

LPG 용기용 밸브의 밸브 체결용 나사에 대한 밀봉안전성 연구

오경석, 김청균, 이일권*

홍익대학교 기계시스템디자인공학과, 대림대학교 자동차공학과*

A Study on the Sealing Efficiency of Screw Thread of a Valve Body for a LPG Cylinder

Kyoung Seok Oh, Chung Kyun Kim, Il Kwon Lee*

Department of Mechanical and System Design Engineering, Hongik University

Department of Automotive Engineering, Daelim College*

1. 서론

LPG는 가정이나 산업체의 취사용, 보일러의 연료로 많이 소비되고, 최근에는 자동차의 연료원으로 크게 사용되고 있다. 그러나 LPG는 공기보다 비중이 높아, 누출 시 낮은 곳으로 축적되는 특징이 있기 때문에 대형 폭발 사고 혹은 대형 화재의 위험성이 항상 존재한다. 따라서 좁은 공간에 LPG 저장탱크로부터 누출된 가스가 저장되면 연료원에 의한 순간 연소와 이에 따른 순간 폭발이라는 안전사고를 흔하게 접하는 것이 우리나라가 LPG 가스연료를 대단히 빠르게 도입하여 정착하는 과정에서 발생하는 가스사용의 부작용이다.

LPG 밸브는 재사용 과정에서 용기의 넥(neck)부와 항상 접하는 밸브 부착부 나사에 마모가 발생 할 수 있으며, 이러한 밸브 부착부 나사의 마모는 가스 누출을 유발 할 수 있는 한 요인이라고 할 수 있다.

본 논문에서는 상용 유한요소 프로그램을 이용하여 나사부의 마모 정도와 장착된 나사의 개수에 따른 밀봉성에 대해서 연구하고자 한다.

2. LPG 용기용 밸브 체결용 나사와 해석모델

2-1. LPG 용기용 밸브 체결용 나사

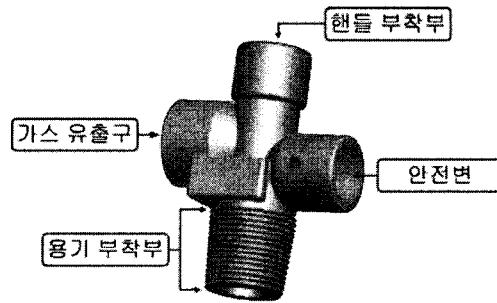


Fig 1. LPG Valve Body

LPG용기용 밸브는 LPG용기의 밸브 부착부에 장착되어 가스의 유로를 개폐하는 중요한 역할을 하는 장치로서 주로 단조용 황동 봉을 단조 후 가공하여 제조한다. 밸브는 밸브몸통(Valve Body), 안전면, 핸들, 스펀들(Spindle), 스템(Stem), 스토퍼(Stopper) 또는 그랜드너트(Gland nut), 오링, 밸브시트(Valve seat) 등으로 구성되어 있다. Fig. 1은 LPG용기용 밸브의 3D모델로 밸브 각부에 대하여 설명하고 있으며, 밸브의 아래쪽에 위치한 나사가 본 연구의 해석 대상인 용기 부착부이다.

2-2. 해석조건

용기용 밸브 체결용 나사가 용기의 넥(neck)부분에 체결되어있는 상태에서 가스압이 용기용 밸브의 내부에 가압되도록 하였고, 밸브시트와 안전면이 모든 입구를 밀봉한 조건하에서 균일하게 가압되는 것으로 가정하였다.

용기용 밸브 체결용 나사산 총 14개 중, 일반적으로 7개가 용기의 넥부와 체결되는 것으로 정하였다. 내부에 가압되는 가스압은 실제 작동상태의 가스압인 18kgf/cm^2 를 적용하였다.

2-3. 해석모델

Table 1은 용기용 밸브에 사용되는 황동과 용기 넥부에 사용되는 소재인 AISI1020의 물성치를 보여준다. Fig 2.에서는 용기 체결부가 LPG용기쪽을 나타내며, 밸브 체결부는 LPG 용기용 밸브의 체결부를 나타낸다.

해석 모델은 모델링과 해석시간의 효율을 위하여 축대칭 모델을 사용하였으며 가압되는 가스압은 내부에 모두 균일하게 작용하는 것으로 가정하였다. 모델링과 해석은 AutoCAD, HyperMesh, MSC. MARC MENTAT을 이용하였다.

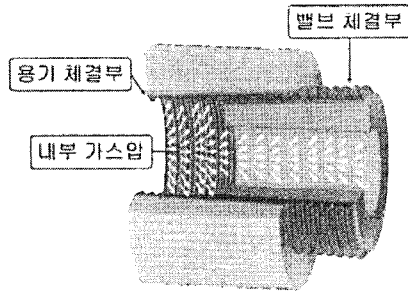


Fig. 2 Screws of Valve&LPG Tank

Properties	Brass	AISI1020 (SM20C)
Modulus of Elasticity,GPa	97	200
Poisson's Ratio	0.31	0.29

Table 1. Material Properties

3. 해석결과 및 고찰

3-1. 접촉 수직응력

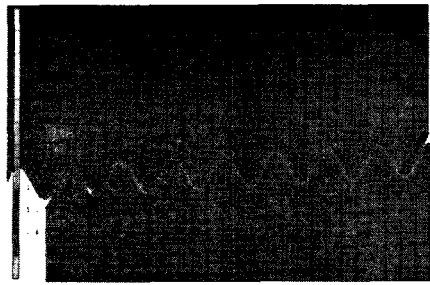
해석은 용기용 밸브의 나사산과 용기 넥(neck)부 나사 사이에서 발생하는 접촉 수직 응력을 관찰하였으며, 나사산의 높이가 100%인 모델부터 90%의 마모가 발생한 10% 모델에 대하여 접촉 수직 응력이 발생하는 부위와 각 모델에서 발생하는 최대 접촉 수직 응력에 대해서 관찰하였다.

밸브 바디의 체결용 나사의 마모가 전혀 발생하지 않은 모델을 100% 모델로 정하였으며, 이 높이를 기준으로 각각 10%씩 마모가 진행되어 나가며 원래 나사산 높이의 10%에 이르기까지 총 10개의 모델에 대하여 해석을 수행하였다.

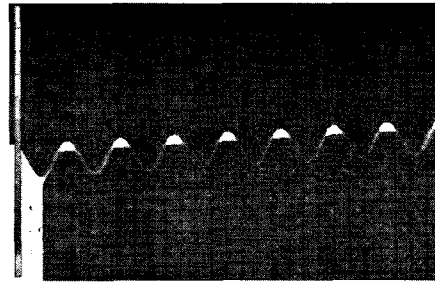
Fig 3.의 (a), (b), (c)와 (d)는 이 중, 대표적인 100%, 70%, 40% 그리고 10% 모델을 각각 보여준다. 밸브의 14개 나사 중, 7개가 체결된 상태에서 작동 가스 압인 18kgf/cm^2 를 적용하였을 때, 밸브의 나사와 용기 나사 사이에서 접촉이 발생한다. 접촉 수직 응력의 분포를 보면 체결되어있는 7개의 나사들 중, 중간 부분의 나사에서도 접촉 수직응력이 발생하지만 밸브 바디와 넥부 나사의 축 방향 양단 부분에 위치한 나사들에게서 가장 큰 응력이 발생하는 것을 관찰할 수 있다. Fig 4. (a)는 해당 모델에서 관찰할 수 있었던 접촉 수직 응력의 최대값을 도표로 나타낸 것으로서 밸브의 나사 마모가 진행되면 진행 될수록 관찰되는 최대 접촉 수직 응력의 값이 증가하는 것을 볼 수 있는데, 이는 밸브부 나사산의 마모로 인하여 용기 넥부와 밸브부 나사산이 서로 접촉하는 면적이 줄어들게 되어 발생하는 현상이다.

3-2. Von Mises 응력

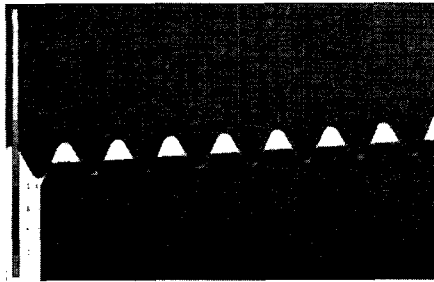
가스압을 받는 부분은 대부분 압축력이 아닌 인장력을 받기 때문에 인장 항복 강도를 넘어서면 바로 항복점을 넘어 소성이 발생할 수 있다.



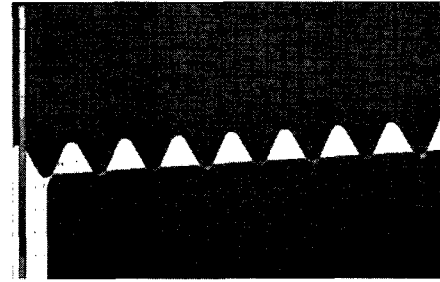
(a) 100% Model



(b) 70% Model

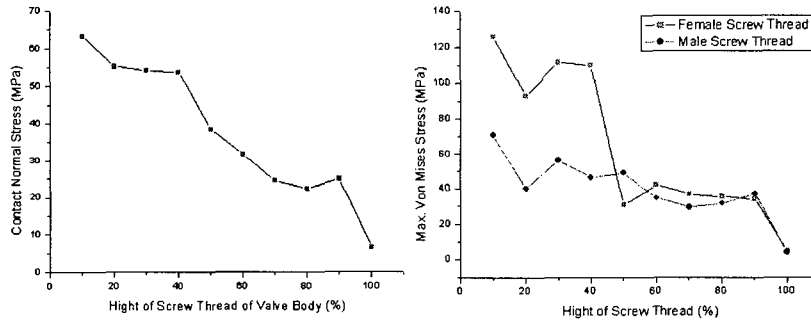


(c) 40% Model



(d) 10% Model

Fig. 3 Contact Normal Stress of Representative Models

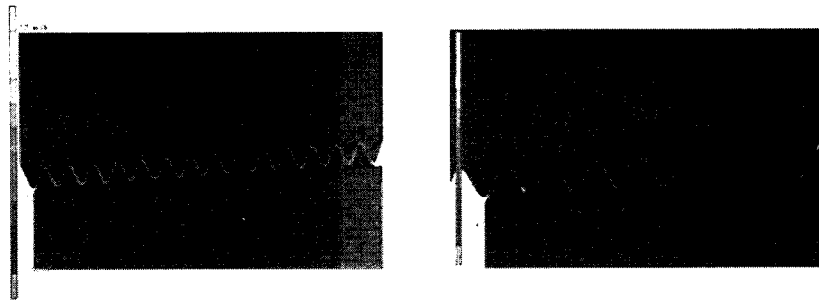


(a) Contact Normal Stress

(b) Von Mises Stress

Fig. 4 Contact Normal Stress & Max. Von Mises Stress

특히, 본 연구에서 다루고 있는 나사의 경우, 밸브부 나사와 넥부 나사에서 발생하는 응력이 재료의 인장 항복 강도를 넘어설 경우 나사의 소성 변형이 발생하게 되고 이는 결과적으로 나사부의 밀봉력 저하를 초래하여 가스 누출의 원인이 될 수 있다. 따라서, 밸브부 나사산과 넥부 나사산 사이에서 발생하는 응력 값에 대한 면밀한 관찰이 매우 중요하다.



(a) Fully held

(b) Held by 7 Screw Threads

Fig 5. Comparison Between Fully Held Model and 7 Threads Held Model

Fig 4. (b)는 100%부터 10%의 10개 모델의 나사로부터 관찰된 응력의 최대값을 각각 밸브부 나사와 넥부 나사에 대해서 표현한 도표이며, 편의를 위하여 밸브부 나사를 수나사로, 넥부 나사를 암나사로 칭하였다. 접촉 수직 응력과 같이 나사에 발생하는 응력도 100% 모델에서 10% 모델로 갈수록 증가하는 경향을 보였다. AISI1020 이 사용된 넥부 나사에서 발생하는 최대 응력은 소재의 항복 강도인 281MPa을 넘지 않았으며, 황동 소재로 제작되는 밸브부 나사의 경우에도 나사에서 발생하는 최대 응력은 황동의 항복 강도인 124MPa을 넘지 않았다. 따라서, 극한의 마모가 발생된 상태에서도 가스의 가압으로 인하여 발생하는 응력으로 인해 재료의 파괴가 일어나지는 않을 것으로 볼 수 있다.

3-3. 체결 나사별 비교

체결되는 나사의 개수에 대해서 상관관계가 존재하는지 알아보기 위하여 대표적으로 1개 모델을 취하여 제시하여 보았다. Fig 5.는 마모가 일어나지 않은 100% 모델에서 체결되는 나사의 개수에 따른 접촉 수직 응력 발생의 경향 비교를 보여주고 있다. Fig 5. (a)는 밸브 바디의 14개 나사 모두 체결된 상태를 나타내고, (b)는 14개의 나사 중 7개만 체결된 상태를 나타낸다.

(a)와 (b) 모두 접촉 수직 응력이 발생하지 않는 나사 없이 모든 나사에 접촉 수직 응력이 발생하고 있다. 나사의 회전축 방향을 기준으로 볼 때, 용기 방향쪽과 밸브시트 쪽의 나사에서 주로 큰 접촉 수직 응력이 발생하며 중간 부분의 나사에서는 그 값이 줄어드는 현상을 보였다. 가스가 가압되는 경우, 체결되어있는 첫 번째 나사가 제대로 밀봉 작용을 해준다면 누출이 발생하지 않게 되고, 만약 첫 번째 나사에서 밀봉에 실패하더라도 체결되어있는 마지막 부분의 나사에서 밀봉 효과를 기대할 수 있을 것으로 볼 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 LPG 밸브의 체결용 나사와 LPG 용기 넥부의 체결용 나사 사이에 대한 밀봉 안전성에 대한 연구를 유한요소법을 이용하여 접근하여보았다. LPG는 연료의 특성상 폭발성이 높아 가스 누출이 일어날 경우 우리의 생명과 재산을 위협하기 때문에 안정적인 밀봉성이 매우 중요하다. LPG 용기에 이용되

는 부품 중에서도 밸브 바디의 경우 안전변과 밸브 시트 이외에도 체결용 나사 부를 통한 가스 누출의 가능성도 존재할 수 있으므로 이에 본 논문에서는 밸브의 체결용 나사의 마모 정도에 따른 가스 누출 가능성 여부에 대해서 알아보았다. 100%에서 10%까지 총 10개의 모델에 대해서 각각의 나사산에서 발생하는 접촉 수직 응력과 Von Mises 응력을 관찰하였다.

접촉 수직 응력의 경우 일반적으로 이용되는 경우인 7개의 나사산이 서로 체결된 상태에서 주로 양단의 나사산들에서 최대 접촉 수직 응력이 관찰되었으며 관찰된 값들은 모두 가압 가스압인 18kgf/cm^2 , 즉 1.8MPa 보다 큰 값이 관찰되었다. 응력으로 인하여 재료가 파괴된다면 해당 부위로의 가스 누출이 있을 수 있으므로 최대 Von Mises 응력이 발생하는 부위와 그 값에 대하여 관찰하였으며, 이를 재료의 인장 항복 강도와 비교, 재료의 파괴 가능성에 대하여 알아보았다.

가장 극한의 조건인 10%의 경우, 밸브부에서 발생한 응력은 소재인 AISI1020의 항복 강도의 약 45% 정도 수준에 그쳤으며 넥부에서 발생한 응력의 경우 소재인 황동의 항복 강도의 57% 수준이었다. 소재의 파괴로 인한 가스 누출의 가능성은 극히 낮다고 할 수 있겠다.

마지막으로 체결된 나사의 개수에 따른 접촉응력 발생 경향에 대해서 관찰하였으며 첫 번째 나사 부근과 마지막 나사 부근에서 큰 접촉 수직 응력이 발생하는 것을 관찰하였다.

5. 참고문헌

1. R. L. Norton, 정태형, 한병기 외 4인 공역, 기계설계, Prentice Hall, (2002)
2. MARC Analysis Version K7.3 (1999)
3. 이상순, 민동균 외 7인 공역, 재료역학, SciTech, (2000)