성형과 NC 공작기계를 사용한 절삭가공을 이용하여 제작하였다.

Fig. 8 는 제작이 완료된 루프 캐리어에 대한 사진으로서 실제 차량에 적용되고 있는 루프 패널을 고려하여 고정구(fixture)를 제작하고 조립하였다. 제작과정 중에 각 부품에 대한 조립성과 주변 부품과의 연동성 및 간섭을 검토한 결과 특별한 문제점은 나타나지 않았다.

Fig. 9 는 잠금장치에 대한 내구성능 평가를 위한 시험장치에 대한 사진이다. 그림에서와 같이 노브를 루프랙 방향으로 인장하여 작동시험을 연속적으로 5,000 회 반복 실시 하였다. 시험이 완료된 후에 잠금장치에 대한 외관 변형 및 균열 등을 육안으로 확인한 결과 품질과 기능상의 문제점은 없었다.

5. 결론

Table 4 Material and production method of main part for prototype

Part name	Material	Production method
Main bar	Al 6063	Extrusion/Bending
Cross bar	Al 6063	Extrusion/Bending
Rack gear	PC+PBT	Injection moulding
Locking body	PC+PBT	Injection moulding
Slide housing	PC+PBT	Injection moulding
Cover	PP	NC cutting
Knob	PP	NC cutting

* PC: Polycarbonate, PP: Polypropylene

* PBT: Polybutylene Terephthalate

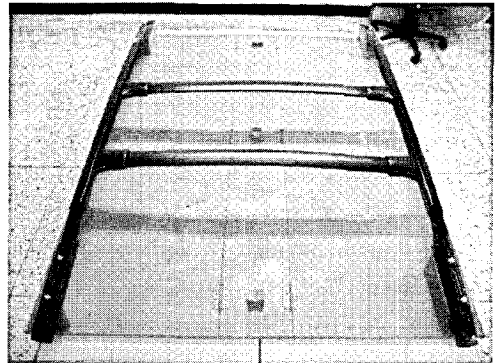


Fig. 8 The photograph of prototype

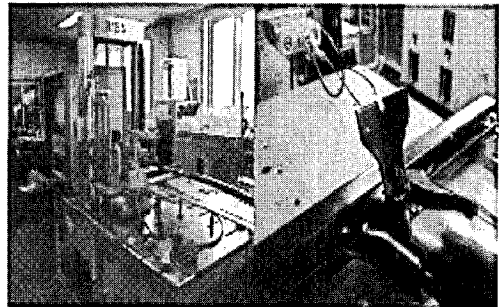


Fig. 9 The photograph of durability test equipment

본 논문은 현재 스포츠 유틸리티 차량과 레저용 차량에 많이 적용되고 있는 루프 캐리어 시스템의 개발 프로세스에 관한 것이다. 이를 위하여 사용자의 편의성이 향상된 측면 단동 릴리즈 잠금장치를 제안하였으며 수치해석적 성능평가를 통해 검증하고 시제품을 제작하였다. 그 결과를 정리하

면 다음과 같다.

(1) 로킹부의 설계에서 기존의 로킹 홀 방식 대신에 랙 기어와 연계된 기어 홈을 이용하여 사용자가 임의의 위치에서 잠금/해제가 가능하도록 고안하였다.

(2) 링크로 연결된 회전레버를 이용하여 상대적으로 주변부품에 대한 간섭이 적으면서 한쪽 측면에서 잠금장치를 이용할 수 있도록 설계하였다.

(3) 설계된 모델에 대한 기계적 성능 검증을 위해서 유한요소해석을 수행한 결과 강도와 진동 조건이 요구되는 성능조건에 모두 만족하였다.

(4) 시제품을 제작하여 내구시험을 수행한 결과 제안된 설계모델에 의한 제품이 실제 차량에 적용 가능한 것으로 판단되었다.

후 기

본 논문은 2006 년도 중소기업기술혁신개발사업에 의해 수행된 결과임.

참고문헌

1. Stauber, R. and Vollrath, L., "Plastics on Automotive Engineering," HANSER, 2007.
2. Jeong, D. S., "Vehicle Roof Rack Assembly with Adjustable Cross Rail," Hyundai Motor Company, US Patent No. 7213730, 2007.
3. Aftanas, J. M., Potter, D. R., Michie, G. E. and Sellers, L. F., "Article Carrier Having Single Sided Releasable Cross Bar," JAC Products, Inc., US Patent No. 6779696, 2004.
4. Siefert, A., Pankoke, S. and Wolfel, H. P., "Virtual Optimization of Car Passenger Seats: Simulation of Static and Dynamic Effects on Drivers' Seating Comfort," Int. J. Ind. Ergon., Vol. 38, No. 5-6, pp. 410-424, 2008.
5. Jang, D. H. and Ko, B. D., "Finite Element modeling using HyperMesh®" DAEGA, 2008.
6. Park, G. J. and Kang, B. S., "Introduction to Axiomatic Design," Auto Journal of the KSAE, Vol. 27, No. 1, pp. 31-36, 2005.
7. Kim, Y. I. and Jun, C. S., "A Study on Construction of Design Environment and Design Automation Using 3D CAD System," Journal of the KSCCE, Vol. 13, No. 2, pp. 139-152, 2008.
8. Jang, J. H., Han, W. S. and Jang, D. H., "One Side Release System for Roof Rack of Vehicle," KR Patent No. 10-0757480, 2007.
9. Jang, J. H. and Han, W. S., "Side Single Release System for Roof Rack of Vehicle," KR Patent No. 10-0722247, 2007.
10. Lee, I. C., "A Study on the Design and Manufacture of Vehicle Roof Carrier using Single Acting Release Type," Master Thesis, Dept. of Mechanical Engineering, Inha University, 2009.
11. Chang, K. H. and Joo, S. H., "Design Parameterization and Tool Integration for CAD-based Mechanism Optimization," Advances in Engineering Software, Vol. 37, No. 12, pp. 779-796, 2006.
12. Choi, C. J. and Lee, H. K., "CAE Application of plastic molding industry," Journal of Mechanical Engineers, Vol. 31, No. 1, pp. 60-67, 1991.
13. Kim, G. S., Gil, H. M. and Yoo, W. S., "Development of a CAE Technique for Vehicle Suspension Design," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 15, No. 1, pp. 160-168, 1998.
14. Choi, H. H., Ku, T. W., Hwang, S. M. and Kang, B. S., "A CAE Approach for Net-shape Automobile Stamping Components of Aluminum Alloy," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 16, No. 10, pp. 164-171, 1999.
15. Papangelis, J. P. and Hancock, G. J., "Computer Analysis of Thin-walled Structural Members," Computer & Structures, Vol. 56, No. 1, pp. 157-176, 1995.
16. Autodesk, "Autodesk Moldflow Insight Database ver. 6.1.," 2008.
17. BASF Korea, http://www.basf.co.kr/02_products