

유한요소해석에 의한 Knuckle의 최적형상설계에 관한 연구

A Study on the Shape Optimization Design of the Knuckle by the Finite Element Analysis

나완용 · 이승호 · 오상기
W. Y. Rha, S. H. Lee and S. K. Oh

Key Words : FEA(유한요소해석), Practical Load(실하중), Knuckle(너클), Commercial Optimization Software(최적화 소프트웨어)

Abstract : The automotive industry faces many competitive challenges including weight and cost reduction to meet need for higher fuel economy. It is a trend that a lot of parts have been currently changed to an aluminum alloy from steel materials. It is required more precise analysis for practical load because of complexities and varieties of vehicle structure. In this study, the shape optimization using a FEA is performed to determine the design of the knuckle. The size optimization is carried out to find thickness while the stiffness constraints are satisfied. A commercial optimization software MSC/NASTRAN is utilized for the structural analysis and the optimization processes.

1. 서 론

교토의정서에 의해 CO₂총량규제가 의무화됨에 따라 자동차제작사는 연비향상을 위한 차체의 경량화 기술개발에 많은 투자를 하고 있다¹⁾. 이러한 차체 경량화 방법에는 형상설계변경, 개별부품의 두께감소, 부품의 통합화 및 구조변경을 동반한 경량소재로의 전환 등이 있다. 현재 차체 중량감소를 위해 철강재료를 알루미늄화 함으로써 발생하는 구조적 문제점 해결을 위해 최적설계 기법을 많이 사용하고 있다.

최근의 최적설계는 통계학적 방법을 이용한 실험계획법의 직교배열표와 CAE시뮬레이션을 연계하여 설계공정을 단축시키고 설계의 고도화를 도입하기 위한 개념이 도입되고 있는 추세이다²⁾. 따라서, 경량화에 가장 중심이 되는 중량과 같은 한가지의 사항만을 최소화하는 일반적인 최적설계문제에서는 다른 설계변수들과의 복합적인 관계를 평가하기 어렵고, 결과적으로 최적설계를 보증할 수 없게 되므로 최적화 문제에서는 설계변수의 변화에 따른 목

적함수와 제약조건의 변화정도를 표현하는 수학적 모델을 필요로 한다. 그러나 실제 시스템에 있어서 제한조건들과 목적함수를 정확히 수학적으로 기술하는 것이 매우 어려운 작업이며, 표현방식의 한계성으로 인해 정확도가 떨어지는 문제가 있다. 따라서 최근에는 시스템의 평가 특성치 함수를 수식적으로 구하기 어려운 경우 통계적 방법을 이용하는 실험계획법을 이용하는 방법이 사용되고 있다^{3~5)}.

본 연구에서는 Knuckle의 Proto설계모델에 대한 내구해석을 통하여 구조적 취약 부위를 예측하고 적절한 설계변경안을 도출하기 위해 내구해석 및 충격강도해석을 수행하였다.

2. 해석방법

본 연구에서는 자동차 현가장치 부품인 Knuckle을 대상으로 구조해석을 수행하였다. 구조해석은 상용 유한 요소해석프로그램인 MSC Nastran을 이용하였으며 Fig. 1에 유한요소해석을 위한 모델을 나타내었다.

접수일 : 2007년 4월 20일, 채택확정 : 2007년 12월 7일
나완용(책임저자) : 신성대학 자동차과
E-mail : skoh@kinst.ac.kr, Tel : 031-496-4739
오상기, 이승호 : 경기공업대학 자동차과

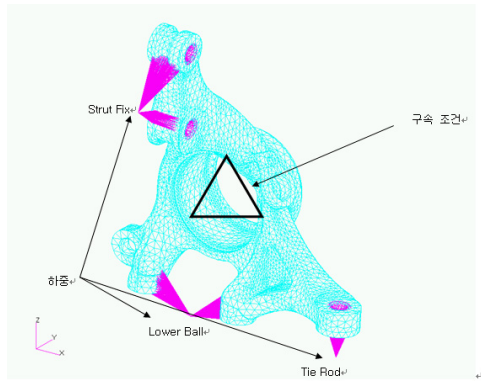


Fig. 1 FE model

Table 1은 유한요소모델에 사용된 요소의 형태와 개수를 나타낸 것이다.

Table 1 Element characteristics for FE model

	Stiffness and durability analysis	Impact load analysis
Element type	Solid element (Tetra 10)	Solid element (Tetra 10)
Nodes	130921	125275
Elements	84942	81014
MPCs	3	3

2.1 경계조건 및 하중조건

Knuckle의 가운데 부분을 고정하고 하중조건은 Fig. 1에 나타낸 Strut fix, Lower ball 그리고 Tie rod에 적용하였다. 어브즈해석의 하중조건은 Table 2, 내구 하중조건은 Table 3, 충격하중 조건은 Table 4에 각각 나타내었다.

Table 2 Load condition of knuckle(RH basis, kgf)

	Object	Knuckle		
	Point	Strut fix	Tie rod	Lower ball
1g Braking	Fx	149	3	-677
	Fy	175	-25	-158
	Fz	-517	-3	-56
1g Cornering	Fy	-41	-14	73
	Fz	29	104	482
	Fz	-781	18	71
3g Bumping	Fx	-62	15	89
	Fy	386	-83	-317
	Fz	-1116	-17	-66

Table 3 Load condition of durability(RH basis,kgf)

	Object	Knuckle		
	Point	Strut fix	Tie rod	Lower ball
1.0GVW	Fx	-26	3	27
	Fy	136	-24	-115
	Fz	-421	-1	-6
1.0GVW Before/After	Fx	-60	-27	-342
	Fy	10	226	-239
	Fz	-35	9	-21
0.5GVW Right/Left	Fx	-2	-5	8
	Fy	-58	43	228
	Fz	-49	2	-3
2.4GVW Top/Bottom	Fx	-53	13	75
	Fy	331	-71	-273
	Fz	-959	-14	-56

Table 4 Load condition of impact load(RH basis, kgf)

	Object	Knuckle			
	Point	Strut fix	Tie rod	Lower ball	
Straight	Fx	397523	-52	-157	25
	Fy	3302	-747	903	4523
	Fz	-41594	-554	57	200
Rear	Fy	-18294	-646	-519	-3494
	Fz	-294914	85	2449	-2867
	Fz	-33913	-392	158	-396
Full turn	Fx	275973	242	657	581
	Fy	131623	-498	1886	1465
	Fz	2275	-538	236	36

본 연구에 사용된 Knuckle의 재질은 FCD50K이고, 그 재료의 물성치는 Table 5에 나타내었다.

Table 5 Material property of FCD50K

Material	FCD50K
Tensile strength	50 kg _f /mm ²
Yield strength	35 kg _f /mm ²
Modulus of elasticity	21000 kg _f /mm ²
Poisson ratio	0.3

3. 해석결과

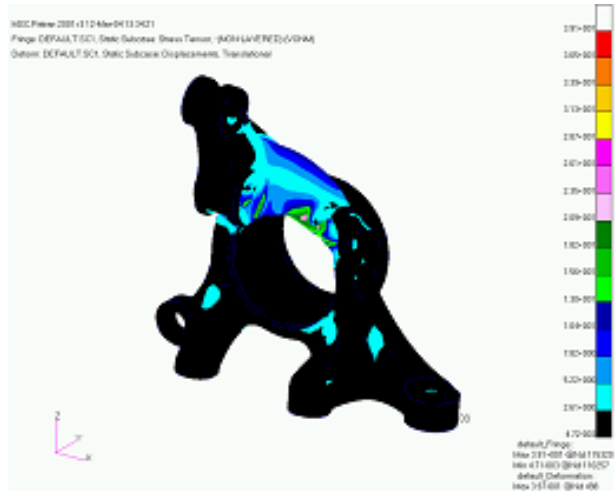
3.1 강도해석결과

어브즈 하중조건에 따른 해석결과를 살펴보면 1g

Braking과 1g Cornering에서는 응력이 항복강도 (35kg/mm²)이하로 나타났으며, 3g Bumping의 경우에는 응력이 항복강도를 넘었다. 변위는 각 조건마다 약간의 차이를 보이고 있으나 Strut fix의 부분에서 가장 많은 변위가 발생하였다. Table 6은 하중 조건에 따른 결과를 Fig. 2는 각 조건의 구조해석 결과를 나타낸 것이다.

Table 6 Analysis result of load condition(kgf)

Case	Displacement	Von-Mises stress
1g Braking	0.186	19.4
1g Cornering	0.331	32.5
3g Bumping	0.397	39.1

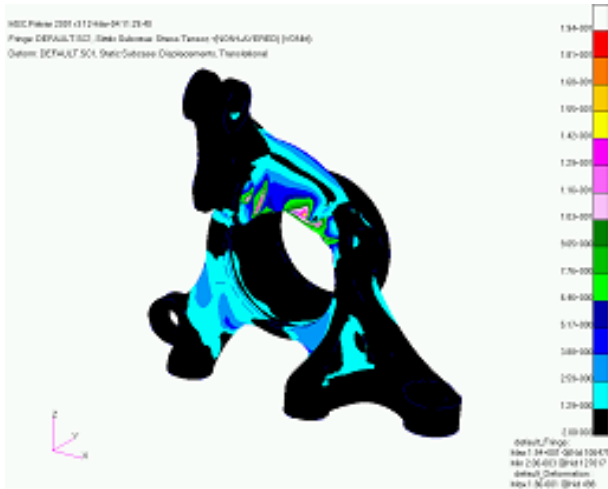


(c) Stress contour and deformed of 3g Bumping
Fig. 2 The result of load condition of knuckle

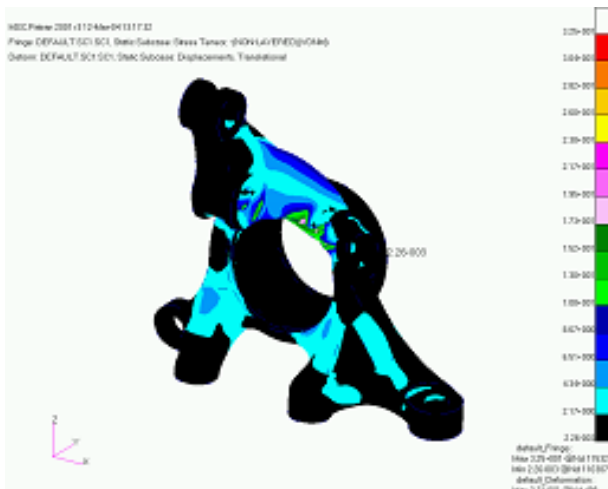
3.2 내구해석결과

내구해석을 수행하기 위해 Table 3에 주어진 하중 및 응력의 단위를 해석의 편의를 위해 환산을 하였다. 내구해석은 변형률 수명접근법(E-N)을 사용하였고 Result location은 Element 및 F.E results는 Stress를 사용하였다.

Solution parameters에서 Analysis method는 S-W-T, Plasticity correction은 Neuber를 사용하였고 Stress/Strain combination은 Max. principal을 사용하였다. 표면처리는 No finish, 표면처리는 No treatment, 피로 노치계수는 1.0, Shape factor는 0.0을 사용하여 해석한 결과 모든 조건에서의 내구해석이 무한 수명을 나타내었다. 각 조건마다의 해석결과를 Table 7에, 구조해석결과는 Fig. 3에 나타내었다. 여기서, 변위는 mm, 응력은 MPa를 사용하였다.



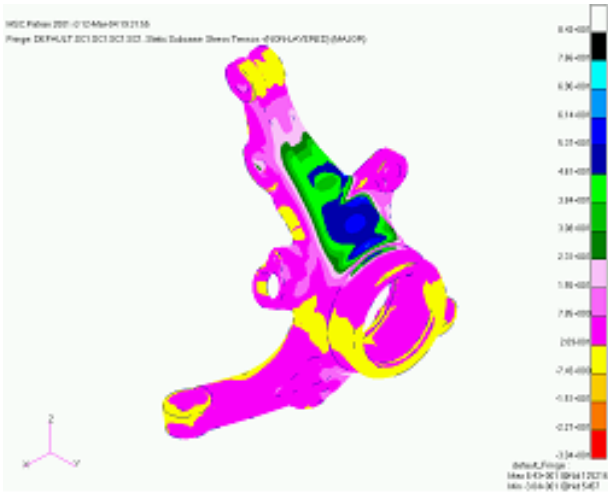
(a) Stress contour and deformed of 1g Braking



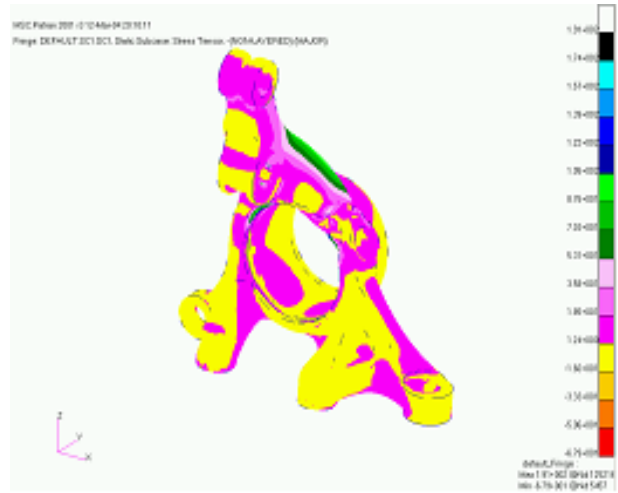
(b) Stress contour and deformed of 1g Cornering

Table 7 Analysis result of durability(mm, MPa)

Case	Displacement	Von-Mises stress	Max. principal	Life
1.0GVW	0.152	147.0	84.3	Eternity
1.0GVW Before/After	0.125	117.0	131.0	Eternity
0.5GVW Right/Left	0.034	43.8	43.5	Eternity
2.4GVW Top/Bottom	0.341	329.0	191.0	Eternity



(a) Max. principal stress contour of 1.0GVW



(d) Max. principal stress contour of 2.4GVW top & bottom



(b) Max. principal stress contour of 1.0GVW before & after



(c) Max. principal stress contour of 0.5GVW right & left

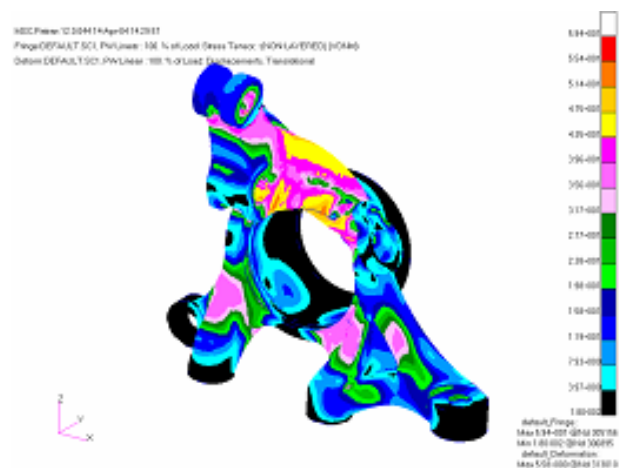
Fig. 3 The result of durability

3.3 충격강도해석결과

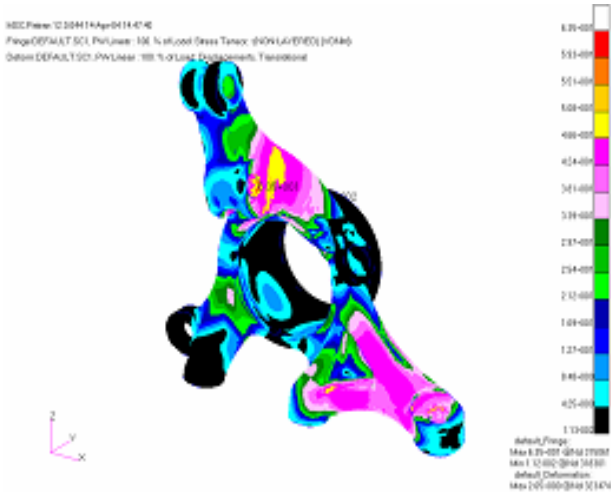
충격하중에 대한 해석결과를 살펴보면 3가지 모두가 진인장강도(64kg/mm²)이하로 나타났으나 후향의 경우 진인장강도와 같다고 볼 수 있다. 변위는 각 조건마다 약간의 차이를 보이고 있으며, 직진내향의 경우가 가장 많이 발생되었다. 응력의 경우는 후향에서 가장 많이 발생되었다. 충격하중조건에 대한 해석결과는 Table 8에, 구조해석결과는 Fig. 4와 같다.

Table 8 Analysis result of impact load(mm, kgf)

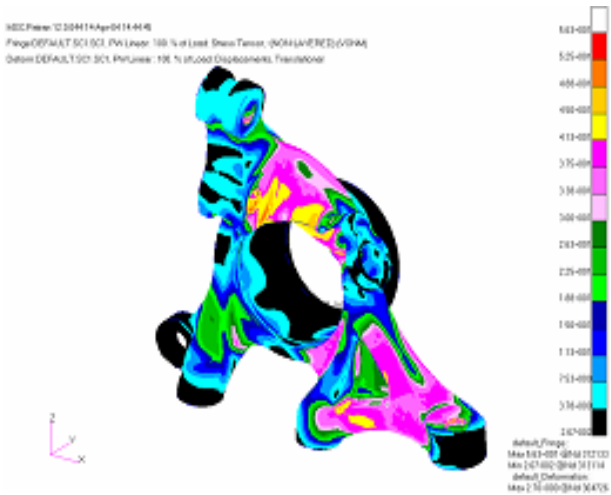
Case	Displacement	Von-mises stress
Straight	5.58	59.4
Rear	2.65	63.5
Full turn	2.70	56.3



(a) Stress contour and deformed of straight



(b) Stress contour and deformed of rear



(c) Stress contour and deformed of full turn

Fig. 4 The result of impact load

4. 결 론

본 연구에서는 Knuckle의 proto설계모델에 대한 내구해석을 통하여 구조적 취약 부위를 예측하고 최적 설계조건을 도출하기 위해 내구해석 및 충격 강도해석을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) Knuckle의 어뷰즈 하중조건에 따른 해석결과를 살펴보면 1g Braking과 1g Cornering에서는 응력이 $35\text{kgf}/\text{mm}^2$ (항복강도)이하로 나타났으며, 3g Bumping의 경우에는 응력이 항복강도를 넘었다.

2) 변형률 수명접근법(E-N)을 사용하여 내구해석을 수행한 결과 모든 조건에서의 내구해석이 무한 수명을 나타내었다.

3) 충격하중에 대한 해석결과 3가지 조건 모두가

진인장강도($64\text{kgf}/\text{mm}^2$)이하로 나타났으나 후향의 경우 진인장강도와 같았다. 변위는 각 조건마다 미소한 차이를 보였으며, 직진내향의 경우 변위가 가장 많이 발생되었다. 응력의 경우는 후향에서 가장 많이 발생되었다.

참고문헌

1. Se il Song, G. J. Park, 2002, "Optimal Design of Lightweight High Strength Door with Tailored Blank", KSAE, Vol. 10, No. 2, p. 174.
2. Y. C. Park, K. H. Lee, D. H. Lee, K. Y. Lee, 2003, "Shape Optimization Design of the Knuckle using the Orthogonal Array and the Finite Element Analysis", KSAE, Vol. 11, No. 3, p. 139.
3. W. Chen, J. K. Allen, K. L. Tsui, F. Mistree, 1996, "A Procedure for Robust Design Minimizing Variations Caused by Noise Factors and Control Factors", Journal of Mechanical Design, Vol. 118, pp. 478~485.
4. S. Nagagili, T. Hisada, "An Introduction of Stochastic Finite Element Method", Baepungkwan press.
5. Yu. Qiang, T. Hideoki, Y. Takeshi, S. Masaki, M. Keiichi, 2000, "Multi Objective Optimization of Reinforced Members for Crash Safety Design of Automobiles", JSME, Vol. 66, No. 641, pp. 1~6.