



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

스피닝 공정을 이용한 배관용 일체형 스티브엔드  
제조방법 개발에 대한 연구

The Development of Manufacturing Method using Spinning  
Process of Integrated Stubend for Piping Connection



한국해양대학교 대학원

기계공학과

홍 린 표

본 논문을 홍린표의 공학석사 학위논문으로 인준함.



위원장  
위원  
위원

김 의 간  
최 일 동  
조 중 래



2013년 1월 4일

한국해양대학교 대학원

# 목 차

Abstract .....	iv
List of Tables .....	vi
List of Figures .....	vii
<b>1. 서 론</b>	
1.1 연구 배경 .....	1
1.2 연구 동향 .....	3
1.3 연구 내용 및 목적 .....	9
<b>2. ALE 유한요소해석의 이론적 배경</b>	
2.1 ALE 유한요소법의 개념 .....	11
2.2 ALE법에 의한 강성매트릭스 구성 .....	13
<b>3. FEM을 이용한 스피닝 공정 분석</b>	
3.1 해석흐름 .....	15
3.2 목표 치수 설정 .....	16
3.3 SUS304의 물성 .....	18
3.4 공정해석 모델 생성	
3.4.1 공정 해석 개략도 .....	20
3.4.2 모델링 .....	22
3.4.3 메쉬 .....	24
3.5 공정해석	
3.5.1 1차 공정 해석 .....	26
3.5.2 2차 공정 해석 .....	32
<b>4. 시제품 제작 및 고찰</b>	
4.1 장비 소개 .....	48
4.2 시제품 실측 및 치수비교 .....	50
4.3 제작된 스티브엔드의 경도 측정 .....	52

5. 결론 및 향후 과제 ..... 55

참고문헌 ..... 56



# The Development of Manufacturing Method using Spinning Process of Integrated Stubend for Piping Connection

Lin-Pyo Hong

Department of Mechanical Engineering, Graduate School,  
Korea Maritime University



## Abstract

The spinning method was used for developing the connection component of pipe flanges. Generally lab joint is manufactured by welding that pipe is jointed with flange plate. but this method requires large amounts of time and money due to the tube and the thick plate production of individual through the process; cutting, welding and finishing. The defects in the process may occur due to thermal deformation and mistake of operator. In order to solve this problem, the manufacturing method using spinning process of integrated stubend is developed. The spinning method in this study is an incremental forming process with low cost and environmentally friendliness. The purpose of this paper is to study how to manufacturing the stubend from initial tube by spinning process. The stub end of the manufacturing conditions were as follows; (1) tube with constant thickness. (2) forming of the stubend thickness greater than the thickness of the tube. (3) making internal rectangular shape between mating part of flange and pipe. (4) manufacturing the rounding part to the desired dimensions.

(5) optimization of the manufacturing step. So the finite element analysis are carried out. to review the spinning process for stubend using ALE(Arbitrary Lagrangian - Eulerian) method. ALE finite element method is used to understand and analyze the element rotation problem. FE simulation was performed by the commercial code Forge V2011. A good agreement between the predicted and actual test model. The key technology is that flange thickness is not thinner than initial pipe. In addition, it also form a rectangular part and round part. The roller for multi-step spinning is designed by finite element analysis, and the product is manufactured successfully by experiment.

KEY WORDS : Spinning, Integrated stubend, FE Analysis, ALE method.



## List of Tables

<b>Table 1</b>	Shape and main dimensions of the flange .....	10
<b>Table 2</b>	Target dimension .....	16
<b>Table 3</b>	Dimensions of lap joint stubends (ASME) .....	17
<b>Table 4</b>	Tolerances of stubends (ASME) .....	17
<b>Table 5</b>	Chemical compositions of SUS304 .....	19
<b>Table 6</b>	Material property of SUS304 .....	19
<b>Table 7</b>	Mesh number according to angle .....	25
<b>Table 8</b>	Analysis conditions of 1 <sup>st</sup> process .....	27
<b>Table 9</b>	Analysis conditions of 2 <sup>nd</sup> process .....	33
<b>Table 10</b>	Comparison of dimensions for prototype .....	50
<b>Table 11</b>	Hardness measurement results .....	54





## List of Figures

Fig. 1 Lap joint .....	2
Fig. 2 Lap joint flange configuration .....	3
Fig. 3 Shape and profile of stubend for piping connection .....	3
Fig. 4 Common manufacturing process of stubend by welding .....	5
Fig. 5 Japanese patent publication of manufacturing stubend .....	6
Fig. 6 Friction welding process .....	7
Fig. 7 Machining part after friction welding .....	8
Fig. 8 Heat affected part after friction welding .....	8
Fig. 9 Coordinates used in the ALE method .....	11
Fig. 10 Analysis flow chart .....	15
Fig. 11 Stress and strain relationship according to the temperature and strain rate .....	18
Fig. 12 Schematic diagram of process analysis .....	21
Fig. 13 The dimensions of each part .....	22
Fig. 14 Modeling of each part for the spinning process .....	23
Fig. 15 Areas of the liner to be contracted with roller .....	24
Fig. 16 Meshes to carry out ALE method .....	25
Fig. 17 1 <sup>st</sup> process spinning analysis model .....	27
Fig. 18 According to the pusher distance of appearance .....	29
Fig. 19 According to the pusher distance of effective strain .....	30
Fig. 20 Roller load of 1 <sup>st</sup> process .....	31
Fig. 21 Spinning analysis model of 2 <sup>nd</sup> process .....	33
Fig. 22 2 <sup>nd</sup> process spinning analysis cases .....	35
Fig. 23 The results of case 1 .....	39
Fig. 24 The results of case 2 .....	42
Fig. 25 The results of case 3 .....	45
Fig. 26 Effective strain according to the pusher distance (case 3) .....	46
Fig. 27 Roller load of 2 <sup>nd</sup> process (case 3) .....	47
Fig. 28 Flange spinning machine .....	49
Fig. 29 Prototype made by spinning .....	51
Fig. 30 Measurement location .....	53

Fig. 31 Hardness measurement results ..... 54



# 제 1 장 서 론

## 1.1 개요

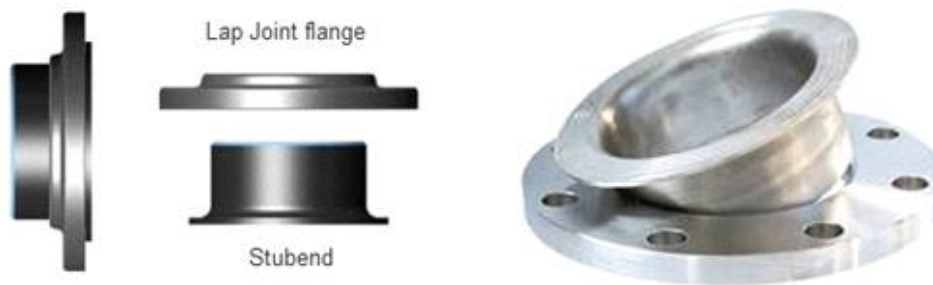
배관 연결방식에 사용되는 방식은 플랜지와 볼트를 이용한 체결방식과 나사를 이용한 체결방식 등이 있다.<sup>[1]</sup> 일반적으로 고압이나 큰 직경의 배관을 연결하는 데는 플랜지를 사용하는 방식이 적용되고 있다. 이 방식에 적용되는 플랜지의 종류는 웰딩넥 타입, 슬립온 타입 및 랩 조인트 플랜지타입이 있다.

Fig. 1 은 본 논문에서 다루어지게 될 랩 조인트의 형태이다.

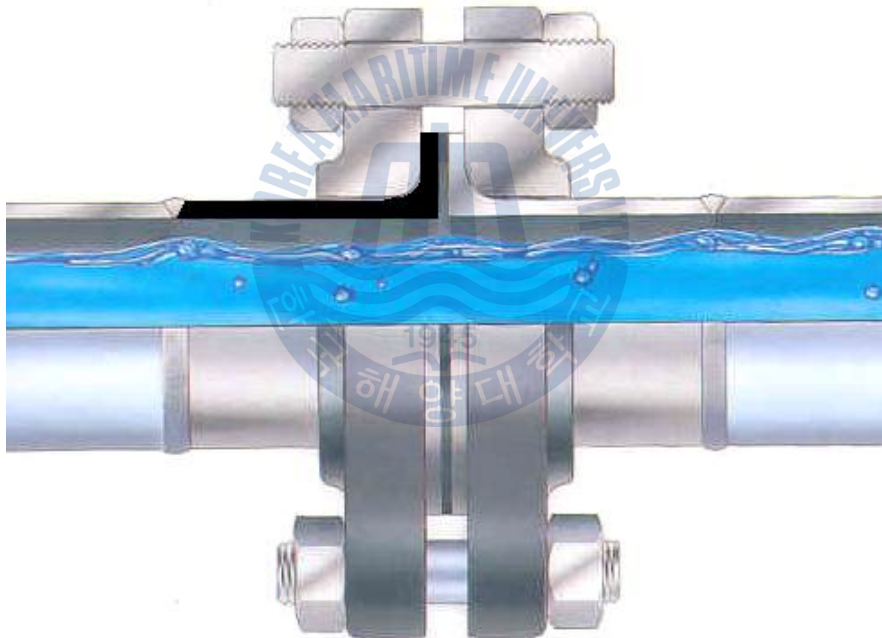
랩 조인트는 크게 랩 조인트 플랜지와 스테브엔드 두 부분으로 구성이 되며 랩 조인트 연결 시 가스켓을 사이에 두고 랩 조인트 플랜지끼리 조립이 된다.

스테브엔드는 랩 조인트 플랜지 내부에 결합이 되며 결합하기 위해서는 파이프 치수는 물론 Fig. 2 에서 나타내는 것과 같이 반경크기가 랩 조인트 플랜지와 스테브엔드의 반경크기가 일치하여야 한다. Fig. 2 에서는 랩 조인트 플랜지와 스테브엔드의 조립 형상을 나타 낸 도식화한 그림<sup>[2]</sup>이다. 배관 파이프와 스테브엔드는 맞대기용접으로 결합 하게 된다.

개발 중에 있는 제품인 일체형 스테브엔드(Fig. 3)는 산업용 배관 이음으로 그 용도 및 수요가 매우 다양하며 특히 Fig. 1 (b)과 같이 파이프간의 이음 시에 일정한 거리를 두고 결합시켜야 할 필요가 있거나 고가의 배관재질이 요구되는 발전소, 조선소, 정유, 화학플랜트, 해양플랜트, 상, 하수도의 유체, 가수, 증기 등을 이송하는 배관<sup>[3]</sup>에 쓰이고 있다. 일체형 스테브엔드는 배관 연결 시 양쪽 배관의 끝단에 연결되고 플랜지에 의해 조립되므로 인해 조립작업이 매우 용이하다.

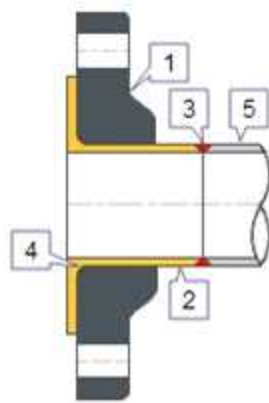


(a) Lap joint flange and stubend



(b) Schematic image of pipe connection with lap joint for piping

**Fig. 1** Lap joint



- 1. Lap Joint Flange
- 2. Stubend
- 3. Buttweld
- 4. Radius (R)
- 5. Pipe or Fitting

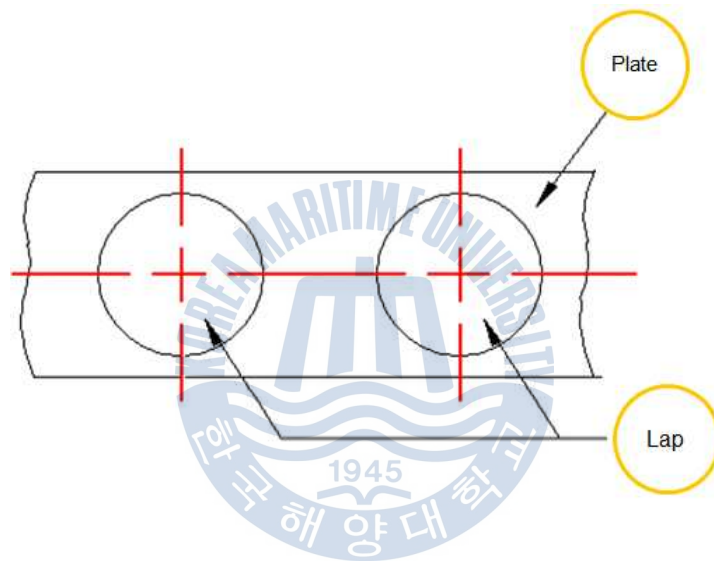
Fig. 2 Lap joint flange configuration



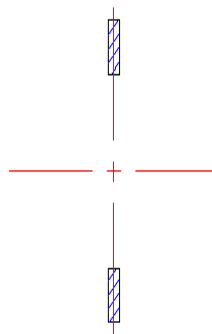
Fig. 3 Shape and profile of stubend for piping

## 1.2 연구동향

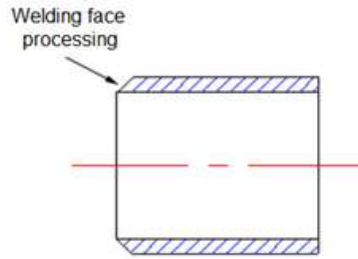
현재 각 업체에서는 Fig. 4와 같이 스테인리스 관에 후판을 용접한 뒤 용접부위를 절삭하고 후가공하여 배관용 용접형 스테르브엔드를 주로 생산하고 있다. 이는 관과 후판의 개별생산으로 인한 절단, 용접, 후가공을 거치기 때문에 공정수가 많을 뿐 아니라 막대한 시간과 비용이 소요된다. 그 과정에서 작업자의 실수 혹은 열 변형 및 사람의 손에 의한 용접결함 등의 공정 변수에 의해 결함이 발생 될 수 있다. 따라서 친환경적이며 경제적인 제조 공정의 개발이 필요하다. 또한 특수한 경우 용접이 없는 일체형 스테르브엔드가 요구되고 있다.



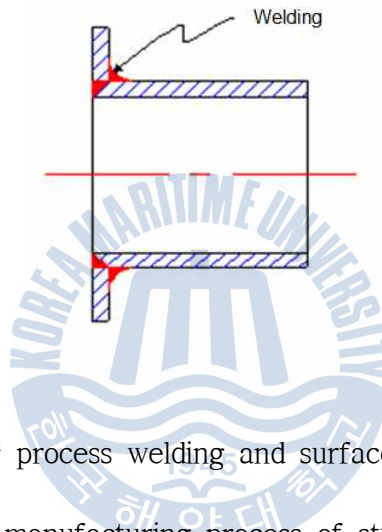
(a) The 1<sup>st</sup> process : Blanking



(b) The 2<sup>nd</sup> Process : Piercing



(c) The 3<sup>rd</sup> process : pipe cutting and welding face processing

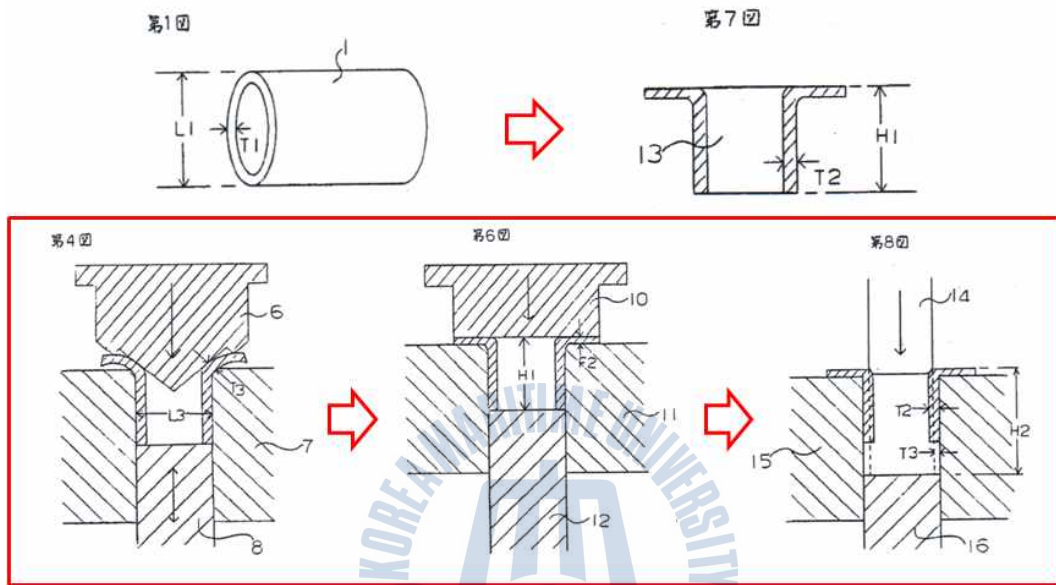


(d) The 4<sup>th</sup> process welding and surface processing

**Fig. 4** Common manufacturing process of stubend by welding

기존 관 연결부의 제조방식은 Fig. 4 와 같이 관과 판을 용접하는 방식이 가장 일반적이며 생산량도 대부분을 차지하고 있다. 용접 형은 관과 램의 끝단을 절삭 가공한 후 용접을 통해 비드를 채워 넣고 또한 원하는 치수로 후 가공 하여 생산한다. 이는 가공공정이 많고 용접 시 비드가 채워지지 않는 결함이 발생할 뿐 아니라 용접으로 인한 열 영향부가 취성이 강해져 쉽게 파단 되는 문제점이 발생한다.

Fig. 5 는 일본 공개특허공보<sup>[4]</sup>의 내용이다. 미국 기계 학회(ASME)에서 제시된 규격<sup>[8]</sup> 상 플랜지의 접합부의 두께는 파이프의 두께보다 커야하므로 일체형 플랜지 제조를 위해서는 플랜지 생성 후 관 내면을 절삭하여 플랜지 접합부와 파이프의 두께 차이를 두게 되는데, 이는 많은 자원의 낭비를 초래하는 방법이다.



공개특허공보 평01-071527호 1989.03

Fig. 5 Japanese patent publication of manufacturing stubend



우리나라에서는 초기에 사람이 플랜지와 관을 일일이 용접하는 방식을 사용해 왔다. 이는 앞서 언급했던 것과 같이 사람에 의한 용접 결함을 발생시켰다. 이를 해결하고자 Fig. 6 과 같이 마찰 용접에 의한 스테르브엔드 제작 기술이 개발되었으며 일정한 용접 효과를 나타낼 수 있게 되었다.

마찰용접은 Fig. 6 과 같이 두 재료에 압력을 가한 상태에서 상대(회전)운동을 주어 발생하는 마찰열을 이용하여 고상상태로 접합하는 방식이다. 마찰용접은 회전에너지를 두 소재의 마찰을 이용하여 접합면에 열에너지로 자연스럽게 변환시키는 동시에 압접을 통해 재료의 열전도를 최대한 억제하여 일반 용접에 비하여 열영향부의 범위가 좁고, 마찰용접부 주위에는 소성변형이 일어나 재료 특유의 성질을 유지할 수 있으며 전기저항용접에 비해 적은 에너지로도 접합이 가능하다.<sup>[5]</sup>

하지만 마찰용접방법도 Fig. 7과 같이 후가공과 절단부를 필요로 하여 자원과 비용의 낭비를 초래하고 있다. 불량률이 적어 용접방법에 의한 일체형 스테르브엔드 제작공법보다 시간과 비용의 절약이 되지만 지속적인 관리를 통해 Fig. 8 과 같은 열영향부가 결함이 발생하지 않게 살펴봐 줘야하는 단점이 있다.

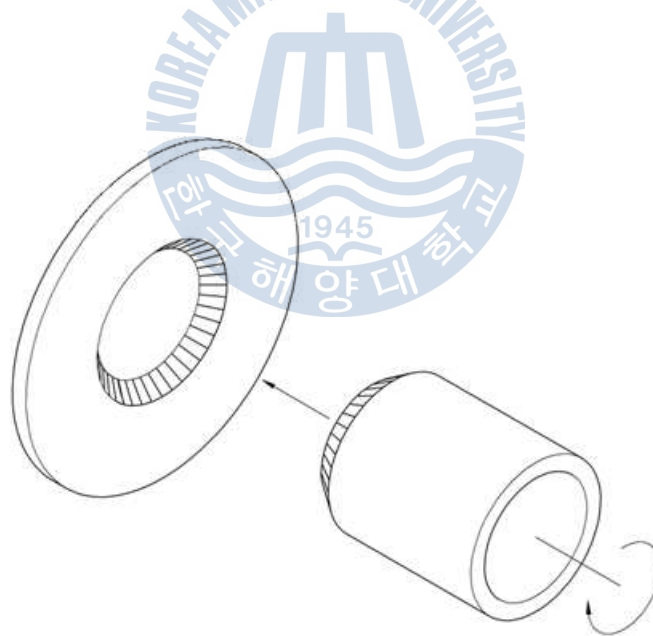


Fig. 6 Friction Welding Process

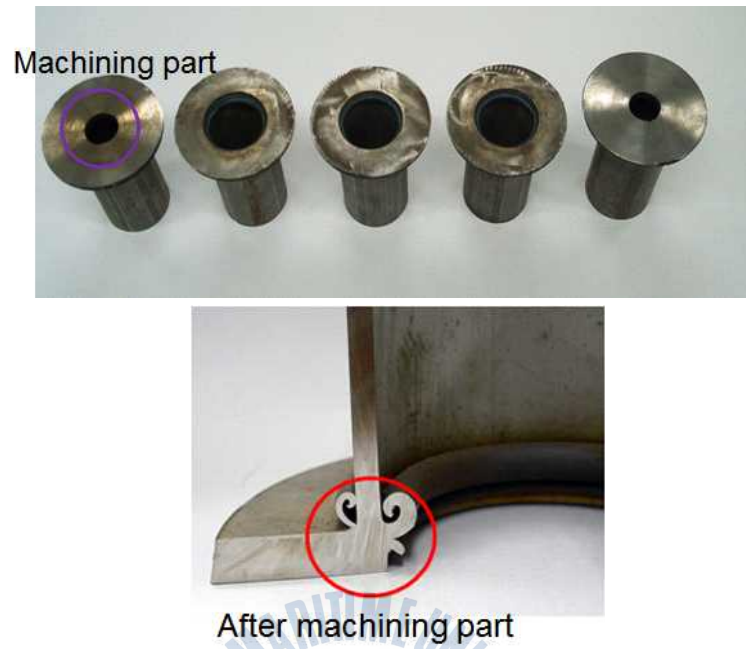


Fig. 7 Machining part after friction welding

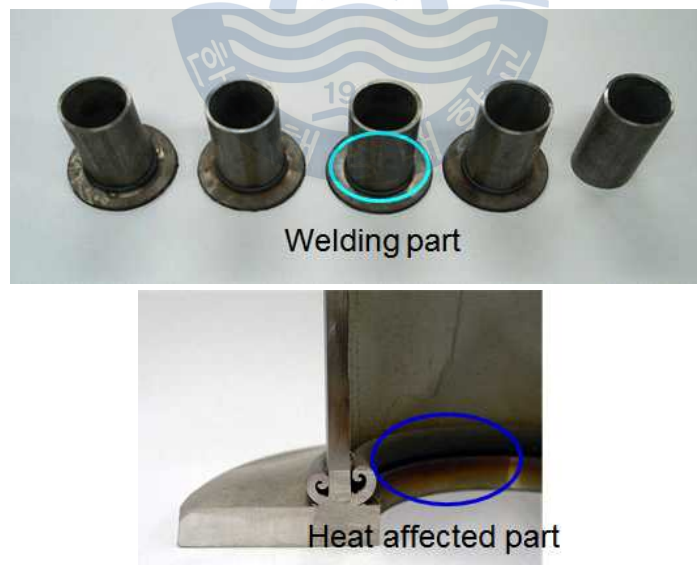


Fig. 8 Heat affected part after friction welding

### 1.3 연구 내용 및 목적

현재 각 업체에서는 일반 용접 방법을 통한 제품을 제조하고 있으며 시간과 비용을 절약하는 제조방법에 대한 연구는 다각도로 진행되고 있으나 실 제품에 적용하지 못하고 있는 실정이고 학교에서 이루어지는 제조방법에 대한 연구는 전무하다.

본 연구의 목적은 초기 관 소재로 스피닝 성형공정을 통해 스티브엔드를 제작하는 방법을 연구하는 데 있다.

스티브엔드의 성형조건<sup>[6]</sup>은 다음과 같다.

- (1) 초기 소재는 일정한 두께의 관
- (2) 성형 후 플랜지의 두께가 관의 두께보다 클 것.
- (3) Flange와 관 사이의 내부 결합부에서 직각 유지를 위해 충분한 부피를 낼 것.
- (4) 원하는 치수로 라운딩부 성형이 가능할 것.
- (5) 성형단계의 최적화

초기 관소재가 펼쳐져 플랜지로 성형되는데 유동에 의해 직경이 증가하므로 관 두께가 얇아지는 현상이 발생한다. 따라서 관이 펼쳐지는 성형공정이 유연하게 이루어져야 한다. 굽힘이 가장 많이 일어나는 부분에 직각부와 라운딩부가 있으므로 이 부분의 부피를 채우기 위한 설계가 필요하다.

특히 외면의 라운딩부를 가공하기 위해서는 NC가공 기계가 필요하기 때문에 성형 공정에서 라운딩부가 완전히 성형되어 절삭가공 공정이 없도록 설계해야 한다.

유한요소해석 상용프로그램인 FORGE V2011을 이용하여 스피닝 공정 해석을 수행하였다. 스티브엔드는 규격품이며 다양한 크기가 있다. 한 예를 들어 JIS 규격에서는 Table 1과 같이 나타내고 있다.

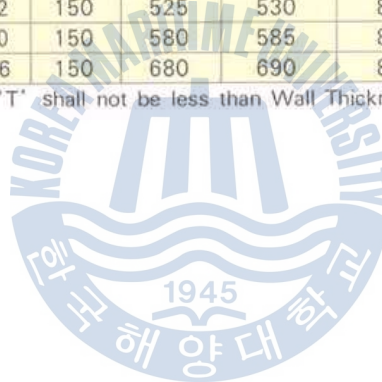
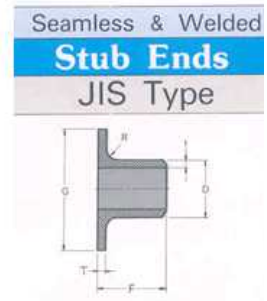
본 논문에서는 유한요소법을 이용하여 일체형 성형법에 대해 시간과 비용을 개선하는 생산방법을 연구하고자 한다.

Table 1 Shape and main dimensions of the flange

Unit : mm

Nominal Pipe Size		Nominal O.D at Bevel D	Length F	Dia. of Lap G		Radius of (Fillet) R (Max.)
A	B			5kgf/cm <sup>2</sup>	10kgf/cm <sup>2</sup>	
15	1/2	21.7	30	46	52	3
20	3/4	27.2	30	52	58	3
25	1	34.0	50	62	70	3
32	1 1/4	42.7	50	74	80	4
40	1 1/2	48.6	50	79	85	4
50	2	60.5	50	89	100	4
65	2 1/2	76.3	50	112	120	5
80	3	89.1	50	125	130	5
100	4	114.3	50	145	155	5
125	5	139.8	50	180	185	6
150	6	165.2	50	210	215	6
200	8	216.3	65	255	265	6
250	10	267.4	65	320	325	6
300	12	318.5	65	365	370	8
350	14	355.6	150	410	415	8
400	16	406.4	150	465	475	8
450	18	457.2	150	525	530	8
500	20	508.0	150	580	585	8
600	24	609.6	150	680	690	8

● Minimum Lap Thickness 'T' shall not be less than Wall Thickness



## 제 2 장 ALE 유한요소해석의 이론적 배경

### 2.1 ALE 유한요소법의 개념

ALE 유한요소법이라는 것은 이른바 ALE 정식화를 도입한 유한요소법<sup>[7]</sup>이다. ALE 정식화라는 것은 메쉬영역을 고정영역으로 하는 물체의 운동을 표현하는 것이다.

ALE 유한요소법의 중요한 개념 중 하나는 메쉬영역  $R_\chi$ (Mesh Domain)이다. 라그랑지안 및 오일러 유한요소법의 경우는 메쉬영역이 각각 물질영역  $R_X$ (Material Domain)와 공간영역  $R_x$ (Spatial Domain)와 일치한다.  $R_\chi$ ,  $R_X$  및  $R_x$  내에 있는 한 점의 좌표를 각각  $\chi_i$ ,  $X_i$ ,  $x_i$  ( $i=1,2,3$ )로 나타내고 메쉬좌표(Mesh Coordinates), 물질좌표(Material Coordinates)라고 하면, 통상적인 좌표계와는 달리 이들의 좌표는 Fig. 10과 같이 각각  $\chi_1-\chi_2-\chi_3$ ,  $X_1-X_2-X_3$  및  $x_1-x_2-x_3$ 으로 표현 된다.

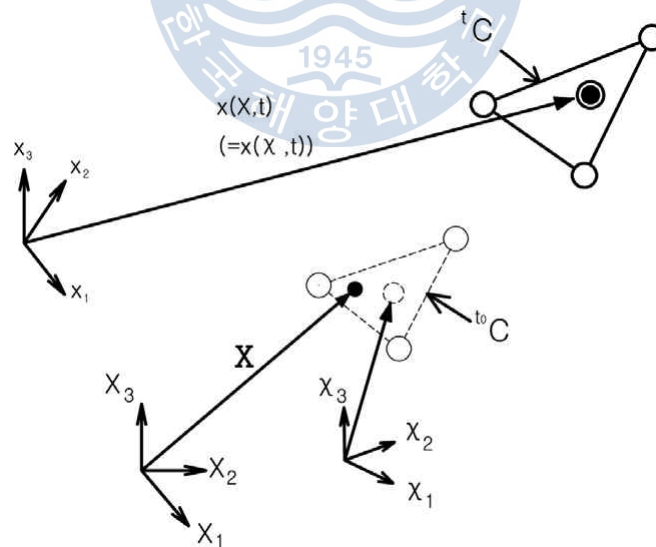


Fig. 9 Coordinates used in the ALE method

공간좌표  $x_1$ 는 메쉬의 현 시각  $t$ 에 대한 위치를 나타낸다. 이것을 식으로 나타내면 다음과 같다.

$${}^t x_j = x_i({}^t \chi, t) \quad (1)$$

단,  ${}^0 \chi = ({}^0 \chi_1, {}^0 \chi_2, {}^0 \chi_3)$ 로 표시하고 초기형상 위의 메쉬점을 의미하며 좌측 위의 첨자는 시각을 나타낸다. 식 (1)에서 나타내는 공간좌표에 어떠한 물질점이 오고 있는가를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$${}^t X_j = X_i({}^t \chi, t) \quad (2)$$

단,  ${}^t \chi = ({}^t \chi_1, {}^t \chi_2, {}^t \chi_3)$ 을 표시하고 공간중의 한 점을 의미한다. 초기 상태 위의 메쉬점  ${}^0 \chi$ 에 어떤 물질점이 오고 있는가를 식으로 나타내면 다음과 같이 된다.

$${}^0 X_j = \hat{X}_i({}^0 \chi, 0) \quad (3)$$

식 (2), (3)의 물질좌표  $X_i$ 의 좌측아래의 첨자는 같은 시각을 표시하고, 형태에 있어서 어느 시각의  $X$  인가를 명기하기 위한 기호이다.

ALE정식화는 메쉬영역  $R_\chi$ 를 고정영역으로 하는 물체의 운동을 표현하는 것이고, 다시 그 위에 메쉬점이 임의의 속도로 움직일 수 있기 때문에  ${}^t X \neq {}^0 X$ 이 성립한다. 초기단계  $t = t_0$ 부터 최종단계  $t = t_E$ 까지 기지의 영역은  $t = t_0$ 에 의해서 정의되어진 메쉬영역  $R_\chi$ 이다. 임의의 시각  $t = t$ 에 있어서  $R_\chi$ 가 차지하는 공간영역  $R_x$ 와 그  $R_x$ 에 들어가 있는 물질영역  $R_X$ 는 미지이고 시간과 함께 변화해간다.  $R_X$  및  $R_x$ 의 관계를 식으로 나타내면, 각각 다음과 같이 된다.

$${}^{t+\Delta t} X_i = {}^t X_i + {}^0 X_i \quad (4)$$

$${}^{t+\Delta t} x_i = {}^t x_i + x_i \quad (5)$$

식 (4)와 (5)의  $\Delta t$ 는 증분의 크기를 나타내며 좌상에 첨자가 없는 항은 증분량을 나타낸다.

## 2.2 ALE법에 의한 강성매트릭스 구성

변형후의 형상이 이용된 가상일의 방정식은 (6)과 같다.

$$\int_{t+\Delta R_x} \delta \frac{\partial u_i}{\partial t+\Delta t} {}^{t+\Delta t} \tau_{ij} d^{t+\Delta t} V = \int_{t+\Delta R_x} \partial u_i {}^{t+\Delta t} b_i d^{t+\Delta t} V + \int_{t+\Delta R_x} \partial u_i {}^{t+\Delta t} t_i d^{t+\Delta t} A \quad (6)$$

식 (6)의 좌변만을 다음과 같이 쓴다.

$$\delta {}^{t+\Delta t} W_i = \int_{t+\Delta R_x} \delta \frac{\partial u_i}{\partial t+\Delta t} {}^{t+\Delta t} \tau_{ij} d^{t+\Delta t} V \quad (7)$$

식 (7)의 적분 영역은 시각  $t+\Delta t$ 에 있어서 공간영역으로 기지의 메쉬영역  $R_x$ 를 이용하여 선형화하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} \delta ({}^t W_i + W_i) &= \int_{R_x} \delta \frac{\partial u_i}{\partial {}^0 \chi_k} \frac{\partial {}^0 \chi_k}{\partial t+\Delta t} {}^{t+\Delta t} \tau_{ij} \hat{J} d^0 \hat{V} \\ \delta ({}^t W_i + W_i) &= \int_{R_x} \delta \frac{\partial u_i}{\partial {}^0 \chi_k} \frac{\partial {}^0 \chi_k}{\partial t} {}^t \tau_{ij} \hat{J} d^0 \hat{V} \\ \delta ({}^t W_i + W_i) &= \int_{R_x} \delta \frac{\partial u_i}{\partial {}^0 \chi_k} \frac{\partial {}^0 \chi_k}{\partial t} {}^t \tau_{ij} \hat{J} d^0 \hat{V} + \delta \left( \frac{\partial {}^t W_i}{\partial t} \Delta t \right) \end{aligned} \quad (8)$$

식 (8)의  $W_i$  는 시각  $t$ 에서  $t+\Delta t$ 의 사이에서 발생하는 내부일의 증분이다. 식 (8)으로부터 내부에너지에 대한 변분식은 식 (9)과 같다.

$$\begin{aligned} \delta {}^t W_i &= \int_{R_x} \delta \frac{\partial u_i}{\partial {}^0 \chi_k} \frac{\partial {}^0 \chi_k}{\partial t} {}^t \tau_{ij} \hat{J} d^0 \hat{V} \\ \delta ({}^t W_i)^* &= \int_{R_x} \delta \frac{\partial u_i}{\partial {}^t \chi_k} \left[ \left( \frac{\partial {}^0 \chi_k}{\partial t} \right)^* {}^t \tau_{ij} \hat{J} + \frac{\partial {}^0 \chi_k}{\partial t} ({}^t \tau_{ij})^* \hat{J} + \frac{\partial {}^0 \chi_k}{\partial t} {}^t \tau_{ij} ({}^t \hat{J})^* \right] d^0 \hat{V} \end{aligned} \quad (9)$$

재료상수와 응력 및 메쉬속도인  $C_{ijkl}$ ,  $S_{ijkl}$ ,  ${}^t \hat{v}_i$  를 고려하여 식 (9)를 정리하면 다음의 식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \delta ({}^t W_i) &= \int_{R_x} {}^t \delta u_{i,jt} C_{ijkl} {}^t v_{k,l} d^t V + \int_{R_x} {}^t \delta u_{i,j} {}^t \tau_{ijt} {}^t v_{i,l} d^t V + \int_{R_x} {}^t \delta u_{i,j} ({}^t \tau_{ik} c_{j,k} - {}^t \tau_{ij} {}^t c_{k,k} - {}^t c_{kt} {}^t \tau_{ij,k}) d^t V \end{aligned} \quad (10)$$

식 (10)에서  ${}^t c_i$  는 상대속도로서  ${}^t c_i = {}^t v_i - {}^t \hat{v}_i$  이다.

내부 가상일 식 (10)에 시간 증분  $dt$ 를 대입하면, 다음에 나타나는 내부 가상일의 증분식을 얻을 수 있다.



$$\begin{aligned} & \delta({}^t W_i) \\ &= \int_{{}^t R_x} {}^t \delta u_{i,jt} C_{ijkl} {}^t u_{k,l} d{}^t V + \int_{{}^t R_x} {}^t \delta u_{i,j} {}^t \tau_{ijt} u_{i,l} d{}^t V + \int_{{}^t R_x} {}^t \delta u_{i,j} ({}^t \tau_{ik} \bar{u}_{j,k} - {}^t \tau_{ik} \bar{u}_{k,k} - \bar{u}_k {}^t \tau_{ij,k}) d{}^t V \end{aligned} \quad (11)$$

단,  $c_j dt = \bar{u}_j$ ,  $\delta(W_i)^* = \delta(W_i)^* dt$  이다.

식 (11)을 이산화하면 다음과 같은 접선강성식을 얻을 수 있다.

$$({}^t K_L + {}^t K_{NL})u + {}^t K_{ALE} \bar{u} \quad (12)$$

일반적인 기하학적 비선형 유한요소법과 비교해 보면

${}^t K_L, {}^t K_{NL}$  은 각각 선형, 비선형 강성매트릭스이고,  ${}^t K_{ALE}$ 가 ALE유한요소법에 새롭게 추가되는 매트릭스이다.  $u$ 는 절점의 증분변위,  $\bar{u}$  는  $u$ 와 절점의 증분변위  $\hat{u}$  사이에 발생하는 상대변위이다.  ${}^t K_L, {}^t K_{NL}$ 는 통상적인 기하학적 비선형 해석법으로 구해지고,  ${}^t K_{ALE}$ 는  $\bar{u}$ 가 발생하는 것에 의해 나타나는 것이다. 여기에서, 식 (12)를 이용해 선형화 증분 평형방정식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$({}^t K_L + {}^t K_{NL})u + {}^t K_{ALE} \bar{u} = {}^{t+\Delta t} P - {}^t F \quad (13)$$

${}^{t+\Delta t} P, {}^t F$  는 제각기 절점 외력 및 내력벡터이다.  $\bar{u}$ 는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\bar{u} = u - \hat{u} \quad (14)$$

식 (14)을 고려하면, 식 (13)은 다음과 같이 된다.

$$({}^t K_L + {}^t K_{NL} + {}^t K_{ALE})u = {}^{t+\Delta t} P - {}^t F + {}^t K_{ALE} \hat{u} \quad (15)$$

식 (15)에서 알 수 있듯이 일반적인 라그랑지안 유한요소법과 비교하면, 접선강선 및 불평형력 벡터에 각각  ${}^t K_{ALE}$  와  ${}^t K_{ALE} \hat{u}$  가 새롭게 추가되게 된다. 이  ${}^t K_{ALE}$ 와  ${}^t K_{ALE} \hat{u}$  는 상대변위  $\bar{u}$ 가 생기는 것에 의해 생기는 힘이며, ALE 유한요소법에서만 다루어지는 항이다.



## 제 3 장 FEM을 이용한 스피닝 공정 분석

### 3.1 해석흐름도

해석은 Fig. 10 과 같이 진행된다. 초기 모델을 생성하고 설계변수 중 주 인자를 선택하여 해석 모델을 생성한다. 해석을 수행하여 수렴시 제조공정 시 참고사항이 되는 데이터로 저장이 되고 비수렴시 모델 수정을 반복한다. 이후 제조 및 실험을 진행한다.

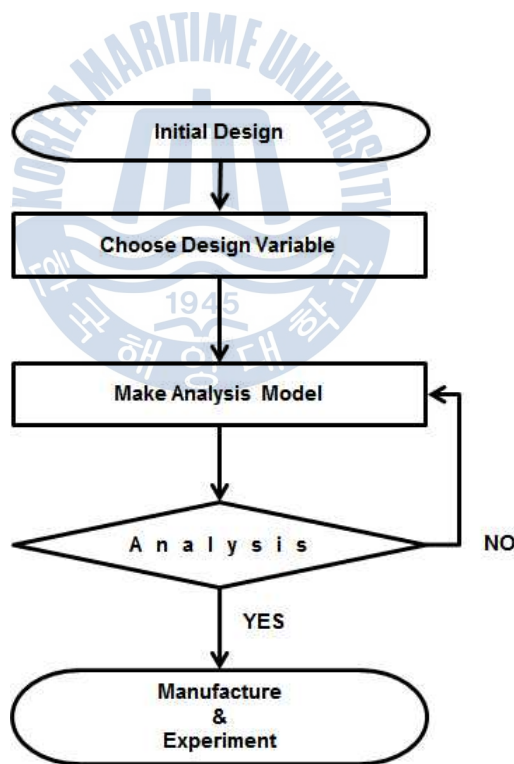


Fig. 10 Analysis flow chart

### 3.2 목표 치수 설정

미국기계학회에서 제시한 스티브엔드의 규격은 Table 3 에 표시하였다. 본 논문에서는 실제 현장에서 많이 사용하는 크기인 4 인치 크기의 스티브엔드 해석에 목표를 두었다. ASME Code B16.9-2007(Factory Made Wrought Butt welding Fittings)로 규정된 4 인치 크기의 스티브엔드<sup>[8]</sup>는 파이프부분의 외경이 113.5 mm ~ 116.7 mm 이며 Sch. 10에서의 파이프 두께는 3.05 mm 이다. 사용 용도에 따라 총길이가 각각 76 mm와 152 mm 가 있다.

랩 조인트 플랜지와 조립 시 접촉하는 부분인 라운드부의 치수가 반경 11 mm이고 Table 4 에서 제시된 허용공차 내로 제작이 되지 않을 시에는 랩 조인트 플랜지와 조립이 정상적으로 되지 않을 수 있어 제작 시 매우 핵심적인 치수가 된다. 랩 (lap)의 직경은 157 mm로 명시 되어있다.

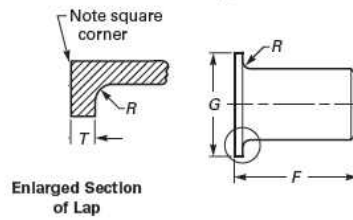
따라서, 본 논문에서 허용오차를 고려한 제작 목표로 할 치수는 랩 직경이 156 mm ~ 157 mm 이며, 라운드부의 치수는 반경이 9 mm ~ 11 mm 이고, 랩 두께는 3.05 mm ~ 4.65 mm 이다.

Table 2 은 제작 목표로 할 치수를 정리하였다.

Table 2 Target dimension

Stub-end Size	Diameter of Lap, G (mm)	Radius of Fillet , R (mm)	Lap Thickness, T (mm)	Short Pattern Length, F
4 inch	156~ 157	9 ~ 11	3.05 ~ 4.65	76

Table 3 Dimensions of lap joint stub ends (ASME)



Nominal Pipe Size (NPS)	Outside Diameter of Barrel		Long Pattern Length, <i>F</i>	Short Pattern Length, <i>F</i>	Radius of Fillet, <i>R</i>	Diameter of Lap, <i>G</i>
	Max.	Min.				
1/2	22.8	20.5	76	51	3	35
3/4	28.1	25.9	76	51	3	43
1	35.0	32.6	102	51	3	51
1 1/4	43.6	41.4	102	51	5	64
1 1/2	49.9	47.5	102	51	6	73
2	62.4	59.5	152	64	8	92
2 1/2	75.3	72.2	152	64	8	105
3	91.3	88.1	152	64	10	127
3 1/2	104.0	100.8	152	76	10	140
4	116.7	113.5	152	76	11	157
5	144.3	140.5	203	76	11	186
6	171.3	167.5	203	89	13	216
8	222.1	218.3	203	102	13	270
10	277.2	272.3	254	127	13	324
12	328.0	323.1	254	152	13	381
14	359.9	354.8	305	152	13	413
16	411.0	405.6	305	152	13	470
18	462.0	456.0	305	152	13	533
20	514.0	507.0	305	152	13	584
22	565.0	558.0	305	152	13	641
24	616.0	609.0	305	152	13	692

Table 4 Tolerances of stub ends (ASME)

Nominal Pipe Size (NPS)	Lap Joint Stub Ends [Note (6)]			
	DN	Outside Diameter of Lap, <i>G</i>	Fillet Radius of Lap, <i>R</i>	Lap Thickness
1/2 to 2 1/2	15-65	+0, -1	+0, -1	+1.6, -0
3 to 3 1/2	80-90	+0, -1	+0, -1	+1.6, -0
4	100	+0, -1	+0, -2	+1.6, -0
5 to 8	125-200	+0, -1	+0, -2	+1.6, -0

### 3.3 SUS304의 물성

Fig. 11 은 스피닝 공정 해석을 수행하기 위하여 필요한 SUS304 재질의 파이프를 온도 및 변형률 속도에 따른 응력 - 변형률 선도를 나타낸 것이며, 네 가지 변형률 속도 10 /sec, 30 /sec, 50 /sec, 100 /sec에 대하여 표시하고 있다. Table 5 는 SUS304의 화학적 조성을 나타내고 Table 6는 SUS304의 물성치를 나타낸다.<sup>[9]</sup>

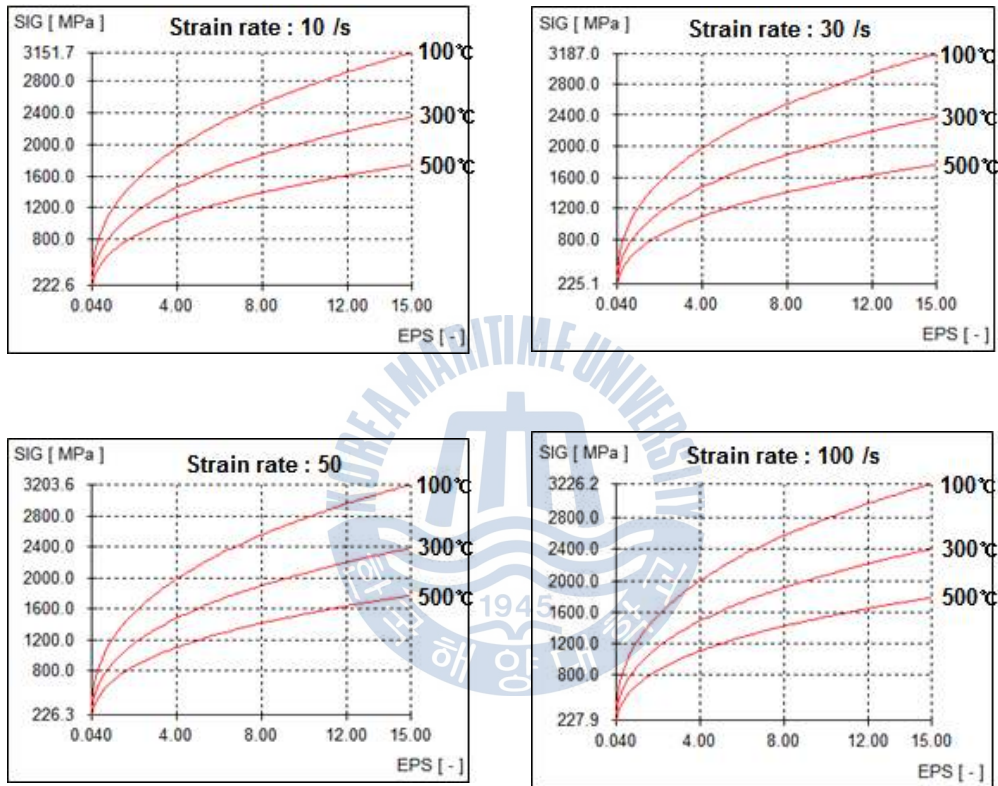


Fig. 11 Stress and strain relationship according to the temperature and strain rate

**Table 5** Chemical compositions of SUS304

Element	Composition(wt. %)
C	0.04
Cr	17.9
Ni	7.9
Mn	1.1
P	0.03
S	0.009
Mo	0.08

**Table 6** Material property of SUS304

Item	Value	Unit
Friction factor	0.3	-
Specific Heat	778	J/kg°C
Conductivity	35.5	W/m°C
Emissivity	0.88	-
Density	7850	kg/m <sup>3</sup>

### 3.4 공정 해석 모델 생성

#### 3.4.1 공정 해석 개략도

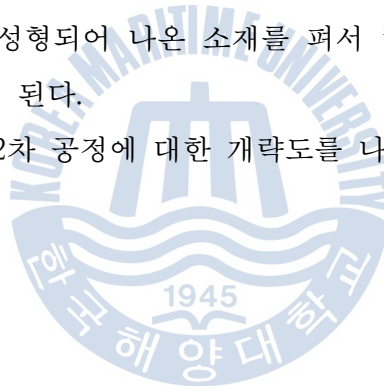
스피닝 해석 시 사용되는 부품은 크게 파이프를 고정 시키는 내부 금형, 소재의 모양을 만드는 외부금형 및 소재가 되는 파이프, 1차 공정롤러, 2차 공정롤러가 있다.

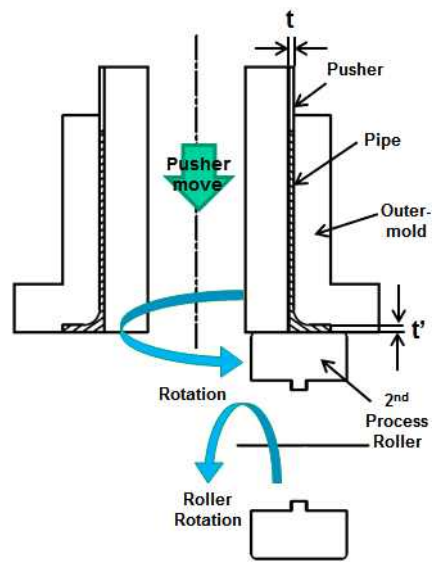
1차 성형공정에서 파이프는 외부금형과 내부금형 사이에 조립이 되며 외부금형의 회전력으로 인하여 파이프와 내부금형은 같은 회전속도로 회전을 하게 된다. 유압 실린더에 연결된 pusher로 파이프를 아래로 밀어내며 1차 공정롤러로 성형이 이루어진다.

1차 공정의 주목적은 소재를 외부금형과 내부금형, 롤러사이에 가두어 뭉쳐서 라운드부의 반지름 값을 10 mm 로 만들고 파이프의 끝부분은 직각으로 만드는 것이다.

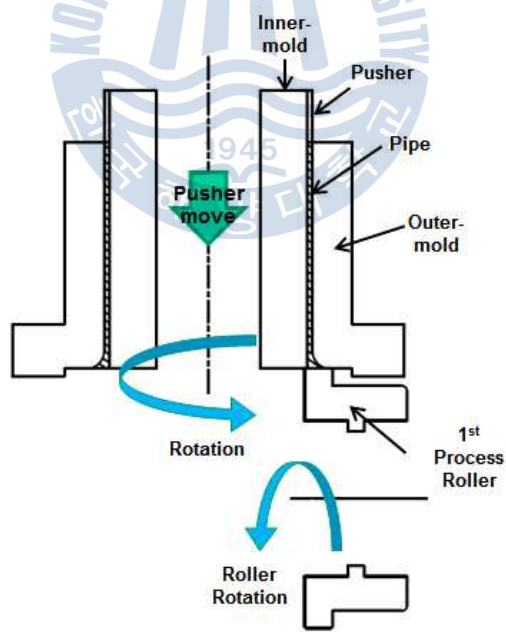
2차 공정은 1차 공정 후 성형되어 나온 소재를 펴서 랩 두께를 늘린 후 스테르브엔드의 최종 형상으로 만들게 된다.

Fig. 12 는 1차 공정 및 2차 공정에 대한 개략도를 나타낸다.





(a) 1<sup>st</sup> Process



(b) 2<sup>nd</sup> Process

Fig. 12 Schematic diagram of process analysis

### 3.4.2 모델링

스피닝 공정 해석에 사용된 모델은 Unigraphics NX 6 프로그램 작업 환경에서 모델링이 되었다. Fig. 13 에 표기 되어있는 각 부품들의 치수는 실제 실험에서 쓰이는 부품들의 치수와 같다.

본 논문에서는 4 inch Sch. 10 파이프를 성형하는 것을 기준으로 모델링이 되었다. 또한, Fig. 14 는 각 부품을 조립하여 그려 놓은 그림이다.

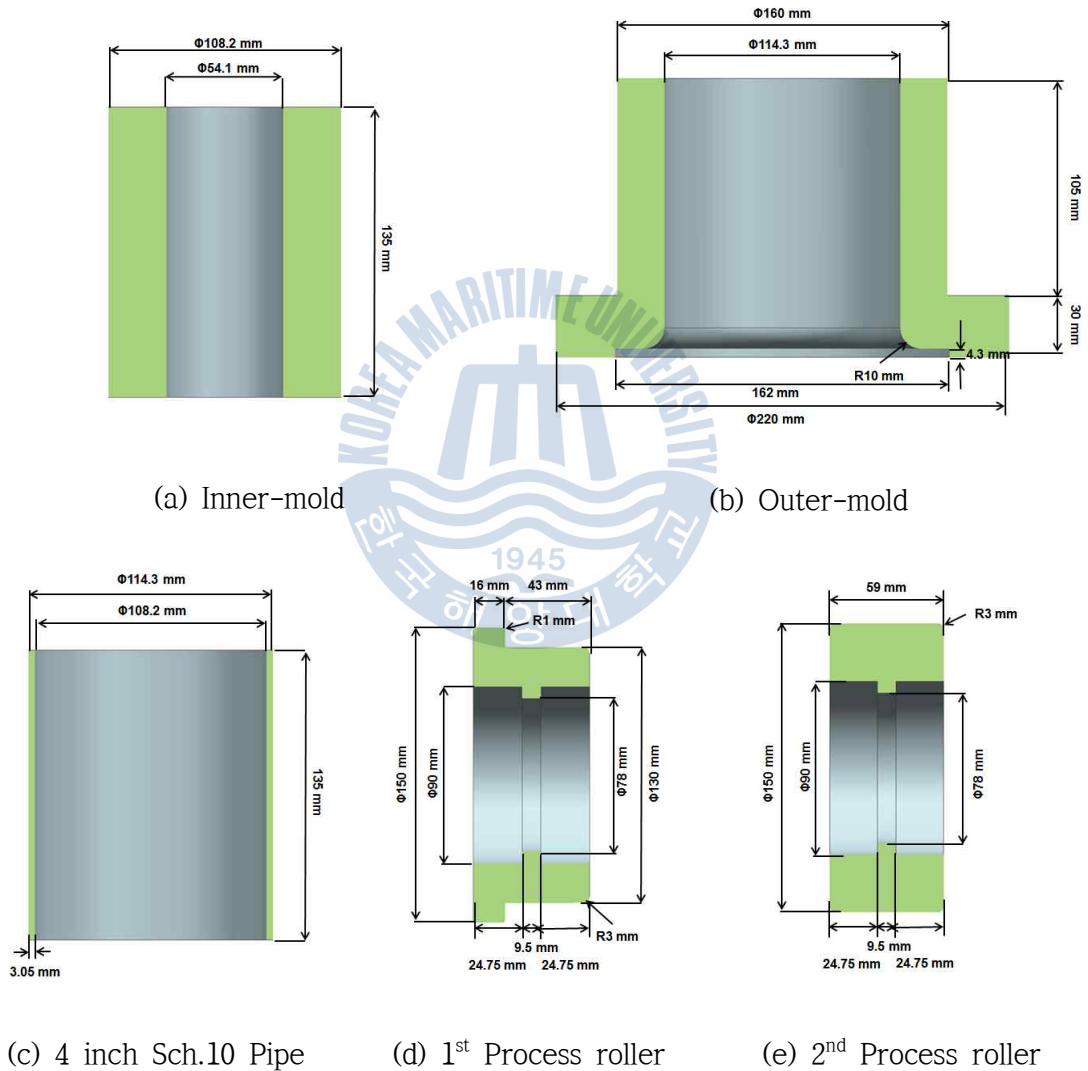


Fig. 13 The dimensions of each part



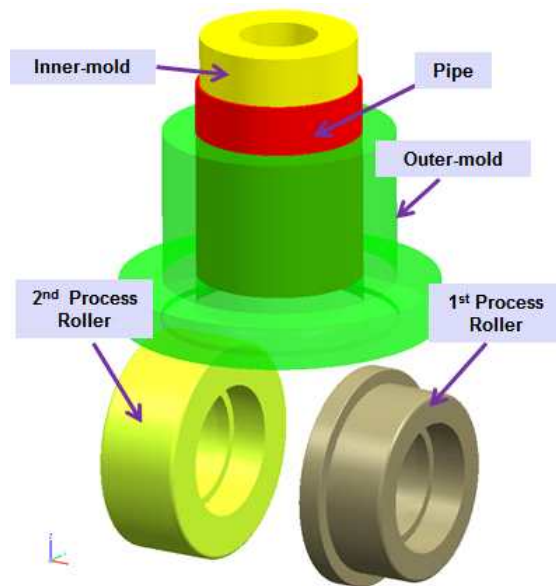


Fig. 14 Modeling of each part for the spinning process



### 3.4.3 메쉬

스피닝 공정의 해석을 위하여 금속성형 해석 툴인 FORGE V2011을 이용하였다. 일반적인 소성가공 문제를 해석하는데 있어서는 라그랑지법(Lagrangian method)을 사용하지만, 스피닝과 같이 소재의 회전 및 유동변화가 존재하는 경우에는 ALE(Arbitrary Lagrangian Eulerian) 방법을 소성가공 해석에 접목시키는데 이 방법은 Lagrangian method와 Eulerian method의 장점을 취한 것으로 계산 격자의 움직임과 연속체 입자의 상대운동을 모두 고려할 수 있다. ALE법의 경우 해석의 소요시간이 다른 해석과 비교하여 굉장히 많이 소요되기 때문에 해석을 위한 모델들은 성형 해석시간 단축을 위해 파이프의 일부만 모델링을 하였다.

메쉬는 ALE 메쉬를 사용<sup>[7][9]</sup>하였으며, 해석의 정확도를 높이기 위하여 변형부에 메쉬를 세분화 하였다. Fig. 15는 파이프와 롤러의 접촉상태를 나타내는 단면도이며, 롤러와 접촉하는 영역 ①, 천이영역 ② 그리고 롤러와 접촉하지 않는 영역 ③으로 나누어 Table 7과 같이 각도에 따라 메쉬의 수를 설정하였고 이를 파이프의 메쉬 형상으로 Fig. 16에 나타내었다.

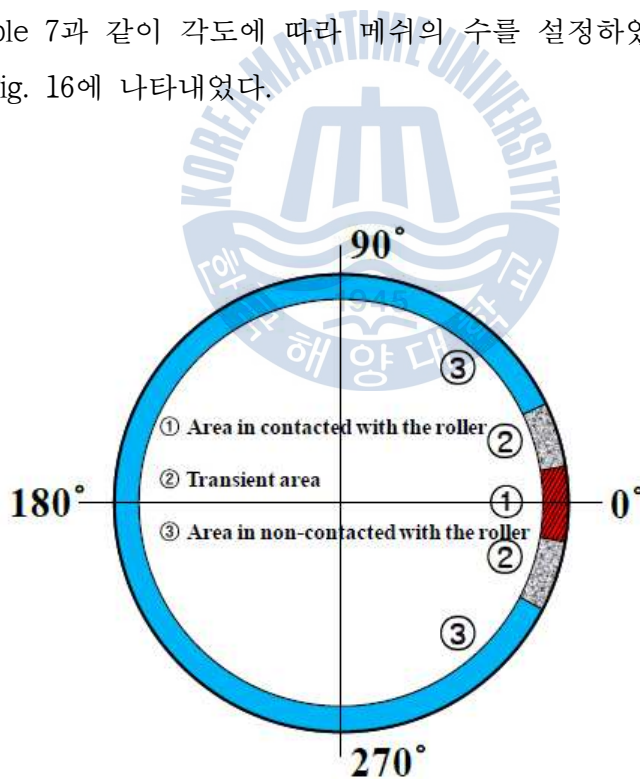
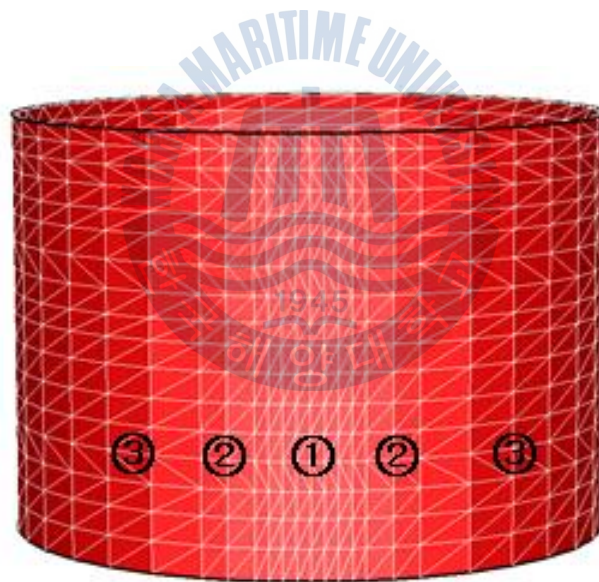


Fig. 15 Areas of the liner to be contracted with roller

**Table 7** Mesh number according to angle

Area	Start angle(° )	End angle(° )	Numbers of Mesh (ea)
①	0	10	4
②	10	20	2
③	20	340	32
②	340	350	2
①	350	360	4
Mesh Number(circumferential direction)			44



**Fig. 16** Meshes to carry out ALE method

## 3.5 공정 해석

### 3.5.1 1차 공정 해석

Fig. 17 은 본 논문에서 제안된 1차 공정에서의 해석모델에 대한 내용이다. 기존의 실험방법에서는 pusher를 위에서 아래로 압하 시키는 방식이지만 계산 수렴성을 좋게 하고 파이프가 퍼지는 형상을 보기 쉽게 하기 위하여 해석모델을 상하를 바꾸었다.

외부금형이 주 구동체이고 반시계방향으로 회전을 하게 된다. 내부금형 및 두 금형사이에 낀 파이프도 외부금형의 회전력 때문에 자회전을 하게 된다. 1차 공정 롤러도 파이프의 마찰 때문에 별다른 동력원 없이 자회전을 하게 된다. Fig. 17 에서는 해석 시 소재가 다이의 끝단에서 말려들어가는 오류를 제거하기 위해 내부 금형과 롤러를 겹치게 나타냈다. 스피닝 공정시 플랜지부 두께 증가를 위한 곡률 생성이 이루어지고 직각부를 형성하는 것이 본 공정의 목표이다.

해석 조건은 Table 8 에 명시된 것 같이 외부금형의 회전속도는 100 rpm, 1차 공정 롤러의 회전수는 76 rpm이다.

파이프와 1차 공정 롤러의 접촉면에서 두 물체의 선속도가 같게 하기 위하여 파이프와 1차 공정 롤러의 직경비를 계산해서 회전속도를 조절하였다.

Pusher 압하 속도는 0.5 mm/s 이고 마지막으로 파이프와 1차 공정롤러의 마찰계수는 0.3을 입력하였다. Fig. 17은 각 구성품 들의 배치와 해석 시 변수를 나타내고 해석조건은 Table 8 에 정리하였다.

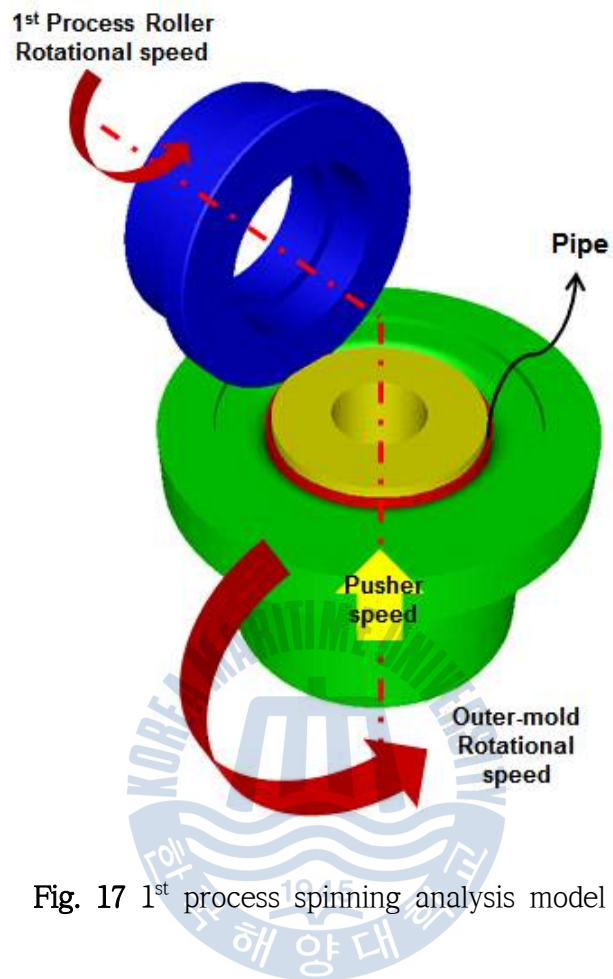


Fig. 17 1<sup>st</sup> process spinning analysis model

Table 8 1<sup>st</sup> process analysis conditions

Outer-mold Rotational speed (rpm)	1st Process Roller Rotational speed (rpm)	Pusher speed (mm/s)	Friction factor
100	76	0.5	0.3

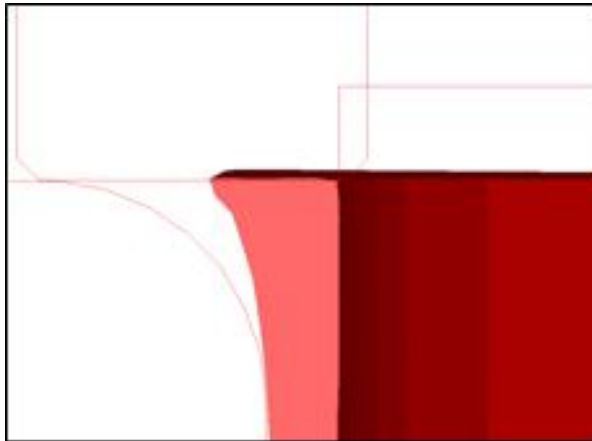
1차 공정 해석 결과 소재가 직각부를 형성하면서 소재가 롤러 쪽에서 뭉쳐지며 Pusher 압하 깊이가 10.5 mm 일 때 목표 형상이 되는 라운드부 형성과 직각부 형성되는 것을 확인 할 수 있었다. Fig. 18 에서는 Pusher의 압하 깊이가 각각 5 mm 와 10.5 mm 일 때의 단면형상을 나타내었다.

Fig. 19 에서는 5 mm와 10.5 mm 일 때 스트레인의 분포를 나타내었다. 직각부를 형성하는 부분에서 스트레인이 대체로 크다는 것을 알 수 있다.

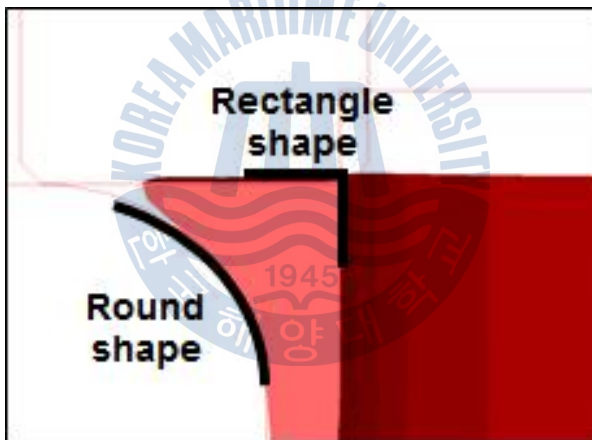
Fig. 20 에서는 시간에 따른 1차 공정 롤러의 하중변화를 나타내었다.

Pusher가 0.5mm/s 속도로 압하시 pusher 변위가 10 mm 지점인 공정 시작 후 20초 부근에서의 하중이 급격하게 증가하게 되며, 21초에서 롤러 하중이 12.343 ton으로 가장 크게 되었다.



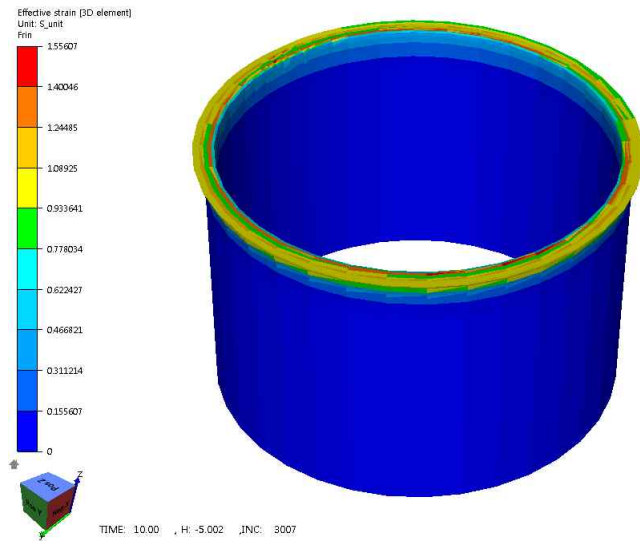


(a) Pusher distance : 5 mm

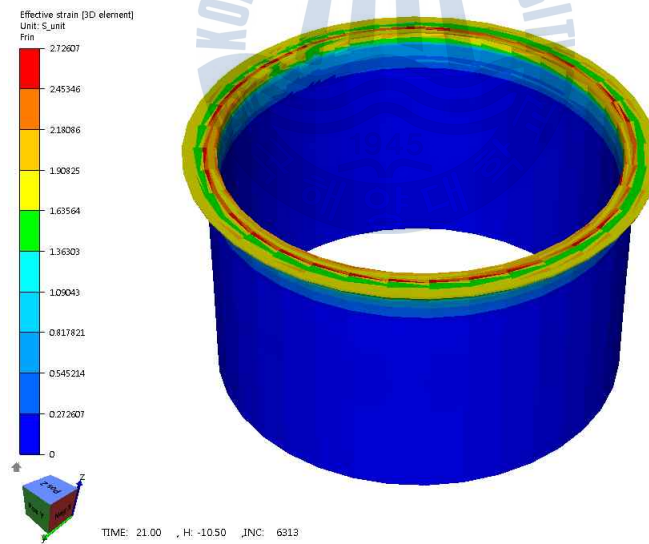


(b) Pusher distance :10.5 mm

Fig. 18 According to the pusher distance of appearance



(a) Pusher distance : 5 mm



(b) Pusher distance :10.5 mm

Fig. 19 According to the pusher distance of effective strain



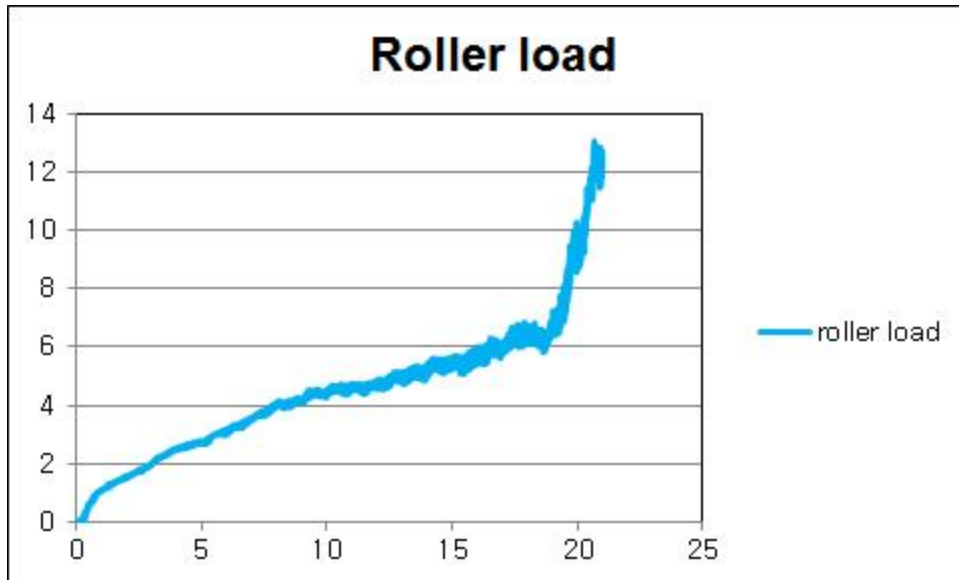
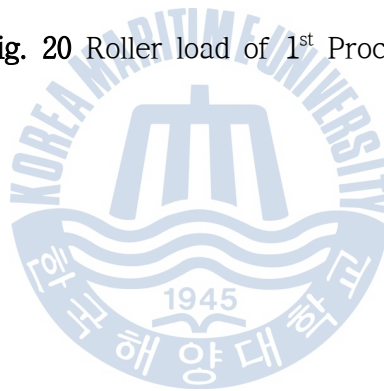


Fig. 20 Roller load of 1<sup>st</sup> Process



### 3.5.2 2차 공정 해석

스터브엔드 제작 2차 공정에서는 1차 공정 결과물을 가지고 진행하게 된다. 본 논문의 해석도 1차 공정 결과 메쉬 파일을 불러와 진행을 하였다.

1차 공정에서는 랩 두께를 형성하기 위하여 외부금형과 롤러사이에 소재를 등글게 뭉쳐 모았다는 것이 목표였다면 2차 공정에서는 등글게 뭉친 소재를 펼치면서 스텐드 브엔드의 최종형상을 제작하는 것이 목표이다.

Fig. 21 은 2차 공정에서는 각 구성품 들의 배치와 해석 시 변수를 나타내었다. 소재를 펼치기 위하여 롤러의 폭이 이전 공정에 비하여 넓어졌다.

2차 공정에서는 롤러의 회전 속도 뿐만 아니라 두께를 서서히 형성하기 위한 롤러의 상하 움직임이 추가로 고려가 되어야 한다.

이를 위하여 Table 9 과 같이 3가지 케이스로 나누어 해석이 진행이 되었다.

첫 번째 케이스는 2차 공정 롤러의 상하 움직임이 고려되지 않고 외부금형에서 4.3 mm 떨어진 위치에서 성형을 시작하는 방법이다.

두 번째 케이스는 롤러를 파이프에 붙여놓고 일정한 속력으로 압하하여 소재의 두께를 형성하는 방법이다.

마지막으로 세 번째 케이스는 두 번째 케이스와 같이 파이프에 롤러를 붙여놓고 성형을 시작하지만 롤러의 속력이 일정하게 감속하는 방법이다.

Fig. 22 는 위의 내용을 그림으로 도식화 한 내용이다.

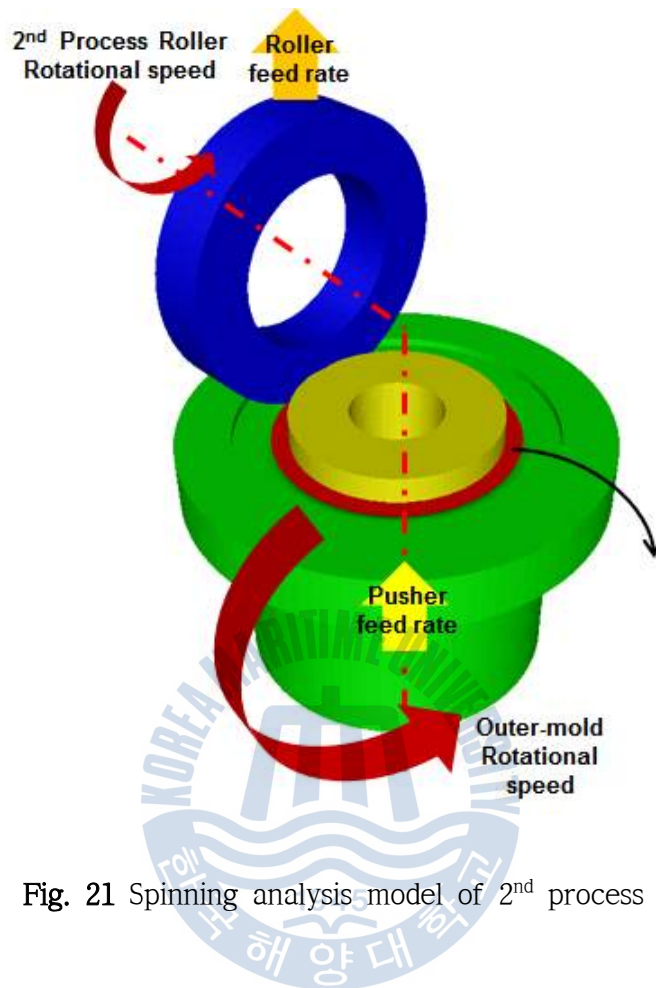
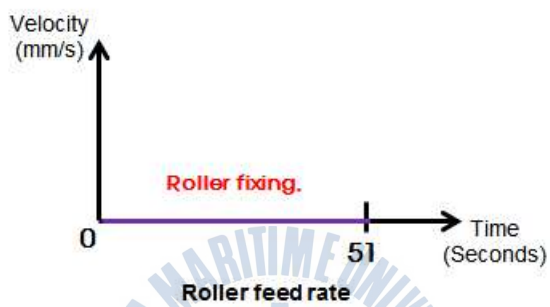
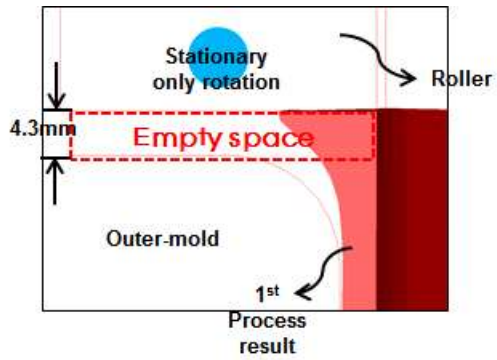


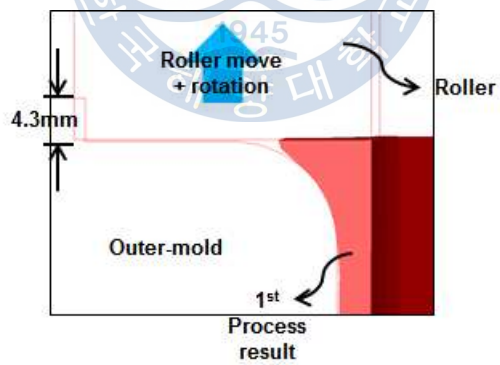
Fig. 21 Spinning analysis model of 2<sup>nd</sup> process

Table 9 Analysis conditions of 2<sup>nd</sup> process

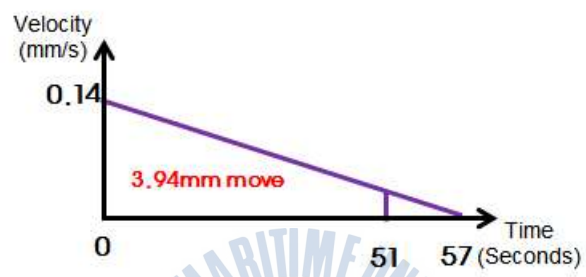
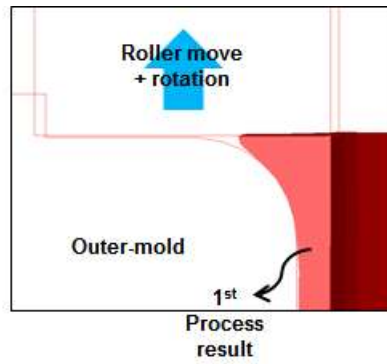
Simulation cases	Outer-mold Rotational speed (rpm)	1st Process Roller Rotational speed (rpm)	Pusher speed (mm/s)	Roller speed (mm/s)
1	100	100	1	0
2	100	100	1	0.1
3	100	100	1	0.14 → 0



(a) Case 1



(b) Case 2



Roller feed rate

(c) Case 3

Fig. 22 2<sup>nd</sup> process spinning analysis cases

해석 결과 Case 1 의 경우 Fig. 23 (b) 에서 보여 지는 것과 같이 10 mm 압하 후 부터 소재가 접혀서 이후에는 노드 머징이 이루어진다. 또한 40 mm 압하 시에도 폴딩이 이루어지기 때문에 강도면 에서 불리하게 작용하게 되므로 올바른 공정이 될 수 없다.

Case 2 의 경우 초기 롤러의 압하 속도가 낮아 소재가 얇게 펴져서 Fig. 24 에서 나타낸 것과 같이 40 mm 압하 시에는 스티브엔드의 끝 부분이 접히게 되므로 올바른 공정이 될 수 없다.

롤러가 압하 될수록 채워져야 할 소재가 많아지므로 Case 3 과 같이 점점 감속하게 되는 2차 공정 롤러 속도를 정하게 되었다.

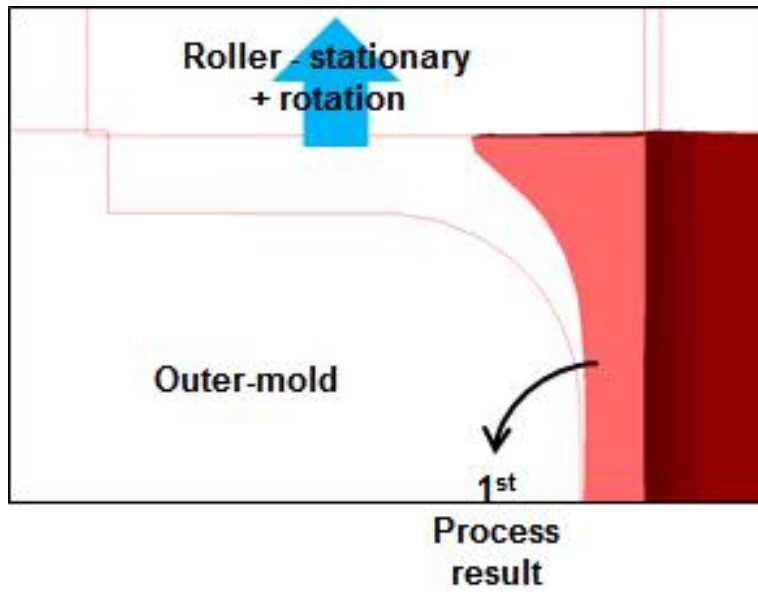
그 결과, Fig. 25 와 같이 직각부 및 반경 10 mm의 라운드부에 소재가 모두 채워졌으며, 초기에 0.2 mm 롤러를 이격시킨 것을 포함하여 4.14 mm의 랩 (Lap) 두께를 형성하였다.

스티브엔드의 랩 두께는 3.05 mm 이상이면 규격을 만족한다고 할 수 있지만 실제로는 추가로 표면 가공이 필요하므로 두께가 3.05 mm 보다 더 두껍게 성형이 되어야 한다.

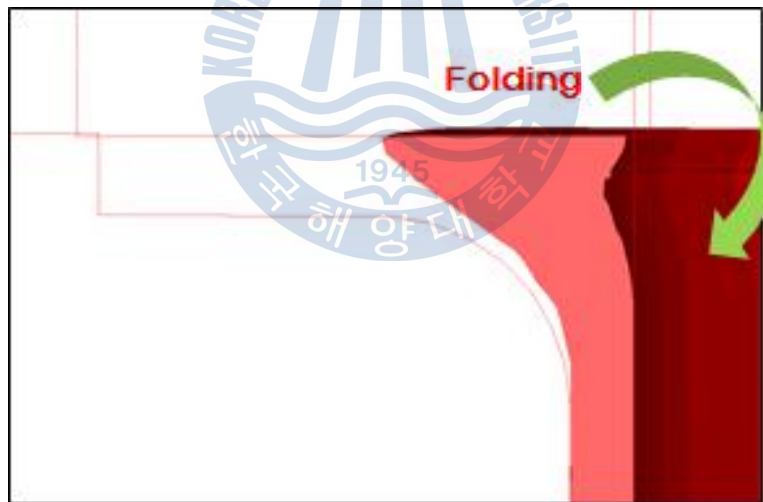
2차 공정에서 pusher를 51 mm 가 채워졌을 때 본 논문에서 목표로 하는 치수에 도달 하였다.

Fig. 27 은 pusher가 51 mm를 압하할 동안 롤러 하중변화를 나타낸 그래프이다. 40초 이후에는 하중이 급격하게 상승하는 것을 볼 수 있는데 이유는 Fig. 27(e)에서 보여지듯이 소재가 외부금형의 끝에 접촉하여 스티브엔드의 끝부분에서 두께를 형성하기 때문에 하중이 커지게 된다. 2차 공정 롤러의 최대하중은 50.987초에서 99.205 ton 이다.

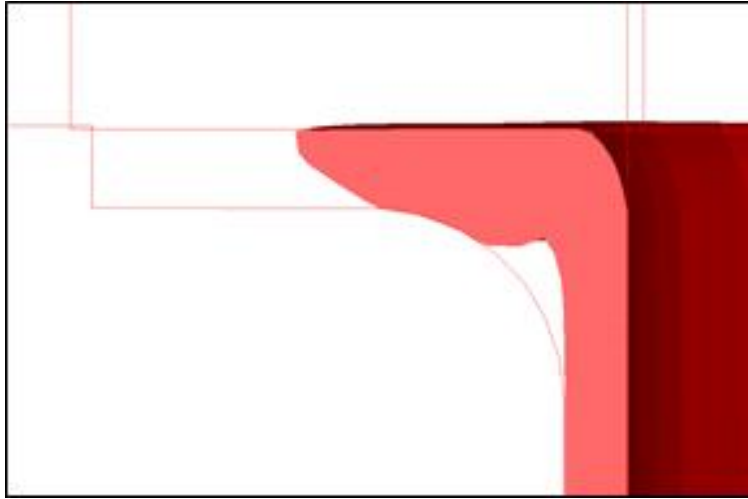
스트레인 분포는 Fig. 26 에 나타내는 것과 같이 직각부에서 가장 큰 것을 알 수 있다.



(a) Initial shape



(b) Roller distance : 10 mm

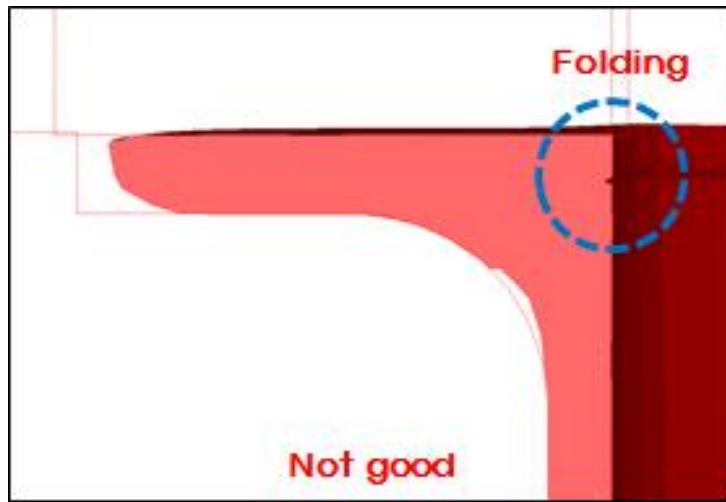


(c) Roller distance : 20 mm



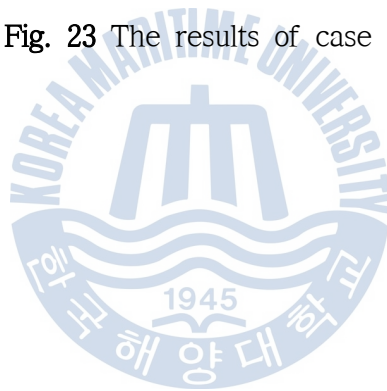
(d) Roller distance : 30 mm

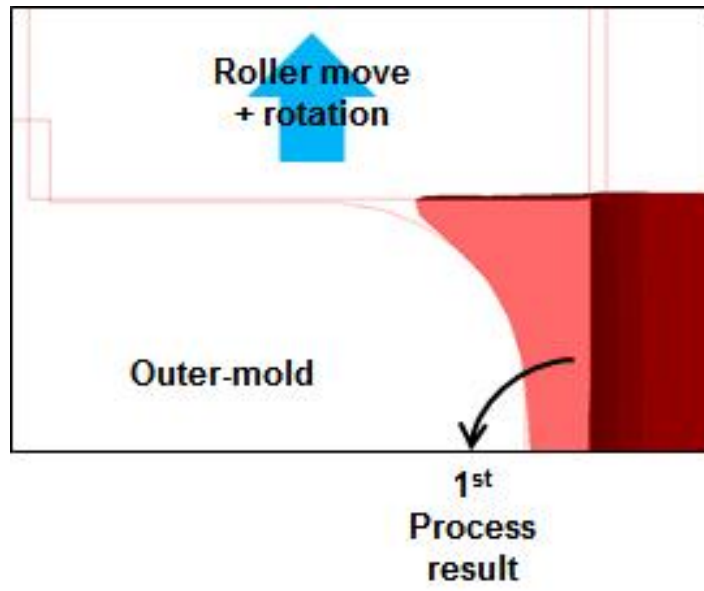




(e) Roller distance : 40 mm

Fig. 23 The results of case 1

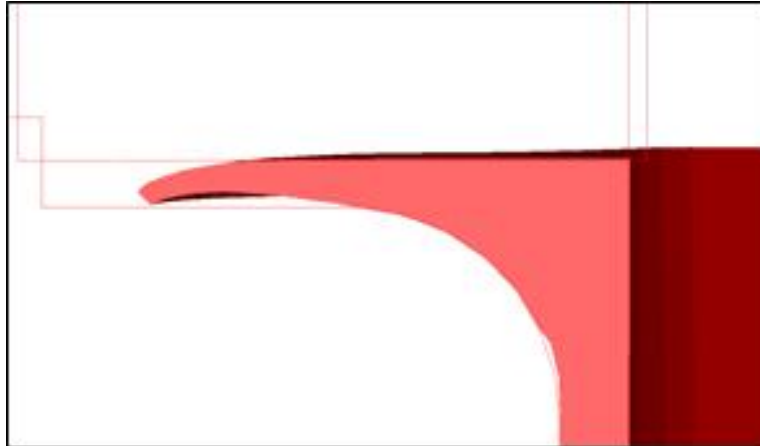




(a) Initial shape



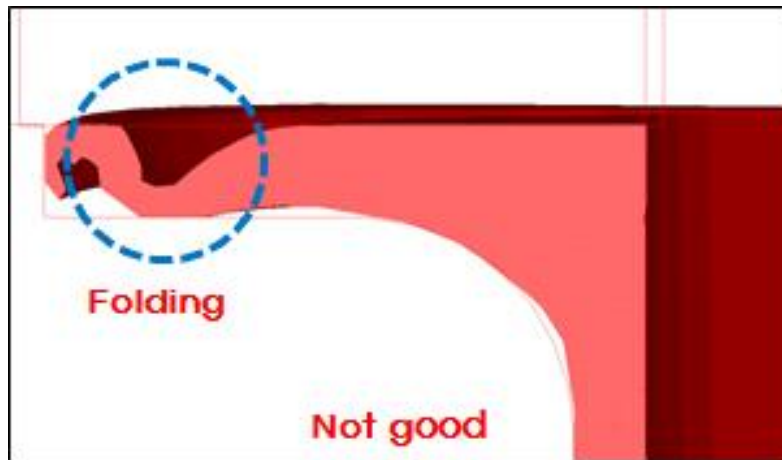
(b) Roller distance : 10 mm



(c) Roller distance : 20 mm



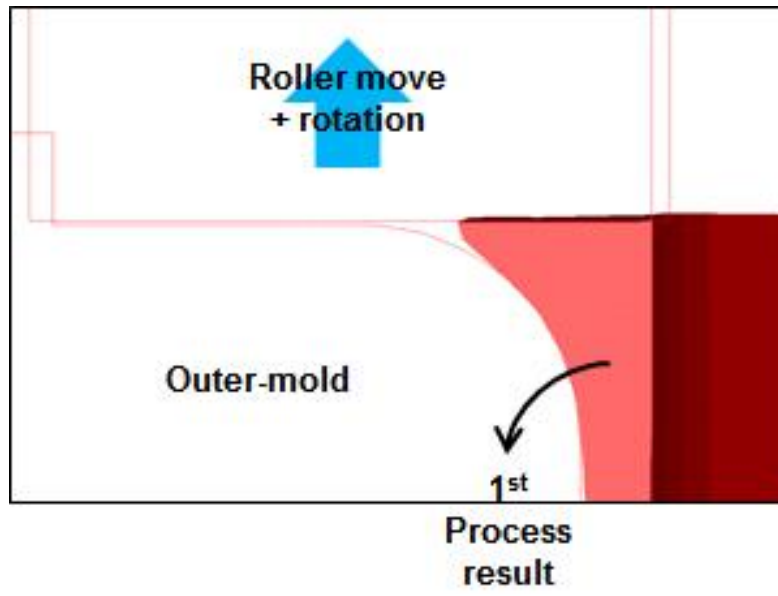
(d) Roller distance : 30 mm



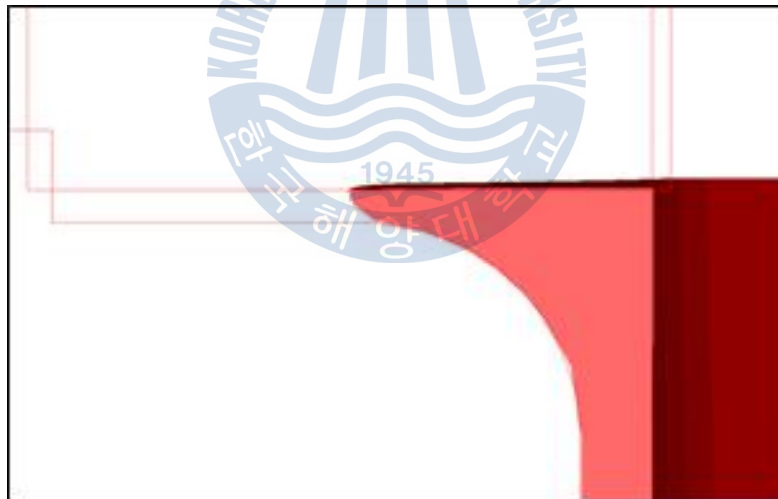
(e) Roller distance : 40 mm

Fig. 24 The results of case 2

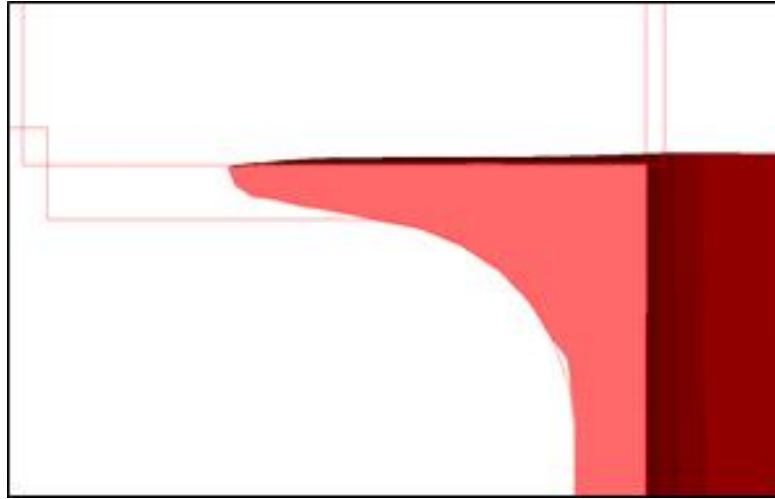




(a) Initial shape



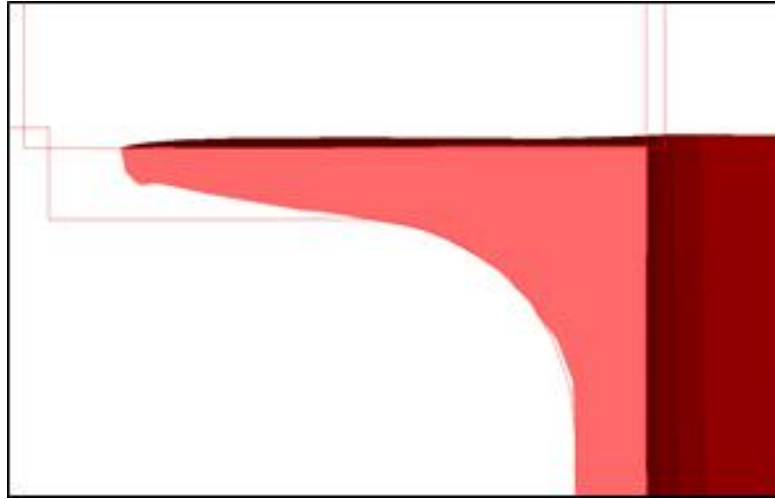
(b) Roller distance : 10 mm



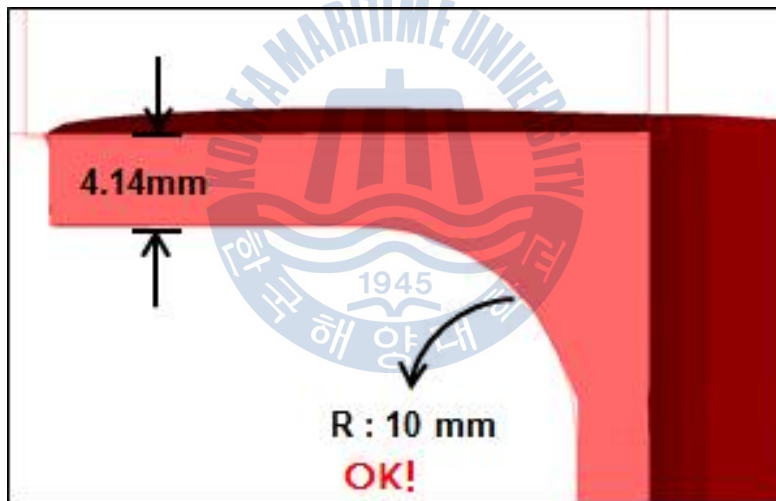
(c) Roller distance : 20 mm



(d) Roller distance : 30 mm

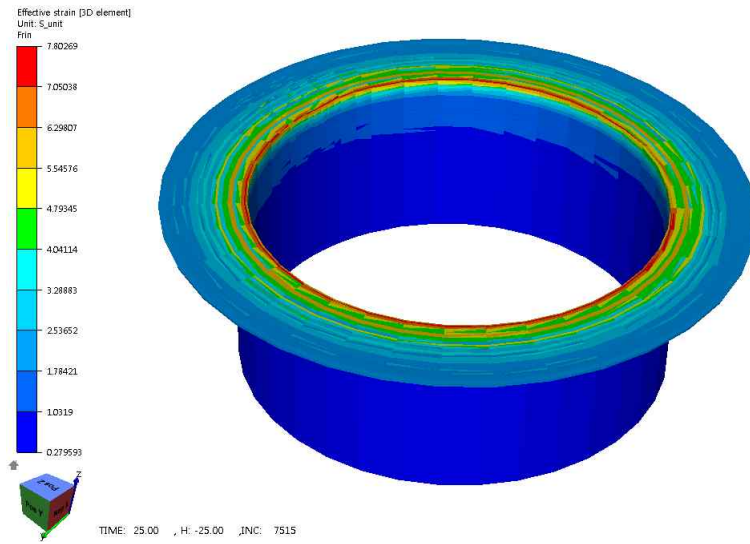


(e) Roller distance : 40 mm

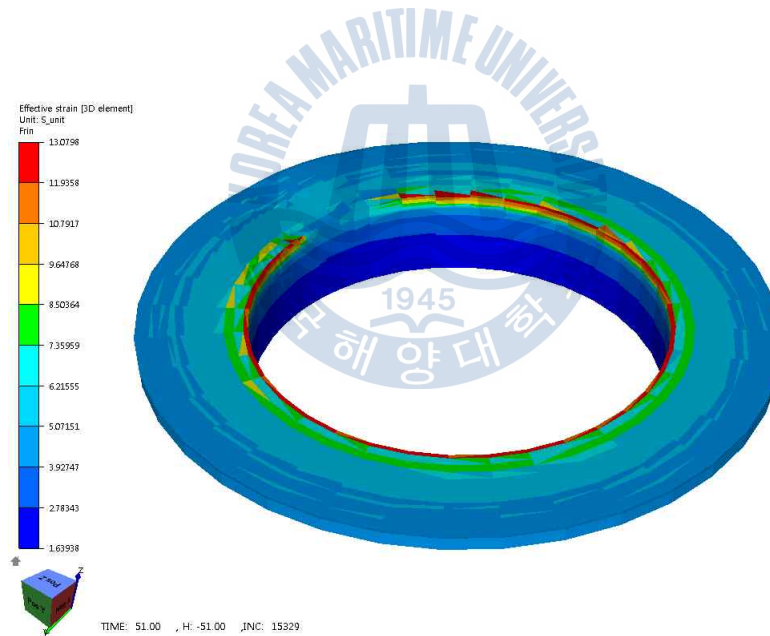


(f) Roller distance : 51 mm

Fig. 25 The results of case 3



(a) Pusher distance : 25 mm



(b) Pusher distance :51 mm

Fig. 26 Effective strain according to the pusher distance (Case 3)



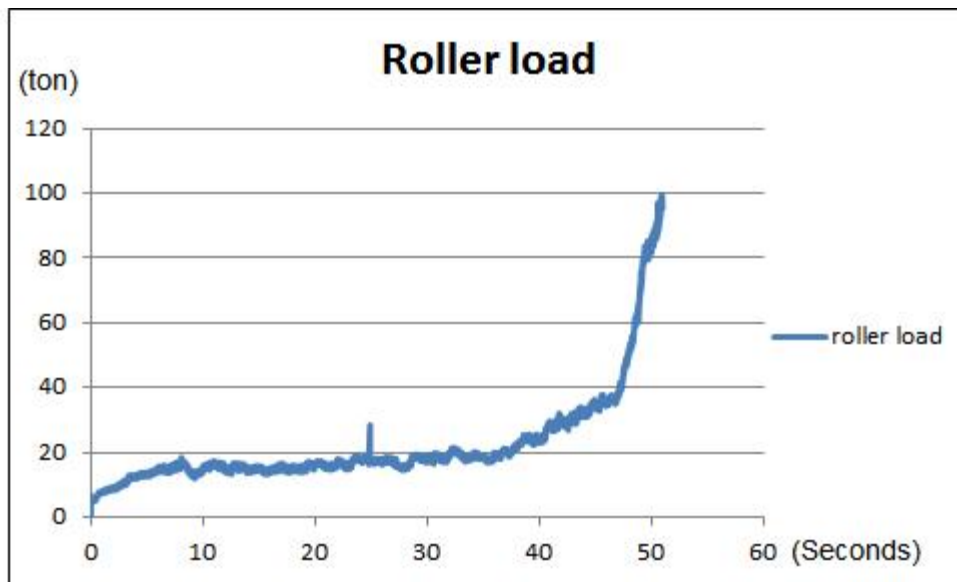
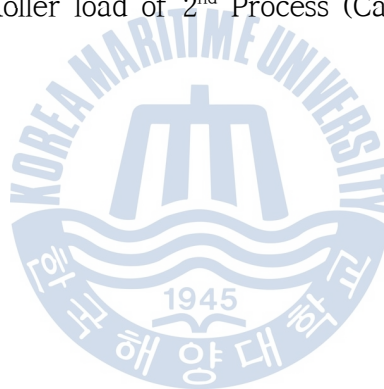


Fig. 27 Roller load of 2<sup>nd</sup> Process (Case 3)



## 제 4 장 시제품 제작 및 고찰

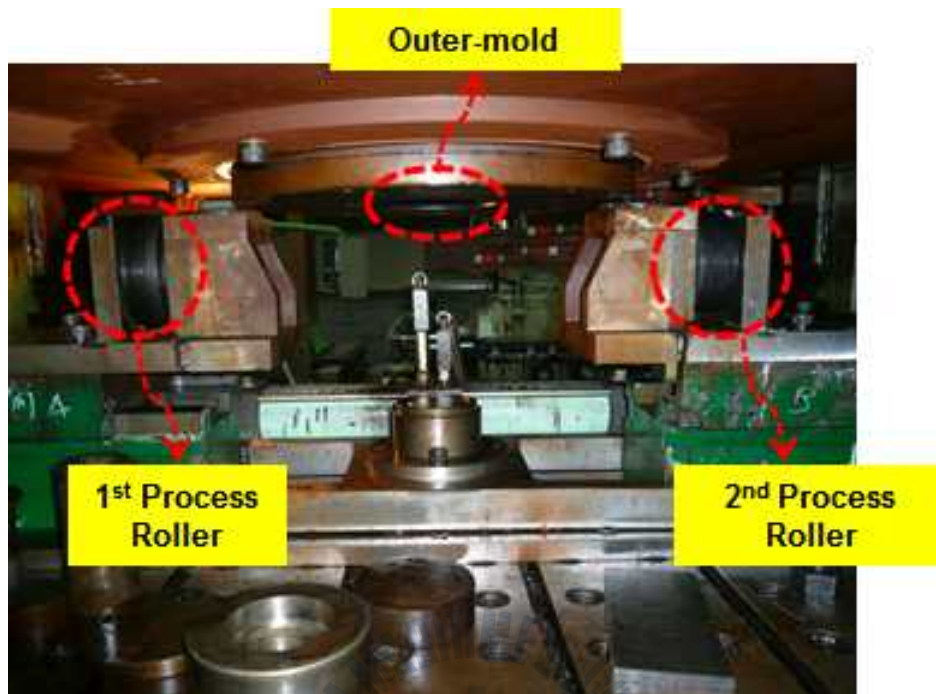
### 4.1 장비 소개

시험 장비에 유압 실린더(hydraulic cylinder)를 장착하여 상부 다이의 상하 운동을 조절하였으며 상부 다이는 트러스트 베어링을 연결해 하부 다이의 회전운동에도 무리 없이 작동되게 구성하였다. 이 장비에는 각각 1차 공정롤러 2차 공정 롤러가 장착되어 있어 각 공정에 따라 작동할 수 있도록 구성 되어 있다.

장비의 전체구성은 Fig. 28 과 같다.



(a) Test equipment



(b) Front view



(c) back view

Fig. 28 Flange spinning machine

## 4.2 시제품 실측 및 치수비교

앞서 언급 하였지만 스티브엔드는 미국기계학회에서 제시한 규격이 있으며 본 논문에서는 2.2절에서 목표치수를 정하였었다.

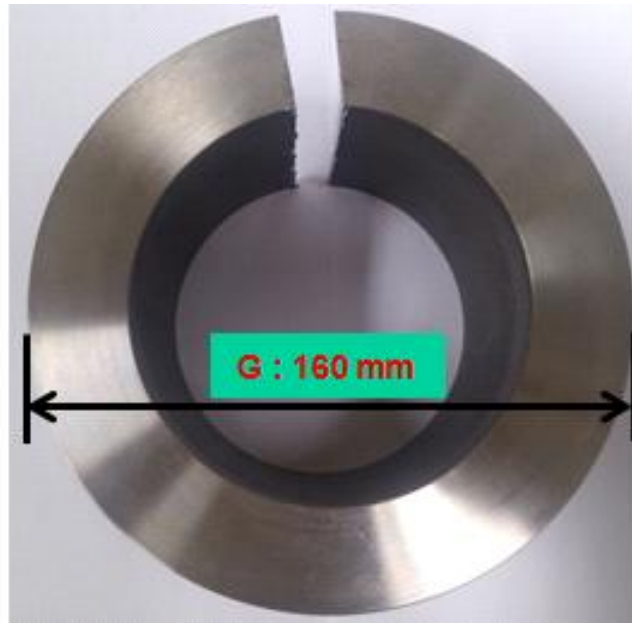
시제품을 제작하여 실측을 하였을 때 랩의 직경(G)은 160 mm 라운드부의 반경(R)은 10 mm 랩의 두께는 3.54 mm 길이는 81 mm 이다.

본 제품은 가스켓면, 라운드면을 표면 가공 처리를 하였지만 가장 핵심적인 라운드부 반경이나 랩 두께가 목표 치수에 만족하였다.

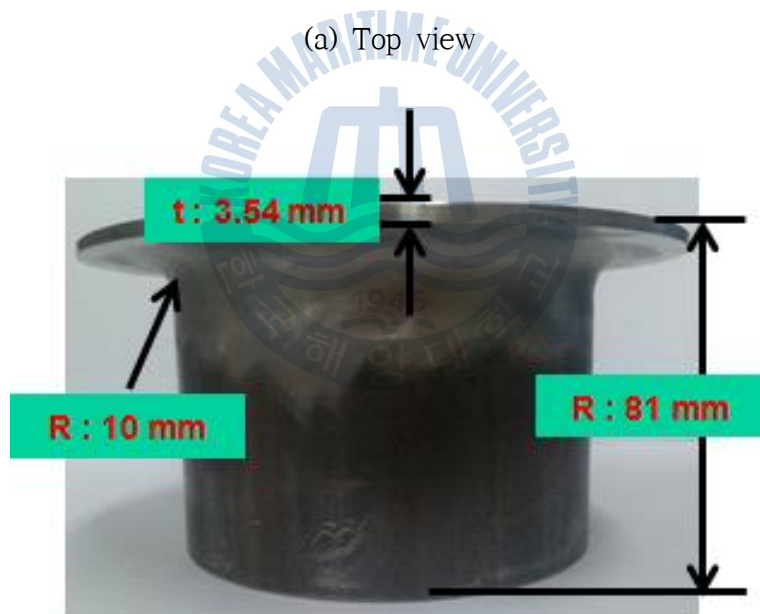
Table 10 에 실측 치수와 목표 치수를 비교하여 정리하였고, Fig. 29 는 시제품 사진을 올려 놓았다.

**Table 10** Comparison of dimensions for prototype

	Stub-end Size	Diameter of Lap, G (mm)	Radius of Fillet , R (mm)	Lap Thickness, t (mm)	Short Pattern length (mm)
Proto type	4 inch	160	10	3.54	81
Target dimensions	4 inch	156 ~ 157	9 ~ 11	3.05 ~ 4.65	76



(a) Top view



(b) Front view

Fig. 29 Prototype made by spinning

### 4.3 제작된 스티브엔드의 경도 측정

시제품을 제작된 스티브엔드의 강도를 예측하기 위하여 스티브엔드의 단면을 잘라 경도를 측정하였다. 강도는 가공경화를 예측할 수 있는 데이터이다.

경도시험 방법은 가장 변형이 없는 파이프 끝 부분과 가장 변형이 큰 플랜지 부분의 단면을 잘라서 비커스 경도를 측정하였다.

파이프 부분에서 5번의 경도를 측정하였고 이 평균값은 HV201.8이다.

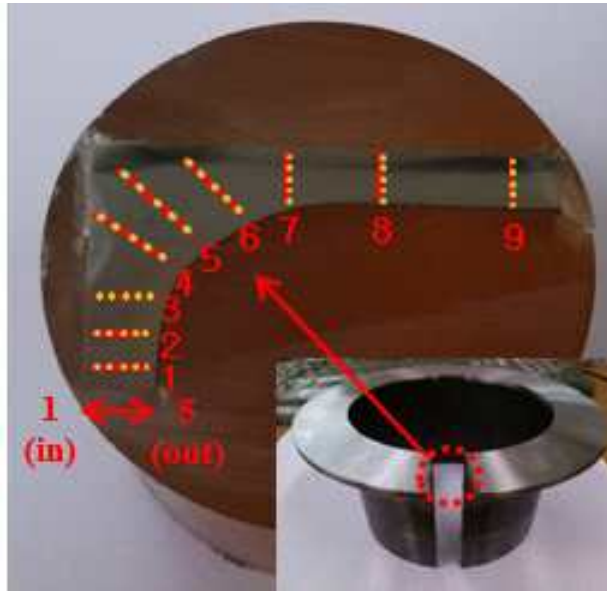
또한, 플랜지 부는 9개의 위치에 45개의 점을 찍어 각 위치에서의 평균값을 그래프로 Fig. 31 에 나타내었다.

그 결과, 파이프 쪽보다 랩 두께를 형성하는 부분이 상대적으로 컸으며 8번 위치에서 가장 큰 평균값을 보였다.

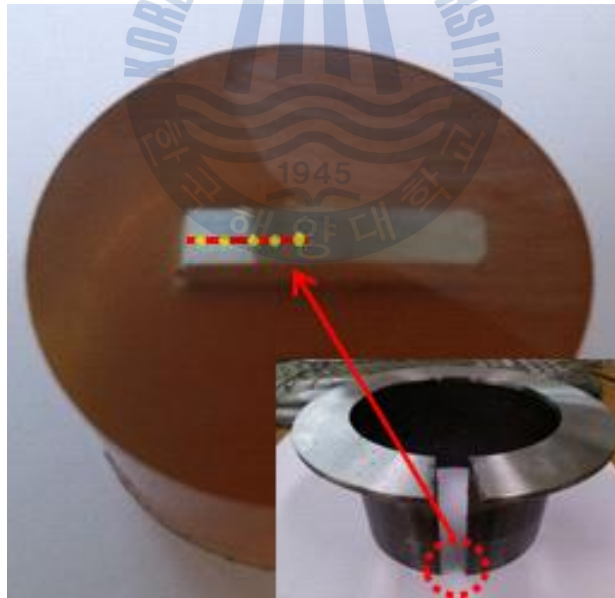
Fig. 30 에서는 각 측정 위치를 나타내고 Fig. 31 에서 경도 측정 결과 값을 그래프로 나타내었다.

Table 11 에서는 그래프 값을 정리해 놓은 결과이다. 플랜지 끝으로 갈수록 가공이 많이 된 것을 알 수 있다.





(a) Flange part



(b) Pipe part

Fig. 30 Measurement location



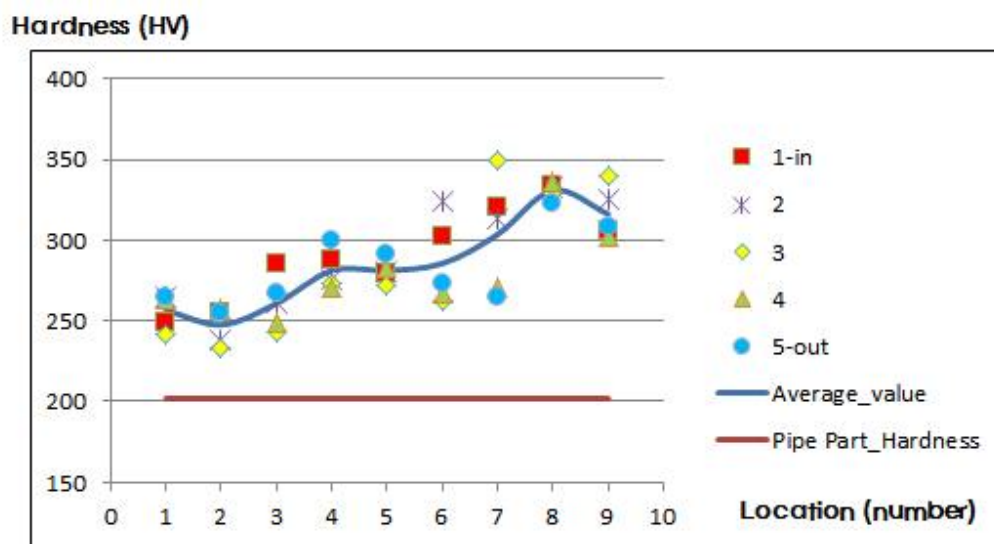


Fig. 31 Hardness measurement results

Table 11 Hardness measurement results

		Location 1 (HV)	Location 2 (HV)	Location 3 (HV)	Location 4 (HV)	Location 5 (HV)
in ↕ out	1	248.4	255.2	285.1	287.6	279.5
	2	264.9	237.5	260.6	275.5	280.8
	3	241.3	233.7	243.1	272.6	272.5
	4	263.2	256.9	248.4	270.4	282.6
	5	265	255	267.2	300.2	291
		Location 6 (HV)	Location 7 (HV)	Location 8 (HV)	Location 9 (HV)	
in ↕ out	1	302.3	319.9	333.7	305.6	
	2	324.2	313.6	332.4	325	
	3	261.9	350	328.8	339.9	
	4	267	270.8	336.3	302.1	
	5	272.8	264.2	323.4	308.7	



## 제 5 장 결론 및 향후 과제

본 연구는 일체형 랩 조인트의 제조방법을 개발하기 위해 저속의 스피닝 공정을 이용해 실험하였다. 또한, 스피닝 공정을 이용한 일체형 스테르브엔드의 제조방법 연구를 통하여 아래와 같은 결론을 도출하였다.

(1) 본 논문에서는 공정해석을 통하여 4인치 크기의 스테르브엔드 제작 공정을 연구하였다. 일체형 스테르브엔드에서 플랜지 접합부의 두께가 파이프부분의 두께 보다 커야하는 것이 이 연구의 핵심과제이고 이 목표를 수행하기 위하여 크게 두 개의 공정으로 나누어서 해석 및 실험을 진행하였다. 그 결과 1차 공정에서 외부금형과 롤러사이에 소재를 모아 놓고 2차 공정에서 롤러의 속력을 일정하게 감소하여 압하시키면 플랜지 접합부의 두께를 증가 시킬 수 있었다. 소재를 간단한 금형과 적은 성형하중으로 일체형 스테르브엔드의 제작이 가능함을 확인하였다.

(2) 본 연구를 통하여 공정해석을 병행한 공정실험으로 비용 및 시간 감소, 효율 증가를 꾀하였다. 실험만으로 공정변수를 찾으려 노력한다면 많은 비용과 인력이 요구되기 때문에 FE 해석을 진행하는 방법을 모색하게 되었다. Transvalor사가 제공하는 Forge V2011을 이용하여 스피닝 해석을 진행하였고 덕분에 위의 결과를 도출할 수 있었다.

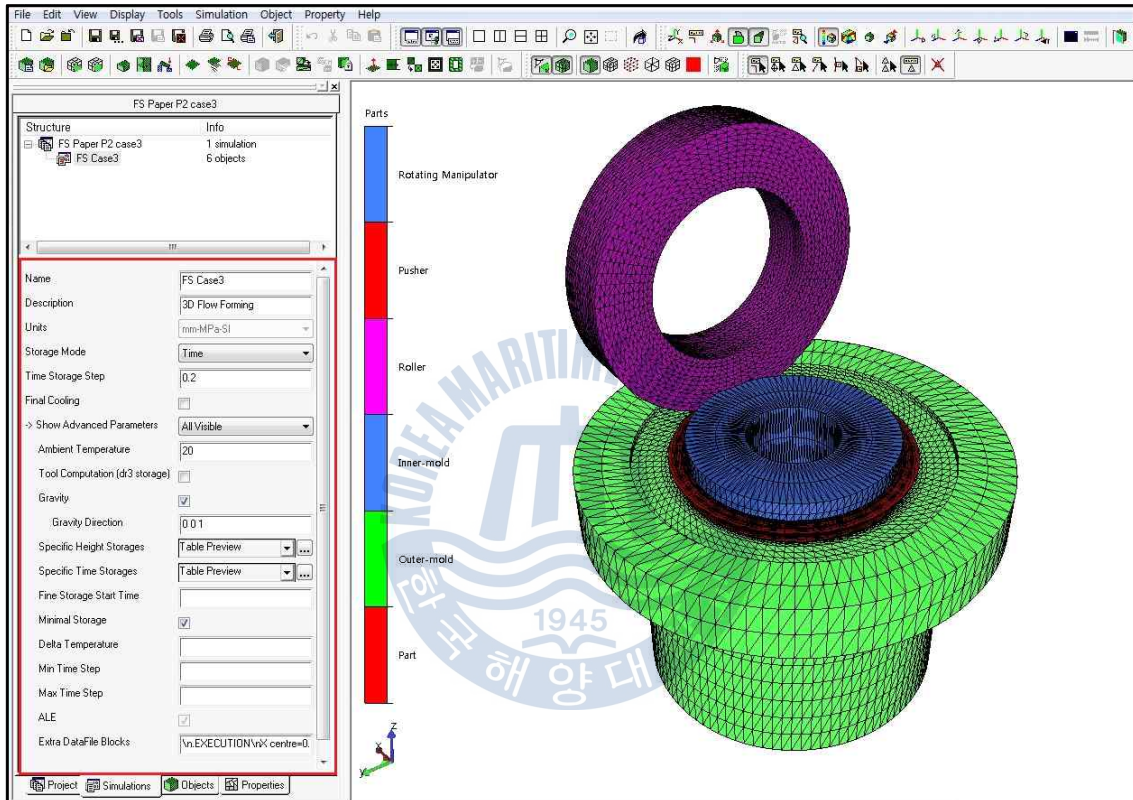
본 논문에서 4인치 크기의 일체형 스테르브엔드의 제조법이 제시되었지만 스피닝 공정을 이용하여 다양한 크기의 스테르브엔드를 제작하기 위해서는 향후에 진행될 다양한 과제를 안고 있다. 스테르브엔드의 규격마다 공정변수가 다르기 때문에 지속적으로 연구하여 4인치 이외에 다양한 크기의 스테르브엔드를 제조하기 위한 공정 최적화가 필요하다. 스테르브엔드는 크기가 클수록 부가가치가 높으므로 간단하고 하중은 적게 드는 공정이 개발되어야 한다.

## 참고문헌

- [1] 대한민국 등록특허 10-0688066, *롱넥플랜지의 제조방법*
- [2] 대한민국 등록특허 10-0424335, *국부 급속가열을 이용한 관 이음쇠 성형방법*
- [3] 일본 공개특허공보 평01-071527호, 1989, *랩 조인트 파이프의 제조방법*
- [4] SAMPER INTERNATIONAL, *Forged & Plate Flange* [Online]  
Available at : [http://www.samperinternational.com/forged\\_plate\\_flange.asp](http://www.samperinternational.com/forged_plate_flange.asp)
- [5] 박형욱, 권정현, 김재수, 조종래, 2010, *스피닝 공정을 이용한 일체형 랩 조인트의 제조방법 개발*, 한국소성가공학회 2010년도 춘계학술대회 논문집 pp. 163 ~ 166.
- [6] 이현우, 황동욱, 송세암, 김철, 2012, *CNG 용기(Type II) 돔부의 중량 최소화를 위한 열간스피닝 공정개선에 관한 연구*, 한국정밀공학회 2012년도 춘계학술대회논문집 pp. 135 ~ 136.
- [7] 송호산, 송평훈, 2005, *연성 구조물의 요소이동 해석 방법에 관한 연구*, 대한건축학회 논문집 21권 11호(통권205호) pp. 35 ~ 42.
- [8] ASME, 2007, *ASME Code B16.9-2007 (Factory Made Wrought Butt-welding Fittings)*
- [9] Transvalor, 2011, *Forge Help - Tutorial Ring Rolling*
- [10] 오중석, 2010, *마찰압접을 이용한 선박디젤엔진용 피스톤 로드 제작공정 개발*, 한국해양대학교 석사학위논문.

## 부록 A 스피닝 공정 해석 작업환경

### A.1 Simulation tab



Units : 해석 시 사용되는 단위계를 설정해준다.

Storage Mode : Time과 Height 두 가지 모드가 있다. Time은 시간에 따라서 데이터가 저장되고, Height로 설정하면 압하 깊이에 따라 데이터가 저장된다.

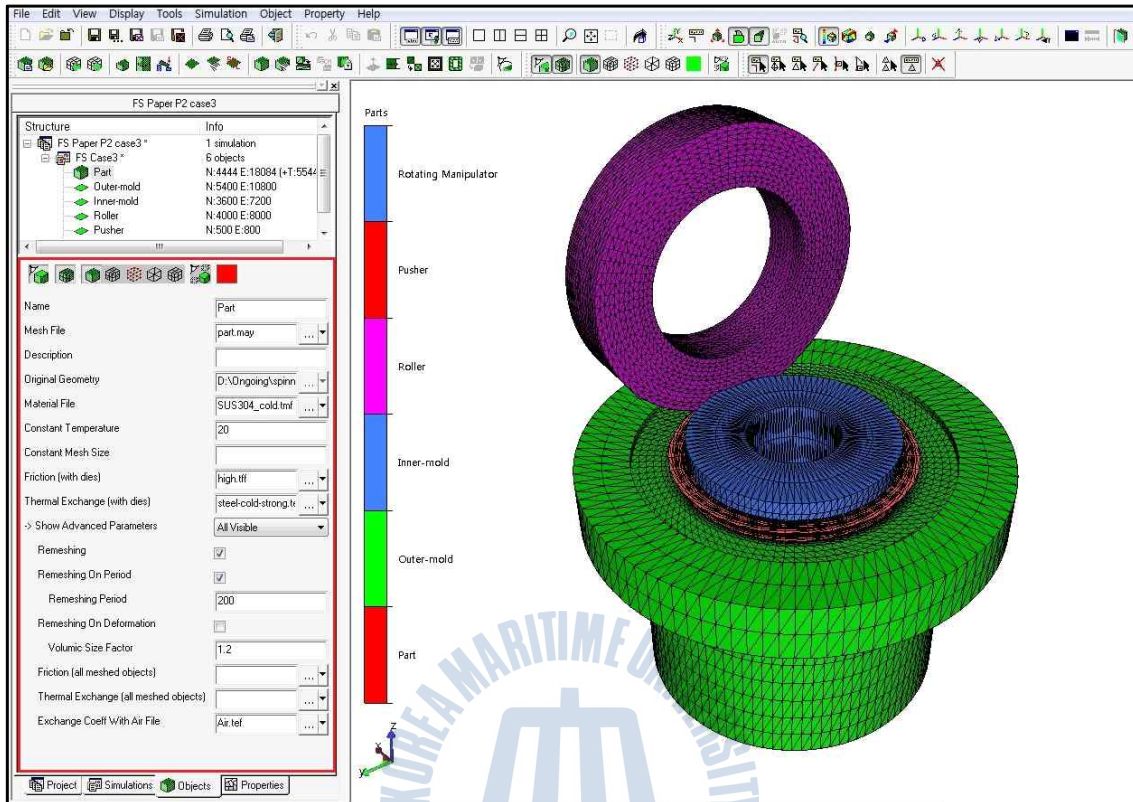
Time Storage Step (Height Storage Step) : 데이터 저장간격을 입력한다.

Final Cooling : 해석이 진행되는 동안 Cooling 효과를 줄 것인지에 대한 옵션.

Ambient Temperature : 환경 온도를 설정.

Gravity : 계산에 중력을 반영한다. 아래 Gravity Direction 으로 방향을 설정 할 수 있다.

## A.2 Objects tab



Mesh File : 역삼각형 아이콘을 통하여 모델링 파일을 불러올 수 있다.

Material File : 소재의 물성치를 불러올 수 있다. 아이콘을 누르면 자동으로 Material File이 있는 파일 경로로 접근할 수 있다. 또한, 런처에서 Preprocess-Tools-Rheology Database의 경로로 들어가면 더 많은 물성치 정보를 얻을 수 있다.

Constant Temperature : 초기 온도를 설정할 수 있다.

Constant Mesh Size : 메쉬 크기를 설정할 수 있다. 다른 프로그램을 이용하여 메쉬를 생성하였다면 넣지 않아도 무방하다.

Friction (with dies) : 다른 다이들과의 접촉 시 마찰계수를 넣어줄 수 있다. 아이콘을 열면 파일들이 나열되어 있으며 파일을 열어서 수정도 가능하다.

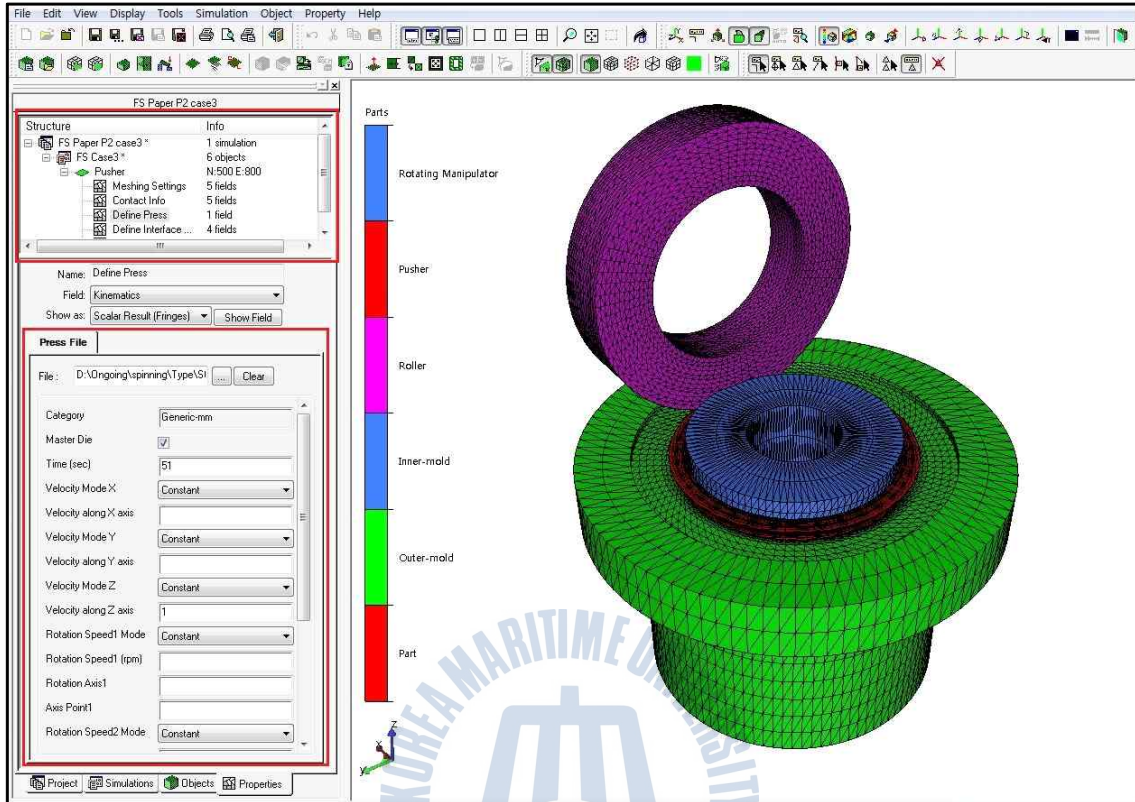
Thermal Exchange (with dies) : 소재와 다이간의 열전달 계수를 넣는 곳이다.

이 항목도 파일들로 정리 되어 있으며 수정도 가능하다.

Remeshing On Period : 해석 중 소재의 형상이 바뀌면서 계속해서 리메싱 하게 된다. 이 항목은 리메싱 주기를 설정하는 곳이다. 반복 계산 횟수에 따라 리메싱을 설정할 수 있는데 숫자가 작을수록 리메싱 주기가 빠르다.



### A.3 Properties tab



Meshing Settings : 메시 크기를 조절하고 확인할 수 있는 항목이다. 메시를 짜기 전에 중요한 부분만 작게 짜서 노드 수를 줄여 해석시간을 줄일 수 있다. 본 해석에서는 롤러와 닿는 플랜지 접합부의 메시를 조밀하게 짰고 파이프 부분은 메시를 크게 짰다.

Contact Info : 소재와 내·외부 금형, 롤러와의 접촉 정보를 나타낸다. Contact Info를 수행하지 않고 저장을 하게 되면 접촉 정보에 대해 Warning이 뜰 수 있다.

Define Press : 하중을 적용하는 프레스를 설정할 수 있다. Forge V2011은 다양한 프레스 종류를 선택할 수 있으며 위의 그림과 같이 작업자가 임의로 설정할 수 있다. 다이들 간에 Master Die는 꼭 하나만 지정이 되어야 하며 공정은 Master Die의 시간에 맞춰 진행된다. 각 축의 움직임 속도 회전 등을 지정할 수 있다.

## 감사의 글

실험실 생활 3년 동안 몰심양면으로 보살펴 주신 조종래 교수님께 먼저 감사의 인사를 드립니다. 교수님의 지도를 받은 것이 저에게 있어 엄청난 행운이었고 인생의 터닝포인트가 된 것 같습니다. 교수님의 가르침 잊지 않고 열심히 하겠습니다.

그리고 졸업할 수 있도록 논문지도를 해주신 김의간 교수님, 최일동 교수님께도 감사를 드립니다.

졸업논문을 내는데 있어 과제를 주시고 많은 도움을 주신 페스코 김재수 사장님과 최진영 부장님 그리고 송영아 과장님까지 너무너무 감사드립니다. 계속 진행되는 과제를 못하게 되어서 너무 아쉽고 죄송스럽습니다.

Forge를 사용하는데 있어 어려운 점이 많았는데 매일 같이 전화로 질문해도 친절하게 답변을 해주신 트리니티엔지니어링 이승윤 사원님께도 감사드립니다.

돌이켜 보면 우여곡절도 많고 쉽지 않은 실험실 생활이었던 것 같습니다. 넓게 보지 못해서 항상 마음만 바쁘고 초조해 했던 것 같습니다. 같은 학년 동기인 승민형님, 민수형님, 지훈형님, 종원이가 있었기에 생활도 잘할 수 있었고 즐겁게 지낸 것 같습니다. 승민형님은 손이 많이 가는 저에게 특히나 신경을 써주셨지요. 감사합니다.

마지막으로 언제나 집안을 잘 지켜주시고 열심히 사시는 엄마와 나 대신 가장 역할을 잘해준 듬직한 동생 린아 또한 너무 고맙습니다. 그동안 고생한 우리가족, 이제부터는 자식덕, 오빠덕 좀 봐도 됩니다. 잘해드릴게요.

2013년 1월 6일 실험실에서 홍린표가...