

직관 지지대 설치 기준의 L형관 설계 적용 가능성에 관한 연구

한상규, 이재현*[†]

한양대학교 공학대학원 플랜트엔지니어링 전공, *한양대학교 기계공학부

Applicability of Supporting Standard for a Straight Pipe System to an Elbow

Sang-Kyu Han, Jae-Heon Lee*[†]

Course of Plant Engineering, Graduate School of Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

*School of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

(Received May 5, 2012; revision received June 11, 2012)

ABSTRACT : Pipe means the connection of the tube in order to transfer fluid from one device to another device. The piping stress analysis is to analyze the structural stability considering the location and the features of piping support after completing the piping design, The allowable stresses comply with the requirements of the relevant standards by examining whether the support of the function and location of pipe or re-operation is confirmed. Allowable stresses are to make sure that the maximum stress should not exceed the allowable stress presented in the ASME B31.1 POWER PIPING code. ASME B31.1 POWER PIPING code ensures a smooth stress analysis can be performed during the initial pipe stress analysis as provided in the case of straight pipe to the horizontal distance between the supports. However, because there is no criteria set in the case of curved pipe, the optimum pipe supporting points were studied in this paper. As mentioned about the curved pipe, loads applied to the support of the position of 17% and 83% of the position relative to the elbow part have results similar to the load acting on the support of straight pipe.

Key words : pipe (배관), stress analysis (응력해석), supports distance (지지대 간격)

1. 서론

배관은 한 기기로부터 다른 기기로 유체를 이송시키기 위하여 관을 연결하는 것을 말하며, 배관해석은 배관 배치가 완료된 후 배관계의 구조적 안전성을 분석하고 허용응력 등 관련 규격의 요구 사항에 부합되는지 여부를 검토하여 배관 지지물의 기능 및 위치를 확정 또는 재조

정 작업을 하는 것을 말한다.

배관 시스템은 정지 중 또는 운전 중에 자중, 압력, 열하중, 진동, 풍력 그리고 지진 등 여러 가지 하중이 작용한다. 따라서 안전한 플랜트운전을 위해서는 이러한 여러 가지 하중에 대해서 해당 법규나 코드에서 지정한 해석조건, 허용응력 등이 만족한 범위 내에 있도록 설계해야만 한다. 그러므로 중요 계통 배관의 배관해석업무는 개념설계 시 대부분 이루어지게 되며 상세설계 시 최종적으로 확정하게 된다. 해석방법에는 자중, 열하중 그리고 압력 등을 고려한 정적해석과 지진과 진동 등 동적하중을 고려하여 해석하는 동적해석이 있다. 일반적으로

[†] Corresponding author

Tel. +82-2-2220-0425; Fax +82-2-2220-4424

E-mail address: jhlee@hanyang.ac.kr

직관 지지대 설치 기준의 L형관 설계 적용 가능성에 관한 연구

화학플랜트에서는 특별한 경우를 제외하고 정적해석만을 수행하는 것이 보통이다. 그러나 원자력발전플랜트에서 동적해석은 필수적이며 실제로 많은 시간이 이 업무에 투입된다. 배관응력해석은 계산과정이 복잡하고 중간생산량이 상당히 많기 때문에 실제계산은 수작업이 불가능하며 기본적으로 유한요소법에 의해 컴퓨터를 활용하고 있으며 경우에 따라 간단한 수계산에 의해 평가를 하는 경우도 있다.

ASME B31.1 POWER PIPING^[1] 코드는 배관 처짐의 정도를 고려하여 각 표준두께별로 지지대간의 최대 이격거리를 제안하고 있다. 하지만 이는 직관 배관을 기준으로 한 것으로 L형관 설계 시 적용 가능한 코드요건이 없어 반복적인 구조해석과 설계개선이 요구된다. 따라서 본 연구는 코드에서 제시한 지지대간의 최대 거리를 기준으로, 반복적인 설계변경 없이 L형관에서도 적용 가능한 지지대 위치를 실제 배관계에 적용하도록, 유한요소법을 바탕으로 한 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 연구하였으며, L형관에서의 최적 지지대 위치를 제시하였다.

본 연구는 코드에서 제시한 직관에서의 지지대 간격으로 배관이 설계되었을 때, 실제 플랜트운전 시 지지대에 걸리는 하중을 배관응력해석 프로그램인 PIPSYS를 이용하여 산출해 냈다. 그리고 L형관 내에서 직관의 하중값과 유사한 결과의 하중이 발생하는 지점을 지지대의 위치 변경을 통해 도출해냈다. 도출해 낸 L형관의 지지대 위치를 이용하여 다른 호칭경의 배관에도 적용가능 여부를 판단하였다.

2. 직관 지지대 설치기준의 적용 및 평가

2.1 직관 지지대의 설치기준

플랜트운전기간 동안 배관계에 발생 가능한 구조 및 압력에 대한 건전성 증명을 위하여 배관응력해석을 수행한다. 배관 지지대 위치는 배관계의 응력해석을 수행하는데 있어서 매우 중요한 요소 중 하나이다. 배관 지지대의 위치변화로 인해 배관응력해석의 결과는 매우 상이하게 나타난다.

배관 지지대 위치는 배관직경, 배관형상 등에 의해 결정되며, 일반적으로 지지대 위치를 결정하는 절대적인 조건이나 규칙은 존재하지 않는다. 즉, 지지대 위치는 엔

Table 1 Suggested pipe support spacing (ASME B31.1 Table 121.5)

Nominal Pipe Size, NPS	Suggested Maximum Span			
	Water service		Steam, gas or air service	
	ft	m	ft	m
1	7	2.1	9	2.7
2	10	3.0	13	4.0
3	12	3.7	15	4.6
4	14	4.3	17	5.2
6	17	5.2	21	6.4
8	19	5.8	24	7.3

지니어의 판단에 의존해야 하는데, 지지대 위치 선정 시 수많은 엔지니어들이 ASME B31.1 POWER PIPING^[1] 코드에서 제안하고 있는 배관 지지대 간격을 참고하고 있다.

Table 1은 코드에서 제안한 각 배관 호칭경별 지지대의 설치기준이다. 750°F의 최대 운전온도를 기준으로 최대 지지대의 설치기준이 제공됐으며, 밸브나 플랜지와 같은 집중질량이 있는 곳에서는 적용하지 않는다. 밸브나 플랜지와 같은 집중질량이 존재하는 부분에는 근처에 지지대를 설치할 것을 코드에서는 추천하고 있다. 또한 지지대 설치기준은 배관의 방향이 바뀌는 곳에는 적용하지 않으며 수평배관에만 적용한다. 즉, 수직으로 올라가는 배관에는 적용하지 않는다. 마지막으로 자중으로 인한 배관의 처짐은 0.1인치 이하로 허용된다.

2.2 직관 지지대의 하중 및 처짐량 검토

Fig. 1은 외경 3인치, 길이 24피트 배관에 코드의 직관 지지대 설치기준을 적용한 그림이다. 배관계가 독립된 형태로 응력해석을 수행하기 위해 배관의 양쪽 끝을 앵커로 고정시켰고, 중간에 수직방향만을 지지해주는 지지대를 1번과 2번 위치에 설치하였다. 1번과 2번 지지대 사이의 간격은 코드에서 제안한 3인치 배관의 지지대 간격인 12피트로 정하였고, 앵커와 지지대 사이의 간격은 지지대 간격의 반값인 6피트로 설정하였다. 배관의 재질은 A312 - TP304, Schedule 40S의 스테인레스 파이프이고, 온도는 ASME B31.1 POWER PIPING^[1] 코드에서 최대 운전온도

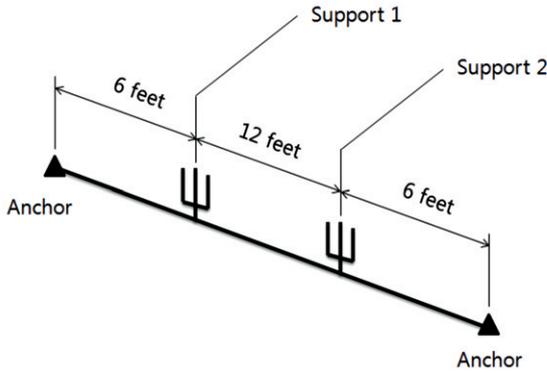


Fig. 1 Straight pipe

로 명시된 750°F(400°C), 압력은 최대 굽힘응력 조건으로 명시된 2,300 psi(15.86 MPa)로 설정하였다.

Table 2는 Fig. 1에서 지정한 지지대에 발생하는 하중과 처짐량 결과이다. 외경 3인치 Schedule 40S 배관의 1피트당 단위하중은 10.78 lb/foot 이고 현재 고려하고 있는 배관계의 길이는 24피트이다. 따라서 단위하중과 길이를 곱하여 산출한 배관계의 하중은 258 lb이다. 배관계의 하중과 지지대거리를 고려하여 두 지점의 지지대에 걸리는 하중을 계산한 결과 1번 지지대와 2번 지지대에 116 lb의 동일한 수직방향 하중이 발생함을 알 수 있다.

ASME B31.1 POWER PIPING^[1] 코드는 자중에 의한 배관계의 최대 처짐량을 0.1인치로 제한하고 있다. 배관 무게를 고려하여 배관계의 처짐량을 계산한 결과 0.0191 인치로서 코드요건을 만족한다.

2.3 직관 응력해석 평가결과

배관의 건전성을 평가하기 위해서 ASME B31.1 코드는 각 종류별 하중에 따른 식과 허용응력 값을 제공한다. 배관의 응력을 구하는 식은 (1), (2) 및 (3)과 같다.

$$S_L = \frac{PD_0}{4t_n} + \frac{0.75iM_A}{Z} \leq 1.0S_h \quad (1)$$

$$S_{OL} = \frac{PD_0}{4t_n} + \frac{0.75iM_A}{Z} + \frac{0.75iM_B}{Z} \leq 1.2S_h \quad (2)$$

위 식 각 항목에서 S_L 은 지속응력, S_{OL} 은 일시적응력, P 는 설계내압, D_0 는 배관외경, t_n 은 배관 공칭 두께, i 는 응력 강화계수, M_A 는 자중과 외력에 의한 모멘트, M_B 는 지진 및 동적하중에 의한 모멘트, Z 는 단면계수, S_h 는 운전 시 또는 정지 시 일반적으로 발생 가능한 금속 최고 온도에서의 허용응력이다.

$$S_E = \frac{iM_C}{Z} \leq S_A + f(S_h - S_L) \quad (3)$$

위 식 각 항목에서 S_E 는 열팽창 응력, i 는 응력 강화계수, M_C 는 열팽창 하중에 의한 모멘트, Z 는 단면계수 S_h 는 허용응력 범위, f 는 반복횟수에 따른 허용응력 감소계수, S_h 는 운전 시 또는 정지 시 일반적으로 발생 가능한 금속 최고 온도에서의 허용응력, S_L 은 지속하중이다.

Table 2와 Table 3은 Fig. 1의 3인치 Stainless Pipe의 직선 배관계가 코드요건에 만족하는지 여부를 판단하기 위해 배관응력해석을 수행한 결과이다. 식(1)은 배관계내의 자중에 의해 발생하는 모멘트를 가지고 배관의 지속응력을 구해서 허용응력 값과의 비교로 배관의 건전성을 평가하는 것이다. 배관에 작용하는 최대의 지속응력 값은 8,390 psi이고, 허용응력 값은 9,460 psi이므로 직선 배관계는 식(1)에서 코드요건을 만족함을 알 수 있다. 자중에 의해 발생하는 모멘트와 동적하중에 의해 발생하는 모멘트를 동시에 고려하는 일시적응력은 식(2)로 평가된다. 현재의 배관계는 동적하중이 없기 때문에 지속응력 값과 일시적응력 값은 동일한 8,390 psi의 응력

Table 2 Result of straight piping support loads

Straight pipe	Load at support 1	Load at support 2	Pitch of the line
Vertical (weight)	116 lb	116 lb	0.0191 inch

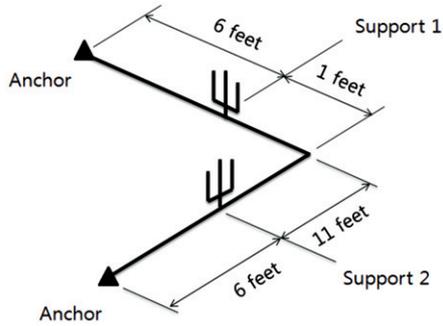
Table 3 Result of straight piping analysis

Code equation	Maximum pipe stress	Allowable stress	Ratio
1	8,390 psi	9,460 psi	88.7%
2	8,390 psi	11,352 psi	73.9%
3	N/A	N/A	N/A

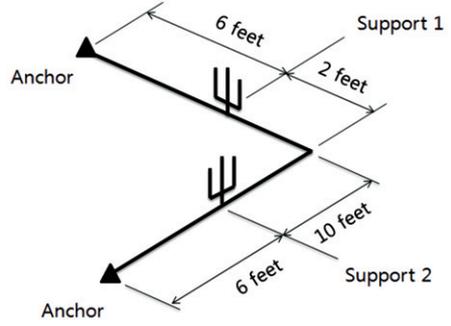
직관 지지대 설치 기준의 L형관 설계 적용 가능성에 관한 연구

값을 갖는다. 이때 허용응력은 11,352 psi이므로 직선배관의 식(3)은 열팽창 하중에 의한 모멘트를 이용하여 식(2) 평가 또한 코드요건에 만족함을 알 수 있다. 평가하

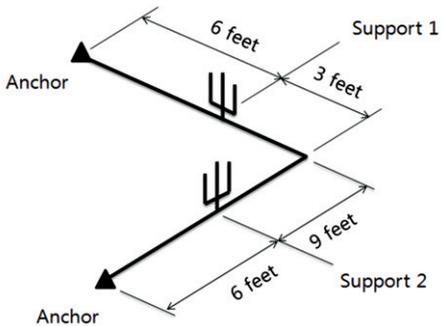
는데 현재 고려하는 배관계가 직관이므로 열팽창에 의한 모멘트가 발생하지 않는다. 따라서 식(3)은 해당사항이 없다.



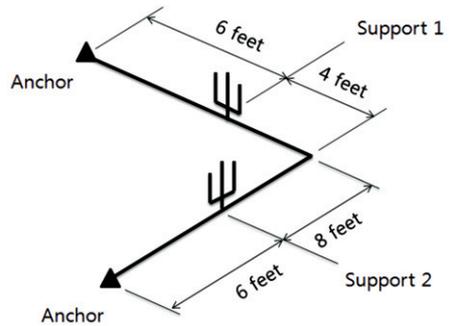
(a)



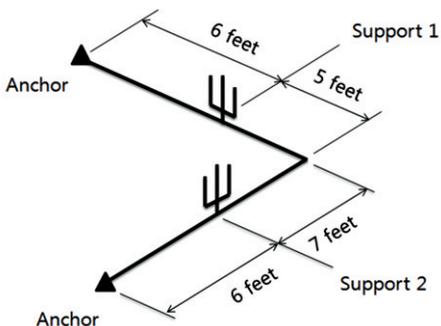
(b)



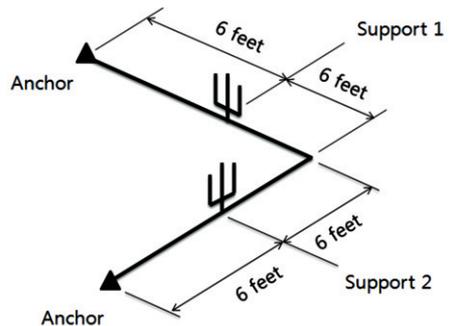
(c)



(d)



(e)



(f)

Fig. 2 Curved pipe; (a) case 1, (b) case 2, (c) case 3, (d) case 4, (e) case 5, (f) case 6

3. L형관 지지대 설치기준의 적용 및 평가

3.1 L형관 지지대의 하중 및 처짐량 검토

Fig. 2의 (a)부터 (f)는 L형관의 각 거리별 지지대 설치 기준이다. 외경 3인치, 길이 24피트의 배관으로 한쪽에 고정된 앵커로부터 L형관의 꺾인 거리는 7피트, 8피트, 9피트, 10피트, 11피트 그리고 12피트의 6가지 케이스로 선정하였다. 배관계가 독립된 형태로 응력해석을 수행하기 위해 배관의 양쪽 끝을 앵커로 고정시켰고, 양쪽 끝에 고정된 앵커로부터 지지대까지 거리는 직관 지지대 위치와 같은 조건인 6피트로 가정하였다. 그 외 조건은 직관과 동일한 외경, 재질, 온도 그리고 압력으로 선정하였다.

Table 4는 Fig. 2의 (a)부터 (f)까지의 각 케이스별 지지대에 가해지는 하중과 처짐량 결과이다. 곡관의 하중은 직관과 동일한 조건의 배관이기 때문에 258 lb의 값을 갖는다. 배관계의 하중과 지지대의 거리를 고려하여 두 지점의 지지대에 걸리는 하중을 각 케이스별로 계산하였다.

ASME B31.1 POWER PIPING^[1] 코드는 자중에 의한 배관계의 최대 처짐량을 0.1인치로 제한하고 있다. 배관 무게를 고려하여 배관계의 처짐량을 계산한 결과 모든 케이스가 코드요건을 만족한다.

3.2 직관 지지대와 L형관 지지대의 하중비교

Fig. 3은 직관부에서 지지대에 가해지는 하중과 각 거리

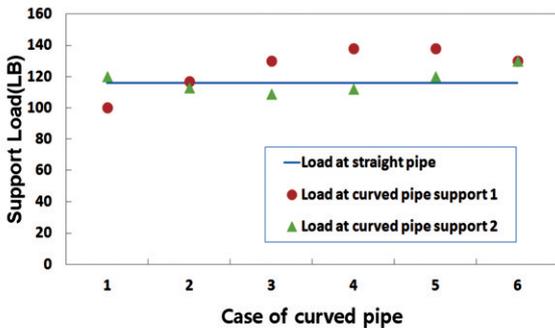


Fig. 3 Comparison of straight pipe load and curved pipe load

Table 4 Result of curved piping support loads

Curved pipe	Load at support 1	Load at support 2	Pitch of the line
Case 1	100 lb	120 lb	0.0203 inch
Case 2	117 lb	113 lb	0.0173 inch
Case 3	130 lb	109 lb	0.0194 inch
Case 4	138 lb	112 lb	0.0322 inch
Case 5	138 lb	120 lb	0.0450 inch
Case 6	130 lb	130 lb	0.0503 inch

별 L형관에서 지지대에 가해지는 하중을 비교한 결과이다. 직관부에서 지지대에 가해지는 하중의 결과 값과 L형관에서 지지대에 가해지는 하중의 결과 값을 비교해 보면 90°로 꺾인 부분의 중심을 기준으로 양쪽으로 2피트 떨어진 곳과 10피트 떨어진 곳, 즉 코드에서 제시한 직관 지지대 설치기준대비 17%의 위치와 83%의 위치에 지지대를 설치하는 것이 직관의 지지대 위치로 인해 지지대에 가해지는 하중과 가장 근사한 값을 갖는 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 직관에서 최대 처짐량과 각 지지대 위치별 L형관에서 최대 처짐량을 비교한 결과이다. L형관의 경우 90°로 꺾인 부분의 중심을 기준으로 2피트 떨어진 곳과 10피트 떨어진 곳의 최대 처짐량이 직관에서의 최대 처짐량보다 작음을 알 수 있다.

3.3 L형관의 응력해석 평가결과

Table 5는 3.1절에서 지정한 직경 3인치 Stainless

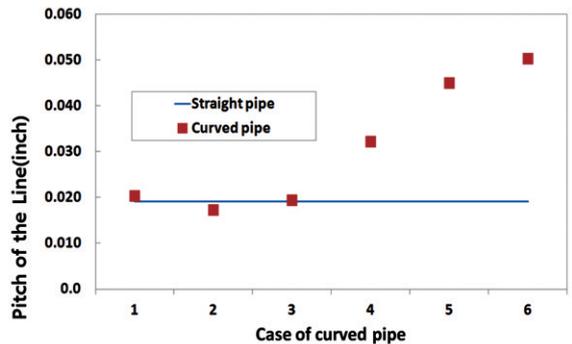


Fig. 4 Comparison of straight pipe pitch and curved pipe pitch

직관 지지대 설치 기준의 L형관 설계 적용 가능성에 관한 연구

Table 5 Result of curved piping analysis by rigid support

Code equation	Maximum pipe stress	Code allowable	Ratio
2.1	8,360 psi	9,460 psi	88.4%
2.2	8,360 psi	11,352 psi	73.6%
2.3	18,200 psi	23,601 psi	77.1%

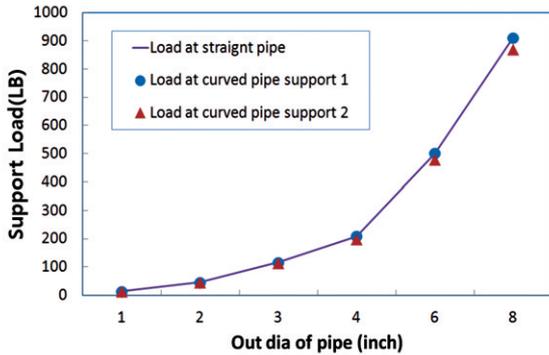


Fig. 5 Comparison of straight pipe load and curved pipe load

Pipe의 곡선 배관계가 코드요건에 부합하는지 여부를 판단하기 위해 배관응력해석을 수행한 결과이다. 식(1)은 지속하중에 따른 배관의 최대응력과 허용응력 값의 비교로 배관의 건전성을 평가하는 것이다. 배관에 작용하는 최대응력 값은 8,360 psi의 응력 값을 갖고, 허용응력 값은 9,460 psi이므로 곡선 배관계는 코드요건을 만족함을 알 수 있다. 동적하중을 포함하는 일시적 하중은 식(2)로 평가되는데 주요 요소는 자중에 의한 모멘트와 동적하중에 의한 모멘트이다. 현재 가정에서는 동적하중은 고려하지 않기 때문에 곡선 배관계에 걸리는 최대응력 값은 식(1)의 결과와 동일한 8,360 psi의 응력 값을 갖는다. 이때 허용응력은 11,352 psi이므로 곡선 배관의 식(2) 평가 또한 코드의 요건에 만족함을 알 수 있다. 열팽창 하중을 고려하는 식(3)은 배관에 걸리는 최대응력 값이 18,200 psi이고, 허용응력 값은 23,601 psi이므로 코드요건을 만족함을 알 수 있다.

3.4 호칭경에 따른 직관 지지대와 L형관 지지대의 하중검토

Table 6 Comparison of straight piping loads and curved piping loads

Straight & curved pipe		Load at support 1	Load at support 2	Pitch of the line
1"	Straight pipe	14 lb	14 lb	0.0115 inch
	O.D Curved pipe	14 lb	14 lb	0.0104 inch
2"	Straight pipe	46 lb	46 lb	0.0196 inch
	O.D Curved pipe	46 lb	45 lb	0.0174 inch
3"	Straight pipe	116 lb	116 lb	0.0191 inch
	O.D Curved pipe	117 lb	113 lb	0.0173 inch
4"	Straight pipe	207 lb	207 lb	0.0214 inch
	O.D Curved pipe	209 lb	199 lb	0.0188 inch
6"	Straight pipe	500 lb	500 lb	0.0233 inch
	O.D Curved pipe	501 lb	479 lb	0.0210 inch
8"	Straight pipe	911 lb	911 lb	0.0224 inch
	O.D Curved pipe	910 lb	869 lb	0.0192 inch

Table 6과 Fig. 5는 각 호칭경별 코드가 제안한 직관에서 지지대 사이의 최대 이격거리로 지지대가 설치되었을 때 지지대에 가해지는 하중 및 처짐량과 L형관에서 90°로 꺾인 부분의 중심을 기준으로 1번 지지대는 직관 지지대 최대 이격거리대비 17% 위치, 2번 지지대는 직관 지지대 최대 이격거리대비 83% 위치에 지지대를 설치했을 때 하중 비교다.

외경 1인치 배관은 직관 지지대에 가해지는 하중이 양쪽 지지대 모두 14 lb의 하중이 가해지고, L형관 지지대에 가해지는 하중은 직관과 동일하게 14 lb의 하중이 가해진다. 또한 배관 최대 처짐량은 직관이 0.0115인치이며 L형관은 0.0104인치로 L형관의 최대 처짐량이 더 작은 값을 나타냄을 알 수 있다.

가장 큰 배관인 외경 8인치의 배관은 직관 지지대에 가해지는 하중이 양쪽 지지대 모두 911 lb이고, L형관 지지대에 가해지는 하중은 1번 지지대에서 910 lb, 2번 지지대에서 869 lb로써, 직관 지지대에 가해지는 하중과 유사한 결과를 보인다. 또한 배관 최대 처짐량은 직관이 0.0224인치이며 L형관은 0.0192인치로 L형관의 최대 처짐량이 더 작은 값을 나타냄을 알 수 있다.

L형관 지지대에 가해지는 하중은 배관 외경이 작은 배관일수록 직관 지지대에 가해지는 하중과 근사한 값을

갖는 것을 알 수 있었다. 또한 직관 최대 처짐량보다 L형관 최대 처짐량이 더 작음을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 ASME B31.1 POWER PIPING^[1] 코드에서 제시한 지지대 간격을 이용하여 실제 직관에 작용하는 하중을 산출하고 이 하중과 근사치의 하중을 갖는 L형관에서 지지대 위치를 선정하였다. 또한 배관설계 코드에서 지정한 허용응력과 비교 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 직관과 L형관의 응력해석 비교검토 결과 동일 호칭 직관 지지대 설치기준을 100% 하였을 때 L형관의

중심점을 기준으로 각각 17% 위치와 83% 위치에서 직관 지지대에 작용하는 처짐량과 하중이 유사했다. 따라서 이 지점이 L형관에서 최적 지지대 간격이다.

2) 코드에서 제시한 각 호칭경별 직관 지지대 설치기준 대비 L형관 중심에서 17% 위치와 83% 위치에 지지대가 설치되면 모든 크기의 L형관에서도 동일하게 적용이 가능하며 불필요한 응력해석을 줄인다.

참고문헌

1. The American Society of Mechanical Engineers, 1995, ASME B31.1-1995 Edition POWER PIPING, p. 44.