



가스배관용 플렉시블 조인트의 응력 및 변형거동 특성에 관한 수치적 연구

[†]김청균 · 김경섭

홍익대학교 트리보·메카·에너지기술 연구센터
(2011년 4월 8일 접수, 2011년 8월 22일 수정, 2011년 8월 22일 채택)

Numerical Analysis on the Stress and Deformation Behavior Characteristics of Flexible Joint for a Gas Pipe

[†]Chung Kyun Kim · Kyung Seob Kim

Research Center for Tribology, Mechatronics and Energy Technology Center,
Hongik University

(Received April 8, 2011; Revised August 22, 2011; Accepted August 22, 2011)

요약

본 연구에서는 가스배관용 플렉시블 조인트의 응력과 변형거동 특성을 유한요소법으로 해석하였다. 이러한 특성결과는 나선 주름관이나 직각 주름관 및 평면관으로 구성된 플렉시블 조인트의 강도안전성을 고찰할 수 있다. FEM 계산결과에 의하면, 최적의 나선 주름관은 4.7°의 경사각도와 1.5mm의 주름높이를 갖는 주름관 모델인 것으로 나타났다. 또한, 90°의 주름을 갖는 직각 주름관 모델이 경사각도를 갖는 나선 주름관보다는 강도안전성이 더 우수한 것으로 나타났다. 따라서, 주름관의 강도안전성을 높이기 위해서는 주름관의 피치와 곡률반경을 줄이는 것이 바람직함을 알 수 있다.

Abstract - In this study, the stress and deformation behavior characteristics of a flexible joint for a gas pipe have been analyzed by a finite element method. These characteristic results may investigate the strength safety analysis of a flexible joint, which is composed by a spiral corrugation pipe or a rectangular corrugation model and a plane pipe. The FEM computed results show that an optimized spiral corrugation pipe model is a inclined angle of 4.7° and a corrugation height of 1.5mm. And also, a rectangular corrugation pipe model of 90° is recommended in strength safety rather than a spiral corrugation pipe with an inclined angle. Thus, a corrugated pipe for an increased strength safety is to recommend a reduced pitch and curvature radius of an inclined corrugation.

Key words : flexible joint, gas pipe, corrugation, stress, strain, deformation behavior

1. 서 론

가스용 플렉시블 조인트(flexible joint)는 서로 다른 위치에 놓인 가스배관이나 압력변동에 의해 진동을 많이 흡수해야 하는 가스배관을 유연하게 연결하

기 위해 사용하는 일종의 굴곡배관이다. 따라서, 플렉시블 조인트는 배관의 압력변동이나 온도차가 있을 경우, 연결위치가 다를 경우에 많이 사용한다.

플렉시블 조인트는 박판의 스테인리스 강재를 사용하여 알콘용접으로 접합한 평면관에 주름을 성형하고, 이 주름관의 양단에 슬립너트를 설치하여 다른 가스배관과 연결할 수 있도록 구성되어 있다.

플렉시블 조인트가 가스배관에서 많이 사용되고

[†]주저자:ckkim_hongik@nate.com

있음에도 불구하고, 강도안전성에 대한 연구사례가 대단히 적다[1-2]. 따라서 플렉시블 조인트는 KGS 코드에서 요구하는 안전기준을 충족하는 정도로 기존의 외국제품을 복제하여 사용하기 때문에 플렉시블 조인트에 대한 품질안전, 성능안전에 대한 기반 기술이 부족한 상태이다.

따라서 본 연구에서는 가스배관용 플렉시블 조인트의 주름관을 형성하는 경사각도와 주름높이의 변화에 따른 응력 및 변형거동 특성을 유한요소법으로 해석하여 강도안전성을 고찰하고자 한다.

II. 해석모델 및 해석조건

2.1. 해석모델

플렉시블 조인트의 강도안전성 해석을 위해 사용한 모델은 Fig. 1에서 보여준 것처럼 가스배관의 중앙에 300mm의 주름관과 200mm의 평면관이 양쪽으로 형성되어 있다.

Fig. 2는 본 연구에서 고려한 플렉시블 조인트의 주름관에서 나선의 경사각도와 주름높이를 서로 달리한 해석모델을 보여주고 있다. 즉, 주름관의 경사각도와 주름높이를 0°, 4.7°(h=1.5mm), 7°(h=2.5mm), 9.2°(h=3.5mm), 90°(h=1.243mm)인 5가지에 대한 모델을 제시하고 있다. 여기서 경사각도가 0°라는 것은 주름이 들어가지 않은 평면관이라는 것이고, 경사각도가 90°라는 것은 주름이 나선으로 형성된 것이 아니고 주름이 직각으로 형성된 평행주름을 의미한다.

Fig. 2에서 제시한 주름관 모델은 공급된 가스압력에 의해 주름관에 작용하는 응력과 변형거동 특성을 해석하기 위한 것으로 주름관의 강도안전성을 분석할 수 있다. 여기서 해석한 결과는 주름관의 진동 발생, 배관을 지지하기 위한 프레임의 휨이나 지지력에 영향을 미치는 중요한 설계변수가 된다.

또한, Fig. 3에서는 주름관의 주름높이를 1.5mm로 동일하게 유지한 상태에서 나선의 경사각도를 달리한 해석모델, 즉 피치가 달라진 모델이다.

본 연구에서 사용한 FEM 강도해석 프로그램은 MSC/MARC[3]이다.

2.2. 해석조건

플렉시블 조인트에 사용된 소재는 강도와 인성이 우수하고 내식성이 강한 STS 316을 사용하였다. FEM 해석에 사용한 STS 316 소재의 기계적 특성은 Table 1에서 제시하고 있다.

본 연구에서 고려한 주름관의 직경은 25.3mm이고, 두께는 0.3mm로 일정하다. 또한, 주름관의 강도



Fig. 1. Corrugated flexible joint model for a finite element analysis.

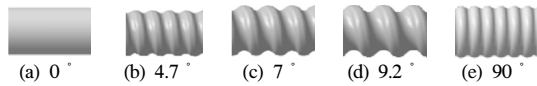


Fig. 2. Inclined angle models for a corrugated flexible pipe with a different corrugation height.



Fig. 3. Inclined angle models for a corrugated flexible pipe with a same corrugation height of h=1.5mm.

Table 1. Mechanical properties of STS 316[4]

Material property	STS 316
Elastic modulus, GPa	193
Poisson's ratio	0.3
Density, kg/m ³	8,000
Yield strength, MPa	250

안전성을 해석하기 위해 주름관에 가해진 가스압력은 0.5~2MPa이다.

III. 해석결과 및 고찰

3.1. 응력 및 변형거동

Fig. 4는 왼쪽의 평면관(경사각도 0°)과 오른쪽의 주름관(경사각도 4.7°)을 일직선으로 연결한 대표적인 플렉시블 조인트에 2MPa의 가스압력을 작용할 경우에 주름배관에 걸리는 응력분포를 보여주고 있다. FEM 해석결과에 의하면, von Mises 최대응력 90MPa은 평면관과 주름관이 서로 연결되는 부분에서 나타났다. 이것은 평면관에 주름관을 이어서 성형하는 과정에 불가피하게 형성되는 것으로 플렉시블 조인트에서 가장 취약한 부분으로 알려져 있다. 따라서, 플렉시블 조인트를 제조할 때는 평면관에서 주름관으로 성형하기 위해 진입하는 나선 부분의 진입각도와 곡률을 부드러운 곡선으로 처리하는 것이

대단히 중요한 설계 포인트이다.

또한, 주름관의 외경부 산을 따라서는 비교적 높은 응력 85MPa이 주기적으로 나타나고, 내경부의 골을 따라서는 48MPa의 낮은 응력이 작용하고 있다. 이것은 주름관에 가스압력이 위험하게 작용한다면 주름관은 1차적으로 평면관과 주름관이 연결된 부위에서 파열이 발생하고, 그 다음으로 주름의 외경부 산에서 파열이 진행될 가능성이 높다는 것을 의미한다.

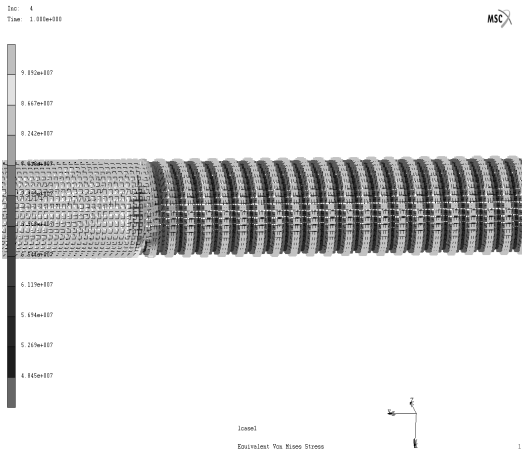


Fig. 4. von Mises stress distribution of corrugated flexible pipe with an inclined angle of 4.7° under 2MPa inner pressure.

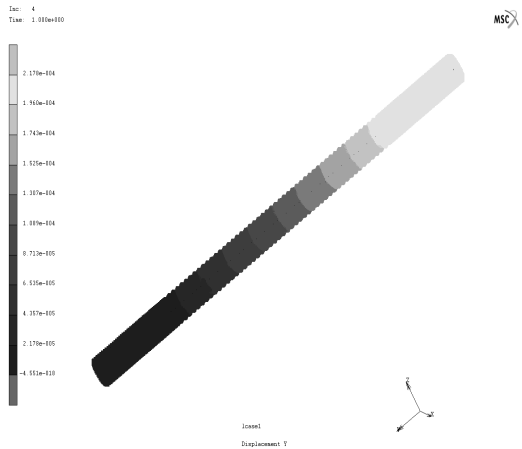


Fig. 5. Axial displacement corrugated flexible pipe with an inclined corrugation angle of 4.7° under 2MPa inner pressure.

Fig. 5는 플렉시블 조인트에 2MPa의 가스압력을 가한 상태에서 Fig. 1에서 보여준 500mm의 주름관에 작용하는 축방향의 변위량 분포를 나타내고 있다. Fig. 5의 해석결과에 의하면, 축방향의 최대변위량 0.2mm는 플렉시블 조인트의 전체길이 500mm에 비해 극히 작은 양으로 주름관의 진동에 영향을 미치는 요소는 아니다.

3.2. 임의 경사각도와 주름높이

Fig. 2에서 보여준 임의의 경사각도와 주름높이를 갖는 주름관 모델은 강도안전성에 영향을 미칠 것으로 예상되기 때문에 주름관에 0.5~2MPa의 가스압력을 공급한 상태에서 주름관에 작용하는 응력과 변형거동성에 대해 FEM 해석을 수행하였다.

Fig. 6의 von Mises 최대응력 해석결과에 의하면, 주름관 나선의 경사각도가 9.2°이고 주름높이가 3.5mm인 Fig. 2(d)의 주름관 모델에서 가장 큰 응력이 발생하였다. 또한, 주름관의 경사각도가 90°이고 주름높이가 1.243mm인 Fig. 2(e)의 직각 주름관 모델에서 가장 작은 응력이 발생하고 있음을 알 수 있다. 또한, 플렉시블 조인트에서 주름관의 경사각도가 7°이고 주름높이가 2.5mm인 Fig. 2(c)의 주름관 모델에서는 두 번째로 높은 응력이 발생하였다. 이것은 주름관의 경사각도와 주름높이가 클 경우 주름관에 걸리는 응력은 높아진다는 것이다. 그렇지만, Fig. 6의 해석결과에서 제시한 최대응력은 STS 316의 항복강도 250MPa에 비해 대단히 낮기 때문에 강도안전성은 대단히 우수한 것으로 판단된다.

따라서 응력거동 측면에서 플렉시블 조인트의 강

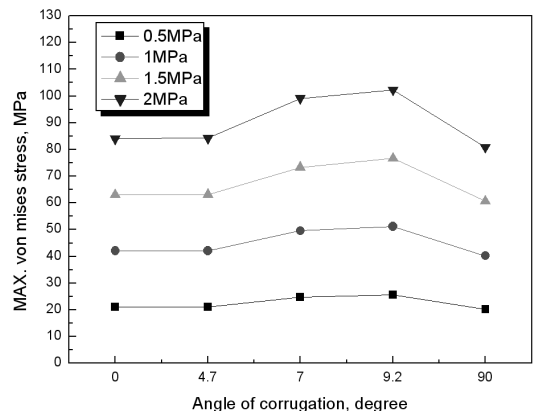


Fig. 6. Maximum von Mises stress of corrugated flexible pipe with various inclined corrugation angles.

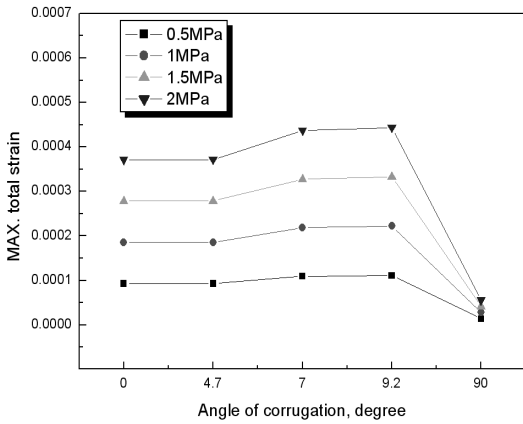


Fig. 7. Maximum total strain of corrugated flexible pipe with various inclined corrugation angles.

도안전성을 보면, 가장 안전한 주름관은 90°에 주름높이 1.243mm를 갖는 Fig. 2(c)와 같은 직각 주름관이고, 나선 주름관에서는 4.7°의 경사각도에 주름높이 1.5mm를 갖는 Fig. 2(b)와 같은 주름모델이다. 결국 플렉시블 조인트에서 가장 안정된 주름관을 설계하기 위해서는 나선의 경사각도와 주름높이를 함께 고려하여 최적조건을 찾아야 한다.

Fig. 7은 주름관의 경사각도와 주름높이에 따라 달라지는 변형률 해석결과를 보여주고 있다. Fig. 2에서 제시한 해석모델의 변형률도 최대응력 거동패턴과 유사한 해석결과를 보여주고 있다. 즉, 나선 주름관의 경사각도가 9.2°이고 주름높이가 3.5mm인 모델에서 가장 큰 변형률을 나타내고, 직각 주름관에서는 나선각도가 90°이고 주름높이가 1.243mm인 모델에서 가장 작게 변형되는 것으로 예측되었다.

주름관에 대한 변형률 해석결과도 응력처럼 나선 주름관의 경사각도가 클수록, 피치가 증가할수록 변형률도 높아져 불리함을 알 수 있다. 결국 주름관의 강도안전성은 나선 주름관의 경사각도를 가능한 직각 주름관에 가깝도록 설계하는 것이 유리하다는 것이다.

3.3. 임의의 경사각도와 일정한 주름높이

Figs. 8과 9는 주름관 나선의 주름높이를 1.5mm로 일정하게 유지하고, 나선의 경사각도를 4.7°, 7°, 9.2°, 90°로 설계한 경우에 대해 강도안전성을 해석하였다. 이때 주름관에는 0.5~2.0MPa의 가스압력을 가한 상태에서 응력과 변형거동 안전성을 해석하였다.

Fig. 8에서 보여준 von Mises 최대응력 해석결과에

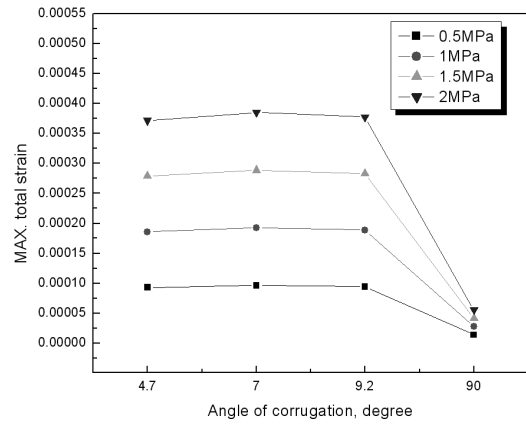


Fig. 8. Maximum von Mises stress of corrugated flexible pipe with various inclined angles for a height of 1.5mm.

의하면, 주름관 나선의 경사각도가 4.7°인 모델에서 상대적으로 극미하게 높은 최대응력이 작용하고, 경사각도가 90°인 직각 주름관 모델에서 가장 낮은 최대응력이 발생하였다. Fig. 8에서 최대응력에 대한 해석결과는 STS 316 소재의 항복강도 250MPa에 비해 대단히 낮기 때문에 0.3mm의 얇은 두께로 주름관을 제조해도 탄성범위에서 강도안전성을 충분히 확보하고 있다.

따라서 응력거동 측면에서 강도안전성을 볼 때, 동일한 주름높이를 갖는 경우의 플렉시블 조인트에서 가장 안전한 주름관은 90°를 갖는 직각 주름관이지만, 경사 주름관에서는 경사각도에 따른 영향을 거의 받지 않는 것으로 나타났다.

V. 결론

가스배관용 플렉시블 조인트의 주름관 경사각도와 주름높이에 따른 응력과 변형거동 특성을 FEM으로 해석하였다.

1) 주름관의 경사각도와 주름높이를 적절하게 선정하면 플렉시블 조인트의 강도안전성은 우수하게 확보할 수 있다. 플렉시블 조인트 주름관의 나선 경사각도는 4.7°, 주름높이는 1.5mm로 선정하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

2) 플렉시블 조인트에서 나선의 경사각도를 갖는 주름관보다는 90°를 갖는 직각 주름관으로 설계하는 것이 강도안전성 측면에서 더 우수하였다.

3) 경사진 주름관에서 나선의 주름높이가 같을 경

우는 피치가 줄어들수록, 그리고 나선의 곡률반경이 작을수록 응력과 축방향의 변형거동량이 증가하는 것으로 나타났다.

참고문헌

- [1] 김우식, “가스배관 재료의 기술 현황”, 유체기계 저널, 제6권, 제2호, pp.99-103, (2003)
- [2] 김도현, 조승현, 김청균, “유한요소법을 이용한 연료·윤활유 파이프의 거동특성 해석”, 한국윤활학회 제48회 춘계학술대회, pp.183-189, (2009)
- [3] “MARC user’s manual,” Ver. K6.1, MARC Analysis Research Co., (1996)
- [4] 정재친, 최상훈, 이용복, 장희석, “종합기계설계,” 청문각, (2004)