

유한요소법을 이용한 로우어 컨트롤 암의 구조 최적설계 Structure Optimization for a Lower Control Arm Using Finite Element Method

*송병철¹, 강동현¹, 박영철², #이권희²

*B. C. Song¹, D. H. Kang¹, Y.C. Park² #K. H. Lee²(leekh@dau.ac.kr)

¹ 동아대학교 기계공학과 대학원, ² 동아대학교 기계공학과

Key words : Low Control Arm, DOE, ANSYS WORKBENCH

1. 서론

국내에서는 자동차 부품 새시(chassis)계의 모듈화 및 경량화를 동시에 추구하면서, 구동부품과 차체부품을 알루미늄 주조 또는 단조제인 경량재료의 사용이 점차 증가하는 추세이다. 특히 현가장치(suspension)는 승차감(ride comfort)과 조종 안정성(handling performances)에 대한 소비자들의 인식이 높아감에 따라, 고속주행시 차량의 주행성능을 확보하는 동시에 경량화를 통한 현가장치의 최적설계가 요구되고 있다⁽¹⁾.

최근의 최적설계는 통계학적 방법을 이용한 실험 계획법의 직교배열표와 CAE 시뮬레이션을 연계하여 설계공정을 단축시키고, 설계의 고도화를 도입하기 위한 최적설계의 개념이 도입되고 있는 추세이다. 최적화 문제에서는 설계변수의 변화에 따른 목적함수와 제약조건의 변화정도를 표현하는 수학적 모델을 필요로 한다. 그러나 실제 시스템에 있어서 제한 조건들과 목적함수를 정확히 수학적으로 기술하는 것이 매우 어려운 작업이며 표현방식이 가지고 있는 한계성으로 인해 부정확성의 문제가 발생한다. 이로 인해 최근에는 시스템의 평가 특성치 함수를 수식적으로 구하기 어려운 경우에 통계적 방법을 이용한 실험계획법이 사용되고 있는 추세이다⁽²⁾.

본 연구에서는 ANSYS WORKBENCH의 DOE를 이용하여 최적화를 수행하여보고 그 결과와 직교배열표를 사용 그 민감도에 따라 설계변수를 줄여 최적설계한 결과를 비교 검토해 볼 것이다.

2. Lower Control Arm의 구조 최적설계

2.1 설계변수 및 하중조건 정의

최적 설계 대상인 Lower Control Arm은 현 차종에 사용중으로 재질은 A6061($\sigma_y=270MPa$) 이다. 본 연구에서는 재질을

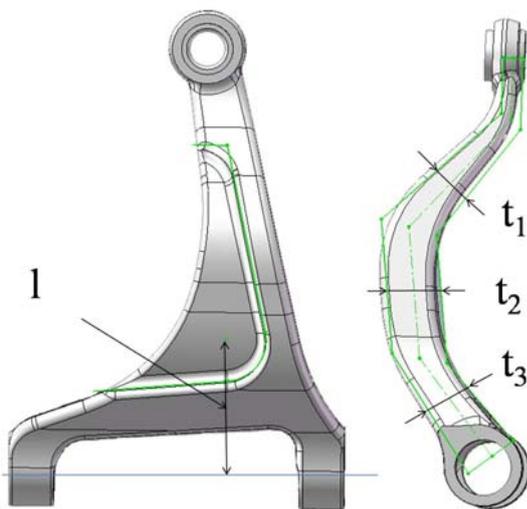


Fig. 1 Design variables of a Lower control arm

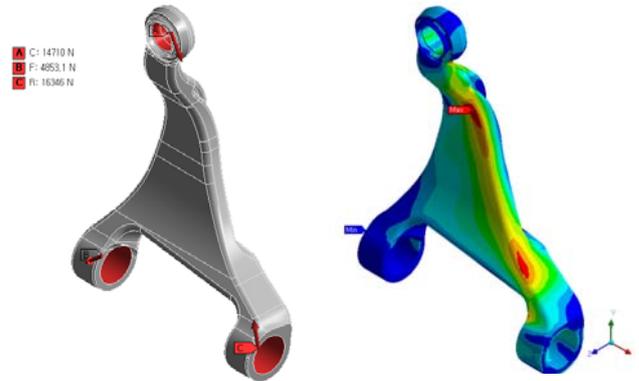


Fig. 2 force boundary condition

Fig. 3 Stress contour at the initial design

A6061M6($\sigma_y=315MPa$)으로 대체된 모델의 최적설계를 수행하였다. 그리고 다른 부품과의 간섭 문제로 설계변수의 Upper bound는 초기 모델의 치수를 넘어서는 안 된다. Lower Control Arm의 설계 시 고려해야 할 하중은 내구 하중 충격하중 정강도 하중이 있다. 정강도 하중의 종류로는 1GVW, 1G_Braking, 1G_Cornering, 3G_bumping이 있다. 본 연구에서는 정강도 하중 중 가장 큰 하중 조건인 3G_Bumping 만을 고려하였다. Fig. 1에는 본 연구에서 고려한 설계변수를 표시 하였다. t_1, t_2, t_3 는 Lower Control Arm의 두께를 구성하는 부분이다. 두께를 하나의 설계변수로 설정할 경우 파잉 설계의 우려가 있으므로 3부분으로 나누어 하나씩 설계변수로 설정하였다. 그리고 l 은 Lower Control Arm의 윗부분에 움푹 파인 곳의 크기를 결정하는 부분이다. Fig. 2에 경계조건을 표시하였다. A, B, C는 Lower Control Arm의 Hard point이다. 이것은 다른 파트와 조립하는 기준점으로 그 포인트에 하중 조건을 가하고 inertia relief 조건을 사용함으로써 결합부분의 부시 효과를 대체 할 수 있다. 경계조건은 하중만 가하고 아무런 구속조건은 가하지 않는다.

2.2 초기 해석 결과 및 최적설계 정식화

Fig. 3은 초기 모델의 해석결과를 나타내었다. 최대 응력은 260.86MPa 이다. 재료의 항복강도인 315MPa를 충분히 만족하고 있다. 따라서 본 연구에서는 파잉 설계된 Lower Control Arm의 구조최적화를 수행 하였다.

본 연구에서는 Lower Control Arm의 최적설계를 위해 다음과 같은 정식화를 제안한다.

$$\begin{aligned} \text{Minimize} & \quad W(t_1, t_2, t_3, l) \text{ (MPa)} & (1) \\ \text{Subject to} & \quad \sigma_{\max} \leq \sigma_a & (2) \\ & \quad t_L \leq t_1, t_2, t_3, \leq t_U & (3) \\ & \quad l_L \leq l \leq t_U & (4) \end{aligned}$$

여기서 σ_{\max} 는 발생하는 최대 응력(von-mises stress), W 는 무게, t_1, t_2, t_3, l 는 설계변수를 표시한 것이다. 본 연구에서는

ANSYS WORKBENCH의 DOE를 이용하여 최적화 문제를 해결하였다^(3,4).

3. OR 를 이용한 최적화

DOE는 최적해를 구하기 위하여 중심합성법(central composit approach)을 이용하여 실험 횟수를 정하게 된다. 그 식을 식(5)에 표시하였다.

$$n = 2^k + 2k + n_0 \quad (5)$$

따라서 n개의 실험 결과 값을 이용하여 반응표면(response surface)을 만들게 되고 이 반응 표면으로부터 최적해를 선정한다. 본 연구에서는 반응치는 중량 및 최대응력이다. 즉 식(1)과(2)에서 W는 반응표면모델 \hat{W} , σ_{max} 는 $\hat{\sigma}_{max}$ 로 대치된다. 초기에 4개로 설정한 설계변수를 이용하여 DOE를 수행하였다.

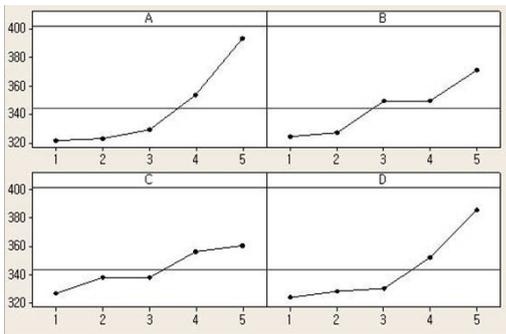


Fig. 4 Effect of Design variables on von-mises stress by SN ratio

Table 1 Optimum values using 1st DOE

		DP ₁	DP ₂	DP ₃
t ₁ (mm)		11.928	12.199	11.778
t ₂ (mm)		15.257	15.2	15.333
t ₃ (mm)		16.597	16.762	16.403
l (mm)		79.887	77.389	81.063
W (kg)	predict	1.582	1.5762	1.5817
	true	1.582	1.5764	1.5817
σ _{max} (MPa)	predict	314.17	317.02	315.75
	true	315.67	319.92	312.51

Table 2 Optimum values using 2nd DOE

		DP ₁	DP ₂	DP ₃
t ₁ (mm)		11	10.99	10.84
t ₃ (mm)		16.5	16.57	16.716
l (mm)		81.01	82.2	83.184
W (kg)	predict	1.5707	1.5930	1.5821
	true	1.5707	1.5930	1.5821
σ _{max} (MPa)	predict	317.07	313.83	315.85
	true	318.60	314.83	316.92

Table 3 Optimum values using DOE

Design variable	t ₁ (mm)	t ₂ (mm)	t ₃ (mm)	l (mm)
Initial	13.49	19	18	90
First	11.778	15.333	16.403	81.063
Second	10.99	-	16.57	82.2

Table 4 Optimum values using DOE

	Initial	1 st DOE		2 nd DOE	
		predict	true	predict	true
σ _{max} (MPa)	260.86	315.75	312.51	313.83	314.83
W(kg)	1.8445	1.5817	1.5817	1.5821	1.5821

민감도해석을 위하여 본 연구에서는 다구찌 기법을 활용하여 SN비를 구하여 보았고 그 결과를 Fig.4에 나타내었다⁽⁵⁾.

Fig. 4의 결과를 고찰하여 보면 설계변수 t₂는 다른 설계변수들에 비해 그 민감도가 덜 한 것을 알 수 있으며 그에 따라 민감도가 덜한 설계변수 t₂를 제외한 3개의 설계변수를 새로운 설계변수를 설정하여 DOE를 수행하였다.

3.1 최적화 결과

본 연구에서 사용한 DOE방법은 설계변수의 설계범위를 설정해야한다. Lower Control Arm의 경계조건에 만족하도록 초기값을 upper bound로 설정하고 20%범위에 lower bound로 설정하였다. ANSYS WORKBENCH에서는 식(2)의 제한조건인 최대 등가응력이 315MPa를 넘지 않으면서 무게가 최소가 되는 최적점을 찾도록 설정할 수가 있다. DOE방법을 이용하면 3개의 후보 최적해로써 제공한다. 산출된 후보최적점과 실제 해석값을 Table 1,2에 표시하였다. 그리고 Table 3에는 모델의 초기설계변수와 최적화된 설계변수의 결과를 비교해 보았다. Table 4에는 초기응력, 무게와 최적화된 모델의 응력, 무게를 비교하였다.

4. 결론

1. WORKBENCH에서 DOE방법은 중심합성으로 직교배열표나 라틴하이퍼큐브 방법보다 정확한 근사함수를 얻지 못했기 때문에 만족한 결과를 얻지 못했다.
2. 1st DOE 방법으로는 무게가 초기 값보다 14.35% 감소한 값을 얻을 수 있었고, 2nd DOE방법으로는 무게가 초기값의 14.33%가 감소한 값을 얻을 수 있었다. 결과로 고찰해보면 첫 번째와 두 번째 방법과 무게 감소율은 거의 차이가 나지 않음을 알 수 있다.
3. DOE방법은 설계변수의 개수가 증가함에 따라 실험수가 많아진다. 이는 최적해를 찾기 위한 근사함수를 만드는 시간이 증가하기 때문에 적은 수의 설계변수를 가질 때 사용하는 것이 바람직하다. 본 연구에서와 같이 민감도해석을 하여 그 결과를 이용하여 민감도가 덜한 설계변수를 제외 한다면 해석 시간을 효율적으로 단축시킬 수 있을 것이다.
4. 실제 주행상황을 고려한다면 3G Bumping 뿐만 아니라 나머지 정강도 해석 조건을 모두 고려해야 할 것이며 내구 해석과 충돌해석도 병행하여 수행해야한다.

후기

본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력 양성사업으로 수행된 연구 결과 임.

참고문헌

1. 박영철, 이동화, "유한 요소법을 이용한 로우컨트롤암의 피로 수명 평가," 한국자동차공학회지, 추계학술대회, 1441-1446, 2003.
2. 강창경, 박영철, 이동화, "특성함수를 이용한 로우컨트롤암의 형상 최적 설계," 한국자동차공학회지, 추계학술대회, 1447-1452, 2003.
3. 방일근, 강동헌, 한동섭3, 한근조, 이권희, "실험계획법을 이용한 조(Jaw)의 형상최적설계," 한국향해항만학회지, 제30권, 8호, pp. 685-690, 2006.
4. "ANSYS USER'S MANUAL," ANSYS Inc., 1992
5. "Minitab을 이용한 다구찌 기법 활용," 이레테크., 2006