

성형해석 및 강도실험을 통한 분기배관(150A)의 안전성에 관한 연구

이 성 호[†] · 김 희 송^{*}

(2008년 2월 12일 접수, 2008년 5월 7일 수정, 2008년 5월 13일 심사완료)

A Study on the Safety of TBP(150A) with Forming Analysis and Strength Test

Sung-Ho Lee and Hei-Song Kim

Key Words: TBP(T-Branched Pipe:분기배관), FEM(Finite Element Method:유한요소법), Forming Analysis(성형해석), Carbon Steel Pipe(탄소강관), Stainless Pipe(스테인리스강관)

Abstract

For this study, the forming analyses and body strength tests of TBP were performed on the main pipe size 150A(KS D3507, KS D 3576 10S). The branched pipe sizes utilized were 25A, 32A, 40A, 50A, 65A, 80A, 100A and 125A. A general FEM program, ABAQUS, was used as the forming analyses method of TBP. Using the results, the strength of TBP was then tested in order to determine the safety of TBP when the working pressure was applied. The results indicate that TBP may be safely used in water-based fire protection pipe systems in terms of the strength.

1. 서 론

배관은 사용목적에 따라 건축배관과 공업배관⁽¹⁾으로 구분할 수 있다. 이러한 배관은 사용목적에 달성하기 위하여 분기가 필수적이다. 배관을 분기할 경우 통상 티(TEE) 등을 사용하여 분기하는데 이러한 방법은 용접, 나사 등의 이음을 3방향에 걸쳐 실시하여야 하는 번거로움이 있고 작업공정의 소요시간이 길며 많은 전문인력이 투입되어야 한다.⁽²⁾

배관의 연결방식으로는 용접, 나사, 플랜지, 그루빙 등이 있다. 현재 국내에서 사용되는 배관의 연결방식은 강관(steel pipe)의 경우 관지름이 50A

이하일 경우 나사이음을 관지름이 65A 이상일 경우에는 용접이음을 원칙으로 한다.

국내에서의 배관에 관한 연구는 내압이 작용하고 균열이 존재하는 배관에 대한 건전성평가를 위해 균열배관의 소성한계압력식⁽³⁾을 만들고 배관 연결부의 균열을 파괴역학을 이용하여 해석⁽⁴⁾한 경우 등으로 배관의 성형성에 대해서는 연구된바 없다.

용접연결방식은 작업환경악화, 전문용접사의 부족, 부식 등의 문제로 국내외적으로 무용접 연결방식으로 전환하고 있고, 나사연결방식의 경우 전용 기구를 현장마다 배치하여야 하고 나사두께만큼 강도도 줄어들어 충격, 굽힘, 비틀림 등의 외력에 변형, 파손, 파괴의 우려가 있다.

배관의 측면에 적당한 구멍을 뚫고 인발 등의 소성가공으로 확장시켜 배관이음자리를 만들어 놓은 배관을 ‘분기배관’⁽⁵⁾이라 하며, 최근 국내 소방배관에 많이 사용되고 있다.

[†] 책임저자, 회원, 김천대학 컴퓨터응용모델링계열
E-mail : shlee@gimcheon.ac.kr

TEL : (054)420-4134 FAX : (054)420-4134

^{*} 단국대학교 기계공학과

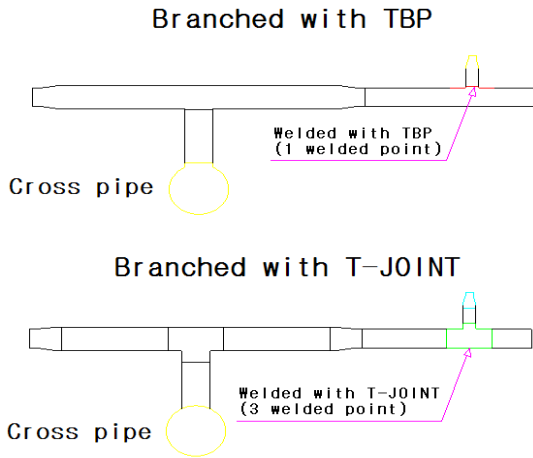


Fig. 1 Welded point comparison TBP with T-JOINT

Fig. 1은 분기배관(TBP)과 티이음(T-JOINT)의 용접부위의 비교를 나타낸다.

분기배관의 제작기술은 1967년 핀란드에서 개발되었고, 1977년 미국에 도입되어 발전되고 있으며 최근 이에 대한 각종 규정들이 제정되고 있다.⁽⁶⁻⁸⁾ 1994년에 동관으로 8인치 배관의 분기작업에 성공하였고, 이어 스테인리스배관에까지 확대하여 사용하고 있다. 일반적으로 분기배관은 주배관에 구멍가공을 한 후 티뽑기 공구(tee extractor head)의 회전력을 이용하여 성형을 완료하는데 이는 가공 시간 및 공정의 번거로움 있다. 이에 국내에서는 가공시간을 단축시키고 전문공장에서 가공하여 전문성과 정밀도를 높이는 배관분기방법이 개발되었다.

본 연구는 플러그를 이용하여 성형한 후 주배관이 150A인 분기배관에 대한 성형 및 강도를 확인하여 그 안전성을 평가하고자 한다.

2. 분기배관

2.1 분기배관의 작업공정⁽⁹⁾

분기배관은 다음과 같은 작업공정으로 만들어진다.

1단계로 분기하고자 하는 배관이 심(seam)이 있는 경우 반대부분을 분기할 수 있도록 배관성형기에 장착한다.

2단계로 분기하고자 하는 호칭에 따라 펀칭(punching)을 실시한다.

Table 1 Minimum thickness and height of T-branched part in KS D 3507

Size (D×d)	Minimum thickness of T-branched part(t)[mm]	Minimum height of T-branched part(h)[mm]
150×25	3.5	3.0
150×32	3.5	3.0
150×40	3.6	3.5
150×50	3.6	4.0
150×65	3.8	4.0
150×80	3.8	4.0
150×100	4.0	4.0
150×125	4.0	4.0

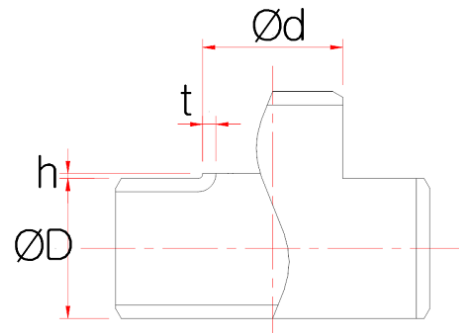


Fig. 2 Schematic diagram of TBP

3단계로 배관 내부에 호칭에 따른 플러그(plug)를 삽입하고 플러그 연결부위를 성형기에 체결한다.

4단계로 드로잉(drawing)을 실시하여 분기부분을 성형한다.

마지막으로 성형된 부분의 면이 일정한 높이를 갖도록 면가공을 실시한다.

2.2 분기배관(150A)의 KFI인정기준⁽¹⁰⁾

KFI인정기준은 소방제품에 대한 성능의 가이드라인을 제시한 기준으로 국가검정기관인 한국소방검정공사에서 소방배관에 사용되는 분기배관에 대한 제품기준을 국내최초로 마련한 것으로

Table 2 Minimum thickness and height of T-branched part in KS D 3576 10S

Size (D×d)	Minimum thickness of T-branched part(t)[mm]	Minimum height of T-branched part(h)[mm]
150×25	2.8	3.0
150×32	2.8	3.0
150×40	2.8	3.5
150×50	2.8	4.0
150×65	2.8	4.0
150×80	2.8	4.0
150×100	2.8	4.0
150×125	2.8	4.0

Table 3 Material properties of KS D 3507 and KS D 3576

Material properties of pipes	Standards 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

주배관이 150A인 분기부분의 최소분기두께 및 최소분기높이는 Table 1 및 Table 2와 같다. Fig. 2는 TBP에서 주배관의 호칭경: D, 분기부의 호칭경: d, 분기부의 최소두께: t, 분기부의 최소높이: h를 나타낸다.

3. 성형해석

3.1 성형해석의 입력자료

분기배관의 성형에 필요한 입력자료(input date) 중 항복강도, 탄성계수 등은 Table 3과 기하학적 배관의 크기는 Table 4와 같다.

Table 4 Sizes of TBPs used in forming analyses

Sizes (branch direction)	KS D 3507		KS D 3576 10S	
	Main direction out-diameter [mm]	Main direction thickness[mm] (minimum allowable thickness)	Main direction out-diameter [mm]	Main direction thickness[mm] (minimum allowable thickness)
25A	ø165.2±1%	4.85(4.25)	ø165.2±1%	3.4(3.06)
32A				
40A				
50A				
65A				
80A				
100A				
125A				

Table 5 Constraint conditions of 1/4 model in forming analyses

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

3.2 성형해석의 형상

해석에 필요한 3차원 형상은 Pro/Engineering Wildfire 2.0을 사용하여 작성하였으며, 이를 표준 CAD파일인 .stp 포맷으로 변환한 후 FEM model 을 ABAQUS/CAE를 활용하여 생성하였다.

형상은 분기배관의 가공이 펀칭구멍을 중심으로 대칭이므로 최적해석을 위하여 1/4모델로 구성하였으며, 그 대칭면에서의 경계조건은 Table 5 와 같이 하였다.

3.3 플러그

플러그는 형태의 변형이 없는 강체(rigid body) 로 정의하였고, 제조공정상에서 실측한 플러그의 상승시간과 높이는 각각 2초, 150mm이므로 이를 해석에도 동일하게 적용하였다.

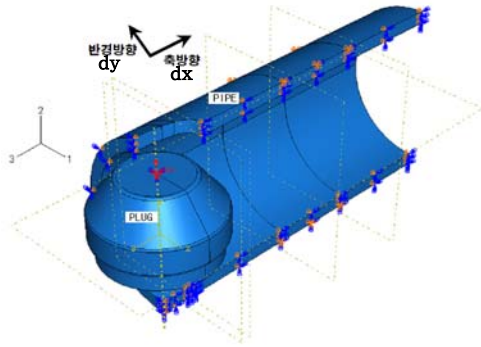


Fig. 3 Plug and pipe

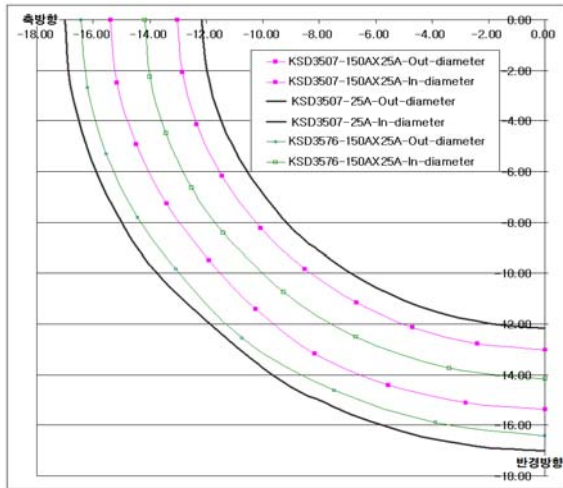


Fig. 4 Inside and outside diameters of TBP (150x25(unit: mm))

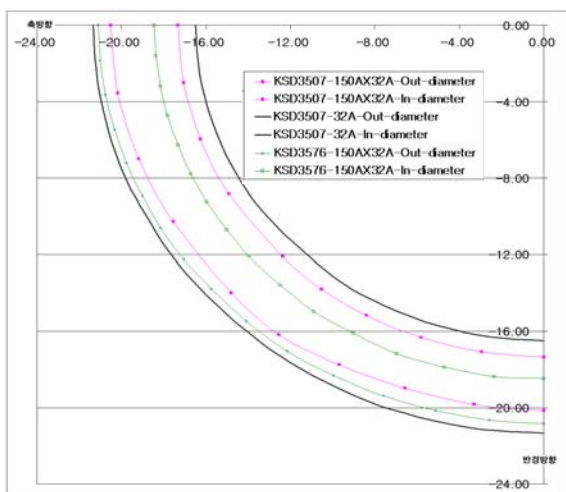


Fig. 5 Inside and outside diameters of TBP (150x32(unit: mm))

3.4 플러그와 배관의 접촉

플러그의 윗면과 배관의 내면이 초기에 부딪치

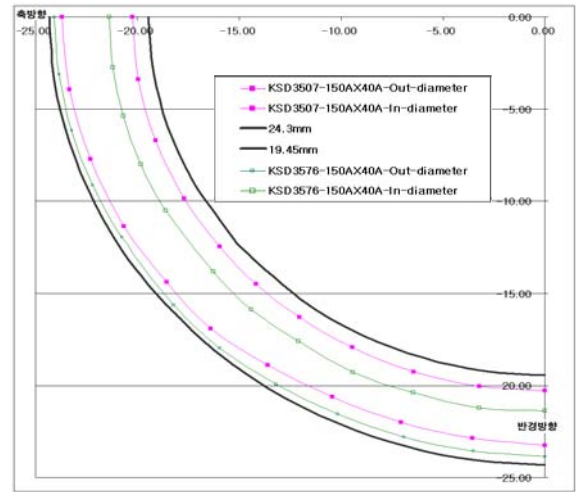


Fig. 6 Inside and outside diameters of TBP (150x40(unit: mm))

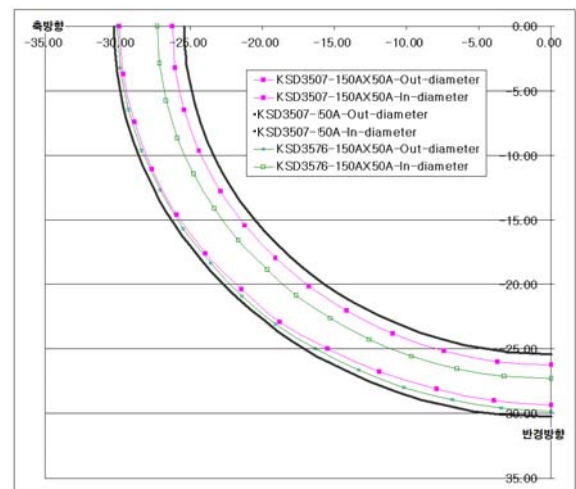


Fig. 7 Inside and outside diameters of TBP (150x50(unit: mm))

며 초기접촉을 하는 경우 두면이 부딪히는 형태이므로 Normal 접촉으로, 플러그 경사면과 배관 편칭구멍 가까운 부분의 배관내면이 초기에 접촉을 하는 경우 Tangential 접촉을 고려하였다.

플러그와 배관의 접촉 시 마찰을 줄이기 위해 윤활제를 사용하게 되는데 이 윤활제의 변위에 따른 최소마찰계수는 0.1로 가정하였다.

Fig. 3은 1/4모델을 사용하여 분기되는 부분에서 배관과 플러그의 형상 및 경계조건을 보여주며, 반경방향과 축방향, 1-2-3축의 위치를 표시한다.

3.5 성형해석결과

분기배관의 성형해석은 ABAQUS v6.5.1을 이용하였고, Implicit 해석으로 수행하였다. 이때 time

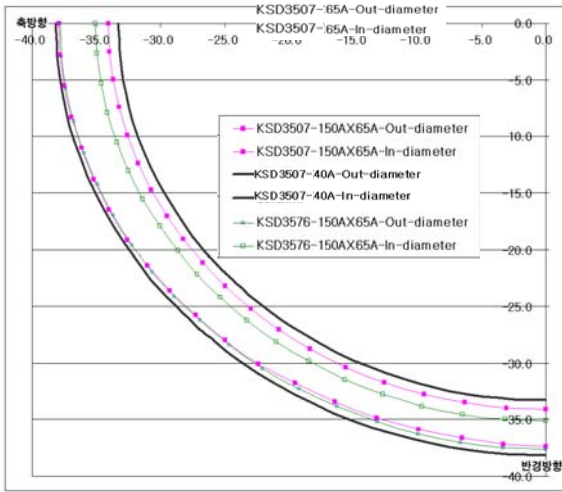


Fig. 8 Inside and outside diameters of TBP (150×65(unit: mm))

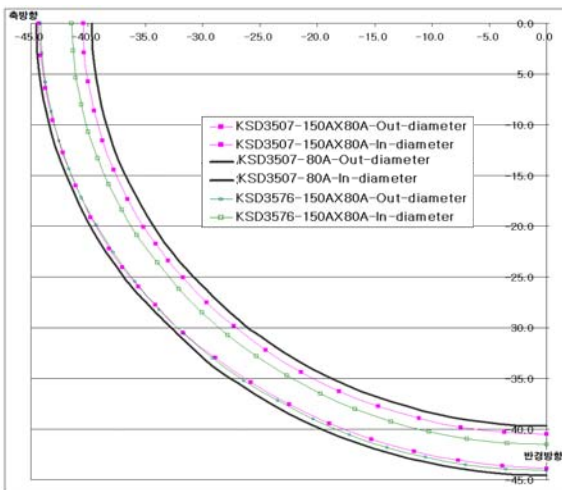


Fig. 9 Inside and outside diameters of TBP (150×80(unit: mm))

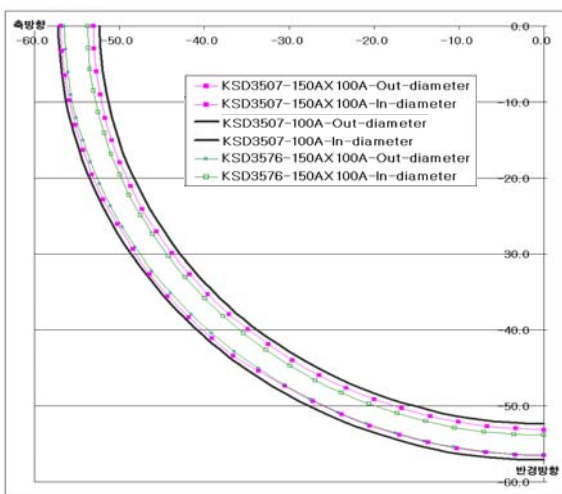


Fig. 10 Inside and outside diameters of TBP (150×100(unit: mm))

Table 6 Thickness, height in T-branched part and minimum cutting

Pipes	Values (mm)	Thickness in T-branched part		Height in T-branched part		Minimum cutting
		Min.	Max.	Min.	Max.	
KS D 3507	25	2.23	2.50	6.82	7.34	3.69
	32	2.75	3.19	8.43	8.77	2.21
	40	2.82	3.43	8.89	9.16	1.70
	50	2.99	3.70	9.89	10.30	2.01
	65	3.11	3.89	10.84	12.09	2.29
	80	3.20	3.86	9.93	11.32	3.75
	100	3.34	3.82	9.05	11.96	5.79
KS D 3576 10S	125	3.11	3.97	10.46	13.58	5.97
	25	2.19	2.37	6.66	7.51	2.34
	32	2.29	2.65	8.45	8.74	1.20
	40	2.38	2.70	8.93	9.15	1.26
	50	2.42	2.73	9.93	10.34	1.53
	65	2.43	2.75	10.81	12.24	2.19
	80	2.51	2.74	9.85	11.06	2.86
100	2.51	2.71	8.73	11.45	4.63	
125	2.32	2.70	10.42	14.26	5.72	

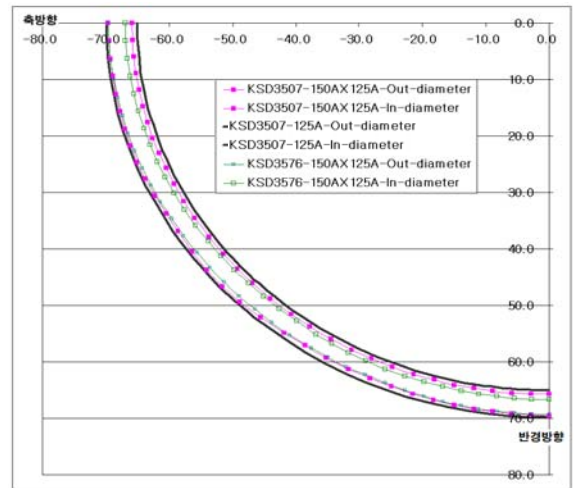


Fig. 11 Inside and outside diameters of TBP (150×125(unit: mm))

step은 최대 0.1초, 최소 0.00001초로 하였다.

각 분기배관의 성형해석결과 분기부분의 두께 변화를 Fig. 4 부터 Fig. 11에 나타내었다. 전체적으로 반경방향보다 배관방향으로 두께가 두꺼움을 알 수 있다.

이 결과를 토대로 분기배관의 규정두께를 만족하기 위한 최소절삭량과 분기부분의 두께 및 높이의 최대, 최소값을 다음 Table 6에 기술하였다.



Fig. 12 Specimen of TBP(150A×25, 32, 40, 50)



Fig. 13 Specimen of TBP(150A×65, 80, 100, 125)



Fig. 14 Body strength test of TBP(150A×25, 32, 40, 50)



Fig. 15 Body strength test of TBP(150A×65, 80, 100, 125)

성형해석을 통해 배관용 탄소강관(KS D 3507) 및 이와 동등이상의 성능을 갖는 스테인리스배관(KS D 3576 10S)의 분기부분 안전성을 확보하고자 제시된 최소두께가 만족될 수 있음을 확인할 수 있었다.

4. 강도시험

4.1 강도시험방법

분기배관의 강도를 확인하고자 배관최대사용압

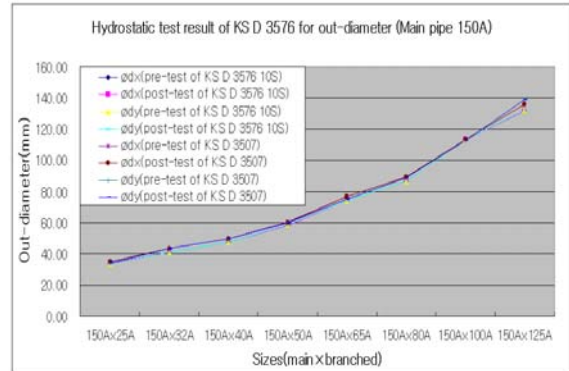


Fig. 16 Hydrostatic test result of TBP for out-diameter (main pipe 150A)

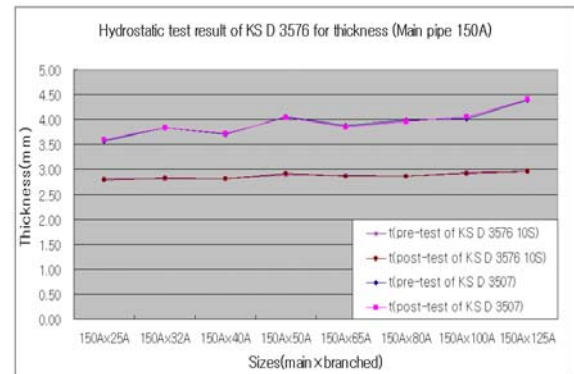


Fig. 17 Hydrostatic test result of TBP for thickness (main pipe 150A)

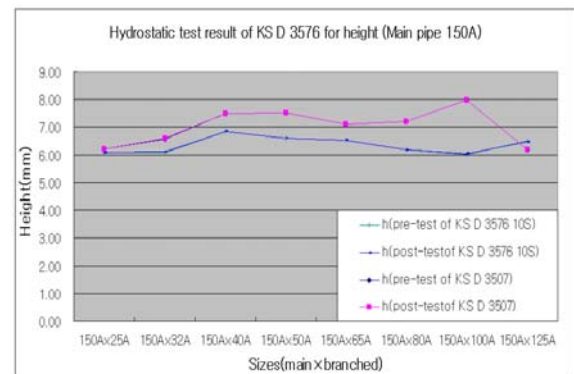


Fig. 18 Hydrostatic test result of TBP for height (main pipe 150A)

력의 5배에 해당하는 수압력을 배관에 가했을 경우 배관의 변형여부를 KFI인정기준에 준하여 측정된 결과를 확인하였다.

배관용 탄소강관(KS D 3507) 및 배관용 스테인리스강관(KS D 3576 10S)을 사용한 분기배관의 시험시료에 대한 예시를 Fig. 12와 Fig. 13에, 그 시험과정을 Fig. 14와 Fig. 15에 나타내었다.

4.2 강도시험결과

분기배관의 본체강도시험 후 시료 KS D 3507, KS D 3576 10S 분기부의 외경, 두께, 높이를 측정하여 시험 전과 비교하였다. Fig. 16은 외경의 변화를 나타내며 $\varnothing dx$ 는 축방향, $\varnothing dy$ 는 반경방향을 의미한다. Fig. 17, Fig. 18에 각각 두께의 변화, 높이의 변화를 나타냈다.

최대사용압력값의 5배에서 측정한 외경, 두께 및 높이의 값이 시험전의 값과 비교하여 큰 차이를 보이지 않았다.

따라서 최대사용압력까지 분기배관을 사용하여도 강도측면에서 문제가 없을 것으로 판단된다.

4. 결 론

주배관의 150A인 분기배관에서 분기 측 배관 크기가 25, 32, 40, 50, 65, 80, 100 및 125로 분기될 경우 그 성형성 및 강도안전성을 판단하기 위해 실시한 유한요소해석과 시험결과를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 분기배관의 가공 시 효율적인 면가공과 최소두께를 확보하기 위해서는 분기부분의 최소 높이와 최소두께 값을 정하여야 한다.

둘째, 배관용 탄소강관(KS D 3507)과 배관용 스테인리스강관(KS D 357 10S)의 분기를 위한 성형성은 주어진 플러그(Plug)를 이용할 경우 충분함을 알 수 있었다.

셋째, 분기부분 강도 안전성 확보를 위해 제시된 분기부분의 두께 및 높이 값에서 충분한 강도를 가지고 있음을 알 수 있었다.

넷째, 분기부분의 두께는 탄소강관의 경우 분기부분의 호칭에 따라 3.5 내지 4.0 mm, 스테인리스강관일 경우 2.8 mm 이상이어야 한다.

다섯째, 분기부분의 높이는 탄소강관과 스테인리스강관 모두 분기부분의 호칭에 따라 3.0 내지 4.0 mm 이상이어야 한다.

후 기

본 연구에 도움을 주신 (주)화성방재 임직원 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Dong-woo Kim, Chang-Hwan AHN, Gyu-Chool, 2000, *Standard Pipe Engineering*, p. 16.
- (2) Jun-Seok Nam, Chang-Sun Baek, Kwang-Kyu Lim, Seong-Ho Sakong, Soo-Hyun So, Kyung-Tak Min, 2007, "A study on the Analyses of T-branch Pipe Forming using a Finite Element Method, *T. of Korean Institute of Fire Sci. & Eng.*, Vol. 21, No. 1, p. 98.
- (3) Do-Jun Shin, Nam-Su Huh, Yun-Jae Kim and Young-Jin Kim, 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) Tae-Kwang Song, Chang-Kyun Oh, Yun-Jae Kim, Jong-Sung Kim and Tae-Eun Jin, "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) KFI Corp. 2006, *KFI Certificated Standard of T-Branched Pipe*, p. 1.
- (6) ASME, "ASME CODE for PRESSURE PIPING B31 an American National Standard," *ASME/ANSI B 31.5c*
- (7) IPC, 2003, "Mechanically Formed Tee Fittings," *International Plumbing Code*, Section 605.6.1 (also the 1998 Supplement to the 1997 IPC)
- (8) IMC, 2003, "Mechanically Formed Tee Fittings," *International Mechanical Code*, Section 1203.3.8
- (9) Jun-Seok Nam, Chang-Sun Baek, Kwang-Kyu Lim, Seong-Ho Sakong, Soo-Hyun So, Kyung-Tak Min, 2007, "A study on the Analyses of T-branch Pipe Forming using a Finite Element Method, *T. of Korean Institute of Fire Sci. & Eng.*, Vol. 21, No. 1, p. 99.
- (10) KFI Corp. 2006, *KFI Certificated Standard of T-Branched Pipe*, pp. 21~24.