

소방 배관용 브라켓의 변형특성에 관한 수치적 연구

김경섭 · 김청균

홍익대학교 트리보·메카·에너지기술 연구센터

A numerical study on deformation characteristics of bracket for fire pipe system

Kyung Seob Kim · Chung Kyun Kim

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

요 약

본 연구에서는 배관계에 가해진 압력으로 인하여 변형된 배관에 의하여 영향을 받는 브라켓에 대하여 여러 가지 형상으로 모델링하여 유한요소해석을 통하여 브라켓의 형상변화가 변형특성에 미치는 영향을 고찰 하였고, 배관시스템의 브라켓의 강도 안전성을 확보하기 위하여 산업공학에서 쓰였던 다구찌방법을 도입하여 최적화 설계를 하는 것이 본 연구의 목적이다.

1. 서 론

화재를 진압하기 위해 사용하는 유체를 운송하는 배관은 사용압력[1], 열응력, 자중, 바람 및 지진등의 내·외적인 요인에 의해 배관 재료의 기계적 특성, 배관 지름과 두께가 결정된다. 특히, 화학계 운반설비에 있어서는 배관계의 안전성을 확보하기 위하여 배관의 응력 해석은 반드시 실시해야 한다는 것은 산업안전기준에 관한 규칙에 명시하고 있을 만큼 그 중요성은 이루 다 설명할 수 없다. 또한, 배관을 지지하고 있는 지지물인 브라켓에 관한 규정으로 배관계의 안전성을 유지시켜 주기 위하여 배관계에서 발생하는 배관의 자중, 배관계의 열팽창에 의한 변형, 유체의 진동, 기계의 진동, 지진 및 기타 외부의 충격으로부터 배관계를 지지 및 보호하기 위하여 설치하는 장치로 배관시스템을 구성하는 중요 요소인 것이다. 본 연구에서는 배관계에 가해진 압력으로 인하여 변형된 배관에 의하여 영향을 받는 브라켓에 대하여 여러 가지 형상으로 모델링하여 유한요소해석을 통하여 브라켓의 형상변화가 변형특성[2,3]에 미치는 영향을 고찰 하였는데, 산업공학에서 품질관리 및 통계기법으로 쓰였던 다구찌방법을 도입하였다. 다구찌방법은 기계공학에서 최적화의 한 방법으로 사용하고 있으며, 특히, 트라이볼로지에서 최적화설계를 하기 위한 방법으로 많이 사용되었다. 따라서, 본 논문에서는 배관시스템의 브라켓의 강도 안전성[4]을 확보하기 위하여 다구찌방법을 도입하여 최적화 설계를 하는 것이 본 연구의 목적이다.

2. 해석모델 및 해석조건

2.1 해석모델의 형상

2.1.1 해석모델

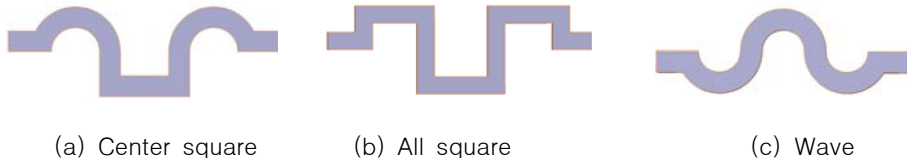


Fig.1 Analysis models of bracket.

2.1.2 다구찌법에 의한 해석모델

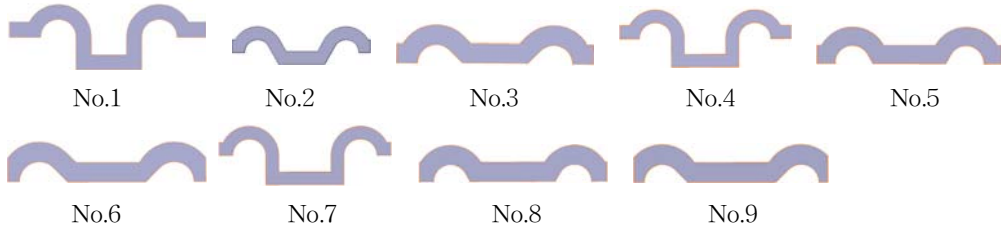


Fig.2 Taguchi's models of bracket.

해석모델은 3가지의 모델을 형상화하여 유한요소해석을 수행하였다. 모든 모델의 질량을 0.108Kg으로 동일하게 하였으며, 기본 치수로는 가로×세로는 33×11 (단위,mm)로 하였으나, 질량을 동일하게 적용하기 위하여 두께는 각각의 모델이 조금씩 달라졌다. 이 3가지 유형의 모델을 유한요소해석을 수행하여 얻어지는 응력과 변위를 고찰하여, 최소의 응력과 변형량을 갖는 모델로 다구찌모델을 만들었으며, 다구찌모델은 Fig.2의 9가지 유형이다, 이 또한, 질량을 모두 같은 값인 0.108Kg으로 동일하게 하였다.

2.2 해석조건

브라켓의 해석을 같은 조건에서 하기위하여 동일한 질량을 적용하였고, 배관이 2MPa의 압력을 받을 때 배관해석에서 최소의 변형량을 적용하여, 그 때 브라켓에 가해지는 값인 0.535(N)을 모든 브라켓에 가해서 얻어지는 응력과 변형량을 관찰하여, 최적의 모델 유형을 찾았고, 그 모델의 유형을 가지고 3인자 3수준의 9가지 다구찌방법에 의한 모델을 만들었다. 4절점 모델링을 하였고, 프로그램은 상용프로그램인 Marc를 사용하였다.

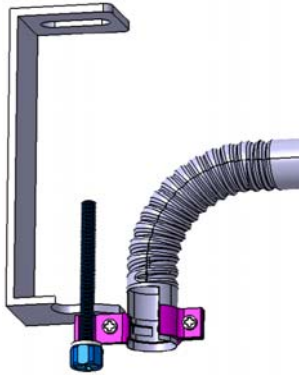


Fig.3 Sharp of bracket to pipe system

Table 1. Mechanical properties of SS41

Material property	SS41 (ASTM A36)
Elastic modulus, GPa	200
Poission's ratio	0.26
Density, kg/m ³	7850
Yield strength, MPa	250

Table 2. Factors and levels for Taguchi method

	Factors			
	A(ℓ),mm	B(θ),degree	e	C(ϕ),mm
Levels	11	90	-	2.95
	13	120	-	3.05
	15	135	-	3.15

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

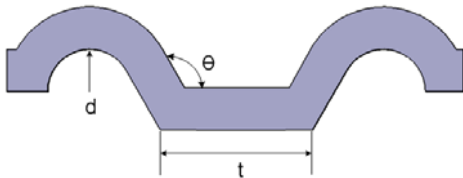


Fig.4 3-Factors of Taguchi method.

3. 해석결과 및 토의

다구찌 방법에 의한 최적기법을 도입하기 위한 선행 해석으로서 3가지 모델의 응력의 변화를 관찰하였는데, Center square 모델이 다른 2개의 모델보다도 응력이 낮게 작용하는 것을 관찰하였다. Wave와 비교하였을 때는 17% 낮았고, All square와 비교하였을 때는 50% 낮게 작용하는 것을 해석 결과로 알 수 있다. 변형량에 있어서도 Center square 모델이 다른 2개의 모델보다도 변형량이 낮게 작용하는 것을 관찰하였다. Wave와 비교하였을 때는 19% 낮았고, All square와 비교하였을 때는 47% 낮게 작용하는 것을 해석 결과로 알 수 있다. 따라서, 기하학적 다수의 모델 형상에서는 O형 브라켓이 가장 낮은 응력과 변형량을 보이지만, O형 브라켓은 소방용 스프링클러의 배관을 직접 장착할 수 없는데

다가, 또한 브라켓과 배관을 연결시켜 주는 장치가 필요하다는 점에서 경제적으로 비효율성이 많기 때문에 그 다음으로 낮은 응력과 변형량을 보인 모델이 Wave 브라켓을 채택하여 변형된 모델 2종을 추가해서 3종류로 해석해 보았다. 그러나, 해석 결과 Wave 브라켓보다도 Wave 브라켓의 변형된 형태인 중앙에 파이프를 직접 착용할 수 있도록 도안된 Center square 모델이 응력과 변형율이 가장

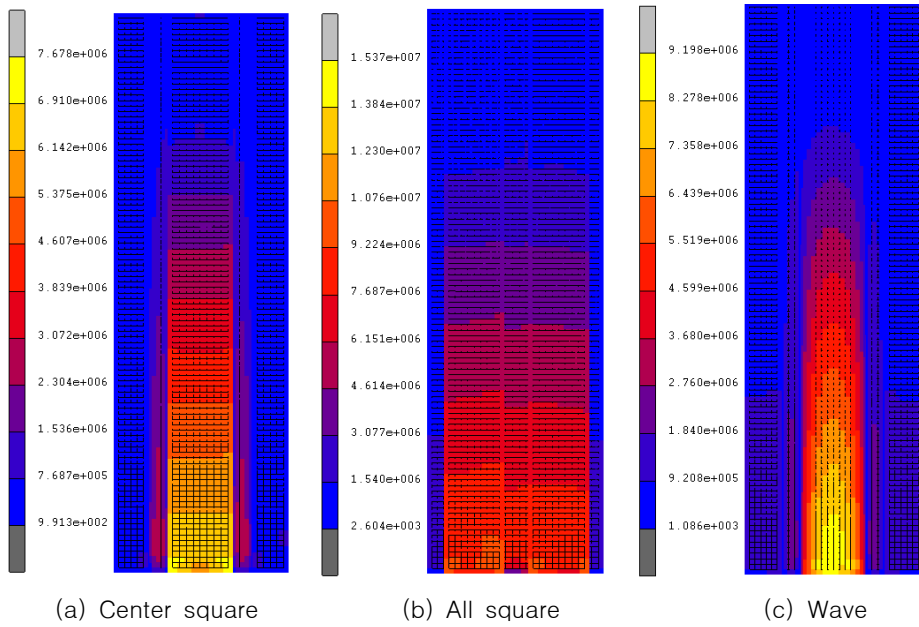


Fig.5 von Mises stress distributions of 3_models.

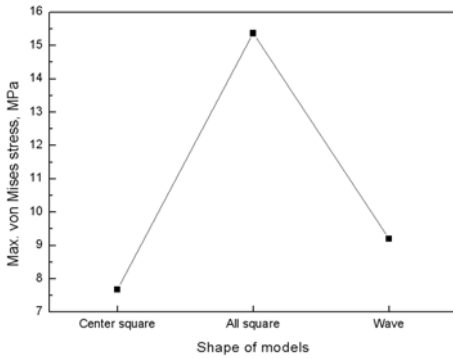


Fig. 6 von Mises stress distributions of 3- models.

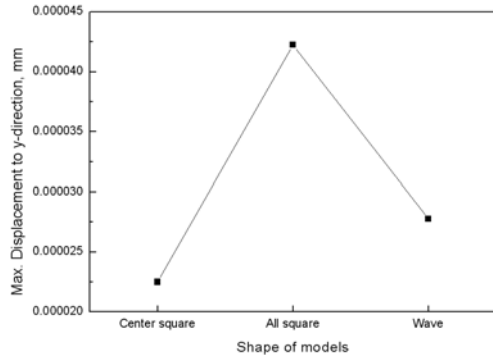


Fig. 7 Displacement distributions of 3- models.

낮았다. 따라서, Center square 모델을 가지고 다구찌방법에 의한 최적화기법을 사용하기 위하여 3인자 3수준의 9가지 모델을 만들었으며, 9가지 모델로 유한요소해석을 실시하였

다. 9가지 모델을 모두 유한요소해석항 결과 7번 모델이 가장 낮은 응력상태를 보였다. 변형량에 있어서도 7번 모델이 가장 낮은 변형량을 보였다. 7번과 다른 모델의 응력값을 비교하면 6번 모델이 1.1배가 높았고, 5번 모델은 2.9배가 더 높은 것을 확인할 수 있었다. 같은 재료(SS41)와 같은 질량(0.108Kg)으로 브라켓을 만들어서 같은 힘(0.535N)을 작용시켰을 때, 7번 모델이 응력과 변형량에서 가장 우수한 강도 안전성을 보였다. 7번 모델은 모델들 중에서 중앙 길이부분(A)이 15mm로 가장 길고, 각도(B)는 90인 직각이며, 양쪽의 곡률 반지름도 모델 중에서 가장 큰 0.15도인 모델이다.

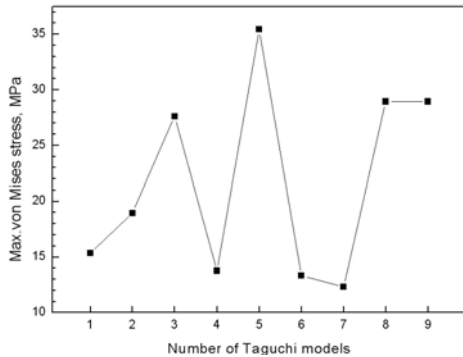


Fig. 8 von Mises stress distributions of Taguch's models.

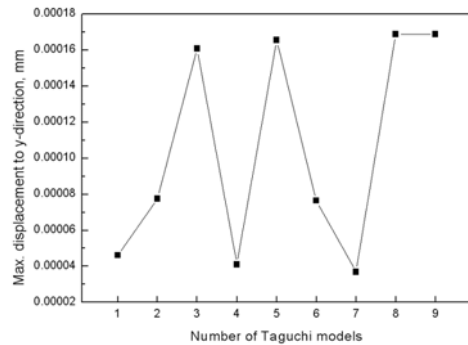


Fig. 9 Displacement distributions of Taguch's models.

Table. 4 Factors affecting von Mises stress in braket.

	A(l)	B(θ)	e	C(d)	Sum
1	-78.1	-68.3	-	-75.5	-221.9
Level 2	-76.27	-85.8	-	-77.6	-239.6
3	-80.26	-80.6	-	-81.6	-242.4
Difference of level	2.15	12.24	-	6.14	20.54
Affecting ratio,%	10.5	59.6	-	29.9	100

Table. 5 Factors affecting displacement in braket.

	A(l)	B(θ)	e	C(d)	Sum
1	-115.2	-36.9	-	-55.5	-207.6
Level 2	-54.3	-126.7	-	-114.6	-295.6
3	-60.44	-66.3	-	-59.8	-186.6
Difference of level	54.77	29.4	-	4.35	88.6
Affecting ratio,%	61.8	33.2	-	4.91	100

또한, Fig 5, 6에서는 각각의 다구찌 모델에 있어서 응력과 변형량을 나타내었다. 브라켓에 발생하는 최대 von Mises 응력과 변형량에 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 변형량을 줄이는데 효과적이라는 것을 의미한다. 다구찌 최적설계에서 망소특성을 채택한 이유는 해석을 수행한 결과 SN값이 크면 클수록 von Mises 응력과 변형량이 모두 작게 나오기 때문에 브라켓의 안정성에 월등히 유리하기 때문이다. Table 4와 Table 5는 von Mises 응력과 변형량에 영향을 미치는 설계 파라메타들의 기여도를 나타냈는데, 이 데이터에 의하면 각도(θ)가 von Mises 응력에 59.6%의 영향을 미쳤고, 양쪽의 직경(d)은 30%의 영향을 미쳤으나, 중앙부의 길이(l)는 10.5%의 영향이 미친 것을 확인하였다.

또한, 변형량은 중앙부의 길이(l)가 62%의 영향을 미쳤고, 각도(θ)가 33%의 영향을 미쳤으며, 양쪽의 직경(d)은 5%의 영향을 미친 것을 확인하였다. 이 결과에 따라서 응력에 영향을 미치는 주요 설계 파라메타는 각도(θ)이며, 변형량에 영향을 미치는 주요 설계 파라메타는 브라켓의 중앙부의 길이(l)임을 다구찌방법의 도입에 따른 유한요소해석을 통하여 확인하였다.

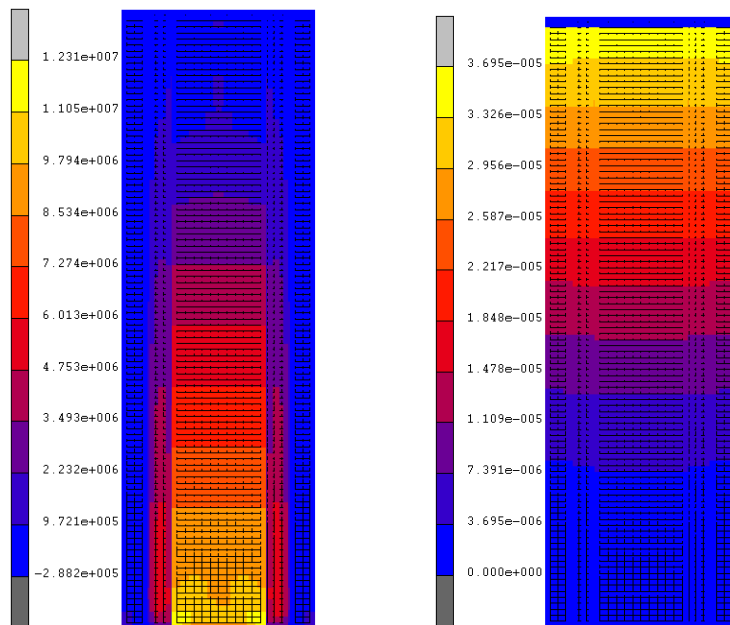


Fig. 10 von Mises stress and displacement distributions of Taguchi method's No.7 model.

4. 결론

본 논문에서는 최적설계 기법의 하나인 다구찌 방법을 이용하여 소방용 스프링클러를 지지하고 있는 브라켓에 대한 최적설계를 함으로써 스프링클러 배관의 강도 안정성을 확보하고자 유한요소법을 사용하였다.

소방용 배관에 2MPa의 압력을 가하여 해석을 수행하여 SN값이 크면 클수록 von Mises 응력과 변형량이 모두 작게 나오기 때문에 브라켓의 안정성에 월등히 유리한 망소특성을

적용하였으며, 브라켓의 중앙부의 길이(ℓ), 각도(θ), 그리고 브라켓 양쪽의 직경(d)인 3 요소의 파라메타를 설정하여 9개의 다구찌 해석모델을 계산하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

같은 재료(SS41)와 같은 질량(0.108Kg)으로 브라켓을 만들어서 같은 힘(0.535N)을 작용시켰을 때, 7번 모델이 응력과 변형량에서 가장 우수한 강도 안전성을 보였다. 7번 모델은 모델들 중에서 중앙 길이부분(A)이 15mm로 가장 길고, 각도(B)는 90인 직각이며, 양쪽의 곡률 반지름도 모델 중에서 가장 큰 0.15도인 모델이다. 응력에 영향을 미치는 주요 설계 파라메타는 각도(θ)이며, 변형량에 영향을 미치는 주요 설계 파라메타는 브라켓의 중앙부의 길이(ℓ)임을 다구찌법에 의한 유한요소해석을 통하여 확인하였다.

참고문헌

1. 김도현, 조승현, 김청균, “유한요소법을 이용한 연료·윤활유 파이프의 거동특성 해석”, 한국윤활학회 제48회 춘계학술대회, pp.183-189. 2009.
2. 김경섭, 김청균, “유한요소법을 이용한 파이프 리듀서의 변형특성 해석” 한국가스학회 추계학술대회, pp.199-204. 2009.
3. 김경섭, 김청균, “가스·연료를 수송하는 주름 파이프의 거동특성에 관한 수치적 연구” 한국가스학회 추계학술대회, pp.205-209. 2009.
4. H. J. Kim, C. M. Lee, "A Study on the Bending Process for Precision Pipe Forming" Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 24, No.6, pp. 58-65, June 2007.