

컴프레서 브래킷의 경량화

권순기*

(논문접수일 2011. 09. 02, 수정일 2011. 10. 21, 심사완료일 2011. 11. 08)

Weight Reduction for Compressor Brackets

Soon Ki Kwon*

Abstract

According to the developments of automobile industry, a technology has been studied in a point of view of environment, which is to increase fuel consumption rate. Especially it is well known that a weight reduction is one of the main technologies to increase the fuel consumption rate and, also to decrease the cost of manufacturing. This paper presents the method for reducing weight of bracket, which connects air conditioner compressor to engine, based on dynamic stress analysis and engineer's intuition for optimal design.

Key Words : Exciting force(가진력), Static stress analysis(정적응력해석), Dynamic stress analysis(동적응력해석), Natural frequency(고유진동수), Weight reduction(경량화)

1. 서론

신제품 개발 시 설계에서 생산까지의 공정기간을 줄이고 비용을 절감하려는 요구는 많은 엔지니어들로 하여금 시제품제작 이전에 컴퓨터 시뮬레이션으로써 설계의 신뢰성을 검증토록 하고 있다^(1,2).

설계자들이 갖는 애로사항 중 하나가 자신이 설계하는 구조물의 허용피로강도 기준 설정과 이에 따른 안전율 설정 일 것이다. 특히 설계 시 구조물에 영향을 미치는 외부의 정적·동적하중에 대한 분석이 정량적으로 파악되지 않아 구조물의 응력이력을 계산할 수 없는 경우 대부분의 설계자들은 안전율로서 내구성에 대한 강도 기준문제를 해결하고 있다. 그러나 이러한 안전율은 설계 노하우(know-how)로 간주되어 외부 노출을 철저히 금하고 있는 실정이어서, 최근 많은 회사들이 경험에 의한 설계에 의존하지 않고 정적·동적하중의 정량적 분석뿐만 아니

라 하중이력의 표준화 등 컴퓨터 시뮬레이션을 접목한 개발력 향상에 박차를 가하고 있다⁽³⁾. 본 연구는 차량의 경량화 측면에서 컴프레서 브래킷의 중량을 저감시킬 수 있는 설계 개선안과, 이를 위한 설계 강도기준 및 방법을 제시하기 위함이다. 본 연구에서는 정하중에 의한 정적응력(static stress)뿐만 아니라 진동을 유발하는 엔진의 가진력, 즉 동하중이 발생시키는 동적응력(dynamic stress)을 고려함으로써 실제와 근접한 응력을 계산하였다.

동적응력은 경우에 따라서 정적응력보다 크게 발생하여 피로 내구수명에 예상치 못한 악영향을 미칠 수 있기 때문에 본 연구에서는 동적응력을 고려한 브래킷의 응력과 허용피로강도 한계를 비교함으로써 설계의 강도기준을 정립하는 방법을 제안하고자 한다.

컴프레서 브래킷에 대한 유한요소모델의 신뢰성 검토는 브래킷의 고유진동수 및 모드를 산출하여 실험결과와 비교함으로써

* 호서대학교 산학협력단 (skkwon@hoseo.edu)
주소: 충남 아산시 배방읍 세출리 165

써 실행되어졌고, 브래킷의 동적응력해석(dynamic stress analysis)을 통한 강도 안전기준과의 비교를 통해 설계개선안에 대한 안전성을 검증하였다.

동적응력을 산출하기 위한 방법으로는 직접 시간 적분법(direct time integration method)을 사용하였고, 유한요소모델링은 I-DEAS⁽⁴⁾를, 동적응력해석은 MSC/NASTRAN⁽⁵⁾을 이용하였다.

2. 모델링 및 해석

2.1 Bracket의 경량화를 위한 해석 흐름도

본 연구의 해석 방법은 Fig. 1과 같으며 개념설계에서부터 시제품 제작 전 단계까지 동적해석과 유한요소해석을 이용하여 구조물의 강도 안전을 예측하는 과정을 보여주고 있다.

2.2 유한 요소 모델링

차량에 장착되는 브래킷의 정적 및 동적응력해석을 하기 위하여 브래킷을 3차원 강체요소(solid element)로 모델링하였으며, 컴프레서 자체는 질량을 묘사하는 집중질량 요소를 사용하였다.

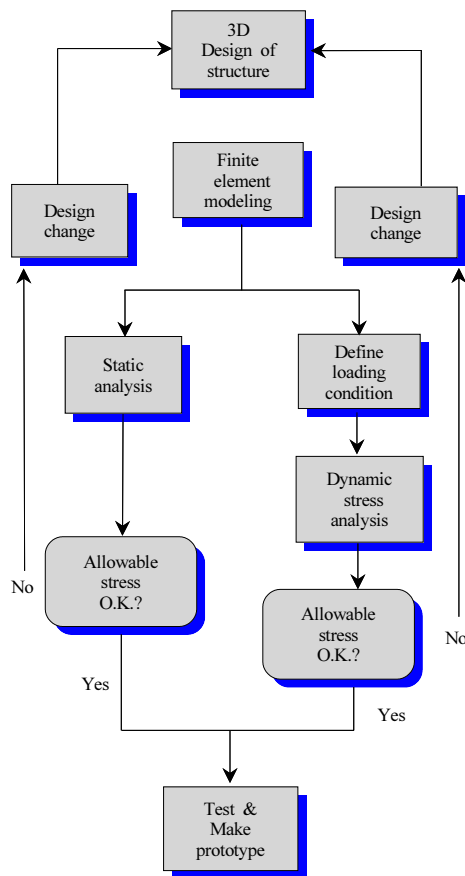


Fig. 1 Flow chart for analysis system

Table 1 FE model for initial design

No. of node		7,702
No. of element		5,888
Element type	Hexa	4,990
	Penta	890
	Tetra	8

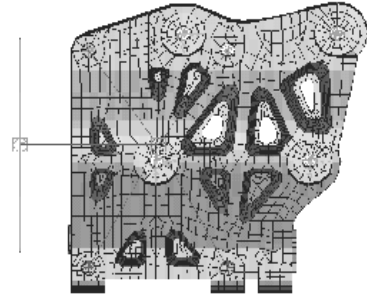


Fig. 2 FE model of compressor bracket

초기 브래킷의 질량은 4.45Kg이며, 유한요소모델에 대한 정보는 Table 1과 같으며, 모델링한 형상은 Fig. 2와 같다.

2.3 브래킷 재료의 물성 및 강도안전기준

초기 설계안에 사용된 주철재(FCD45)브래킷의 물성치와 본 설계를 위하여 설정한 강도안전기준은 다음 Table 2와 같다. 일반적으로 허용피로강도(allowable fatigue strength) 기준은 주철재인 경우 파단강도(tensile strength) 45Kgf/mm²(Table 2 참조)의 40%⁽⁶⁾로 설정하나, 본 연구에서는 안전을 고려하여 이보다 작은 피로강도(fatigue strength) 21Kgf/mm²(Table 2 참조)의 60%인 12.6Kgf/mm²로 설정하였다. 이러한 이유는 자동차가 주행 중 노면으로부터 들어오는 상하방향의 가속도 변화에 따른 하중 변화이력을 고려하지 않은 것을 보상하기 위함이다. 따라서 본 설계에서의 허용피로강도는 12.6Kgf/mm²이므로 브래킷의 정적/동적응력의 최대값이 허용피로강도 보다 작으면 안전한 것으로 판단하였다.

Table 2 Material properties of FCD45

(Unit : Kgf/mm ²)		
Property	Property	Comments
Young' modulus	17500	
Poisson' ratio	0.29	
Tensile strength	45	
Yield strength	30	
Fatigue strength	21	
Allowable fatigue strength	12.6	60% of fatigue strength

2.4 유한요소모델의 신뢰성 검증을 위한 고유진동수 및 정규모드 검토

유한요소모델의 진동해석을 MSC/NASTRAN으로 수행하여 브래킷의 고유진동수 및 정규모드(normal mode)를 산출하였다. 또한 유한요소해석의 신뢰성을 검증하기 위해 실험적 모드해석을 수행하였다. 실험적 모드해석은 유한요소해석 조건과 동일하게 자유조건(free-free condition) 상태에서 20개의 측정점을 설정한 후 충격해머(impact hammer)로 가진을 하였으며, 측정된 가속도계 신호를 이용하여 고유진동수와 정규모드를 산출하였다.

유한요소해석과 실험적 모드해석을 통하여 얻어진 각각의 고유진동수를 비교한 결과는 Table 3과 같다. 1차 모드에서 3차 모드까지 오차는 3% 미만으로서 충분히 신뢰성을 갖는 모델이라 판단되고, 발생된 오차는 해석 시 사용된 물성치의 정확치 않은 값에서 기인된 것으로 추정된다.

Table 3 Natural frequencies comparison to test (Unit : Hz)

	1st	2nd	3rd
Analysis	1734	2428	3211
Test	1735	2405	3288
Error(%)	0.057	0.947	2.39

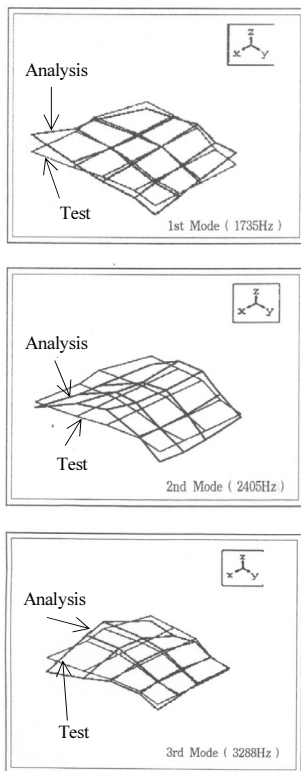


Fig. 3 Mode shapes of bracket

Fig. 3은 시험과 해석에서 얻은 첫 번째부터 세 번째 정규모드를 비교한 것으로 각 고유 진동수에 따른 형상이 유사함을 알 수 있다.

2.5 정적응력해석을 위한 경계조건 및 하중조건

경계조건은 엔진블록(engine block)과 접촉하는 부분은 전후 방향으로만 고정, 볼트머리부분과 접촉하는 부분은 6방향 모두 고정하였다. 하중조건으로는 풀리(pulley)의 양 끝단에 벨트의 장력을, 그리고 풀리 중심에 회전력(torque)을 가하고 정적응력 해석을 수행하였다. 벨트에 작용하는 장력은 각각 17Kgf와 49Kgf이며, 회전력은 2Kgf·m를 적용하였다.

2.6 정적응력해석

해석을 수행한 결과 관심부위(킴프레서 연결부분 끝단의 모서리 부근)에서의 응력값은 0.75Kgf/mm² 이었고 전체적인 응력분포는 Fig. 4와 같다.

2.7 동적응력해석을 위한 경계조건 및 하중조건

해석을 위한 경계조건은 엔진블록의 진동을 표현하기 위하여 브래킷을 매우 큰 질량(약 10⁶Kg)에 연결하였고, 가진 방향만을 제외한 전체는 자유로운 상태로 설정하였다. 하중조건으로

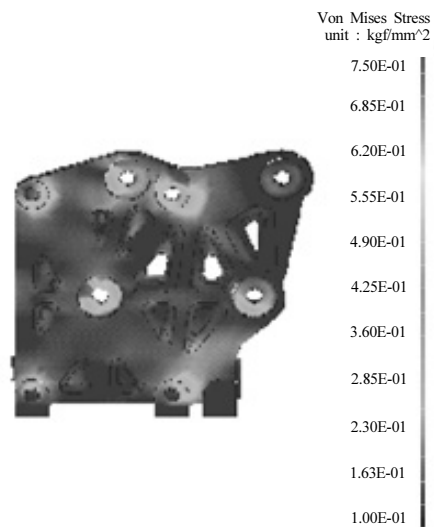


Fig. 4 Static stress distribution

Table 4 Loading condition for dynamic stress analysis

Loading condition
▶ Frequency of excitation : 250Hz
▶ Acce. of excitation : 30(g) for fore/aft, up/down, right/left
▶ Static load(belt tension & torque)

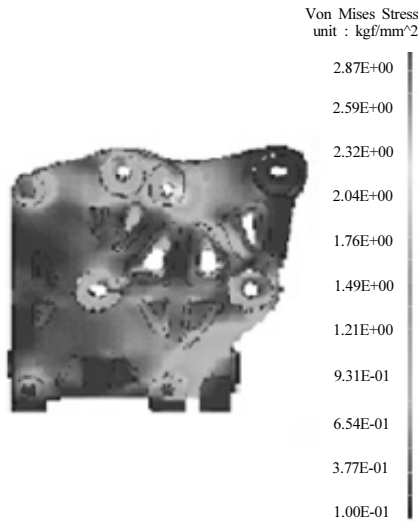


Fig. 5 Dynamic stress distribution

는 정적해석 시 적용되었던 조건과 컴프레서 내구시험 조건을 기준으로 하여 설정한 가진력(가속도)을 동시에 적용하였으며 그에 대한 내용은 아래 Table 4와 같다. 엔진의 회전수가 5000 rpm인 경우 상/하 방향의 가속도는 25g, 좌/우는 13g, 전/후는 12g로 측정되었지만 안전율을 고려하여 모두 30g로 적용하였다.

2.8 동적응력해석 결과

동적응력해석을 실시한 결과 기존에 설정되었던 관심부위에서의 최고 응력은 2.87Kgf/mm² 이었고, 전체적인 응력분포는 Fig. 5와 같다.

3. 설계 개선안 방향 결정

지금까지 해석된 결과(정적/동적해석)들과 Table 2에서의 강도안전기준을 비교하였을 때 초기에 설계된 브래킷이 과도하게 안정적으로 설계되어 있음을 알 수 있었다. 따라서 설계상 변경이 불가능한 부위인 컴프레서 고정볼트부, 엔진블럭 취부부를 제외하고 강도에 영향을 미치지 않을 것으로 판단되는 부위를 제거하면서 중량 감소를 시도하였다.

Table 5 FE Model for updated design

No. of node		4,643
No. of element		3,096
Element type	Hexa	2,379
	Penta	717
	Tetra	0
Mass of bracket (Kg)		2.23

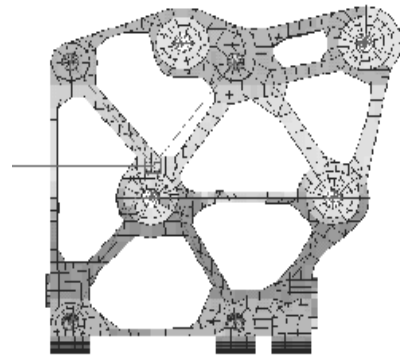


Fig. 6 FE model for updated bracket design

3.1 개선안에 대한 유한 요소 모델

2.3 절에서 제시된 기준과 Fig. 1에서 나타내었던 해석흐름도의 절차에 따라 구조물의 경량화 작업을 시행한 결과, 유한요소 모델에 대한 정보는 Table 5와 같으며, Fig. 6과 같은 개선형상에 대한 유한요소모델을 얻을 수 있었다.

3.2 정적 응력 해석

2.5 절에서 언급되었던 경계조건 및 하중조건을 적용 정적응력해석을 수행한 결과 관심부위에서의 응력은 1.55Kgf/mm²로 나타났고, 전체적인 응력분포는 Fig. 7과 같다.

3.3 동적 응력 해석

2.7 절에서 언급되었던 경계조건 및 하중조건을 그대로 적용, 동적응력해석을 수행한 결과, 관심부위에서의 응력은 4.35 Kgf/mm²로 나타났고, 전체적인 응력분포는 Fig. 8과 같다

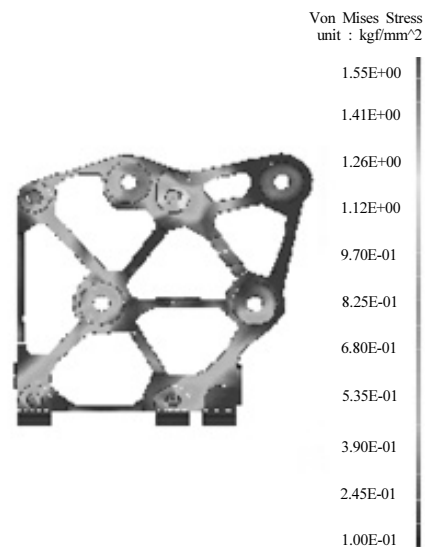


Fig. 7 Static stress distribution for updated bracket

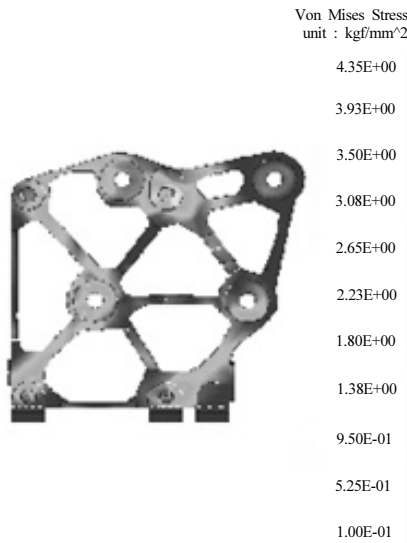


Fig. 8 Dynamic stress distribution for updated bracket

Table 6 Static stress comparison to dynamic stress (Unit : Kgf/mm²)

	Static		Dynamic	
	Initial	Updated	Initial	Updated
Weak point	0.75	1.55	2.87	4.35

3.4 초기안 및 개선안 비교

브래킷에 대한 정적 및 동적 응력 해석에 대한 결과 비교는 Table 6과 같다. 서론에서 언급한 바와 같이 브래킷에 발생하는 응력의 크기가 정적응력보다 동적응력이 약 3배 가까이 커졌다. 따라서 자동차의 부품 설계 시 부품의 정적 경계조건만으로 강도를 계산하여 허용피로강도와 비교하여 설계 기준을 정하면 뜻하지 않게 내구성의 문제를 야기시킬 수 있다.

3.5 설계 개선안에 대한 검토

주철재(FCD45)로 된 컴프레서 브래킷의 경량화 작업을 위해 정적 및 동적 응력 해석을 수행한 결과 브래킷만의 질량이 2.22Kg으로 감소하여, 초기 설계보다 2.23Kg의 경량화가 이루어졌다.

취약부에서의 응력분포가 앞서 설정한 허용피로강도 기준 (12.6Kgf/mm²)을 만족하므로 기 수행된 주철재에 대한 경량화 작업의 최종 개선안은 강도안전기준을 만족하는 설계개선안이라고 판단된다.

4. 결론

차량 에어컨 컴프레서에 장착되는 브래킷의 경량화를 위한 작업을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

- (1) 기존 설계보다 질량이 약 50%(2.23Kg) 정도 감소되고, 강도 안전기준을 만족하는 설계 개선안을 도출하였다.
- (2) 동적응력의 중요성과 활용방안을 제시하였고, 시뮬레이션을 통해서 컴프레서 브래킷의 강도를 예측하여 이를 허용피로강도와 비교함으로써 설계 기준안을 정립할 수 있는 절차를 제시하였다.
- (3) 전 세계적으로 연비를 향상시키기 위한 방안으로 차량의 무게 감소를 위해 여러 가지 아이디어들이 메이저 자동차 회사들을 중심으로 쏟아져 나오고 있다. 그 경향에 보조를 맞추기 위해 본 연구에서 에어컨 컴프레서 브래킷의 무게를 줄이는 방안을 도출해 보았고, 본 연구방법이 자동차 전체의 무게를 감소시킬 수 있는 토대가 되기를 바란다.

후 기

이 논문은 2011학년도 호서대학교의 재원으로 학술연구비 지원을 받아 수행된 연구임(2011-0081).

참 고 문 헌

- (1) Han, M. S., and Cho, J. U., 2011, "Study on Durability by Structural Analysis of Bulldozer," *Transactions of KSMTE*, Vol. 20, No. 3, pp. 239-244.
- (2) Han, M. S., and Cho, J. U., 2011, "Strength and Fatigue Analysis of Universal Joint," *Transactions of KSMTE*, Vol. 20, No. 4, pp. 427-433.
- (3) Kwon, S. K., Park, H. J., Seo, M. S., and Kim, H. G., 1996, "Development of CAE simulation System for Excavator" *KSME*, Vol. 20, No. 5, pp. 1401-1410.
- (4) Finite Element Modeling & System, 1997, *User's Manual of I-DEAS v10.0*, SDRC Corp.
- (5) Blakely, K., 1993, *Dynamic Analysis User's Manual*, McNeal-Schwendler Corp.
- (6) Shigley, J. E., 1977, *Mechanical Engineering Design, 3rd ed*, McGraw-Hill, New York, pp. 182, 187-188, 201-206.