

고압용 분기배관의 사용압력에 관한 연구

이 성 호[†]

김천대학교 소방학과

A Study on the Working Pressure of TBP Used in High Pressure

Sung-Ho Lee[†]

Department of Fire Protection Engineering, Gimcheon University, Gimcheon, 740-704, Korea

(Received January 15, 2010; revision received September 9, 2010)

ABSTRACT: To improve the efficiency of piping, recently the pre-fabrication piping system has been introduced, and much attention has been paid to TBPs which can replace Tee-joint. Forming and forming analysis on TBPs made from Carbon steel pipes for pressure service(KS D 3562 Sch40) and Stainless steel pipes(KS D 3576 20S) have been conducted to determine working pressure. Forming and forming analysis objects are 32A×25A, 40A×25A, 40A×32A, 50A×25A, 50A×32A, 50A×40A TBPs.

Key words: TBP(T-Branched Pipe : 분기배관), FEM(Finite Element Method : 유한요소법), Forming analysis(성형해석), Carbon steel pipes for pressure service(탄소강관), Stainless steel pipes(배관용 스테인리스 강관)

기 호 설 명

- D_m : 주배관의 외경(mm)
- T_m : 주배관의 두께(mm)
- D_b : 분기배관의 외경(mm)
- T_b : 분기배관의 두께(mm)

1. 서 론

현대의 배관설비는 공업용 배관⁽¹⁾ 뿐 아니라 고층화 대형화되고 있는 건축설비용 배관에서도 고압의 필요성이 날로 증가하고 있다. 특히 건물의 급수방식이 고가수조방식에서 부스터 펌프에 의한 직접공급방식으로 전환되면서 배관의 고압에 대한 내구성 및 신뢰성에 대한 문제가 제기되고 있고,

배관의 수명에 있어서 급수배관에서 주로 사용되는 배관용 탄소강관의 일반적 교체시기가 10년에서 15년인데 비해 스테인리스강관의 경우 반영구적인 관계로 이를 대체할 수 있는 기준을 만들고자 하는 연구가 진행 중이다. 한편 배관시공의 측면에서 작업 현장의 환경 및 효율성을 높이기 위한 공장화 배관에 대한 관심이 확대되고 있다.

배관에서 일반적인 분기방식인 티이음관을 이용한 연결은 용접, 나사, 플랜지, 그루빙 등이 있으며 강관(steel pipe)의 경우 관지름이 50 A 이하일 경우 나사이음을 관지름이 65 A 이상일 경우에는 용접이음을 원칙으로 한다. 이는 배관의 분기 시 3방향의 작업공정을 필요로 하여 많은 소요시간과 전문 인력을 필요로 하게 된다. 특히 용접이음과 나사이음은 시공 후 배관의 성능이 전문 인력의 숙련도에 따라 결정될 뿐 아니라 작업현장의 환경악화, 전용 기구배치, 전문 인력의 부족 등의 문제가 있다.

근래 동관 분기 시 사용되는 티뿔기 방식이 일반 강관이나 스테인리스강관에 도입되어 관의 측면에 적

[†] Corresponding author

Tel.: +82-54-420-4134; fax: +82-54-420-4134

E-mail address: shlee@gimcheon.ac.kr

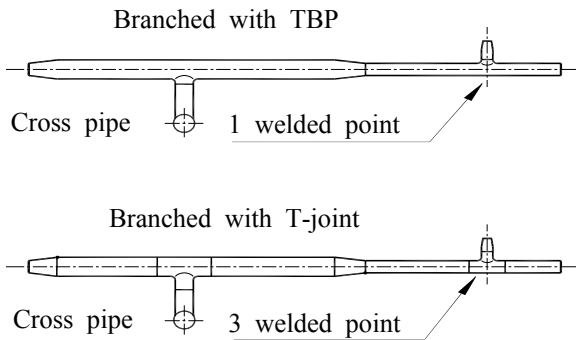


Fig. 1 Welded point comparison TBP with T-joint.

당한 구멍을 내고 공구의 회전력이나 플러그를 이용한 드로잉가공으로 분기부를 성형한 분기배관⁽²⁾이 개발되어 이용되고 있다. 이는 건설 현장에서 배관 작업의 효율을 높이기 위한 공장화배관(pre-fabrication piping system)에 유리하고 티이음관을 이용한 분기방식의 단점을 보완 할 수 있다. 국내에서 배관의 사용압력에 관한 연구는 내압이 작용하는 배관에 대한 건전성평가를 위해 균열배관의 소성한계압력식⁽³⁾을 만들고 배관 연결부의 균열을 파괴역학을 이용하여 해석⁽⁴⁾한 경우 등이 있다.

이 연구에서는 플러그 드로잉방식으로 성형한 분기배관의 사용압력을 제시하고 두 재료의 사용에 대한 동등성을 확인하고자 하였으며 고압용 배관재료인 KS D 3562 Sch40과 KS D 3576 20S를 대상으로 하였다. Fig. 1은 분기배관(TBP)과 티이음(T-joint)의 용접부위의 비교를 나타낸다.

2. 분기배관

2.1 분기배관의 인정기준

분기배관은 1967년 핀란드에서 개발되었고, 1977년 미국에 도입되어 이에 대한 각종 규정들이 제정되고 있다.⁽⁵⁻⁷⁾ 분기배관은 가공 시 분기부분의 두께가 얇아질 우려가 있고, 가공에 의하여 재료가 취약해질 수 있으며 성형의 완성도에 따라 기하학적인 불균일을 가져올 수 있다. 따라서 많은 장점이 있음에도 불구하고 사용 범위가 한정되어 있었으나 최근 국내에서 옥내 소화전설비의 화재안전기준이 개정됨에 따라 소방설비배관의 분기관으로 사용 가능하게 되었다. 한편 소방배관에 사용되는 분기배관의 제품기준으로 KFI(한국소방산업기술원)인정기준⁽⁸⁾있

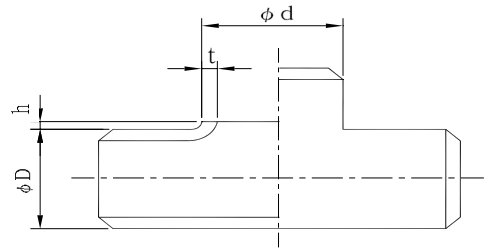


Fig. 2 Schematic diagram of TBP.

으며 그 내용은 배관용 탄소강관(KS D 3507)과 이에 대응하여 사용할 수 있는 배관용 스테인리스 강관(KS D 3576 10S)의 성형에 대한 기준과 고압에 사용될 수 있는 압력 배관용 탄소강관(KS D 3562 Sch40)은 주배관이 100A와 150A에 대한 기준이 마련되어 있다.

Fig. 2는 분기배관의 형상을 나타내며 ϕD 는 주배관의 외경, ϕd 는 분기부의 외경을 의미하고, t 는 분기부의 두께, h 는 분기부의 최소 높이를 의미한다.

2.2 분기배관의 성형

분기배관은 일반적으로 펀칭을 통하여 구멍가공을 한 이후 티뽑기 공구(tee extractor)의 회전력을 이용하여 성형을 완료한다. 이는 가공 시간 및 공정상의 번거로움 있어 근래에 플러그를 이용하여 드로잉에 의한 직접 티뽑기를 수행하는 방법이 개발되었다. 플러그를 이용한 분기배관 성형공정은 Fig. 3과 같다.

- 1단계 : 시험용 배관을 성형기에 장착한다. 이때 심(seam)이 있는 관인 경우에는 심과 반대방향으로 성형이 되도록 한다.
- 2단계 : 분기부분의 크기에 따라 배관에 펀칭가공을

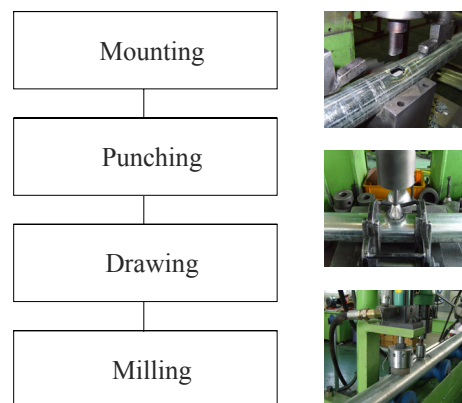


Fig. 3 Forming process of TBP.

한다.

3단계 : 배관내로 분기하고자 하는 크기의 플러그를 삽입하고 플러그와 성형기를 체결한 후, 드로잉을 실시하여 분기부분을 성형한다.

4단계 : 성형된 분기부분에 밀링작업을 실시하여 성형면을 고르게 한다.

3. 성형해석

3.1 성형해석 대상

성형해석은 고압용 배관재료로 사용되는 압력배관용 탄소강관(KS D 3562 Sch40)과 배관용 스테인리스강관(KS D 3576 20S)으로 된 분기배관 32A×25A, 40A×25A, 40A×32A, 50A×25A, 50A×32A, 50A×40A의 성형 가능성을 제시하기 위하여 수행하였다. 해석에 사용된 분기배관 재료의 기계적 성질과 형상치수는 Table 1, Table 2와 같다.

Table 1 Material properties of TBP

Material properties of pipes	Standards of pipes	
	KS D 3562	KS D 3576
Yield strength	358.8 N/mm ²	363.6 N/mm ²
Tensile strength	427.5 N/mm ²	739 N/mm ²
Breaking strength	389.7 N/mm ²	-
Elongation percentage	20.6	50
Modulus of elasticity	179,400 N/mm ²	90,900 N/mm ²
Poisson's ratio	0.29	0.29

Table 2 Dimensions of TBP for forming analyses[unit : mm]

Sizes (main×branching pipes)	KS D 3562 Sch40		KS D 3576 20S	
	Main direction out-diameter	Main direction thickness (minimum allowable thickness)	Main direction out-diameter	Main direction thickness (minimum allowable thickness)
32A×25 A	42.7±0.5	3.6	42.7±0.5	3.0
40A×25 A	48.6±0.5	3.7	48.6±0.5	3.0
40A×32 A	48.6±0.5	3.7	48.6±0.5	3.0
50A×25 A	60.5±0.8	3.9	60.5±0.8	3.5
50A×32 A	60.5±0.8	3.9	60.5±0.8	3.5
50A×40 A	60.5±0.8	3.9	60.5±0.8	3.5

Table 8 Constraint conditions of full model in forming analyses

	Clamping part
Displacement(T1)	Restriction
Displacement(T2)	Restriction
Displacement(T3)	Restriction
Rotation(R1)	-
Rotation(R2)	-
Rotation(R3)	-

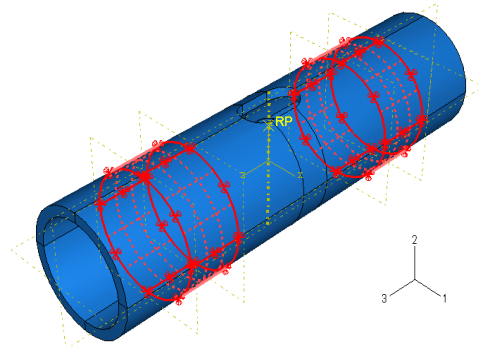


Fig. 4 Boundary conditions of clamping in forming analyses.

3.2 성형해석의 방법

해석에 필요한 3차원 형상은 Pro/Engineering Wildfire 2.0을 사용하여 작성하였으며, 이를 표준 CAD 파일인 .stp 포맷으로 변환한 후 FEM model을 ABAQUS/CAE를 활용하여 생성하였다. 경계조건은 클램핑 부분의 변위에 대하여 Table 3과 Fig. 4에 나타났다. 분기배관의 성형과정은 제조공정을 고려하여 상승조건을 100/2[mm/sec], 150/2[mm/sec]로 하고, 하중조건은 1, 2, 3축의 변위와 회전을 모두 구속하였다. 배관과 플러그의 접촉은 Normal 접촉과 Tangential 접촉을 고려하였으며, 플러그는 형태의 변형이 없는 강체(rigid body)로 정의하고 접촉면사이의 마찰계수는 0.1로 가정하였다.

분기배관의 성형해석은 ABAQUS v6.5.1을 사용하고, Implicit 해석으로 수행하였다. 이때 Time step은 최대 0.1초, 최소 10×10⁻⁵초로 하였으며 전체 성형시간은 2초로 하였다.

3.3 성형해석 결과

압력배관용 탄소강관 KS D 3562 Sch40과 배관

용 스테인리스강관 KS D 3576 20S을 대상으로 한 분기배관의 성형해석결과 전체적으로 분기부의 두께는 주배관의 두께보다 얇고, 반경방향보다 주배관 방향의 두께가 두껍게 성형되며, 성형부위의 외측이 내측보다 높게 형성됨을 알 수 있었다. 각 분

기배관의 성형 해석결과에 따른 분기부의 성형두께를 Fig. 5부터 Fig. 10에 나타내었으며 분기부의 성형가능성을 확인하기 위하여 연결자리부를 만드는데 필요한 최소절삭높이와 분기부분의 두께 및 높이의 최대, 최소값을 Table 4에 나타냈다.

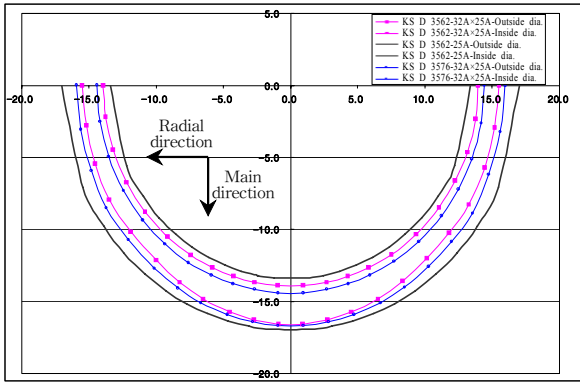


Fig. 5 Inside and outside diameters of TBP (32A×25A)[unit : mm].

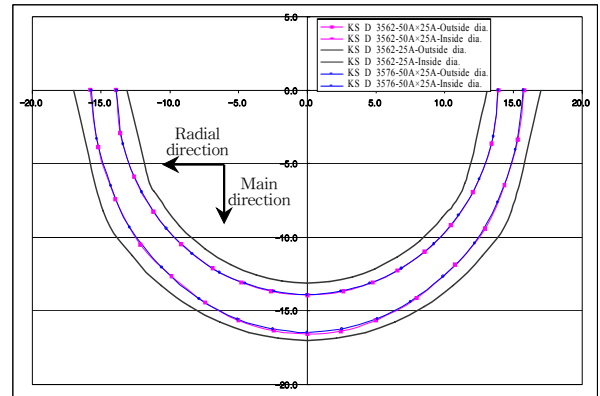


Fig. 8 Inside and outside diameters of TBP (50A×25A)[unit : mm].

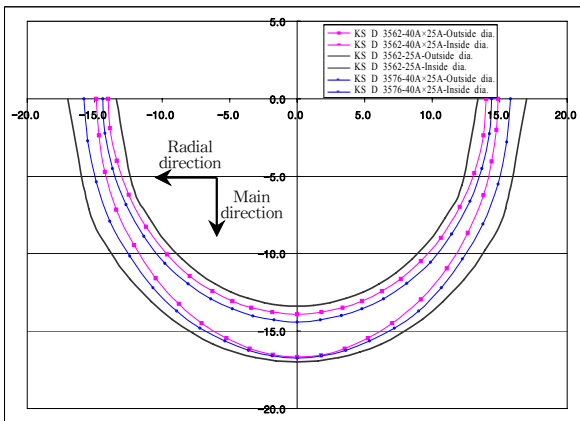


Fig. 6 Inside and outside diameters of TBP (40A×25A)[unit : mm].

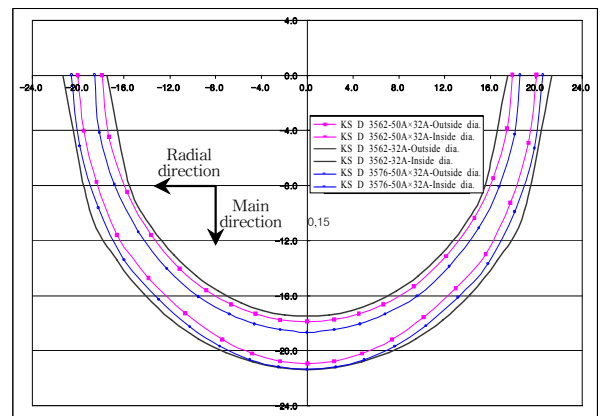


Fig. 9 Inside and outside diameters of TBP (50A×32A)[unit : mm].

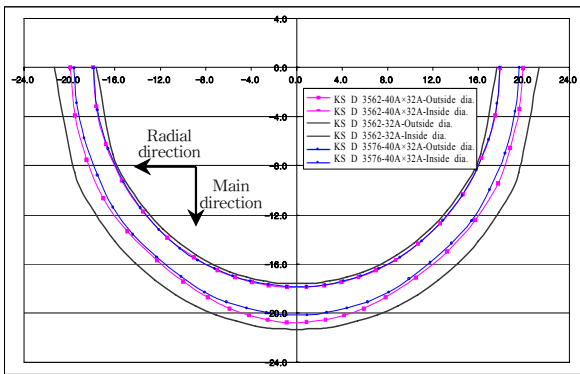


Fig. 7 Inside and outside diameters of TBP (40A×32A)[unit : mm].

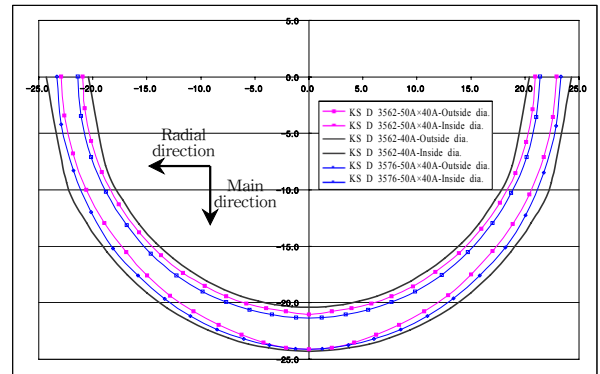


Fig. 10 Inside and outside diameters of TBP (50A×40A)[unit : mm].

Table 4 Thickness, height in T-branched part and minimum cutting

Pipes	Values [mm]	Thickness in T-branched part		Height in T-branched part		Minimum cutting height
		Min.	Max.	Min.	Max.	
KS D 3562 Sch40	32×25	1.51	2.67	1.37	3.90	2.53
	40×25	1.87	2.75	1.30	3.80	2.5
	40×32	1.96	2.85	2.56	5.86	3.3
	50×25	1.79	2.65	2.24	4.94	2.7
	50×32	2.03	3.04	3.51	6.29	2.78
	50×40	1.93	3.17	2.72	5.55	2.83
KS D 3576 20S	32×25	1.50	2.27	1.72	4.29	2.57
	40×25	1.36	2.35	1.83	4.07	2.24
	40×32	1.69	2.26	2.76	5.83	3.07
	50×25	1.77	2.55	2.60	5.06	2.46
	50×32	1.92	2.70	4.14	7.05	2.91
	50×40	1.94	2.74	3.16	5.99	2.83

성형해석 결과 Table 4에서 압력배관용 탄소강관(KS D 3562 Sch40)과 배관용 스테인리스강관(KS D 3576 20S)을 플러그 드로잉 방식으로 성형한 분기배관(32A×25A, 40A×25A, 40A×32A, 50A×25A, 50A×32A, 50A×40A)의 분기부 최소두께와 절삭가공을 통하여 평탄한 연결자리부를 만들 수 있는 최소절삭높이, 분기부의 최소높이를 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

4. 사용압력

4.1 분기배관의 제작

압력배관용 탄소강관 KS D 3562 Sch40과 배관용 스테인리스강관 KS D 3576 20S으로 된 분기배관(32A×25A, 40A×25A, 40A×32A, 50A×25A, 50A×32A, 50A×40A)의 사용압력을 결정하기 위하여, 플러그의 상승속도를 성형해석과 동일한 조건으로 하여 분기배관을 제작하였다. 분기부의 높이는 Table 4의 최소절삭높이와 KFI인정기준⁽⁹⁾을 고려하여 결정하였으며 이를 바탕으로 돌출된 분기부 성형면에 연결지리부를 땜이로서 분기배관을 완성하였다. 그리고 분기배관 연결자리부의 두께를 측정하였다. 완성된 분기배관은 Fig. 11~Fig. 13과 같다.



Fig. 11 Specimen of TBP(32A×25A).



Fig. 12 Specimens of TBP(40A×25A, 40A×32A).



Fig. 13 Specimens of TBP(50A×25A, 50A×32A, 50A×40A).

4.2 사용압력 결정

배관설비에서 분기부분을 연결할 때 사용되는 분기배관의 사용압력은 다음 식⁽¹⁰⁾에 의하여 구할 수 있으며, 이 식을 이용하여 압력배관용 탄소강관(KS D 3562 Sch40)과 배관용 스테인리스 강관(KS D 3576 20S)으로 만들어진 분기배관의 최대사용압력을 결정하였다.

$$p_1 = \frac{SD_b T_m + 5.00(T_b + T_m)}{D_b(D_m + 2.5)}$$

$$p_2 = \frac{2ST_m}{D_m}$$

$$p_3 = \frac{2ST_b}{D_b}$$

D_b : 분기배관의 외경

D_m : 주배관의 외경

T_b : 분기배관의 두께

T_m : 주배관의 두께

S : 허용응력(kPa)

일반적으로 배관용 스테인리스 강관의 수압시험 압력 결정은 항복강도 값 60%를 허용응력으로 한다.⁽¹¹⁾ 여기서는 안전한 사용압력을 제시하기 위하여 KS규정을 참고로 Table 1에서 주어진 항복강도의 1/10을 허용응력으로 하여 압력값을 구하였고, 그 결과를 Table 5에 나타내었다.

h 는 분기부의 최소높이를 나타내며, T_b 는 분기배관을 제작하여 최소높이로 면가공 한 후 측정된 분기부두께의 최소값이다.

4. 결 론

고압용 배관재료로 사용될 수 있는 압력배관용 탄소강관(KS D 3562 Sch40)과 배관용 스테인리스강관(KS D 3576 20S)로 성형된 분기배관(32A×25A, 40A×25A, 40A×32A, 50A×25A, 50A×32A, 50A×40A)의 성형해석과 사용압력에 대한 결론은 다음과 같다.

(1) 성형된 분기배관의 분기부 최소높이는 압력배관용 탄소강관(KS D 3562 Sch40)과 배관용 스테인리스강관(KS D 3576 20S)에서 1.0 mm에서 2.0 mm, 분기부의 두께는 각각 2.4 mm에서 2.6 mm와 2.3 mm에서 2.4 mm로 분기배관의 성형성은 플러그를 이용한 드로잉가공방식으로 충분하다.

(2) 사용가능압력은 압력배관용 탄소강관(KS D 3562 Sch40)이 2.5 MPa에서 3.5 MPa, 배관용 스테인리스강관(KS D 3576 20S)은 2.3 MPa에서 3.0 MPa로 플러그를 이용한 드로잉가공방식으로 성형된 분기배관은 고압용 배관으로 사용가능하다.

(3) 압력배관용 탄소강관(KS D 3562 Sch40)과 배관용 스테인리스강관(KS D 3576 20S)으로 성형된 분기배관은 사용압력 2.0 MPa 이하의 고압용 배관에서 동등하게 사용될 수 있다.

Table 5 Maximum allowable pressure of TBP

Allowable of pipes	Size(main× branched)	32A×25A	40A×25A	40A×32A	50A×25A	50A×32A	50A×40A
	KS D 3562 Sch40	D_m [mm]	42.7	48.6	48.6	60.5	60.5
D_b [mm]		34	34	42.7	34	42.7	48.6
T_m [mm]		3.6	3.7	3.7	3.9	3.9	3.9
T_b [mm]		2.4(min)	2.6(min)	2.6(min)	2.6(min)	2.6(min)	2.6(min)
P_1 [kPa]		3558.1	3248.5	3115.9	2765.5	2654.6	2602.0
P_2 [kPa]		6050.0	5463.2	5463.2	4625.9	4625.9	4625.9
P_3 [kPa]		5065.4	5487.5	4369.5	5487.5	4369.5	3839.0
h [mm]		1.0(min)	1.2(min)	1.2(min)	1.2(min)	1.5(min)	2.0(min)
KS D 3576 20S	D_m [mm]	42.7	48.6	48.6	60.5	60.5	60.5
	D_b [mm]	34.0	34.0	42.7	34.0	42.7	48.6
	T_m [mm]	3.0	3.0	3.0	3.5	3.5	3.5
	T_b [mm]	2.3(min)	2.3(min)	2.3(min)	2.4(min)	2.4(min)	2.4(min)
	P_1 [kPa]	3040.3	2689.2	2576.2	2520.8	2418.7	2370.3
	P_2 [kPa]	5109.1	4488.9	4488.9	4206.9	4206.9	4206.9
	P_3 [kPa]	4919.3	4919.3	3917.0	5133.2	4087.3	3591.1
	h [mm]	1.0(min)	1.2(min)	1.2(min)	1.5(min)	1.5(min)	2.0(min)

참고문헌

1. Kim, D-W., Ahn, C-H. and Choi, G-C., 2000, Standard Pipe Engineering, p16.
2. KFI Corp., 2006, KFI Certificated Standard of T-Branched Pipe, p. 1.
3. Shin, D-J., Huh, N-S., Kim, Y-J. and Kim, Y-J., 2003, Plastic Limit Pressure Solutions for Cracked Pipes Using 3-D Finite Element Method, Transactions of the KSME(A), Vol. 27, No. 1, pp. 26-33.
4. Song, T-K., Oh, C-K., Kim, Y-J., Kim, J-S. and Jin, T-E., 2007, ElasticPlastic Fracture Mechanics Analyses For Circumferential Part-Through Surface Cracks At The Interface Between Elbows and Pipes, Transactions of the KSME(A), Vol. 31, No. 6, pp. 710-717.
5. ASTM, Standard Specification for Non-Reinforced Extruded Tee Connections for Piping Applications, ASTM Designation : F 2014-00.
6. ASME, ASME CODE for PRESSURE PIPING B31 an American National Standard, ASME/ANSI B 31.5c.
7. IMC, 2003, Mechanically Formed Tee Fittings, International Mechanical Code, Section 1203.3.8.
8. KFI Corp., 2006, KFI Certificated Standard of T-Branched Pipe, pp. 21-24.
9. KFI Corp., 2006, KFI Certificated Standard of T-Branched Pipe, pp. 20-23.
10. ASME, Mechanically Formed Extruded Outlets in Copper Tube, 2004, ASME B31.9, Section 930.2.
11. KS D 3576, 2007, Stainless Steel pipes, KS CODE, Attachment, Vol. 1-1, p. 6.