

1/4차량 시험을 통한 상부 컨트롤 암의 내구성 평가

하민수*, 손환정*, 김종규*, 박영철#**

Durability Assessment of a Control Arm Using 1/4 Car Test

Min-Soo Ha*, Hwan-Jung Son*, Jong-Kyu Kim*, Young-Chul Park#

(Received 8 October 2010; received in revised form 23 November 2010; accepted 2 December 2010)

ABSTRACT

This study proposes a structural design method for the upper control arm installed at the rear side of a SUV. The weight of control arm can be reduced by applying the design. In this research, the former includes optimization technology, and the latter the technologies for selecting aluminum as a steel-substitute material. Strength assessment is the most important design criterion in the structural design of a control arm. At the proto design stage of a new control arm, FE (finite element) analysis is often utilized to predict its strength. In this study, the kriging interpolation method is adopted to obtain the minimum weight satisfying the strength constraint and durability criteria. The optimum results determined from the in-house program are compared with those of ANSYS WORKBENCH. The durability assessment is obtained by a index of fatigue durability and trial & error method, MSC. Fatigue program.

Key Words : Durability(내구성), Control arm(컨트롤 암), 1/4차 시험(Quarter car test), 피로 해석(Fatigue analysis)

1. 서 론

최근 산업계 전 분야에 걸쳐 지구 온난화에 대응하기 위한 온실가스(CO₂)감축 및 연비규제가 크게 강화되는 추세이다. 따라서 매장된 화석연료의 고갈에 따른 국제 유가의 상승으로 연비 향상기술이 가장 중요한 이슈로 대두되고 있는 것이 사실이다. 이와 더불어 자동차 부품 업계에서는 자동차 부품의 경량화 설계를 통해 개발 비용의 절감과 에너지 효율성을 높이기 위해 많은 노력을 기울이

고 있다.

차량 주요부품들의 경량화 설계를 위하여 일부 부품들은 시차 설계 단계부터 목표중량을 설정한 다음 여러 가지 변수를 적용하여 개발되고 있다. 본 연구에서 사용된 컨트롤 암은 한쪽 끝은 차체 프레임(Frame)과 연결되고 다른 한쪽 끝은 너클(Knuckle)에 연결되어 피봇 역할을 한다.

컨트롤 암은 승차감(Ride comfort)과 조종 안정성(Handling performances)에 영향을 미치는 현가장치(Suspension)의 핵심 부품이다. 본 연구에서 적용한 컨트롤 암은 창원 소재의 C 업체에서 생산되는 제품이며 SUV 차량에 장착이 되는 후륜용 상부 컨트롤 암이다.(1)

본 연구에서는 정적강도를 고려한 컨트롤 암의 최적화 결과 모델을 통해 여러 가지 성능평가 방

* 동아대학교 대학원 기계공학과

교신저자 : 동아대학교 기계공학과

E-mail : parkyc67@dau.ac.kr

** 동아대학교 기계공학과

법 중 내구한도를 기준으로 한 성능평가를 수행해 보기로 했다. 그 방법으로는 동적내구해석과 준정적 내구해석 중 후자를 통한 즉 다시 말하면 정적 구조해석 후 하중 이력을 적용하여 피로수명을 예측하는 방법을 사용하였다. 그다음으로 보통의 컨트롤 암 설계에서는 해석을 통한 성능평가를 하는데 그치는 경우가 많은데 이번 연구에서는 과제를 공동으로 수행한 업체에서 보유중인 1/4차량 시험기를 통해 해석과 실제 시험결과의 비교분석을 통해 내구성능을 시험해보았다. 이를 통해 보다 나은 해석의 신뢰성을 확보 할 수 있을 것으로 기대하였다.(2)

2. 컨트롤 암의 내구성능 평가

2.1 내구해석

일반적으로 내구해석은 동적 내구해석과 준정적 내구해석으로 나뉜다. 준정적 내구해석은 내구해석 시 널리 사용되는 방법으로 정적 구조 해석 후 하중 이력을 적용하여 피로수명을 예측하는 방법이다.

Table 1 Specifications for durability assessment

	Static analysis	Load time histories		Assessment (Cycle)
		Amplitude	Signal	
1st	case1	+1	constant	5×10^5
	case2	+1 ~ -1	Sine	
2nd	case1	+1	constant	7×10^5
	case3	+1 ~ -1	Sine	
3rd	case4	+1 ~ 0	Sine	5×10^5

본 연구에서는 컨트롤 암의 내구 성능을 평가하기 위해 준정적 내구해석을 수행 하였다. 피로수명

예측하기 위해 변형률-수명법을 사용하였다. 다음 방법은 소성영역의 영향을 고려한 내구 해석을 수행하기 위함이다. 하지만 정적 구조 해석은 선형 탄성구간에서 수행하였기 때문에 소성영역을 고려하지 못하는 한계가 있다. 따라서 선형 탄성구간의 구조해석의 결과로부터 소성영역을 고려한 결과로 보정하기위해 MSC. Fatigue에서 지원하는 방법 중 Neuber Rule을 선택하였다.(3) 평균응력효과를 고려하기 위해 SWT (Smith-Watson-Topper)방법을 적용하였다. 선형 해석 시 하중 및 경계조건은 앞 절에서 언급한 정강도 해석 절차와 동일하다.

2.2 내구성 지수 평가

SWT 지수는 내구성을 지수화로 표기하는 것으로 평가는 C 업체의 내구해석 스펙을 따른다. 식 (1)은 SWT 지수를 구하기 위한 식이다.

$$SWT(= \sigma_{max} \frac{\Delta\sigma}{2}) = (\sigma'_f)^2 (2N_f)^{2b} + E\sigma'_f \epsilon'_f (2N_f)^{b+c} \quad (1)$$

여기서 N_f 는 수명이고, 나머지 값은 재료의 ϵ -N 물성 데이터이다.

실제 해석에 따른 값과 목표 값의 SWT 지수를 구하여 식 (2)에 대입하여 1.0보다 이상의 값이 나오면 내구성이 C 업체의 요구사항에 만족하는 것으로 판단한다.

$$\text{Index of fatigue durability} = \left(\frac{(SWT)_{target}}{(SWT)_{analysis}} \right)^{0.5} \quad (2)$$

2.3 시행 착오법을 이용한 내구성능평가

정적강도를 고려한 최적화 결과 모델로 C 업체에서 내구 성능의 기준으로 사용하는 3가지 기

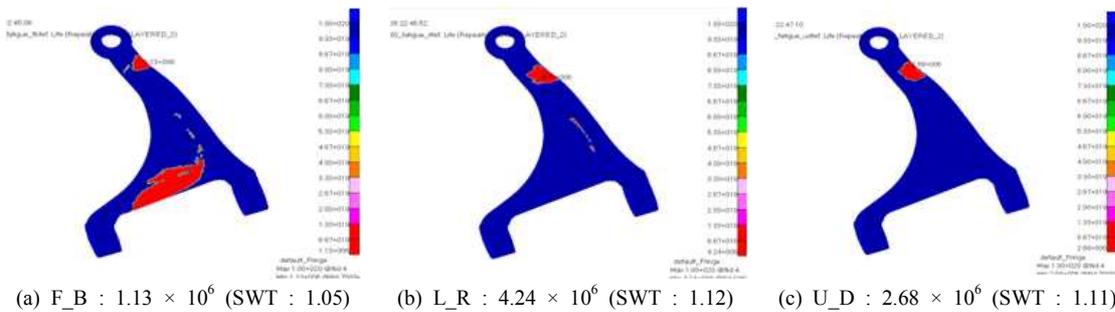


Fig. 1 Fatigue life contour for each assessment of trial & error method optimum model

준(F_B:전후향, L_R:좌우향, U_D: 상하향)을 통해 평가 하였다.(4) Table 1에 4개의 준정적해석용 하중, 하중이력 그리고 평가 기준 사이클(Cycle)을 나타내었다. 정강도 최적화 모델로 내구해석을 하였을 경우 10^{20} Cycle을 나타내었다. 이는 내구 기준을 상회하는 것으로 시행 착오법에 의한 모델을 구성하여 SWT 지수를 1.0에 근접하도록 하였다. 시행 착오법은 설계자의 경험과 직관에 따라 설계를 하는 방법이다.(5) 내구해석을 위한 초기모델을 정강도 최적화 모델로 하고, 변수를 감소시켜 내구해석 최적화 모델을 선택한다.(6) Table 2는 시행 착오법을 이용한 내구해석 모델과 해석 결과를 나타내었고, Fig. 1은 SWT 지수를 기준으로 최적화 된 모델(81%)의 각 하중에 따른 MSC. Fatigue 해석결과를 나타내었다.(7)

Table 2 Analysis result of trial & error method model

		Opt.	95%	90%	85%	81%
Life (Cycle)	1st	1×10^{20}	1×10^{20}	1×10^{20}	423×10^7	1.13×10^6
	2nd	1×10^{20}	1×10^{20}	1×10^{20}	423×10^7	424×10^6
	3rd	1×10^{20}	1×10^{20}	1×10^{20}	494×10^7	268×10^6
Index of Fatigue Durability	1st	7.56	7.56	7.56	1.31	1.05
	2nd	7.41	7.41	7.41	1.29	1.12
	3rd	7.56	7.56	7.56	1.33	1.11
Static Analysis result		315	344	379	429	525
Safety Factor		1	0.916	0.831	0.734	0.6
Weight(g)		1598.8	1543.4	1487.9	1432.4	1386.8

3. 1/4차 시험

본 연구에 사용된 컨트롤 암은 자동차 현가부품의 특성상 모듈화된 부품에 속하기 때문에 단품만을 통한 시험 및 평가만으로는 다소 미흡한 부분이 없지 않다. 따라서 본 연구에서는 과제를 공동으로 연구한 업체에서 보유중인 1/4차량 시험기를 통한 컨트롤 암의 피로수명평가를 실시하였다.

3.1 위크 모델의 제작

컨트롤 암의 경량화를 위해 최적화모델을 제시하였고, 설계된 모델을 실제사용조건에 근접한 시험을 통해 검증하기 위하여 1/4차 시험을 실시하고자 하였으나 모델을 1/4차 시험조건에 따라 시물

레이션해본 결과 시험소요 시간이 거의 무한대로 계산되어 짐에 따른 현실적인 시험가동시간을 고려하여 불가피하게 수명을 줄인 모델을 이용하기로 하고 원래 모델보다 수명이 짧은 위크 모델을 설계 및 제작하였다. 아래 Fig. 2는 위크 모델의 제작법을 나타낸 그림이다. 차량에 실제 작창되어 지는 형태에서 수명에 가장 영향을 많이 미치는 부분인 암의 아래 부분을 커팅 하는 방법을 사용하였다. Fig. 3은 앞서 설명한 방법으로 점선박스 친 부분이 원래 모델에서 커팅 되어 제작된 위크 모델의 실제 모양을 나타낸 그림이다.

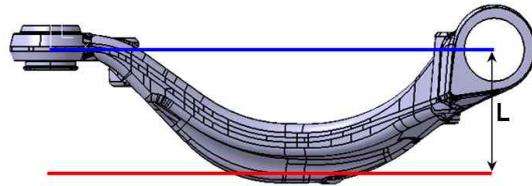


Fig. 2 Weak model fabrication method

L의 길이는 시행착오법을 통해 1/4차량 시험기의 하중입력기준인 좌_우향 기준으로 원래모델의 10% 이하의 수명을 가지는 모델을 찾아 선택하게 되었다.



Fig. 3 Weak model

3.2 위크 모델의 피로해석 결과

실제 시험에 앞서 시험조건과 동일한 하중조건입력을 통한 해석결과를 Table 3에 나타 내었다. 결과를 살펴보면 L_R방향 즉 좌우방향의 시험조건에서 약 4시간 30분 정도의 수명을 보이는 것으로 나타났다.

Table 3 Analysis of fatigue test result of 1/4 car

Condition	F_B	L_R	U_D
Life	2.14×10^4	4.89×10^4	3.86×10^4
Lime	2시간	4시간30분	4시간

3.3 1/4차 시험 및 결과

앞선 해석시간 예측을 통해 결정한 시험조건은 Table 4와 Fig 4에서와 같은 좌우방향으로 컨트롤 암에 하중을 가하는 방식으로 진행하였다.

Table 4 Testing of the operating conditions

Condition	내용
Model	단품기준
Cycles	3Hz
Load condition	좌우향(L_R)
Specific condition	1.0 GVW 좌우
Life expectancy	약 4시간 30분

1/4차량 시험기의 가동조건에는 좌_우, 상_하, 전_후 방향 각각 3가지 방식으로 하중조건을 입력할 수 있으나 본 연구에서는 시험시간을 고려하여 최적의 시험 시간인 4~5시간가량을 기준으로 하여 시험조건을 선택하였다. 따라서 본 연구에서는 좌우방향의 하중입력을 통해 시험하였다.



Fig. 4 Test operation condition of a 1/4 car

본 연구에서는 시험샘플을 총 두개를 제작하였으

며 가공 형상치수 및 가공정도의 오차를 최소화하여 제작하였다. 해석결과와 실험결과의 비교결과를 Table 5에 나타 내었으며 Table 5와 같이 A모델의 경우 3시간 20분정도, 그리고 B모델의 경우 4시간 50분 만에 피로 파괴되는 결과를 얻을 수 있었다. 두 모델간의 오차를 최소한으로 줄이고자 하였으나 아주 미세한 가공정도의 차이에 의해 시험결과상의 시간차이를 보이는 것으로 판단하였다. 하지만 해석상의 파손 예측부위와 실제 실험상의 예측 부위가 해석상에서의 응력이 가장 많이 발생하는 부분으로서 비교적 일치율을 보이는 것으로 볼 때 성공적인 실험결과를 나타내는 것으로 판단한다.

Table 5 Comparison of 1/4 car simulation and experiment

	Predict	Sample A	Sample B
Life cycle	4.89×10^4	3.65×10^4	5.71×10^4
Life time	4시간30분	3시간20분	4시간50분



Fig. 5 Experiment result

4. 결론

본 연구는 자동차의 서스펜션을 구성하는 주요 부품중의 하나로서 최근의 경량화추세에 따라 강에서 알루미늄으로 대체됨에 따라 내구성확보를 위한 연구가 많이 진행되고 있으며 실 차량 테스트의 비용문제 때문에 1/4차량 테스트를 진행해봄으로서 내구성테스트를 해본결과, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 정적강도를 고려하여 작성된 모델을 이용해 내구성능 지수 평가를 통한 최적화모델을 시행착오법을 수행한 결과, 원래 모델보다 약 19% 중량을 감소시킨 모델을 찾을 수 있었다.

2. 시험의 원활한 진행을 위하여 워크 모델을 작성하여 피로 해석을 수행 했을 경우 그 결과는 실험과 해석의 결과는 비교적 일치함을 알 수 있었다. 그러나 시편의 수가 너무 적었다는 단점을 가지고 있었기 때문에 향후 연구를 통해 다양한 차종의 그리고 보다 많은 모델을 작성하여 시험을 진행하여 보다 신뢰성 있는 시험을 통한 결과에 대한 고찰이 필요하다고 판단된다.

3 본 연구는 해석상으로만 컨트롤 암을 평가했던 예전의 연구방법에서 탈피하고자 1/4차량 시험기를 이용한 피로파괴 시험을 하여 해석결과와의 비교한 결과 해석상의 피로 파괴 부분과 실제 실험상의 피로파괴부분의 상당한 일치점을 보임으로서 신뢰성 높은 결과를 얻을 수 있었다는 것에 만족 할 수 있었다.

- 3) MSC Software Corporation, 2004, "MSC.NASTRAN" 2004 Design Sensitivity and Optimization User's Guide, Santa Ana, California.
- 4) D. C. Lee and J. I. Lee, 2003, "Structural Optimization Concept for the Design of an Aluminium Control Arm," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, Vol. 217, No. 8, pp.647-656.
- 5) M. S. Kim, C. W. Lee, S. H. Son, H. J. Lim and S. J. Heo, 2003, "Shape Optimization for Improving Fatigue Life of a Lower Control Arm Using the Experimental Design," *Transactions of KSAE*, Vol. 11, No. 3, pp. 161-166.
- 6) Y.S. Kim, H. S. Son, J. Y. Park, S. G. Choi and S. H. Yang, 2006, "Finite Element Analysis to Design and Optimized Forming Conditions for Lower Control Arm," *Metallurgical and Materials Transactions A*, Vol. 37A, pp. 2539-2547.
- 7) J. Sacks, W. J. Welch, T. J. Mitchell and H. P. Wynn, 1989, "Design and Analysis of Computer Experiments," *Statistical Science*, Vol. 4, No. 4, pp. 409-435.

5. 후기

이 논문은 동아대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고문헌

- 1) H.S. Park and Y.C. Park , "Structural Design of a Front Lower Control Arm Considering Durability". *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineering*, Vol. 8 No.4 ,pp.69~75(2009. 12)
- 2) J.K. Kim and K.H. Lee , "Shape Design of an Outer Tie Rod, Considering Durability Criteria". *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineering*, Vol. 8 No.4 , pp . 54 ~ 60(2009. 12)