< 기술논문 >

컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 자동차용 스프링 링크의 경량화 설계

박 준 협¹⁾ · 김 기 주^{*2)} · 윤 준 규³⁾

동명대학교 메카트로닉스공학과¹⁾ · 서정대학교 자동차과²⁾ · 가천대학교 기계자동차공학과³⁾

Light-weight Design of Automotive Spring Link Based on Computer Aided Engineering

Jun-Hyub Park¹⁾ · Kee Joo Kim^{*2)} · Jun-Gyu Yoon³⁾

¹⁾Department of Mechatronics Engineering, Tongmyong University, Busan 608-711, Korea

²⁾Department of Automobile Engineering, Sejeong College, Gyeonggi 482-777, Korea

³⁾Department of Mechanics and Automotive Engineering, Gachon University, Gyeonggi 461-701, Korea

(Received 7 December 2012 / Revised 21 January 2013 / Accepted 21 February 2013)

Abstract : It is well known that the targeted fuel efficiency could only be achieved by more than 40% reduction of the vehicle weight through improved design and extensive utilization of lightweight materials. In order to obtain the goal of the weight reduction of automobiles, the researches about lighter and stronger spring link have been studied without sacrificing the safety of automotive components. In this study, the weight reduction design process of spring link could be proposed based on the variation of von-Mises stress contour by substituting an aluminum alloys (A356) having tensile strength of 245 MPa grade instead of SAPH440 steels. In addition, the effect of the stress and stiffness on shape variations of the spring link were examined and compared carefully. It could be reached that this approach could be well established and be contributed for light-weight design guide and the safe design conditions of the automotive spring link development.

Key words : Aluminum alloys(알루미늄 합금), Spring link(스프링 링크), Light weight(경량화), CAE(컴퓨터 응용공학)

1. 서 론

국내에서는 자동차 배기량에 관계없이 5개 등급으로 단일화하여 에너지 소비효율이 15km/ℓ 이상이면 1등급으로 분류하여 각종 세제혜택이 주어질 예정이다. 또한, 유럽 연합은 교토의정서에 의거하여 2012년까지 온실가스 배출을 1990년 대비 8% 감축 시킬 것을 목표로 2012년 유럽에서 판매되는 자동차 신차의 이산화탄소 배출량이 130g/km을 초과시, 2012년 20€/g, 2013년 30€/g, 2014년 60€/g, 2015년 95€/g로 각각 단계적으로 벌과금을 부과할 예정이다.

이에, 각국의 자동차사는 자동차 배출가스로 인한 이산화탄소의 발생량을 연비향상을 통해 감소시키기 위하여 자동차 경량화 및 엔진 마찰손실 저감 등의 연료 고효율화 기술개발에 총력을 기울이고 있다.¹⁻⁵⁾

본 연구에서는 인장강도 245MPa급 알루미늄 합금 소재를 이용한 스프링 링크의 경량화 설계 과정을 기존의 상용화로 검증된 Steel (SAPH440) 소재로 제작된 스프링 링크를 참고로 하여 CAE (Computer aided engineering)을 이용해 다루고자 한다. 특히, 서스펜션에 부여되는 각 하중조건의 변화에 따른 응력의 변화를 비교하여 안전율을 고려한 스프링 링크를 설계하는 방법을 제시하고자 한다.

*Corresponding author, E-mail: kjkim@sejeong.ac.kr

2. 해석 방법

자동차 서스펜션 구성품인 스프링 링크(Spring link)는 승용차의 샤시 하단부에 위치하여 스프링 및 속업소바(Shock absorber)를 지지해줄 뿐만 아니라 차체와 휠(Wheel)에 전달되는 충격을 완화시켜 주는 역할을 한다. 뒷쪽 휠은 이 부품에 휠캐리어(Wheel carrier) 부품으로 연결되는 서스펜션으로 구성되어 편안한 승차감을 제공한다. 본 연구에서는 Steel (SAPH440) 소재로 개발된 스프링 링크의 구성 파트를 알루미늄 합금으로 소재 변경하여 경량화 설계를 진행하였으며 Fig. 1에 모듈형태로 제작된 리어 서스펜션의 차량 장착 위치를 나타내어 스프링 링크의 차량 구조물 상 역할을 상세히 나타내었다.

Fig. 2에 STKM11A소재로 개발된 서스펜션 링크 및 알루미늄 합금으로 본 논문에서 설계 제시하고자하는 서스펜션링크를 비교하여 나타내었다. 알루미늄 합금 소재로 링크가 제작될 경우 상대적으로 STKM11A 소재보다 강성이 낮을 것이기 때문에 섹션부를 보강하여 강성을 극대화시킨다면 재질 대체에 따른 경량화 효과와 아울러 강성 보강이 이루어질 것으로 기대된다.

Fig. 3에 Steel (SAPH440) 소재로 제작된 스프링

Fig. 1 Spring link of the rear chassis

(a) Steel (SAPH440) link

(b) Aluminum alloy link

Fig. 2 Shape of spring link (a) Steel (SAPH440) link and (b) Aluminum alloy link

(a) Steel (SAPH440) link

(b) Aluminum (A356) link

Fig. 3 Comparison of dimension between steel link and aluminum link

Table 1 Mechanical properties of AA and SAPH440

	SAPH440	Aluminum alloy (A356)
Young's modulus	200.0 GPa	71.0 GPa
Poisson's ratio	0.30	0.33
Density	7.85 g/cm ³	2.77 g/cm ³
Yield strength	305.0 MPa	160.0 MPa
Ultimate strength	440.0 MPa	245.0 MPa
Fatigue limit	208.8 MPa (at 1×10 ⁶ cycles)	73.5 MPa (at 1×10 ⁷ cycles)

링크와 알루미늄 합금으로 설계된 스프링 링크의 형상 및 치수를 비교하여 나타내었다. 스프링 링크 모델과 휠 캐리어, 스테빌라이저, 속 업소버와의 조립 시 고정되어 조립되도록 이 점을 고려하여 그림의 치수와 같이 설계되었다.

CAE 해석은 상용프로그램으로 검증된 Ansys 프로그램을 이용하였으며 쉘(shell) 요소망을 사용하였다. 링크의 경우 휠 캐리어, 스테빌라이저, 속 업소버와의 하중분배 문제를 고려하여 부여하는 하중은 로컬좌표(Local coordinate) 상 각 조립 부품에 차량무게에 따라 분배되는 조립하중을 배분하여 부여하였다. Table 1에 해석에 사용된 Steel (SAPH440) 재질 및 알루미늄 합금에 대한 기계적 특성을 정리하여 나타내었다.

식 (1)은 무게인자(weight function; WF) 개념을 나타낸 것이고 이를 도입하면 소재의 피로한도에 대해 부품에 작용하는 응력비(stress ratio)를 구할 수 있다.

$$WF = \frac{\sigma}{\sigma_f} \quad (1)$$

식 (1)에서 σ 는 해석을 통한 각 부위별 von-Mises stress 값을 나타내며 σ_f 는 피로한도(fatigue limit)를 나타내는 데 본 연구에서 사용한 Steel (SAPH440) 소재 및 알루미늄 합금 소재의 피로한도는 Table 1에 나타낸 것과 같이 각각 208.8 MPa(100만 사이클 기준) 및 73.5 MPa(천만 사이클 기준)이다.

식 (1)을 이용하여 최적화 설계기준을 정할 수 있는데 A356에 대한 무게인자는 Steel (SAPH440)에 대한 무게 인자에 최대한 근접하게 설계하며 이를 넘지 않게 설계하는 것이 필요하다. 예를 들어 단위 하중에 대한 해석결과 Steel (SAPH440) 및 A356의

최대 von-Mises 응력은 각각 100 MPa, 50 MPa의 결과를 계산·예측한 경우 Steel (SAPH440)의 무게인자 = $\sigma/\sigma_f = 100/208.8 = 0.479$ 로 계산되며 A356의 무게인자 = $\sigma/\sigma_f = 50/96.5 = 0.518$ 로 계산된다. 이때 A356의 무게인자 값이 Steel (SAPH440) 보다 작으므로 A356을 보강하여 0.479에 근접하며 이 값을 넘지 않도록 설계해야 파괴 없는 안전한 서브-프레임을 설계할 수 있을 것이다.

3. 스프링 링크 해석 결과 및 고찰

Table 2에 차량 안전계수를 고려하여 서스펜션 부품에 가하는 하중조건을 정리하여 나타내었는데, X-방향은 차의 길이방향을, Y-방향은 차의 폭방향을, Z-방향은 차의 높이방향을 나타내는 좌표값이다. 여기서 1g는 리어 서스펜션의 경우 차량의 무게의 1/2을 나타내며 3g는 1g의 세배를 나타낸다. 또한, RH는 차량 오른쪽 휠, LH는 차량 왼쪽 휠에 가하는 하중을 나타낸다.

Fig. 4에 Pot Hole Braking (PHB) 하중조건 하중 방향을 일례로 표시하여 나타내었으며 PHB 하중조건인 경우 차량이 주행하다가 도로가 움푹 패인 부분을 주행하며 브레이킹 작업을 수행 시 차량에 부여되는 하중조건을 나타낸다. 차량의 분배하중 1g로만 하중이 부여되지 않는 이유는 차량의 안전율을 고려한 설계 하중 조건을 부여하는 때문이며 이에 관한 하중조건은 상용 해석 회사인 ETA사와 LOTUS사의 설계조건을 참조하였다. Fig. 4에 나타나듯이 각 하중조건은 Table 2에 따라 각 Load case 별로 다른 방향의 하중을 경계조건(boundary condi-

Fig. 4 Example of loading in pot hole braking (PHB) condition

Table 2 Loading conditions of suspension⁶⁾

Load case	Wheel	X	Y	Z
Pothole braking (PB)	RH	1g	-	3g
	LH	1g	-	3g
Pothole cornering (PC)	RH	-	1g	3g
	LH	-	1g	3g
Reverse braking (RB)	RH	-1g	-	1g
	LH	-1g	-	1g
Ultimate vertical (UV)	RH	-	-	4g
	LH	-	-	4g
Oblique curb strike (OCS)	RH	3g	1.5g	1g
	LH	1g	-	1g
Lateral curb strike (LCS)	RH	-	2g	1g
	LH	-	1g	1g

tions)으로 부여하였으며 휠 센터(wheel center)에 하중을 부여하며 타이어 접지면을 고정(fix)하였다.

Fig. 5에 알루미늄 합금(A356)으로 제조된 스프링 링크 모델의 해석 결과(von-Mises stress)를 나타내었다. 그림에 von-Mises stress 최대값을 나타내는 위치를 나타내었다.

Table 3에 식 (1)의 무게인자 계산방법을 고려하여 Steel (SAPH440) 소재 및 알루미늄 합금(A356) 소재를 적용한 스프링 링크의 하중 종류별 무게인자 해석값을 비교하여 나타내었다. 표에서 알루미늄 합금(A356) 소재로 제작한 스프링 링크의 무게인자 값이 모든 하중조건(PB, PC, RB, UV, OCS, LCS)에서 Steel (SAPH440) 소재를 사용하여 제작한 스프링 링크의 값들 보다 낮았으며 무게인자는 제품에 가해지는 최대응력을 피로한도로 나눈 값이므로 이 값이 내구시험으로 검증된 Steel (SAPH440) 소재의 값들보다 낮으므로 안전하게 설계되었음을 확인할 수 있다. 이로써 피로해석을 수행하지 않고 단순할 뿐만 아니라 초기조건으로 부여되는 물성이 보다 더 단순한 정적해석결과에 무게인자를 도입하여 제품의 피로특성을 초기설계에 어느 정도 파악할 수 있음을 알 수 있다. 이는 먼저 출판된 저자의 다른 논문에서도 상당한 검증이 이루어진 사항이다.⁴⁾ 또한, Steel (SAPH440) 소재로 제작한 스프링링크의 무게는 2.564kg이었으나 본 논문에서 제시한 알루미늄 합금으로 제작된 스프링링크의 무게는 1.845 kg으로 약 28%의 경량화가 가능함을 알 수 있으며

Fig. 5 Equivalent (von-Mises) stress contour

Table 3 Results of maximum stresses and weight factors

Load case	Max. stress		Weight factor (σ/σ_t)	
	SAPH440	A356	SAPH440	A356
PB	504.3	129.5	2.4	1.8
PC	1,319.0	223.7	6.3	3.0
RB	354.6	77.7	1.7	1.1
UV	1,131.0	185.2	5.4	2.5
OCS	485.4	152.9	2.3	2.1
LCS	405.7	123.5	1.9	1.7

안전율을 고려하여 두께를 좀 더 줄일 수 있을 만큼 무게인자는 충분히 여유가 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 인장강도 245MPa급 A356 알루미늄 합금 소재를 이용한 스프링 링크의 경량화 설계 과정을 기존의 상용화로 검증된 Steel (SAPH440) 소재로 제작된 스프링 링크를 참고로하여 CAE를 이용해 계산하였다. 특히, von-Mises stress를 피로한도로 정규화(normalizing)하여 안전계수와 같은 형태의 안전율을 부여하여 피로특성을 정적해석 결과로 단순하게 계산하는 방법을 제시하였다. Steel (SAPH440)의 무게인자보다 A356 알루미늄 합금의 무게인자가 다양한 하중 모드에서 작은 값을 나타낼 때 안전한 설계임을 알 수 있으며 이를 통해 28%의 경량화율을 달성할 수 있었다. 두께를 최적화한다면 보다 더 높은 경량화율을 달성할 수 있을 것으로 기대되며 본 논문에서 제시하는 무게인자와 응력비를 도입한 정적해석을 통한 동적특성 예측방법은 상당히 간단하고 유용한 방법임을 알 수 있다.

후 기

본 논문은 2011학년도 동명대학교 연구년지원에 의하여 연구되었음.

또한 본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2012년도 산학연공동기술개발사업(NO. C0024203)의 연구 수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

References

- 1) J. H. Park, S. K. Kim, B. I. Choi, H. J. Lee, Y. H. Lee, J. S. Kim and K. J. Kim, "Optimal Design of Rear Chassis Components for Light-weight Automobile Using Design of Experiment," Materials Science and Engineering Technology, Vol.41, No.5, pp.391-397, 2010.
- 2) M. Rais-Rohani, K. Solanki and C. Eamon, "Reliability-based Optimization of Lightweight Automotive Structures for Crashworthiness," 11th AIAA/ISSMO Multidisciplinary Analysis and Optimization Conference, 2006.
- 3) K. J. Kim and S. T. Won, "Effect of Structural Variables on Automotive Body Bumper Impact Beam," Int. J. Automotive Technology, Vol.9, No.6, pp.713-717, 2008.
- 4) K. J. Kim, J. H. Lim, J. H. Park, B. I. Choi, J. W. Lee and Y. J. Kim, "Light-weight Design of Automotive AA6061 Rear Sub-frame Based on CAE Simulation," Transactions of KSAE, Vol.20, No.3, pp.77-82, 2012.
- 5) K. J. Kim, M. H. Rhee, B. I. Choi, C. W. Kim, C. W. Sung, C. P. Han and K. W. Kang, "Development of Application Technique of Aluminum Sandwich Sheets for Automotive Hood," International J. of Precision Engineering and Manufacturing, Vol.10, No.4, pp.71-75, 2009.
- 6) Suspension Analysis Load Input Formulas, ETA Analysis Input Report, France, pp.1-14, 1990.