

피팅용 프레스 포밍 파이프 성형 모델 선정 및 검증

김태걸*[#], 김태호**[#], 박준홍***, 박영철***

*동아대학교 기계공학과 대학원, **동아대학교 산학협력단, ***동아대학교 기계공학과

Selection and Verification of Press Forming Pipe Model using Pipefitting

TaeGual Kim*[#], TaeHo Kim**[#], JoonHong Park***, YoungChul Park***

*Graduate School of Mechanical Engineering, DONG-A UNIV., ** Industry-Academy Cooperation, DONG-A UNIV. ***** Professor of Mechanical Engineering, DONG-A UNIV.

(Received 5 December 2015; received in revised form 9 December 2015; accepted 11 December 2015)

ABSTRACT

This paper describes the design of a forged fitting form to acquire a method of product design measurement by target measurement standards. The pipefitting connects each pipe and combines seals and nipples with the pipes normally. Therefore, the section combined with the fitting pipe was measured by a 3D scanner, and the acquired measurement and the design measurement were obtained after modification of the forged fitting pipe by that standard. Moreover, the accuracy of the model was verified through leakage testing of the oil and verification of the design measurement for accuracy decisions on the design measurement after modification of the product.

Key Words : Pipe Fitting(파이프 피팅), Reverse Engineering(역설계), Press Forming(프레스 포밍)

1. 서 론

유수압 산업에서 배관의 연결에 사용되고 있는 밸브 및 피팅은 유체의 흐름을 통제하는 기구로서 조선, 석유화학, 발전설비, 산업용 플랜트 및 반도체 분야에 이르기까지 다양한 산업분야에 널리 적용되고 있다. 피팅류는 다양한 피팅 소재와 사이즈 그리고 사용되는 환경들과 누유 차단 방식에 따라 피팅의 종류가 다양하다. 범용적으로 사용되는 피팅은 일반파이프와 피팅류인 니플과 커넥터 그리고 션을 결합하여 파이프를 연결하는 구조를

가지고 있다.

션은 파이프 내부에 흐르는 유체의 누유를 막는 역할을 수행하고 니플과 커넥터는 파이프를 고정하는 역할을 한다. 션은 고무 재질이나 금속재료를 사용한다. 고무 재질은 고압에서 사용하지 못하는 단점이 있고 금속재질은 파이프를 손상시키면서 파이프의 사용압력을 낮추는 단점을 가지고 있다.

피팅류의 이음나사는 PT나사로 고압의 문제점이 발생하고 있으며, 관내 이물질의 유입으로 인하여 막힘 현상과 밸브의 오작동 등 가공과 연결 방법에 따라 여러 가지 문제점이 발생하고 있다.

* Corresponding Author : hero7541@hanmail.net
Tel: +82-51-200-6991, Fax: +82-51-200-7656

이를 해결하기 위하여 이음나사를 PT나사에서 PF나사로 대체하거나 관의 완전한 기밀유지를 위한 이음 해법을 기술적으로 풀기 위하여 본 연구에서는 파이프를 축 방향으로 성형하기 위하여 파이프가 변형되는 형상설계 및 검증에 대하여 연구하였다.⁽¹⁾⁻⁽³⁾

파이프의 축방향 성형 기술은 벌징(bulging), 하이드로포밍(hydroforming) 등의 기술이 있다. T. Ohashi⁽⁴⁾등은 저용점 소재를 파이프 내부에 충전하여 알루미늄 등과 같은 비철 파이프의 축방 압출에 대하여 연구하였다. 하지만 위의 공정의 경우 공정이 복잡해지고, 내부 충전재를 사용해야 하는 단점이 있으며, 벌징 외형의 형상을 성형할 수 없다는 단점이 있다. N. Akkus⁽⁵⁾등은 Ti alloy 파이프에 대하여 초소성 벌징의 유한요소해석에 관한 연구를 수행하여 변형률 속도가 파이프 두께에 미치는 영향 등에 관한 결과를 얻을 수 있었다. 또한 S. J. Yuan⁽⁶⁾등은 파이프 엘보우 제품의 하이드로 포밍 성형 공정에 대한 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 하이드로 포밍이나 벌징 공정과 같이 내부 충전재를 사용하지 않고 프레스 포밍 공정을 적용할 수 있는 성형 모델을 선정하고 이를 누유테스트 장비를 통하여 누유테스트 후 피팅 모델의 정확성을 판단하고자 하였다.

2. 피팅의 종류 및 결합방법

2.1 피팅의 종류

산업용 피팅은 크게 용접과 단조 및 일반 피팅으로 구별하여 사용된다. 용접용 피팅은 다양한 규격으로 주로 주문에 의해 생산되며, 대형설비인 석유화학, 조선, 원자력, 화력 발전 등에 핵심부품으로 사용된다. 그리고 단조 및 일반 피팅은 소형 제품으로 반도체 및 LCD라인, 자동차용 부품으로 사용되고 있다. Fig.1은 여러 가지 피팅류의 종류를 나타낸 것으로 a)와 b)는 고무 호스용 피팅, c)와 d)는 일반파이프와 피팅사이에 씌를 이용하여 파이프를 연결하는 피팅, e)와 f)는 파이프를 성형한 후 연결하는 피팅류를 나타내고 있다.



Fig. 1 Types of Pipe fitting

2.2 피팅 결합방법

Fig. 2는 피팅과 씌를 이용하여 파이프를 연결하는 방법을 나타내고 있다. a)는 금속씌를 이용하여 두 파이프를 연결하는 방법으로 고압용으로 많이 사용되나 전후방 2개의 패널 필요하여 공정 수 증가하고 패널의 파손, 과대 물림시 리크(leak) 발생하는 문제점을 가지고 있다. b)는 파이프를 성형한 후 고무와 금속이 결합된 씌를 사용하기 때문에 파이프의 균열 및 손상 방지, 리크의 방지 및 Sleeve 대체 부품 및 조립 공정 시간을 절감할 수 있으며 용접이음을 제거하여 용접에서 발생할 수 있는 문제점을 해결할 수 있는 장점이 있다.

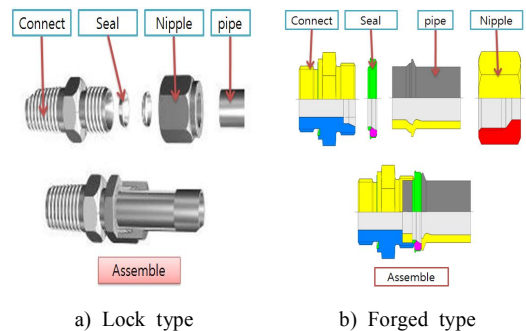


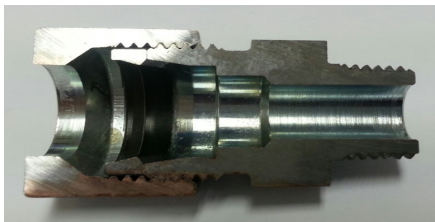
Fig. 2 Method of Pipe fitting assembly

3. 프레스 성형 파이프 형상 설계

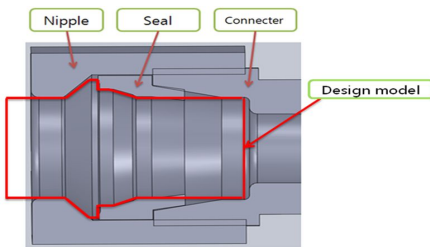
3.1 피팅용 포밍 파이프의 최종 형상 및 설계치수

3.1.1 포밍 파이프의 최종형상

프레스를 이용하여 성형된 파이프의 형상은 니플과 씰 그리고 커넥터를 조립한 후 생성되는 내부공간의 형상을 설계모델로 선정하였다. a)는 각각의 부품을 와이어 커팅후 내부를 나타내고 있으며 b)는 와이어 커팅된 부품을 3차원 측정기를 이용하여 측정하고 역설계를 수행하였으며 단품모델을 조립해서 최종 형상을 획득하였다. 이를 기초로 파이프의 형상을 예측하고 이를 Fig. 3에 나타내었다.



a) Nipple shape



b) Design shape

Fig. 3 Forming pipe shape prediction using reverse engineering

3.1.2 주요부분의 설계 치수

Fig. 4는 니플과 씰 그리고 커넥터의 조립형상에서 파이프 형상을 유추한 형상을 그림으로 나타

내고 있다. A는 변형된 파이프의 최소직경을 나타내고 있으며, 씰의 내부 직경에서 설계값을 획득할 수 있다. B는 파이프가 변형될 때 최고높이를 나타내며 커넥터 또는 씰에서 획득할 수 있다. C는 파이프와 커넥터사이에 씰이 놓이는 공간으로 씰의 내부 각도를 측정하여 치수를 획득할 수 있다. D는 파이프 뒷부분의 길이를 나타내고 있으며, 씰의 높이와 커넥터의 높이의 합으로 구할 수 있었다. E는 변형파이프의 최소높이를 나타내고 있으며, 씰 내부를 측정하여 설계치수를 획득할 수 있다. F는 니플과 씰 그리고 커넥터 조립시 씰과 니플의 사이 간격을 나타내고 있다.

Table 1은 예측된 파이프 형상의 부위별 3차원 측정치수를 나타내고 있으며 파이프의 직경은 Ø6에서 Ø42까지 15종의 종류를 선택하였으며 측정치를 소수점 두 자리까지 나타내었다.

3차원 측정은 설계된 제품의 제작과정에서 발생할 수 있는 오차를 모두 포함하고 있기 때문에

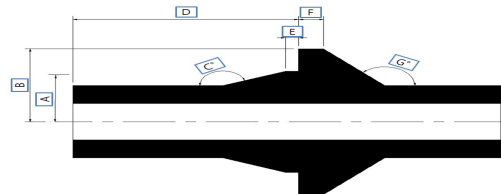


Fig. 4 Design part of press forming pipe using assembly shape

Table 1 Design dimensions of each portion using three dimensional measurement system

Measurement Diameter	A (mm)	B (mm)	C (°)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	G (°)
Ø 6	3.77	5.17	160	10.9	1.05	1.2	135
Ø 8	4.80	6.35	160.46	10.93	0.96	1.48	134.96
Ø 10	5.78	7.23	160.61	11.05	1.03	0.8	134.66
Ø 12	6.79	8.25	159.66	11.38	0.98	1.93	133.69
Ø 15	8.42	10.2	160.43	11.39	0.99	0.93	133.69
Ø 16	8.9	11.52	160.97	12.91	1.05	0.79	133.82
Ø 18	9.93	12.22	159.70	11.96	1.03	1.05	134.19
Ø 20	11.13	13.85	159.48	14.56	1.38	1.79	134.88
Ø 22	11.88	14.15	159.90	12.7	1.33	1.35	135
Ø 25	13.73	17.08	159.68	17.04	1.27	0.98	135.04
Ø 28	14.86	16.95	160.21	12.48	1.36	1.02	135.07
Ø 30	16.34	19.95	159.45	19.04	1.24	1.7	135
Ø 35	18.47	21.53	160.04	15.94	1.36	2.57	134.83
Ø 38	20.32	24.91	161.92	21.59	1.33	2.52	134.85
Ø 42	21.96	24.97	160.50	16.3	1.35	1.04	134.97

각 부분의 치수를 분석하고 이를 정량화하는데 어려움이 있다. 그렇기 때문에 본 연구에서는 치수를 임의적으로 정량화시키기 위하여 측정치를 간략화하였다.

Table 2는 획득된 설계치수로 교정된 파이프 설계치 설계치수 나타내고 있다. A는 변형된 파이프가 씬의 내부와 결합해야하기 때문에 (-)공차를 가지고 있어야 한다. 그리하여 기본 측정값에서 소수점 둘째짜리를 제거하여 설계치수로 사용하였다. B는 최고높이를 나타내는 것으로 니플의 내경보다 낮게 설계되어야 조립시 발생할 수 있는 문제를 해결할 수 있다. 그리하여 A부분의 설계치수와 동일하게 소수점 둘째자리를 제거하여 설계치수로 사용하였다. C 부분의 측정값은 최소 159.45°에서 최대 160.97°까지 변화되었다. 측정값을 평균값으로 환산하여 계산한 결과 160.12°로 전체를 일괄적으로 160°로 선정하였다. C부위는 내부에 압력이 발생하면 씬이 압력을 받아 파이프와 니플 사이를 막아 리크현상을 방지한다. 그렇기 때문에 각도를 예측할 때 각도의 여유를 두어도 무방할 것으로 판단하였다. D는 파이프와 씬(Seal)의 합계로 설계값을 추정하였다. E는 Ø6에서 Ø18까지는 평균 1mm였으나, Ø20이상에서는 1.3mm로 증가하는 것을 확인할 수 있었다. F는 니플(Nipple)과 씬(Seal)사이의 최소거리를 나타낸

것으로 니플과 커넥터가 나사로 조립되어지기 때문에 값을 일정하게 적용할 수 있다고 판단되어 평균값을 적용하였다. G는 조립시 니플과 접촉하여 리크를 방지하는 것으로 각도가 클수록 리크방지를 효과적으로 할 수 있을 것으로 판단되어 설계치수를 135°로 수정하였다.

4. 성형된 파이프의 설계 검증

4.1 3차원 측정기를 이용한 설계치수 검증

Fig.5는 프레스 포밍 공정을 통해 제작된 18종의 파이프 형상을 그림으로 나타내고 있다. 파이프의 형상의 검증을 위하여 동일한 두께를 가지는 파이프를 선정하여 제작하고 이를 3차원 측정기로 측정하였다.

Fig.6은 프레스 포밍 공정 후 니플과 커넥터 그리고 씬을 조립한 형상을 그림으로 나타내고 있다. 3차원 측정기는 3차원의 폴리곤 데이터를 획득하고, 이를 CAD 데이터와 비교하여 제작되어진 제품의 치수 정밀도를 확인할 수 있다. 본 논문에서는 3차원측정기를 이용하여 3차원 폴리곤 데이터를 획득하고 이를 Rapidform XOV에서 CAD 데이터와 3차원 포인트 데이터를 비교하여 설계치수를 검증하였다.

Table 2 Final design dimensions of each portion using three dimensional measurement system

Measurement Diameter	A (mm)	B (mm)	C (°)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	G (°)
Ø 6	3.7	5.1	160	10.9	1	1.25	135
Ø 8	4.8	6.3	160	10.9	1	1.25	135
Ø 10	5.7	7.2	160	11.0	1	1.25	135
Ø 12	6.7	8.2	160	11.3	1	1.25	135
Ø 15	8.4	10.2	160	11.3	1	1.25	135
Ø 16	8.9	11.5	160	12.9	1	1.25	135
Ø 18	9.9	12.2	160	11.9	1	1.25	135
Ø 20	11.1	13.8	160	14.5	1.3	1.25	135
Ø 22	11.8	14.1	160	12.7	1.3	1.25	135
Ø 25	13.7	17.0	160	17.0	1.3	1.25	135
Ø 28	14.8	16.9	160	12.4	1.3	1.25	135
Ø 30	16.3	19.9	160	19.0	1.3	1.25	135
Ø 35	18.4	21.5	160	15.9	1.3	1.25	135
Ø 38	20.3	24.9	160	21.5	1.3	1.25	135
Ø 42	21.9	24.9	160	16.3	1.3	1.25	135



Fig. 5 Manufactured fitting pipe by press forming process

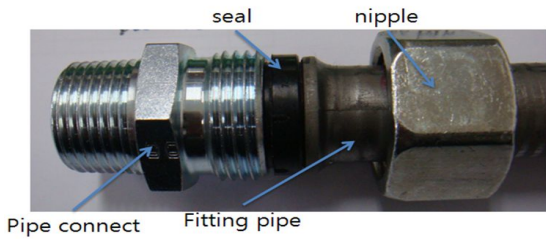


Fig. 6 Fitting Assemble using press forming pipe

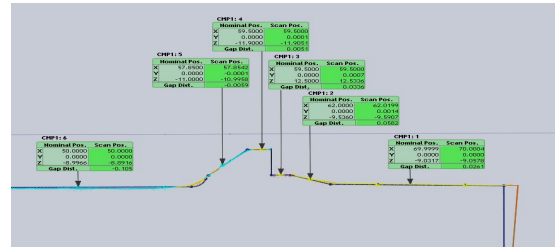
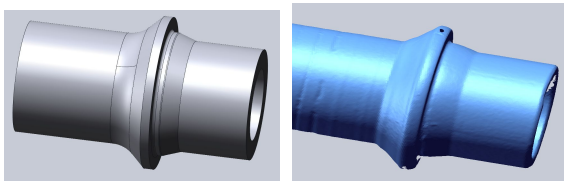


Fig. 9 Measurement point of each point between CAD data and polygon data(Ø15)



a) Designed 3D modeling shape
b) Measured 3D polygon data
Fig. 7 Design shape and measurement shape after press forming process(Ø20)

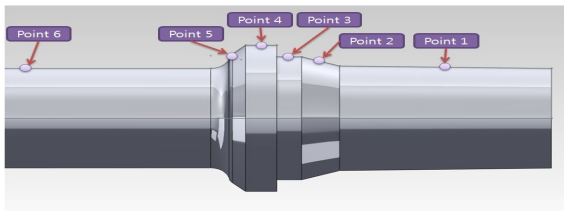


Fig. 8 Each point of CAD data for pipe shape measurement

Fig.7은 설계된 데이터와 측정된 3차원 폴리곤 데이터를 나타낸 그림이다. a)는 Ø20인 파이프의 3차원 형상을 나타내었으며, b)는 3차원 스캐너를 이용하여 획득한 3차원 폴리곤 데이터를 나타내고 있다.

Fig.8은 측정점의 위치를 나타낸 것으로 각 위치는 포인트 지정 직선의 중심을 측정점의 위치로 지정하였으며, point 6은 point 4의 우측면을 기준으로 10mm 떨어진 위치를 선정하였다.

Fig. 9는 직경 Ø15의 측정오차를 나타낸 것으

Table 3 Measurement point error of pipe shape by press forming

측정 위치	point1	point2	point3	point4	point5	point6
Ø6	0.058	0.0678	0.061	-0.011	-0.018	-0.101
Ø8	0.049	0.089	-0.007	-0.08	-0.021	-0.071
Ø10	0.081	-0.007	0.076	-0.059	-0.044	-0.077
Ø12	0.067	0.084	0.102	-0.022	-0.036	-0.042
Ø15	0.026	0.071	0.058	0.005	-0.059	-0.10
Ø16	0.001	0.024	0.063	0.004	-0.093	-0.028
Ø18	0.056	0.051	-0.003	-0.099	-0.041	-0.06
Ø20	-0.02	0.019	0.057	0.033	-0.072	-0.098
Ø22	0.103	0.073	0.052	0.053	-0.095	-0.089
Ø25	0.080	0.037	-0.030	-0.076	0.023	-0.081
Ø28	0.009	0.019	-0.045	-0.08	-0.016	-0.081
Ø30	0.051	0.068	-0.028	-0.049	-0.035	-0.027
Ø35	0.098	0.073	0.058	-0.031	-0.051	-0.010
Ø38	0.011	-0.001	-0.065	-0.073	-0.084	-0.034
Ø42	0.025	-0.028	0.084	0.066	-0.066	-0.041

로 포인트 6개 모두 ±0.1mm이내의 오차를 나타내고 있다. point 4, 5, 6은 주로 (-)오차가 많이 발생하는데 point 4번과 5번은 스프링백의 영향으로 판단되었으며, point 6은 파이프를 고정하기 위한 압착으로 발생하는 오차로 판단할 수 있다. Table 3은 각 직경별 측정 포인트의 오차값으로 Ø6에서 Ø42까지 각 파이프의 5개의 측정값의 오차의 평균을 나타낸 것으로 오차의 범위가 ±0.1mm 이내인 것을 확인 할 수 있었다.

Table 3은 각 직경별 측정 포인트의 오차값으로 Ø6에서 Ø42까지 각 파이프의 5개의 측정값의 오차의 평균을 나타낸 것으로 오차의 범위가 ±0.1mm 이내인 것을 확인 할 수 있었다.

4.2 내압 테스트 장치를 이용한 조립 검증

파이프 생산과정은 역설계를 이용하여 파이프 형상을 설계하고 이를 기준으로 금형으로 제작한다. 그리고 파이프 포밍 장비를 이용하여 니플과 결합하는 파이프를 제작하기 때문에 내압테스트를 통한 파이프와 제작된 포밍파이프의 검증이 필요하다고 판단되어 조립검사를 수행하였다. 사용된 내압 test용 test bench 장비는 유압펌프, 유압실린더, 커넥터, 블록, 압력센서, 온도센서 등으로 구성되어 있다. 커넥터에 프레스 장치를 이용하여 성형시킨 파이프를 연결한 후 유압펌프를 가동시키면 펌프의 유압유가 호스를 거쳐 파이프를 지나 유압실린더를 상승시킨다. 이 때 유압실린더가 최고 정점에 닿으면 포토 센서가 높이를 감지한 후 지정된 시간만큼 일정압력을 유지시킨 후 실린더가 하강한다. 그리고 반복운동을 하면서 내압테스트를 진행하였다. 압력 유지 시간은 30초를 유지하였다. Table 4는 직경에 따른 기준 내압을 나타내었다. 파이프의 직경에 따라 최소 240bar에서 최대 내압은 800 bar까지 내압테스트를 수행하였다. 시험 중 압력의 변화와 온도의 변화를 체크할 수 있도록 제작하였다. Fig. 10은 실제 내압시험을 하기위하여 제작한 테스트 장치를 나타내고 있다. Table 4는 파이프 직경에 따른 기준 내압테스트 압력을 나타내었다.

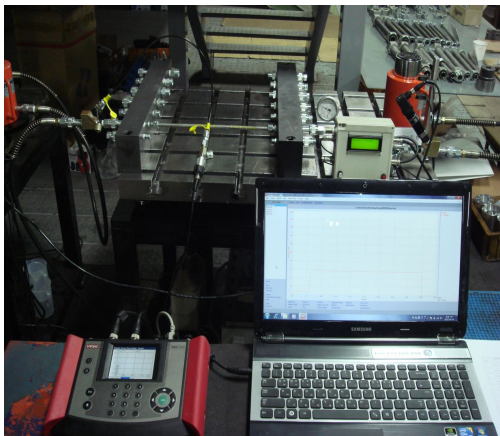


Fig. 10 Inner pressure test system

Table 4 Inner Pressure test for pipe diameter change

직경 \ 재료	Stainless steel	Carbon steel
Ø06에서 Ø10까지	800	800
Ø12에서 Ø16까지	630	630
Ø18에서 Ø38까지	420	420
Ø42	250	250

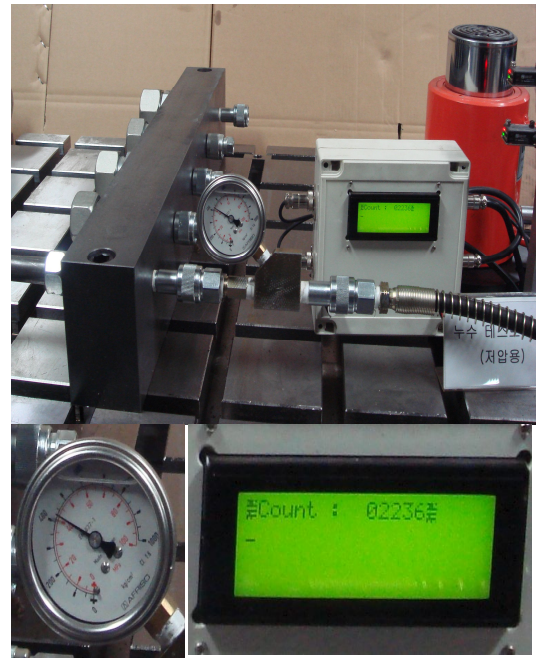


Fig. 11 Inner pressure test of Ø22

Fig. 11은 직경 Ø22 탄소강 파이프의 내압테스트를 나타낸 그림이다. 압력게이지의 압력은 420 bar를 나타내고 있으며 컨트롤러에 횟수가 기록되어 있다. Table 5는 직경 Ø6에 1T에서 Ø42에 3T까지의 내압 테스트 결과를 나타내었다. 각 직경에 따라 기준 압력에 사용가능한 것을 확인할 수 있었다.

Table 5 Pressure test result of the pipe diameter and thickness variation

파이프 외경	파이프 내경	파이프 두께	압력	SUS	STEEL
6	4	1	800	○	○
6	3	1.5	800	○	
6	2	2	800		○
8	6	1	800	○	○
10	8	1	800	○	○
10	7	1.5	800	○	○
10	6	2	800	○	○
12	9	1.5	630	○	○
12	8	2	630	○	○
15	13	1	630	○	○
15	11	2	630	○	○
16	12	2	630	○	○
16	10	3	630	○	○
18	15	1.5	420	○	○
18	14	2	420	○	○
20	16	2	420	○	○
22	19	1.5	420	○	○
22	18	2	420	○	○
25	21	2	420	○	○
28	24	2	420	○	
28	23	2.5	420		○
28	22	3	420	○	○
30	24	3	420	○	○
35	29	3	420	○	○
38	28	5	420	○	
42	36	3	240		○

5. 결론

역설계를 이용하여 프레스 포밍 공정을 적용할 수 있는 모델을 결정하고 설계치수를 획득한 후 프레스 포밍 장비를 이용하여 제작한 프레스 포밍 파이프와 측정치수를 비교하여 프레스 포밍 모델의 정확성과 누유테스트를 통한 결합성을 판단하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 역설계를 이용하여 프레스 포밍공정을 적용할 수 있는 모델을 결정하고 조립되는 제품의 각 부분의 치수를 획득하여 파이프의 설계 데이터를 획득할 수 있었다.
2. 니플과 결합하는 파이프를 직접 제작하여 설계데이터와 비교분석하여 역설계를 이용한 파이프 형상 설계를 검증하였으며, 제작되어진 파이프오차의 범위가 $\pm 0.1\text{mm}$ 이내인 것

을 확인 할 수 있었다.

3. 포밍으로 제작된 파이프와 니플을 결합하여 누유테스트를 통한 결합성 검사를 통하여 설계데이터의 정확성을 검증하였다.

후 기

본 연구는 지식경제부 기술혁신사업 우수제조기술연구센터(ATC) 사업의 지원에 의한 것입니다.

REFERENCES

1. S. Yuan, Z. R. Wang and Q. He, "Finite element analysis of hydro-forming process of a toroidal shell", International journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 39, pp. 1439-1450, 1999
2. S.H. Teoh and E. H. Ong, "Tensile and pressure rupture behaviour of flow-formed high density polyethylene pipes", polymer, Vol.36, pp. 101-107, 1995
3. R. Velasco and N. Boudeau, "Tube bulging test: Theoretical analysis and numerical validation", Journal of Materials Processing Technology, Vol.205, pp.51-59, 2008
4. T. Ohashi, and K. Hayashi, "Lateral Extrusion of A6063 Aluminum Alloy Pipes", Journal of Materials Processing Technology, Vol.138, pp.560-563, 2003
5. N. Akkus, K. Manabe, M. Kawahara, and H. Nishimura, "A Finite-element Model for the Superplastic Bulging Deformation of Ti-alloy pipe", Journal of Materials Processing Technology, Vol.68, pp.215-220, 1997
6. S. J. Yuan, Z. Xu, Z. R. Wang, and W. Hai, "The Integrally Hydro-forming Process of Pipe Elbows", International Journal of Pressure Vessels and Piping, Vol.75, pp.7-9, 1998