

적응형 듀얼레벨 로드리미터 개발[§]

이인범^{*†} · 강신유^{*} · 김석현^{*} · 유원화^{**}

* 강원대학교 기계메카트로닉스공학과, ** Autoliv KOREA Corp.

The Development of an Adjustable Dual-Level Load Limiter

In Beom Lee^{*†}, Shin You Kang^{*}, Seock Hyun Kim^{*} and Won Wha Ryoo^{**}

* Dept. of Mechanical and Mechatronics Engineering, Kangwon Nat'l Univ.,

** Corp. of Autoliv Korea

(Received July 5, 2011 ; Revised June 24, 2011 ; Accepted July 25, 2011)

Key Words: Multi Level Load Limiting(멀티레벨 로드리미팅), Adjustable Load Limiter(적응형 로드리미터), Dual-Level Load Limiter(듀얼레벨 로드리미터)

초록: 이 응용논문에는 적응형 로드리미터에 대해 기술되어 있다. 적응형 로드리미터는 안전벨트의 구성품 중 하나이며, 이는 승객의 다양한 체중과 키에 따라 하중량을 고하중과 저하중으로 변환시킬 수 있는 장치이다. 최근, FMVSS 208규정은 다양한 더미크기에 대해 엄격한 안전기준을 요구하고 있다. 이에 따라 우리는 고하중 조건과 저하중 조건 시 각각 더미에 흉부 상해정도를 알아보았고, 실험을 통해서 벤치마킹모델의 하중조건을 확인하였다. 이를 토대로 적응형 듀얼레벨 로드리미터를 개발하여 성능 실험을 실시하였고, 유한요소해석을 통해 설계 개선점을 확인하였다.

Abstract: In this paper, the development of an adjustable load limiter is presented, which is a component of the seat belt. The adjustable load limiter is loaded at different levels for varied weights and heights of occupant. The recent regulation FMVSS 208 demands strict safety standards for different percentiles of dummy size. In this work, high- and low-level load conditions are proposed according to dummy scale and thoracic injury criteria. The suggested load conditions were verified by performing a sled test using the benchmark model. A dual-level load limiter has been developed on the basis of these tests. Experiments were conducted on the product performance, and finite element analysis was carried out; the results confirmed the points for improvement.

1. 서론

시트벨트는 사고 시 승객이 처한 위험으로부터 승객을 보호하기 위한 방어의 일종으로서 정상시 느슨하게 운전자를 감싸고 있다가 차량의 급제동이나, 충돌이 발생하였을 때 승객의 거동을 제한하여 승객이 부상을 입거나 차량 밖으로 이탈되는 것을 방지하는 자동차 안전장치 중 하나이다.⁽¹⁾ 우리나라는 미국의 FMVSS 208의 기준을 기초로 하여 1994년부터 법규로서 정면충돌시 승객보호 기준을 시행하고 있으며, 이에 대한 시험 방법 및 요건은 안전기준에 관한 규칙 제 102조

에 명시되어 있다.⁽²⁾ 시트벨트는 충돌 초기 벨트의 느슨함을 감소시키는 프리텐서너, 모터구동을 통해 승객의 구속여부를 결정하고 다양한 동작을 수행할 수 있는 모터구동형 리트랙터, 한계하중 이상에 대해서 웨빙의 인출을 허용하는 로드리미터에 이르기까지 보다 다양한 상황에 대한 대처가 가능해지고 있다. 본 논문에서는 적응형 로드리미터의 개발과 제품의 구조를 살펴보고 흉부상해기준⁽³⁾을 토대로 실험을 통해 설계의 적합성을 검토해 보고자 한다.

2. 적응형 로드리미터의 구조 및 실험

2.1 적응형 로드리미터

기존의 로드리미터는 다양한 승원에 대한 요구조건을 만족시키지 못함으로 개정된 법규에 대해

§ 이 논문은 2010년도 대한기계학회 강원지회 춘계학술대회(2010. 5. 14., 강원대) 발표논문임

† Corresponding Author, iblee@kangwon.ac.kr

© 2011 The Korean Society of Mechanical Engineers

서는 승원의 체형에 따라 능동적으로 작동하중을 가변할 수 있는 적응형 로드리미터가 필요하다. 현재 상용화 되어있는 제품의 구조를 관찰해 보고 Sled test를 통해 이들 제품이 목표로 설정한 작동하중(고하중/저하중)에 대해 적합성 여부를 검토해 보고자 한다.

2.2 KSS사의 제품⁽⁴⁾

Fig. 1(a)에 나타낸 KSS사의 적응형 로드리미터는 2개의 토션바를 직렬로 배치하여 사용한다. 고하중으로 작동 시에는 웨지링이 가이드 드럼의 홈을 통해 브릿지 볼트와 고장력바를 구속하여 고장력 바만을 작동시킨다. 저하중로 전환 시에는 웨지링을 가이드 드럼의 홈으로부터 이탈시켜 저장력바만을 회전시키게 된다. 저하중로 3회전 작동 후 브릿지 볼트의 외면에 닿아있는 인서트에 의해 다시 브릿지 볼트와 고장력바를 구속하여 고하중로 전환된다.

2.3 Autoliv사의 제품⁽⁵⁾

Fig. 1(b)에 보이는 바와 같이 서로 다른 2개의 단면을 가지는 1개의 장력바를 사용한다. 장력바의 중간부분에서 튜브와 폴을 통해 어느 부분을 구속하였는지에 따라 고하중과 저하중로 전환하여 사용한다. KSS사의 제품과 다르게 저하중으로 작동 후 다시 고하중으로 복귀되지는 않는다. 두 제품의 특징을 비교하여 Table 1에 나타내었다. 공통적인 부분은 프리텐서너 기능을 사용하지 않고 로드를 전환하는 방식에 있어서 장약식과

슬라이드 방식을 사용한다는 것이다. KSS사의 제품은 인서트의 회전수에 따라 정해진 회전수만큼 회전(일정길이의 웨빙인출)하고 나면 다시 저하중에서 다시 고하중으로의 전환이 가능하다. 본 논문에서는 다루지는 않았지만 Takata사의 제품의 경우에는 로드전환방식에서는 장약식과 슬라이드 방식을 사용하는 것에서는 유사하지만 기어를 사용하여 장력바를 병렬로 구성한 제품도 있다.⁽⁶⁾

2.4 Sled test

앞서 비교한 두 개의 상용로드리미터에 대한 Sled test을 수행하였다(Fig. 2). FMVSS 208보다 가혹조건인 50km/h에서 30g의 가속도를 갖는 정면충돌실험이며 사용된 인체모형은 Hybrid III 형 50% 이다. 실험은 충돌(TTF:Time to Fire 0ms) 후 저하중만 받는 로드리미터 사용 시와 고하중에서 저하중으로 전환(TTF 60ms)되는 로드리미터 사용 시로 나누어 진행하였고 어깨벨트에서의 장력을 측정하였다. 실험 결과 KSS사의 제품은 고하중에서는 5kN, 저하중에서는 3kN에서 작동하였고,

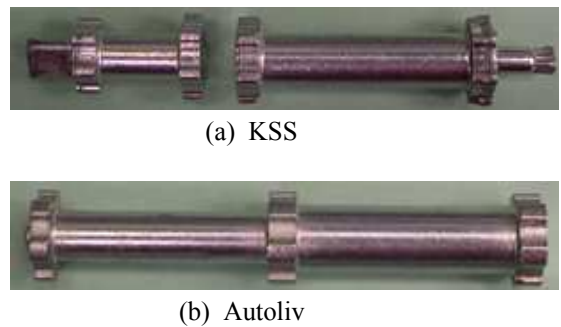


Fig. 1 Adjustable load limiter

Table 1 Comparison of adjustable load limiter

SPECIFICATION	KSS	Autoliv
Pretensioner Function	X	X
Switch Type	Pyrotechnical Ignition & Slide	Pyrotechnical Ignition & Slide
Load Absorption System	2 Torsion bar [In-line Arrange]	1 Torsion bar [In-line Arrange]
Application	2006 Ford Explore	2001 BMW 7 Series
Picture		

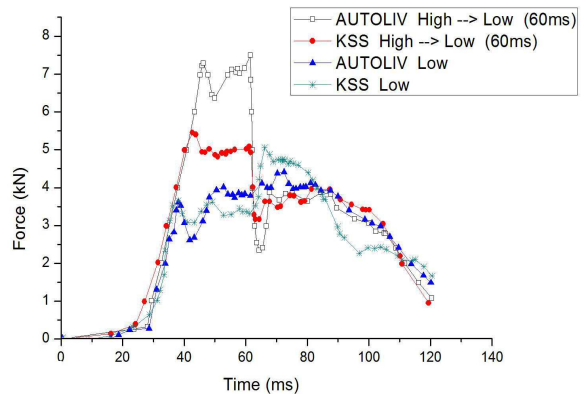


Fig. 2 Test result of sled test with adjustable load limiter

Autoliv사의 제품은 고하중 7kN, 저하중 4kN에서 작동하였다. 두 제품 모두 저하중에서는 40ms에서 작동하기 시작하였으며 KSS사 제품의 경우 저하중으로 작동시킨 경우에도 저장력바의 회전 후(40ms~60ms) 다시 고하중으로 작동함을 보였다. 두 제품 모두 고하중에서 저하중으로 전환시에 어깨벨트장력이 요구하중 이하로 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 이것은 하중 종류의 전환 과정에서 생기는 구조적인 이격에 의해 순간적으로 어깨벨트에 느슨함이 발생하기 때문이라고 여겨진다. 로드리미터가 작동하는 동안의 수치가 일정치 않고 peak to peak치 차이가 최대 1kN을 갖는 것을 확인할 수 있다. 이것은 장력바의 재질 특성에 따라 소성변형에 따른 항복강도의 변화에 의한 것이라고 사료된다.

3. 적응형 로드리미터의 개발

3.1 듀얼레벨 로드리미터

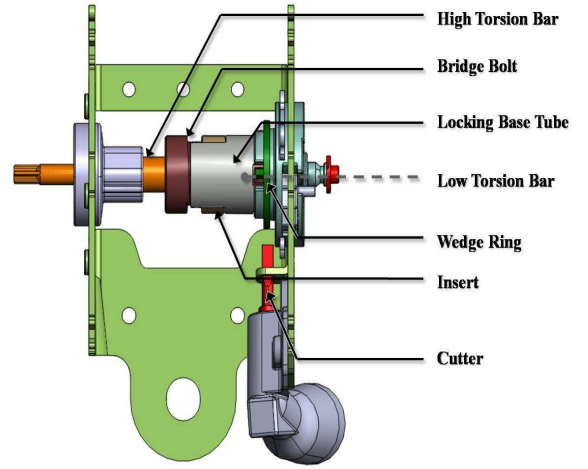
화약으로 작동하는 가변 듀얼레벨 로드리미터 리트랙터를 설계하였다. 기본 고하중에서 충돌 전 또는 충돌 중에 저하중으로 전환 가능한 리트랙터로 고하중에서 저하중으로 전환 작동 후 다시 고하중으로 복귀하는 기능을 가진다.

3.2 듀얼레벨 로드리미터 하중전달 구조

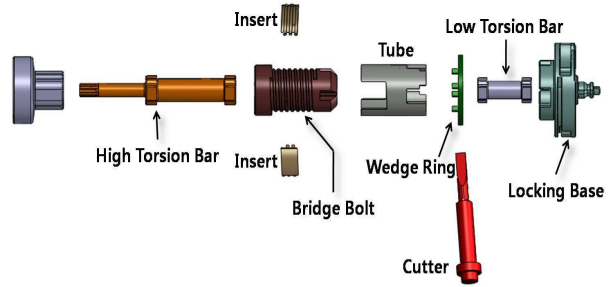
Fig. 3 (a)에서 보듯이, 고하중의 비틀림을 받는 고장력바와 저하중의 비틀림을 받는 저장력바, 이를 구속하고 연결해주는 브릿지 볼트, 락킹 베이스 튜브, 웨지링, 인서트, 커터가 듀얼레벨 로드리미터의 기본적인 구조이다.

3.3 듀얼레벨 로드리미터 작동원리

Fig. 3 (b)에 보이는 바와 같이 서로 다른 두께를 가지는 2개의 장력바를 사용한다. 장력바의 중간부분에서 튜브와 웨지링을 통해 어느 부분을 구속하였는지에 따라 고하중과 저하중으로 전환하여 사용한다. 저하중 작동은 커터로 웨지링을 파단하여 저장력바로 하중이 이동 작동하게 된다. KSS사의 제품처럼 저하중으로 작동 후 인서트의 회전수에 따라 정해진 회전수, 2.3회전(400mm) 후 튜브의 구속을 통해 다시 고하중으로 복귀한다. 로드를 전환하는 방식에 있어서 장약식을 사용하며 듀얼레벨 로드리미터는 앞선



(a) Assembly



(b) Disassembly

Fig. 3 Composition of dual-Level load limiter

두 제품과 다르게 프리텐서너 기능을 포함한다.

4. 적응형 로드리미터 작동실험결과

4.1 듀얼레벨 로드리미터 작동 요구조건

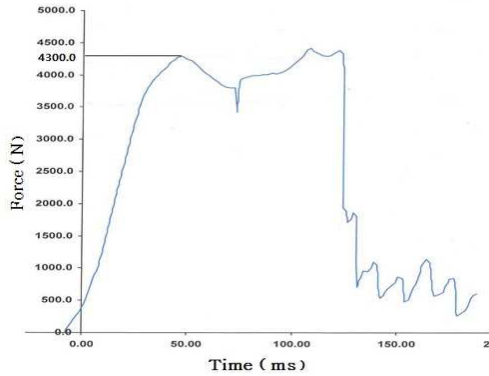
웨지링 파단으로 작동하는 적응형 로드리미터이므로 웨지링 파단 및 강도조건이 고하중 시 5kN의 장력을 지지해야하며 저하중 적용시 5kN의 장력에 웨지링이 파단 후 락킹베이스에서 이탈되어야 한다.

4.2 웨지링 파단 및 강도 실험

Fig. 4(a)와 같이 웨지링 파단이 고하중 시 4300N이라 목표하중인 5kN을 견디지 못하며 웨지링이 파단 된 후에도 Fig. 4(b)에서 보듯이 이탈이 이루어지지 않았다.

4.3 웨지링 강도에 대한 유한요소해석

Fig. 5와 같이 두께와 높이변화에 따른 등가응

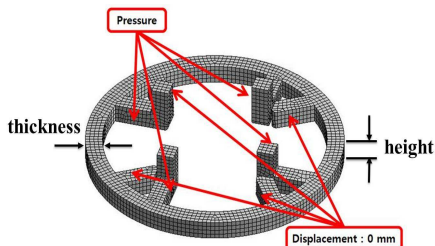


(a)

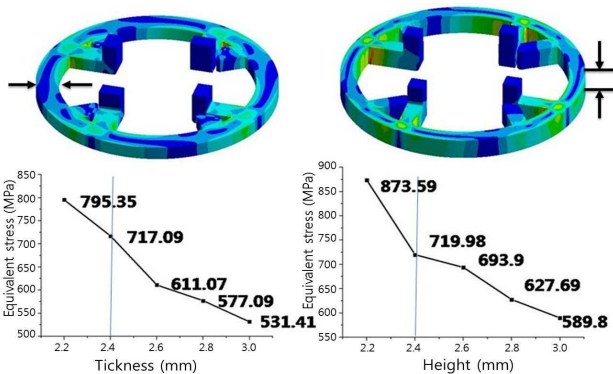


(b)

Fig. 4 A strength test on a sample of wedge-ring



(a) A direction of pressure



(b) Variation of thickness (c) Variation of height

Fig. 5 FEM test on a sample of Wedge-ring

력을 비교하여 고하중시 5kN의 장력을 지지할 수 있는 강도를 찾았다. 고하중시 5kN의 장력을 지지하기 위해선 소재의 항복응력값인 725MPa이

하의 최대응력이 발생하도록 하여야 하기에 Fig. 5 (b),(c)를 결과와 같이 둘다 기본크기 2.0mm에서 최소 0.4mm이상의 증가가 필요하다는 것을 유한요소해석을 통해 알 수 있었다.

5. 결론

Autoliv사와 KSS사의 모델을 벤치마킹하여 적응형 로드리미터 개발 시 문제점을 확인해보았으며 이를 토대로 듀얼레벨 로드리미터의 개발을 하였다. 본 개발품은 두 개의 장력바를 사용하였으며 웨지링을 통해 고하중에서 저하중으로 변환되도록 개발하였고, 저하중으로 변환 후 일정 시간 후 다시 고하중으로 변화되도록 벤치마킹모델에는 없는 기능을 추가하였다. 본 제품의 작동시험결과 문제점을 발견해 낼 수 있었으며 현재 웨지링의 형태와 재질로는 요구조건을 만족시키기 어렵다는 결과가 나왔다. 요구조건 만족을 위해서는 웨지링의 두께 및 높이를 기존크기인 2mm에서 최소 2.4mm이상으로 증가가 필요하다는 것을 유한요소해석을 통해 알 수 있었다. 앞으로 각 설계변수들을 혼합하여 해석을 수행할 필요가 있으며, 저 하중에서의 절단 후 이탈에 대해서도 고려해야 한다. 본 논문은 적응형 로드리미터인 듀얼레벨 로드리미터의 기계설계 및 웨지링 설계를 개선하는 데에 사용될 수 있다.

후 기

본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

참고문헌

- (1) Korea Institute of Patent Information, 2005, "The Patent Trend of Seat Belts," *Auto journal*, Vol. 27, No. 3, p. 69.
- (2) Chang, H. J., Kim, G. H., Song, J. H., Suk, J. S. and Hwang S. K., 2004, "Consideration on the US and Euro NCAP Methodology for the Frontal Crash," *The Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. 2, No. 51, p. 872.
- (3) Eppinger, R., Sun, E., Kuppa, S. and Saul, R., 2000, "Supplement: Development of Improved Injury Criteria for the Assessment of Advanced Automotive Restraint System-II," NHTSA, March

- 2000, pp. 20~23.
- (4) Key Safety Systems. Inc, Sterling Heights, MI(US), 2007, *Multilevel load limiting retractor with dual shifting mode*, U.S. Patent: 7,240,924 B2.
- (5) Autoliv Development AB, 2001, *Belt retractor with adjustable force-limiting device*, U.S. Patent: 6,241,172.
- (6) Takata Corporation, 2008, *Seatbelt retractor having multi-level load-limit setting devices*, U.S. Patent: 7,370,822.