

분기배관의 강도해석에 관한 연구 A Study on the Strength Analyses of T-Branch Pipes

남준석[†] · 사공성호 · 백창선 · 임광규 · 정재한 · 민경탁*

Jun-Seok Nam[†] · Seong-Ho Sakong · Chang-Sun Baek · Kwang-Kyu Lim ·
Jae-Han Jeong · Kyung-Tak Min*

한국소방검정공사, *인천대학교 기계공학과
(2007. 2. 6. 접수/2007. 5. 25. 채택)

요 약

본 연구에서는 분기배관의 강도해석을 통해 분기배관이 화재안전기준상에서 사용할 수 있는지를 판단하였다. 그 판단 방법으로 상용유한요소프로그램(ABAQUS)을 사용하였고, 강도해석결과를 증명하기 위해 해당 분기배관에 본체강도시험을 실시하였다. 그 결과를 통해 분기배관의 사용가능성을 확인하였다. 또한, 분기배관으로 가장 많이 사용되는 배관인 배관용 탄소강관(KS D 3507)과 같은 용도로 사용할 수 있는 스테인리스배관이 KS D 3576(배관용 스테인리스 강관) 10S임을 확인하여 스테인리스배관이 소화배관에 적용될 수 있도록 하였다.

ABSTRACT

In this study, we determined TBP(T-branched pipe) would be available in Fire Safety Codes with strength analyses. A common FEM Program(ABAQUS) was used as analyses method, and the analyses results were confirmed by strength tests of the T-branch pipe. As a result, we concluded that the T-branch pipe can be used safely. Further more, we determined what kind of stainless steel pipe can be used in place of carbon steel pipe(KS D 3507). The stainless steel pipe name is KS D 3576(stainless steel pipe) 10S, so they can be applied for piping in fire protection system.

Keywords : TBP(T-Branch Pipe), FEM(Finite Element Method), Strength analysis

1. 서 론

배관의 강도를 평가하는 시험에는 여러 가지가 있으며 이중 대표적인 성능평가지험으로 저압시의 기밀성을 확인하고자 실시하는 기밀성시험(최고사용압력의 1.2배 공기압), 설비작동시의 배관 안정성을 확인하고자 실시하는 내압시험(최고사용압력의 1.5배 수압), 배관에 가해지는 외력에 대한 강도를 확인하고자 실시하는 인장시험, 최고사용압력의 타당성을 확인하고자 실시하는 파괴시험(최고사용압력의 4배), 배관에 가해진 외력에 대한 강도를 확인하고자 실시하는 인장시험(강도 1 kN 이상), 설치상태에 있어서 배관에 가해지는 굽힘응력에 대한 강도확인용 굽힘시험, 설치상태 및 지진 시에 있어서의 내구성을 확인하기 위한 진동시

험, 수격에 의한 내구성을 확인하기 위한 수격시험, 규격값에 대한 기계적 강도를 확인하기 위한 재료시험 등이 있다.¹⁾

제품에서 직접 인장강도시편을 채취할 수 없는 배관, 밸브류의 강도확인을 위해서 최근 본체에 최고사용압력의 4 내지 5배의 수압력을 가해 균열, 파괴 등을 확인하는 방법을 많이 사용하고 있으며 이러한 시험방법을 본체강도시험(Body strength test), 정수압시험(Hydrostatic test), 파괴시험(Rupture test) 등으로 부른다.²⁻⁴⁾

본 연구에서는 유한요소법을 이용한 강도해석 및 본체강도시험으로 분기부분의 높이 및 두께에 따라 성형이 완료된 '분기배관'⁵⁾의 강도를 확인하고 KS D 3507에 해당하는 스테인리스 강관을 정하고자 한다.

[†] E-mail: nahmfire@hotmail.com

2. 강도해석방법

해석을 수행하기 위하여, 우선 성형해석에서 수행된 성형 후 절점(Node) 좌표를 3D CAD S/W인 Pro/Engineer Wildfire 2.0에서 3D 형태로 만들고, 일정 높이로 면을 가공하였다. 이렇게 만들어진 3D CAD의 좌표값을 이용하여 배관 및 밸브류의 본체강도시험압력인 5MPa의 압력에 변형이 되는지 여부를 확인하고자 다시 구조해석을 수행하였다.

2.1 해석대상

해석을 수행한 모델은 KS D 3507 및 KS D 3576 10S중 32A×25A, 40A×25A, 40A×32A, 50A×25A, 50A×32A, 50A×40A에 대하여 해석하였고, 분기배관의 도시를 Fig. 1에 나타내었다.

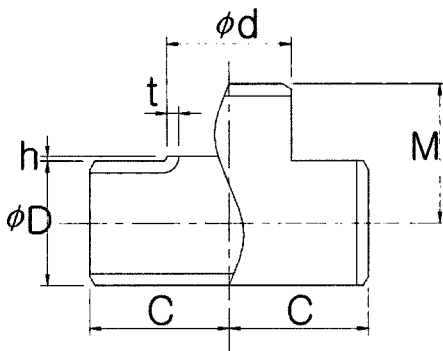


Fig. 1. Diagram of T-Branch pipe.

2.2 재료의 물성값

사용된 재료의 물성값은 다음 Table 1과 같다.

Table 1. KS D 3507 and 3576 material properties used as input data

Standards of pipes Material properties of pipes	KS D 3507	KS D 3576 10S
Yield strength	363.6 N/mm ²	205 N/mm ²
Tensile strength	427.5 N/mm ²	739 N/mm ²
Breaking strength	389.7 N/mm ²	-
Elongation percentage	0.206	0.5
Modulus of elasticity	179,400 N/mm ²	90,900 N/mm ²
Poisson's ratio	0.29	0.29

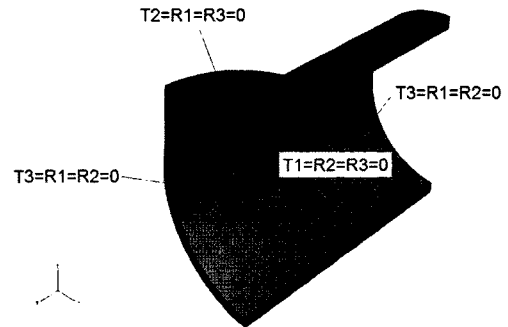


Fig. 2. Boundary conditions of KS D 3507 and KS D 3576 10S.

Table 2. Positional dimension of T-Branch pipes (unit: mm)

Dimensions Sizes	Branched direction			45° direction			Axial direction			
	Inside radius	Outside radius	Thickness	Inside radius	Outside radius	Thickness	Inside radius	Outside radius	Thickness	
KS D 3507	32A×25A	14.44	17.36	2.92	14.43	17.05	2.62	14.48	18.25	3.77
	40A×25A	14.43	17.38	2.95	14.45	17.18	2.73	14.47	18.14	3.67
	40A×32A	18.88	21.55	2.67	18.67	21.33	2.66	19.01	22.84	3.83
	50A×25A	13.99	17.27	3.28	13.97	17.24	3.27	13.89	18.44	4.55
	50A×32A	18.36	21.41	3.28	18.52	21.66	3.14	18.70	22.94	4.24
	50A×40A	21.30	24.72	3.42	21.40	24.50	3.10	21.6	25.44	3.84
KS D 3576	32A×25A	15.02	17.49	2.47	15.08	17.53	2.45	15.29	18.70	3.41
	40A×25A	14.90	17.46	2.56	15.03	17.55	2.52	15.21	18.61	3.40
	40A×32A	19.05	21.56	2.51	19.13	21.64	2.51	19.67	22.97	3.30
	50A×25A	14.73	17.35	2.62	14.87	17.54	2.67	15.19	18.62	3.43
	50A×32A	19.25	21.85	2.6	19.40	21.91	2.51	19.80	23.18	3.38
	50A×40A	22.19	24.75	2.56	22.29	24.78	2.49	22.62	25.59	2.97

2.3 경계조건

KS D 3507 및 KS D 3576 10S의 경계조건은 Fig. 2에 표현하였다.

3. 해석결과

분기배관의 성형 후 형태를 다음 Table 2에 나타내었다. 이 결과에 따르면 45° 방향에서의 내측반경, 외측반경 및 두께가 최소임을 알 수 있다. 또한, 구조해석의 결과를 Table 3에 나타내었다. KS D 3507에서 50A×25A, 50A×32A, 50A×40A의 경우 파이프 길이 방향에서 공차 범위 내에 들지 못하나 반경 방향 및 45° 방향은 만족하며 두께의 경우는 모두 규격을 만족한다. KS D 3576 10S에서 50A×25A, 50A×32A, 50A×40A의 경우 규격의 외경은 반경 방향을 제외한 모

Table 3. Stress analyzed results of T-Branch pipes (units: N/mm²)

Sizes	Dimensions	Yield strength (N/mm ²)	Maximum stress (N/mm ²)	Ratio (%) (M.S/ Y.S)	Position
KS D 3507	32A×25A	358.8	174	48.5	Inside edge of axial direction at branched part
	40A×25A	358.8	191	53.2	
	40A×32A	358.8	215	59.9	
	50A×25A	358.8	196	54.6	
	50A×32A	358.8	237	66.1	
	50A×40A	358.8	222	61.9	
KS D 3576	32A×25A	363.6	226	62.1	
	40A×25A	363.6	246	67.7	
	40A×32A	363.6	260	71.5	
	50A×25A	363.6	298	82.0	
	50A×32A	363.6	328	90.2	
	50A×40A	363.6	314	86.4	

든 방향에서 공차 범위를 “+”로 벗어나나 두께의 경우 모두 규격을 만족한다. 이는 분기하면서 파이프 길이 방향에서 발생하는 압축력에 의해 발생하는 분기배관의 특성으로 판단되며, 분기배관의 성능평가방법에서 내경만을 규정치수로 정하고자 하는 사유이다.

각각의 강도해석 결과를 Fig. 3 내지 Fig. 14에 나타내었다.

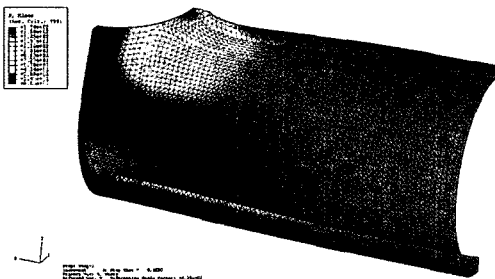


Fig. 3. Stress analyzed result of T-Branch pipe (KS D 3507-32A×25A).

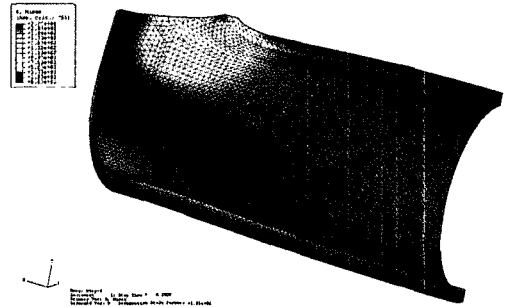


Fig. 4. Stress analyzed result of T-Branch pipe (KS D 3576 10S-32A×25A).

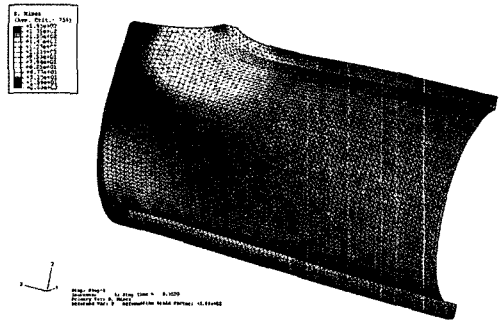


Fig. 5. Stress analyzed result of T-Branch pipe (KS D 3507-40A×25A).

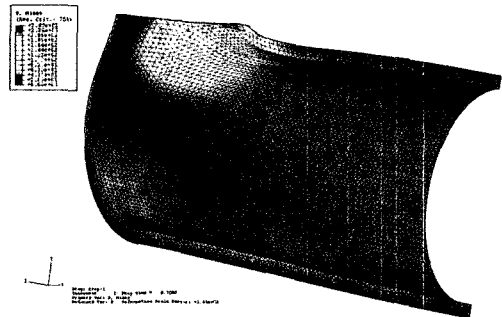


Fig. 6. Stress analyzed result of T-Branch pipe (KS D 3576 10S-40A×25A).

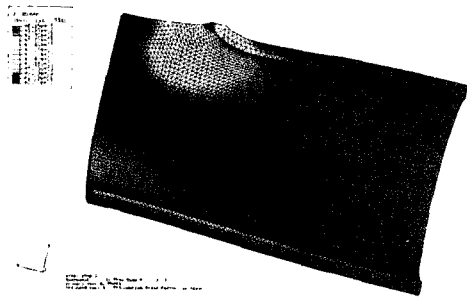


Fig. 7. Stress analyzed result of T-Branch pipe (KS D 3507-40A×32A).

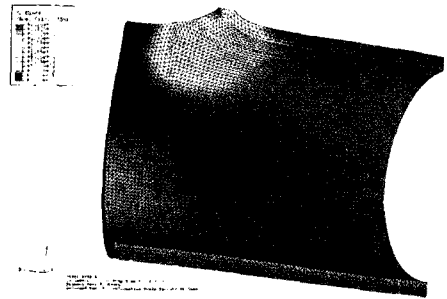


Fig. 11. Stress analyzed result of T-Branch pipe (KS D 3507-50A×32A).

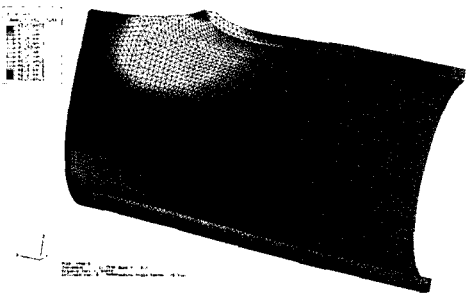


Fig. 8. Stress analyzed result of T-Branch pipe (KS D 3576 10S-40A×32A).

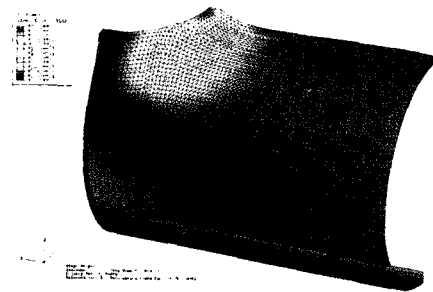


Fig. 12. Stress analyzed result of T-Branch Pipe (KS D 3576 10S-50A×32A).

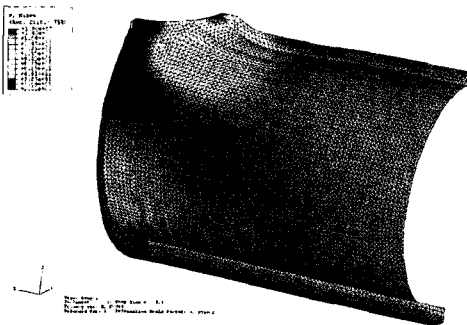


Fig. 9. Stress analyzed result of T-Branch pipe (KS D 3507-50A×25A).

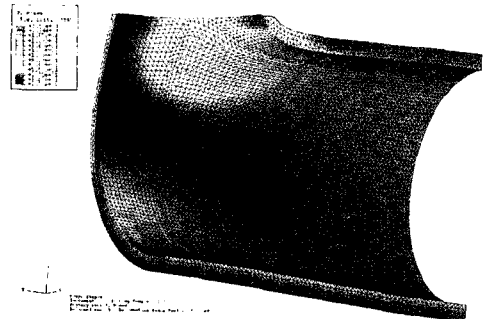


Fig. 13. Stress analyzed result of T-Branch Pipe (KS D 3507-50A×40A).

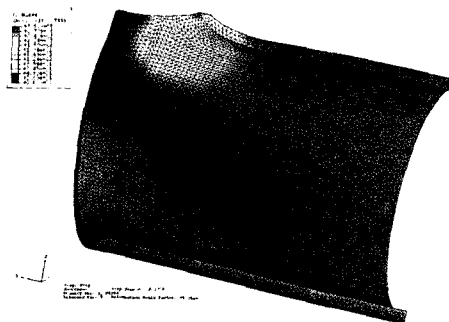


Fig. 10. Stress analyzed result of T-Branch pipe (KS D 3576 10S-50A×25A).

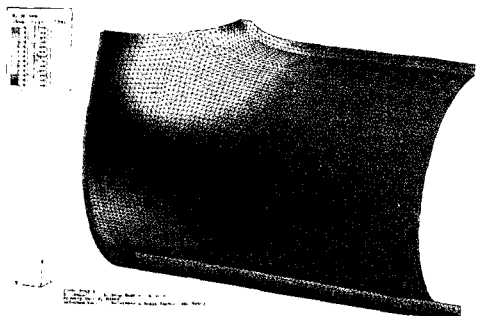


Fig. 14. Stress analyzed result of T-Branch Pipe (KS D 3576 10S-50A×40A).

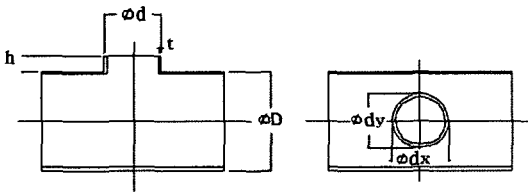
4. 강도시험

4.1 강도시험방법

강도해석의 결과의 값의 정확성을 판단하기 위해 Fig. 15와 같은 시료를 KS D 3507 및 KS D 3576 10S의 호칭 32A×25A, 40A×25A, 40A×32A, 50A×25A, 50A×32A, 50A×40A에 대해 제작한 후 Fig. 16과 같이 본체강도시험을 실시하여 시험 전후의 치수를 비교하였다.

4.2 강도시험결과

KS D 3507 및 KS D 3576 10S 배관중 32A×25A, 40A×25A, 40A×32A, 50A×25A, 50A×32A, 50A×40A



- øD : Outside diameter of main pipe
- ød : Outside diameter of branched pipe
- ødx : Outside diameter of branched pipe at x-axis
- ødy : Outside diameter of branched pipe at y-axis
- t : Thickness of branched pipe
- h : Height of branched pipe

Fig. 15. Notations of T-Branch pipes.



Fig. 16. Body strength test of T-Branch pipe (example).

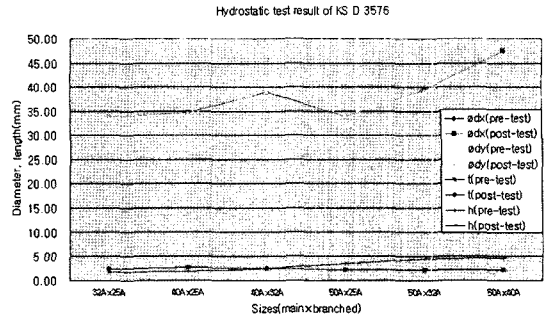


Fig. 18. Outcome of experiment (KS D 3576).

40A에 대한 본체강도시험 결과를 호칭별로 dx(반경방향), dy(길이방향), t(두께) 및 h(높이)로 구분하여 각각의 시험전후 값을 측정하여 정리하였다.

5. 사용압력의 결정

분기부분의 연결에 필요한 허용압력은 다음 식에 의해 계산되며, 이는 KS D 3507 및 KS D 3576 10S 배관을 분기배관으로 만들 경우 최고사용압력을 결정할 수 있는 식이다.

$$p = \frac{S(D_b T_m + 5.00(T_b + T_m))}{D_b(D_m + 2.5)}$$

$$p = \frac{2ST_m}{D_m}$$

$$p = \frac{2ST_b}{D_b}$$

D_b : 분기배관의 외경

D_m : 주배관의 외경

T_b : 분기배관의 두께

T_m : 주배관의 두께

S : 허용응력(kPa)

Table 1의 항복강도의 1/10을 허용응력으로 가정하고 주배관의 지름, 가지배관의 지름, 주배관의 두께, 가지배관의 두께 등의 데이터를 이용하여 배관의 최고사용압력을 결정할 경우 Table 4와 같고, KS D 3507 및 KS D 3576 10S의 경우 배관의 사용압력으로 현재 KS D 3507의 사용압력으로 개정된 1.2 MPa 이상의 조건에서 충분히 사용될 수 있음을 알 수 있고, 이에 상당하는 스테인리스배관은 KS D 3576 10S임을 알 수 있다.

Hydrostatic test result of KS D 3507

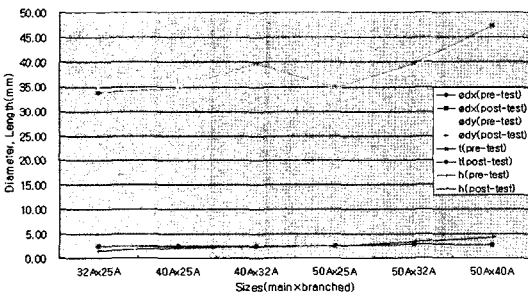


Fig. 17. Outcome of experiment (KS D 3507).

Table 4. Maximum allowable pressure of T-Branch pipes

Sizes (main×branched)		32A×25A	40A×25A	40A×32A	50A×25A	50A×32A	50A×40A
Allowable of pipes							
KS D 3507	D _m (mm)	42.7	48.6	48.6	60.5	60.5	60.5
	D _b (mm)	34	34	42.7	34	42.7	48.6
	T _m (mm)	3.25	3.25	3.25	3.65	3.65	3.65
	T _b (mm)	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.9
	p ₁ (kPa)	3,541	3,132	2,966	2,853	2,702	2,738
	p ₂ (kPa)	5,541	4,868	4,868	4,392	4,392	4,392
	p ₃ (kPa)	5,138	5,138	4,091	5,138	4,091	4,344
KS D 3576 10S	D _m (mm)	42.7	48.6	48.6	60.5	60.5	60.5
	D _b (mm)	34	34	42.7	34	42.7	48.6
	T _m (mm)	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
	T _b (mm)	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
	p ₁ (kPa)	2,984	2,640	2,508	2,141	2,035	1,984
	p ₂ (kPa)	4,773	4,194	4,194	3,369	3,369	3,369
	p ₃ (kPa)	4,710	4,710	3,750	4,710	3,750	3,295

6. 결 론

본 장을 통해 KS D 3507 및 KS D 3576 10S의 호칭 32A×25A, 40A×25A, 40A×32A, 50A×25A, 50A×32A, 50A×40A에 대한 강도해석, 본체강도시험 등을 실시하였고 이에 따라 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) KS D 3507(배관용 탄소강관)을 분기배관으로 사용할 경우 분기부분이 규정에서 정한 두께 및 높이가 이상을 가질 경우 사용압력범위에서 충분히 사용할 수 있음을 알 수 있었다. 해당 배관의 규격은 다음 Table 5와 같다.

2) KS D 3507에 대응하여 사용할 수 있는 스테인리스 배관으로 KS D 3576(배관용 스테인리스 강관) 10S

Table 5. Thickness and height of T-Branch pipes (unit: mm)

Sizes (D×d)	KS D 3507		KS D 3576 10S	
	Minimum thickness of branched(t)	Minimum height of branched(h)	Minimum thickness of branched(t)	Minimum height of branched(h)
32×25	2.4	1.0	2.2	1.0
40×25	2.4	1.2	2.2	1.2
40×32	2.4	1.2	2.2	1.2
50×25	2.4	1.5	2.2	1.5
50×32	2.4	1.5	2.2	1.5
50×40	2.4	2.0	2.2	2.0

가 적합함을 알 수 있었다.

3) 강도해석 및 시험 결과를 통해 분기배관의 응력이 항복강도 이내에서 발생하고 성형후 본체강도시험에 따른 변형이 미미함을 알 수 있다.

감사의 글

본 연구에 도움을 주신 분기배관 제조업체 관계자분들과 철강협회에 감사드립니다.

참고문헌

1. 재단법인 일본소방설비안전센터, “수계소화설비에 사용하는 배관에 대한 성능기준 연구보고서”, pp.9(평성17년 3월).
2. UL, “Alarm Valves for Fire-Protection Service”, UL 193, 28. Strength of Body Test, pp.22(2004).
3. FM, “Approval Standard for Deluge Systems and Preaction Systems”, FM Class Number 1011 and 1012, 7.3 Hydrostatic Tests, pp.8(2004).
4. FM, “Approval Standard for Dry Pipe Valves”, FM Class Number 1021, 4.5 Hydrostatic Tests, pp.6(2004).
5. 한국소방검정공사, “분기배관의 인정기준”, pp.1(2006).
6. ASME, “Mechanically Formed Extruded Outlets in Copper Tube”, ASME B31.9, Section 930.2(2004).
7. 소방방재청, “옥내소화전설비의 화재안전기준”, 제6조 제1호(2006).