

다구찌법을 이용한 나선모양 소방배관의 변형특성 연구

김경섭 · 김청균

홍익대학교 트리보·메카·에너지기술 연구센터

A study on deformation characteristics of fire pipe with spiral sharps by using Taguch's method

Kyung Seob Kim · Chung Kyun Kim

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

요 약

본 논문에서도 유한요소해석과 최적설계 기법의 하나인 다구찌 방법을 이용하여 나선모양을 갖는 소방용 배관의 최적설계를 통하여 배관의 강도 안정성을 확보하고자 한다.

1. 서 론

배관시스템의 설치는 반드시 좌우상하의 연결을 통하여 목적하는 물질을 목적지로 보내는 구조로 돼있다. 이러한 배관시스템의 특성상 배관은 리듀서와 같은 부자재 등으로 좌우상하에 각도를 주어 연결하기도 한다. 그러나 이와 같은 방식으로 시공을 하면 높은 단가에 의한 경제성문제 및 시공에 많은 시간과 인력을 투입하는 문제에 직면한다. 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 안정성의 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 안정성이 확보된 나선을 가진 주름모양 파이프[2,3]로 시공할 경우 직접 구부려 곡관을 만들어 사용한다면 사용하지 않는 곳이 없을 정도로 무수한 산업 현장에서 유체 및 기체의 운반에 쓰이는 배관시스템의 경제적인 효과는 매우 높을 것이다.

따라서, 본 논문에서도 유한요소해석과 최적설계 기법의 하나인 다구찌 방법을 이용하여 나선모양을 갖는 소방용 배관의 최적설계를 통하여 배관의 강도 안정성을 확보하고자 한다.

2. 해석모델 및 조건

2.1 해석모델

Table 1. Mechanical properties of SUS316

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

Table 2. Factors and levels for Taguchi

	Factors			
	A(p),mm	B(h),mm	e	C(t),mm
Levels	1	5	0.8	- 0.2
	2	7	1.4	- 0.3
	3	9	2.0	- 0.4

Table 3. Analysis layout of orthogonal array table of $L_9(3^4)$

Analysis No.	Factors			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1
Indication	a	b	a	a
Arrangement	A	B	e	C

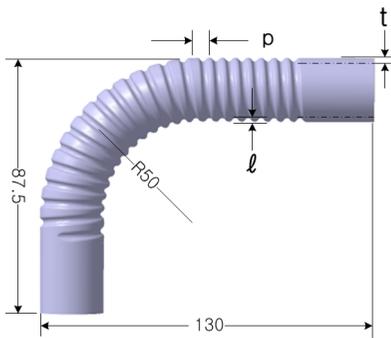


Fig.1 Analysis model

해석모델은 나선모양의 배관으로 다구찌방법의 도입에 의한 효율적인 해석과 최적설계를 하기 위하여 R50의 곡률반지름을 가진 곡관으로 길이는 87.5×130mm로 모델링하였으며, 피치(p)는 5, 7, 9mm, 나선높이(h)는 0.8, 1.4, 2.0mm, 두께(t)는 0.2, 0.3, 0.4mm의 조건을 가진 해석모델을 구성하였다.

2.2 해석조건

다구찌방법에서 설계인들의 상호작용에 의해 목적값에 영향을 미치는 교호작용이 최적설계에 적용되지만, 본 논문에서는 관내에 가해지는 압력이 곡관내벽에 미치는 응력과 변형량에 대한 최적설계를 위해서 교호작용을 무시하고 다구찌방법의 3인자 3수준의 $L_9(3^4)$ 형 직교 배열표에 의해 9개의 유한요소 해석모델을 구성하였다. 배관의 압력은 2MPa를 가하였고, 압력의 상승과 내·외적인 요인에 의한 관내 온도는 고려하지 않았으며, 배관의 마찰계수는 0.3을 적용하였다.

또한, Table1에 배관의 재질인 두께가 얇은 파이프소재에 많이 사용되고 경량화 측면에서도 우수한 강도를 나타내는 소재인 SUS316의 기계적특성을 나타내었다. Table 2.는 다구찌방법에 의한 최적설계를 위하여 배관의 피치(p), 나선선의 높이(h), 그리고 배관의 두

계(t)인 3 요소의 파라메타를 설정하였다. 이러한 설계 파라메타는 3개의 수준(level)으로 설계하였다. e는 다구찌 설계에 있어서 오차항을 나타내며, Table 3.과 같은 3인자 3수준의 다구찌 최적모델은 직교배열표에 의하여 유한요소해석을 수행하였다.

3. 해석결과

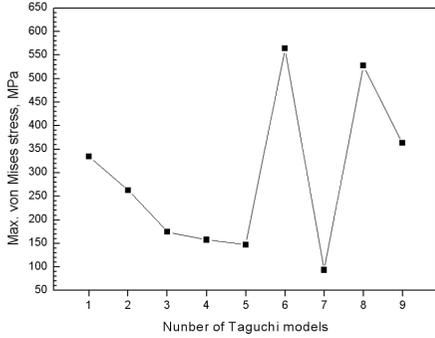


Fig.2 von Mises stress distributions of various Taguchi models.

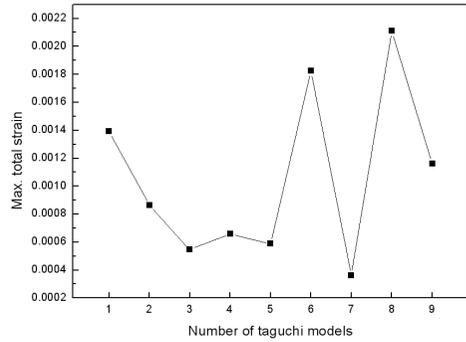


Fig.3 Total strain distributions of Taguchi models.

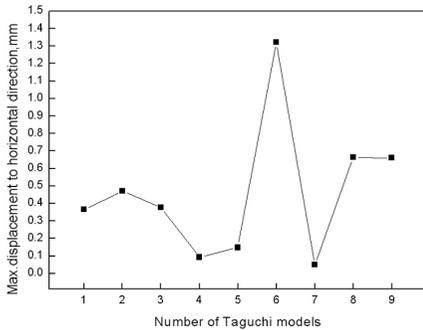


Fig. 4 Displacement distributions of various Taguchi models

Table 4. Factors affecting von Mises stress in pipe.

	A(p)	B(h)	e	C(t)	Sum
1	-503.7	-493.8	-505.0	-520.0	-2022
Level 2	-502.3	-506.2	-502.9	-503.5	-2014
3	-505.1	-511.1	-503.2	-487.6	-2006
Difference of level	1.35	17.3	1.82	32.40	52.84
Affecting ratio, %	2.55	32.7	3.45	61.32	100

Table 5. Factors affecting displacement in sprinkler pipe.

	A(p)	B(h)	e	C(t)	Sum
1	203.7	235.5	208.9	189.8	838.0
Level 2	214.8	206.7	210.1	210.1	842.4
3	213.2	189.6	212.7	212.7	846.7
Difference of level	9.50	45.98	3.83	41.3	100.6
Affecting ratio, %	9.45	45.7	3.80	41.1	100

Table 6. Factors affecting strain in pipe.

	A(p)	B(h)	e	C(t)	Sum
1	183.6	189.6	180.4	185.4	739.1
Level 2	203.0	179.4	204.9	183.6	770.9
3	181.1	198.7	182.4	198.7	760.9
Difference of level	2.56	9.10	1.98	13.28	26.92
Affecting ratio, %	9.52	33.8	7.34	49.33	100

해석 결과에서 다구찌 모델 No. 3, 4, 5, 7이 항복응력인 250MPa 이하의 응력범위에 있었기 때문에 가해지는 내압의 조건에서 배관안전성을 유지하고 있는 모델들이다. 배관의 응력 및 변형이 현저히 작은 강도안전성을 유지하고 있는 4개의 다구찌 모델에서도 가장 낮은 응력상태를 유지하고 있는 모델은 No. 7 모델이다. 그러나, 7번 모델은 배관두께가 0.4mm로 경제성을 고려한다면 0.3mm의 두께를 가진 4번 모델로 신중한 검토를 하는 것이 타당하다고 본다.

Fig 4에서는 각각의 다구찌 모델에 있어서 변형량을 나타내었는데, 다구찌 모델 No. 4, 5, 7에서 변형량의 변동이 없었다. 배관의 곡관부에 발생하는 최대 von Mises 응력과 변형율에 영향을 미치는 설계 파라메타들의 기여도를 계산하기 위해 다구찌방법의 망소특성을 이용하여 SN비를 계산한다. 본 논문에서는 특성치의 값이 작을수록 좋은 경우 망소특성을 적용하였는데, 망소특성의 정의는 다음과 같다.

$$SN = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (1)$$

식 (1)에서 SN값이 큰 경우가 그때의 설계 파라메타들이 von Mises 응력과 변형율을 줄이는데 효과적이라는 것을 의미한다. 다구찌 최적설계에서 망소특성을 채택한 이유는 해석을 수행한 결과 SN값이 크면 클수록 von Mises 응력, 변형율 그리고 변위가 모두 작게 나오기 때문에 배관시스템의 안정성에 월등히 유리하기 때문이다. Table 4에서 7번째 다구찌 모델의 SN비가 가장 크게 발생하였다. 이와 같은 결과로부터 7번째 다구찌 모델이 가장 바람직한 사용조건이라는 것을 의미한다. Table 5와 Table 6은 von Mises 응력과 변형율에 영향을 미치는 설계 파라메타들의 기여도를 나타냈는데, 이 데이터에 의하면 배관의 두께(t)가 von Mises 응력과 변형율에 61.3%, 49.3%의 영향을 미쳤고, 나선의 높이(h)는 32.7%, 33.8%의 영향을 미쳤으나, 피치(p)는 2.55%, 2.56%의 미세한 영향이 미친 것을 확인하였다. 그러나 변위에 가장 많은 영향을 끼친 설계 파라메타는 나선의 높이(h)로 45.7%의 영향을 미쳤고, 그 다음으로 배관의 두께(t)가 41%의 영향을 미친 것을 확인하였다. 이 결과에 따라서 응력과 변형율에 영향을 미치는 주요 설계 파라메타는 배관의 두께(t)이고, 변위에 영향을 가장 크게 미치는 파라메타는 나선의 높이(h)임을 해석을 통하여 확인하였다.

4. 결론

본 논문에서는 최적설계 기법의 하나인 다구찌 방법을 이용하여 나선모양을 갖는 소방용 배관에 대한 최적설계를 함으로써 배관시스템의 안정성을 확보하고자 유한요소법을 사용하였다.

배관에 2MPa의 압력을 가하여 해석을 수행하여 SN값이 크면 클수록 von Mises 응력, 변형율 그리고 변위가 모두 작게 나오기 때문에 배관시스템의 안정성에 월등히 유리한 망소특성을 적용하였으며, 가스배관의 피치(p), 나선의 높이(h), 그리고 배관의 두께(t)인 3 요소의 파라메타를 설정하여 9개의 다구찌 해석모델을 계산하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

배관의 두께(t)가 von Mises 응력에 가장 큰 영향을 준 요소로서 약 60%이며, 나선의 높이(h)는 약 30%의 영향을 미쳤으나, 피치(p)는 영향을 거의 미치지 않는 것을 확인하였다. 변형량에 가장 많은 영향을 준 설계파라메타는 나선의 높이(h)였고, 그 다음으로 배관의 두께(t)가 많은 영향을 미쳤다.

참고문헌

1. 조승현, 김청균, 김영규, “다구찌 실험법을 이용한 O-링 형상의 최적설계,” 한국윤활학회 추계학술대회, 37회, pp. 241-247, 2003.
2. 김청균, 조승현, “ SF_6 가스 안전밸브 디스크 시일의 최적설계에 관한 연구,” 한국윤활학회 학회지, Vol. 20, No. 5, pp. 231-236, October 2004.
3. 안주양, 김대은, 최진용, 신경호, “다구찌 실험계획법을 이용한 탄소코팅 초박막의 마찰 특성,” 한국정밀공학회, Vol. 20, No. 4, pp. 143-150, April 2003.
4. Seong Jin Kim, Kwang Seok Kim and Ho Jang, "Optimization of Manufacturing Parameter for a Brake Lining using Taguchi Method," J. of Material Processing Technology, 136, pp. 202-208, 2003.