

유한요소해석을 이용한 소방용 배관의 형상변화에 따른 변형특성에 관한 연구

김경섭 · 김청균

홍익대학교 트리보·메카·에너지기술 연구센터

A study on deformation characteristics of fire pipe with sharp change by using Finite Element Method

Kyung Seob Kim · Chung Kyun Kim

Research Center for Tribology, Mechatronics and Energy Technology Hongik
Univ.

요 약

본 연구에서는 유한요소해석을 통하여 나선 주름모양 소방용 파이프를 모델링하여 각 모델간의 발생응력과 변형량을 상호간에 비교 검토하여 강도 안전성이 우수한 배관시스템의 설계 최적화를 하기 위함이 연구의 목적이다.

1. 서론

배관시스템의 설치는 반드시 좌우상하의 연결을 통하여 목적하는 물질인 가스나 기름을 목적지로 보내는 구조로 돼있다. 배관은 에너지를 공급처에서 수요처로 보내져 실생활에 편익을 제공한다는 점은 누구나 공감하는 부분이다. 배관의 해석은 배관계의 내압[1], 열응력, 자중, 바람, 지진 등에 의한 재해를 방지하기 위하여 배관의 응력해석에 필요한 지침을 산업안전 기준에 관한 규칙에 명시하고 있는데, 명시하고 있는 주된 이유는 배관계의 안전성을 검토하라는 것이다. 따라서, 안전율을 고려하여 사용압력에 대한 강도 안전성의 문제가 해결되면 리듀서를 사용하지 않고 나선 및 주름모양 파이프를 직접 구부려 시공할 수 있게 되며, 이렇게 되면 비용 및 시간절감이 수반된 효율적인 시스템이 구현된다. 강도 안전성이 확보된 나선을 가진 주름모양 파이프[2,3]로 시공할 경우 직접 구부려 곡관을 만들어 사용한다면 사용하지 않는 곳이 없을 정도로 무수한 산업 현장에서 가스 및 유체의 운반에 쓰이는 배관시스템의 경제적인 효과는 매우 높을 것이다. 본 연구에서는 유한요소해석을 통하여 나선 주름모양 소방용 파이프를 모델링하여 각 모델간의 발생응력과 변형량을 상호간에 비교 검토하였고, 유한요소해석 모델을 통하여 나타나는 결과로서 강도 안전성이 우수한 배관시스템의 설계 최적화를 목적으로 본 연구가 진행되었다.

2. 해석모델 및 조건

2.1 해석모델

해석모델은 리듀서의 이음을 제거하고 직접 구부려서 시공할 수 있도록 나선을 가진 주름 모양 파이프에 R50의 곡률을 가진 곡관으로 길이×높이는 87.5×130 (단위, mm)로 모델링하였고, 피치(p)는 6, 7, 8, 9mm, 나선높이는 0.8mm, 두께(t)[4]는 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4mm 로 5가지 모델을 만들어서 해석하였다. Fig.1은 해석모델을 나타낸 것이며, Table.1은 본 연구의 재료로서 기계적성질이 우수하고 내마멸성이 강한 SUS316의 기계적특성을 나타내었다.

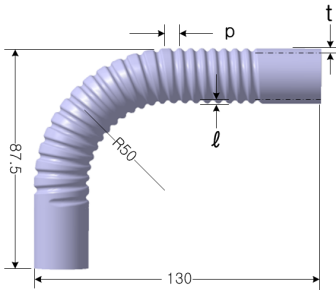


Fig.1 Analysis model

Table 1. Mechanical properties of SUS316

Material property	SUS316
Elastic modulus, GPa	193
Poisson's ratio	0.3
Density, kg/m ³	8000
Yield strength, MPa	250

2.1 해석조건

3인자 3수준의 다구찌 최적모델은 직교배열표에 의하여 유한요소해석을 수행하며, 다구찌방법에 의한 최적설계는 9개의 모델만을 만들어서 하기 때문에 최적화에 근사하는 모델이 되지만, 그 해가 최적화된 해라고 볼 수가 없기 때문에 다구찌방법에 의하여 선행된 연구의 최적화 된 모델을 검증할 필요성을 갖게 되었다. 선행된 다구찌방법에 의한 3요소로는 피치(p), 나선선의 높이(h), 그리고 배관의 두께(t)인 3 개의의 파라메타를 설정하였는데, 배관의 두께(t)가 von Mises 응력과 변형율에 약 60%, 약 50%의 영향을 미쳤고, 나선의 높이(h)는 약 30 %의 영향을 미쳤으나, 피치(p)는 2~3%의 미세한 영향이 미친 것을 확인하였다. 따라서, 나선선의 높이(h)의 파라메타에 있어서 가장 응력 및 변형량이 적었던 나선선의 높이는 0.8mm 였기 때문에 모든 모델에서 동일하게 0.8mm를 적용하였고, 주름파이프에 가장 영향력이 컸던 파이프 두께(t)를 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4mm인 5가지 조건으로 하였고, 그 때의 피치(p)는 각각 6, 7, 8, 9mm를 적용하여 모델링 하였다. 유한요소해석은 상용프로그램인 Marc를 사용하였다.

3. 해석결과

Fig.2, 3은 피치(p) 6mm에서 두께(t) 0.2~0.3mm를 적용하였을 때의 von Mises 응력을 나타낸다. 본 연구의 재료로 사용된 주름 파이프의 시험압력은 2MPa이다. 시험압력인 2MPa을 적용하였을 때 피치(p) 6mm에서 두께(t) 0.2~0.3mm를 가진 모델에서 이 재료의

항복응력인 250MPa보다도 적게 나타나는 것을 확인하였다. 특히, 현재 가장 많이 사용되는 0.3mm보다도 더 낮은 두께(t)인 0.25mm에서 145.3MPa이 관찰되었고, 0.2mm에서는 202.8MPa이 관찰되었다. 해석에 나타난 응력값에 기인하여 고찰하면 해석된 주름배관에 안전율을 30% 적용하면 허용응력이 175MPa가 된다. 즉, 응력이 175MPa 이내의 범주에 속하는 0.25mm에서 나타난 145.3MPa은 허용응력 이내라고 판단할 수 있다. 따라서, 경제적인 시공을 해야 한다면 현재 사용하고 있는 두께(t) 0.3mm의 주름배관을 사용하지 않고 설계자는 안전율의 적용에 따른 강도 안전성이 확인된 배관두께(t) 0.05mm를 절감한 0.25mm의 두께를 가진 배관을 사용할 수 있다고 판단된다. 변형량에 있어서 다구찌방법에 의한 최적모델로 나타난 Fig.7은 압력 2MPa에서 0.05mm로 관찰되었는데, 피치(p) 6mm, 배관두께(t) 0.25mm인 모델은 0.06mm로 관찰되었다. 변형량이 1/100mm의 단위로 관찰된다는 것은 다구찌 최적모델과 같이 피치(p) 6mm, 배관두께(t) 0.25mm인 모델에서도 변위가 거의 일어나지 않는 안정적인 변형특성을 나타낸다고 볼 수 있다. 3인자 3수준의 다구찌 최적모델은 직교배열표에 의하여 유한요소해석을 수행하는 다구찌방법에 의한 최적설계는 9개의 모델만을 만들기 때문에 9개의 모델모델에 포함되지 않는다면 최적화에서 배제되는 단점이 있기 때문에 다구찌방법에 의하여 선행된 연구에서 최적화 된 모델인 9개에서 모델가운데 피치(p) 6mm, 배관두께(t) 0.25mm인 모델을 다시 유한요소해석을 통하여 안전율을 고려하여 그 범주내에 있는 모델이 경제성 검토를 하여 경제성이 월등하다면 실제 적용 가능한 설계 모델이 될 수 있다고 생각된다.

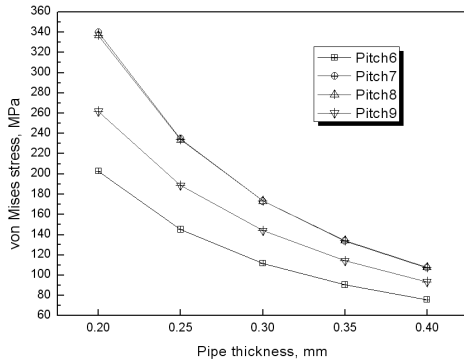


Fig. 2 von Mises stress distributions for variable thickness.

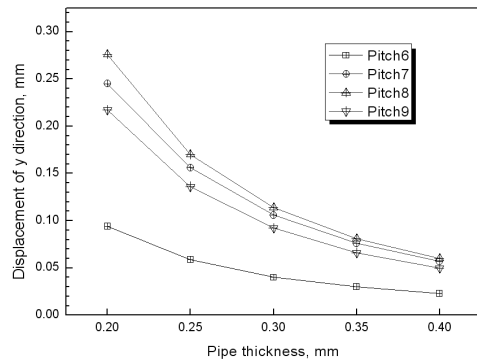


Fig. 3 Displacement distributions for variable thickness.

4. 결론

본 논문에서는 나선을 갖는 주름모양 파이프를 모델링하여 각 모델간의 발생응력과 변형량을 상호간에 비교 검토하여 최적화 모델을 구현하도록 하였다.

해석결과에 나타난 von Mises응력에 기인하여 고찰하면 본 연구의 재료인 SUS316의 항복강도가 250MPa이기 때문에 안전율을 30% 적용하면 허용응력이 175MPa가 된다. 즉, 응력이 175MPa 이내의 범주에 속하는 0.25mm에서 나타난 145.3MPa은 허용응력 이내기 때문에 설계자가 경제적인 시공을 해야 한다면 현재 사용하고 있는 두께(t) 0.3mm의 주름배관을 사용하지 않고, 안전율에 의한 강도 안전성이 확인된 배관두께(t)

0.05mm를 절감한 0.25mm의 두께를 가진 배관을 사용해야 한다고 판단된다. 피치(p) 6mm, 배관두께(t) 0.25mm인 모델은 변형량이 1/100mm의 단위로 변형이 거의 없는 강도 안전성이 우수하게 나타났다.

참고문헌

1. 김도현, 조승현, 김청균, “유한요소법을 이용한 연료·윤활유 파이프의 거동특성 해석”, 한국윤활학회 제48회 춘계학술대회, pp.183-189. 2009
2. 김경섭, 김청균, “가스·연료를 수송하는 주름 파이프의 거동특성에 관한 수치적 연구” 한국가스학회 추계학술대회, pp.205-209. 2009
3. 김경섭, 김청균, “유한요소법을 이용한 파이프 리듀서의 변형특성 해석” 한국가스학회 추계학술대회, pp.199-204. 2009
4. 장왕진, 박종식의 3인, “유한요소해석을 이용한 파이프 굽힘 변형의 특성 예측 및 평가”, 한국자동차공학회 춘계학술대회, pp.32-37. 2007.