

차량용 CNG 압력용기 Rack Module의 최적설계 및 진동해석 Optimal design and vibration analysis of Rack module used to transport the CNG Pressure vessel

*고영준¹, #김철², 곽효서², 주웅탁³, 배준호⁴

*Y. J. Ko¹, #C. Kim(chulki@pusan.ac.kr)², H. S. Kwak², U. T. Joo³, J. H. Bae⁴

¹부산대학교 창의공학시스템 협동과정, ²부산대학교 기계기술연구원, ³부산대학교 창의공학시스템 협동과정, ⁴부산대학교 기계공학부

Key words : Rack Module, optimal design, vibration, FE Analysis

1. 서론

압축천연가스(CNG)는 기체 상태인 압축천연가스를 원료로 하기 때문에, 기존 차량의 연료인 경유나 휘발유와 비교했을 때 매연이나 미세먼지가 전혀 없어 대기오염 발생량도 10분의 1수준밖에 되지 않는 장점이 있다. 국내에서도 버스에 압축천연가스를 적용하여 널리 사용하고 있으며, 이를 위한 천연가스 인프라 구축도 활성화 되고 있다. 현재 국내의 천연가스 인프라 구조에서 파이프라인으로 공급되는 압축천연가스(CNG)는 수송이 필요하다. 이를 위해 11m 1,260L 250bar CNG-2 압력용기 20개를 적재하며, 기존 CNG-1 제품 대비 수송량이 37% 증가하는 CNG 수송 튜브 트레일러용 랙 모듈(Rack Module)이 사용된다. 차량용 CNG관련 연구의 경우, 저장용기에 대한 연구는 활발히 수행되고 있으나, 천연가스 수송을 위한 랙 모듈의 안정성 확보에 대한 연구는 미비한 실정이다.

이에 본 연구에서는 랙 모듈의 안정성 확보를 위하여 구조안전성 해석을 통한 최적설계 및 진동 특성 분석을 위한 모달 해석을 수행하였다.

2. Rack Module 해석모델 및 제원

유한요소해석을 위한 11m, 1260L의 CNG-2 압력용기 20개를 적재할 수 있는 튜브 트레일러용 랙 모듈을 모델링하였다. 해석 모델은 측면 부재 18개, 상부면 부재 7개, 하부면 부재 8개로 이루어져있으며, 랙 모듈의 제원 및 형상은 Table 1과 Fig. 1에 각각 나타내었다.

Table 1 Dimensional data of the rack module

Height(mm)	Width length (mm)	Longitudinal length(mm)	Weight(kg)
2438	2208	12192	3420

3. Rack module의 구조안정성 해석

3.1 유한요소 해석을 위한 모델링 및 경계조건

랙 모듈의 구조안정성 검증을 위해 상용 소프트웨어인 Ansys Workbench를 이용하여 구조해석을 수행하였다. 랙 모듈의 소재인 SS400의 물성치를 해석에 적용하였으며, 내부 용기는 34CrMo4이며 기계적 물성치는 Table 2에 나타내었다. 각 연결부 및 하중을 많이 받는 수직부재에는 유한요소 격자를 세분화하였다. 경계조건은 Fig.1에서 알 수 있듯이 랙 모듈이 튜브 트레일러에 맞닿아 고정되는 부분은 완전구속조건(Fixed Support)을 부여하였고 자체 하중을 고려하여 중력(Earth gravity)을 적용하였다.

Table 2 Mechanical Properties of Material, SS400

Density	Young's Modulus (GPa)	Poisson's Ratio	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)
7850	205	0.3	245	400

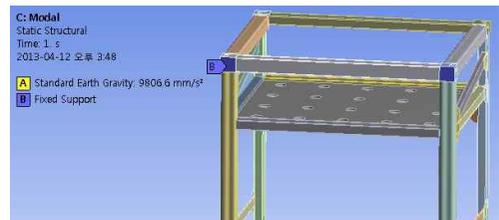


Fig. 1 Boundary condition of the rack module

3.2 구조안정성 해석 결과

랙 모듈의 구조 해석은 초기 도면을 토대로 해석을 수행하고 불안정한 부분을 보강한 다음 다시 해석을 실시하였다. 초기 도면에 대한 구조해석 결과, 모서리 수직부재와 대각선 부재와 수직부재가 겹치는 부분에서 최대응력은 304.02MPa를 나타내었다. 이는 소재(SS400)의 항복강도(245MPa)를 넘어서는 수치이므로 파손의 위험성이 있으므로 각 소재의 두께를 30% 향상시킨 모델에 대하여 해석을 수행하였다. Fig 2는 보강된 랙 모듈의 해석 결과이며, 최대 응력이 231.75MPa로 소재의 항복강도 이내를 만족시켰다.

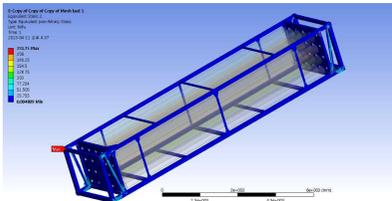


Fig. 2 The result of structural analysis to static load state

4. Rack module의 모달 해석

4.1 유한요소 해석을 위한 모델링 및 경계조건

랙 모듈의 고유 진동수를 알아보기 위해 상용 소프트웨어인 Ansys Workbench를 이용하였으며, 구조해석과 동일한 형상 및 재료를 이용하여 모달 해석을 수행하였다.

4.2 모달 해석 결과

Table 3은 제시된 제원을 가진 랙 모듈의 모달 해석 결과인 1차에서 10차까지의 고유모드이다. 1차 모드 약 6.5Hz에서부터 10차 모드 약 20.2Hz 까지 고유모드간의 간격이 조밀하게 나타났다. Fig. 3은 해석 모델의 동적 거동에 기여도가 가장 큰 대표적인 모드인 1차 모드에서의 형상이다.

Table 3 The results of modal analysis of the rack module

No.	Natural Frequency(Hz)
1	6.51
2	7.76
3	9.31
4	10.64
5	13.17
6	15.47
7	18.90

8	19.51
9	19.69
10	19.80

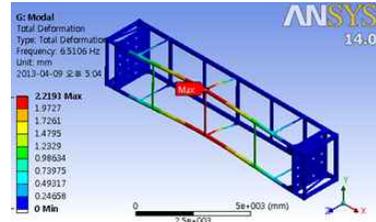


Fig. 3 1st mode shape of the rack module

4. 결론

본 논문에서는 랙 모듈의 구조해석을 통해 각 부재의 응력과 취약부분에 대해서 분석하고, 취약점을 보강하였을 때의 안정성을 검증하였다. 해석을 수행한 결과 외각 수직부재에 대해서 파손의 위험이 있었으나 소재두께를 30%증가시킴으로써 양호한 응력분포를 얻을 수 있었다. 또한, 모달 해석을 통해 튜브 트레일러용 랙 모듈의 고유모드 및 모드형상을 구하여 진동 특성을 예측하였다. 향후 본 연구를 토대로 CNG 압력용기 운송 도중에 발생할 수 있는 진동으로 인한 공진을 회피할 수 있는 랙 모듈 설계를 수행할 예정이다.

후기

본 연구는 2012년도 지식경제부가 주관하는 부품소재기술개발사업으로 수행된 연구결과임

참고문헌

- Kim, E. S., Kim J. H., Park, Y. S., Kim, C. and Choi, J. C., 2003, "Development of an Automated Design System of CNG Composite Vessel Using Steel Liner Manufactured by D.D.I Process," Trans. of the KSPE, Vol. 20, No. 1, pp. 205~213.
- Choi, Y., Yoon, J. H., Park, Y. S. and Choi, J. C., 2004, "A Study on the Die Design for Manufacturing of High Pressure Gas Cylinder," Trans. of the KSPE, Vol. 21, No. 7, pp. 153~162.
- Kim, H. Y., Bae, W. B., Jang, Y. J., Kim, C., 2008, "Optimal Design of the Fuel Storage Vessel of CNG Automobile by Considering Structural Efficiency," Trans. of the KSME, Vol. 32, No. 6, pp. 465~473