

◆ 특집 ◆ 최신 플라스틱·금속 성형 해석 기술

스피닝을 이용한 롱넥플랜지의 성형공정 개발

Development of Manufacturing Process for Long-Neck Flange by Spinning

곽기열¹, 조종래^{1,✉}, 최진영²
Gi Yeol Gwak¹, Jong Rae Cho^{1,✉}, and Jin Young Choi²

¹ 한국해양대학교 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Korea Maritime and Ocean University)

² (주)페스코 기술서비스팀 (Technical Service Team, Pessco Co., Ltd.)

✉ Corresponding author: cjr@kmou.ac.kr, Tel: +82-51-410-4972

Manuscript received: 2015.8.28. / Revised: 2015.10.12. / Accepted: 2015.10.12.

The long neck flange is used to connect piping arrangements where the lap joint is applied. Generally, the component can be manufactured by welding, but this method is both time and cost intensive. Embrittlement at the heat affected zones was also considered. A spinning method developed to improve the manufacturing process and solve the problems of welding. The flange area of the long neck flange can be formed by changing the direction of the metal flow, from axial to radial, while maintaining pressure by using an outer mold and a lap roller. A modified process was additionally developed using a round roller rather than the outer mold. In this modification, the round roller can form the shape of all sizes of long neck flange. Using these flexible methodologies, the cost to prepare outer molds and the time to install and remove the molds can be significantly reduced.

KEYWORDS: Lap-Joint (랩 조인트), Long-Neck flange (롱넥플랜지), Spinning (스피닝)

1. 서론

여러 가지 배관 연결 방식 중 설치 및 유지보수의 용이성으로 인해 랩 조인트 형식이 널리 이용된다. 랩 조인트 형식을 적용하기 위해 롱넥플랜지를 사용하는데 용접을 통한 제작이 일반적이다. 그러나 이 방법은 개별공정의 수가 많아 제작 시간이 길고 소재의 낭비가 심하다. 또한 용접 열 영향부의 기계적 특성에 대한 검토가 추가로 요구되며 용접을 시공할 때 발생하는 용접가스는 인체에 유해한 여러 성분이 포함되어있다. 그러므로

롱넥플랜지의 품질이 우수하고 생산비용을 절감할 수 있는 친환경적인 제작방식의 공정개발이 필요하다.

일반적인 용접방식을 개선하기 위해 공정방법을 변경하고자 하는 여러 연구가 진행되었다. 일본에서는 무용접 일체형으로 롱넥플랜지를 제작할 수 있는 방법이 특허로 등록된 바 있다.¹ 이는 절단된 소재의 단부를 확관한 후 평탄한 금형으로 눌러 플랜지부를 성형하는 방법인데 플랜지부의 두께가 초기의 소재보다 얇아지므로 이를 보상하여 규격²을 만족하기 위해 관부 내면을 절삭하여

나 밀어내어야 한다. 이 경우 소재의 수율이 낮아지고 가공비가 상승하게 되며 단일공정 별 사용되는 금형이 달라 다양한 크기의 제품에 적용하려면 금형 제작비의 압박을 피할 수 없으므로 대량생산을 위한 공정으로는 적합하지 않다.

평탄화로 인한 플랜지부의 두께 감소문제를 극복하기 위해 국내에서 국부 급속가열을 이용한 제작방식이 검토되었다.³ 유도가열을 이용하여 플랜지로 성형될 부분의 두께를 미리 두껍게 벌징한 후 확산하는 방식으로, 평탄화 후 두께가 감소하는 문제는 해결되었으며 무용접 성형방법으로 용접에 의한 물성치 변화문제도 제거되었다. 그러나 국부가열을 위해 코일을 포함한 유도가열 장치가 필요하고 코일과 소재의 배치문제가 까다로우며 양산을 위한 경제성의 검토도 필요하다.

소성가공시 발생하는 플랜지부의 두께감소문제와 용접에 의한 열영향부 문제해결을 위해 마찰용접을 이용한 또 다른 국내 연구사례가 있다.⁴ 기존의 일반적인 용접방식과 단일공정의 흐름은 유사하나 고상용접으로 용접부의 기계적 특성이 우수하고 열영향부 범위가 넓지 않으며 친환경적이다. 그러나 4" 이상의 직경을 갖는 통넵플랜지를 제작하기 위해 마찰용접기의 용량이 매우 증가하게 되고 원소재 회수율 문제나 플래시 제거문제 등도 해결이 필요하다.

이에 본 논문에서 앞서 서술한 방법들의 공통적인 문제들을 해결하기 위해 개발된 두 가지 공정들에 대해 소개하고자 한다. 통넵플랜지의 제작을 위해 스피닝 공법⁵의 도입을 시도하였으며, 유한요소해석을 통해 공정의 실현성을 사전에 파악하고자 하였다. 개발된 설비를 이용하여 시제품을 제작하고 생산성을 반영하여 양산에 적합한 공정인지 검토하였다.

2. 통넵플랜지의 성형공정

무용접 일체형 통넵플랜지 개발을 위해 두 가지 공정에 대해 검토하였다. 스피닝 공법과 밀폐형 단조를 조합한 공정을 2.1절에서, 범용 롤러를 이용한 개발 공정을 2.2절에서 설명하고자 한다. 외부금형을 이용한 밀폐형 단조형식과 여기서 개선된 롤러를 이용한 공정에 대한 예상 공정흐름을 Fig. 1에 표시하였다. 두 공정 모두 초기 절단된 관 소재를 축방향으로 압축하고 단부에서 유동방향을 반경방향으로 변환하여 플랜지부를 성형하는 형식

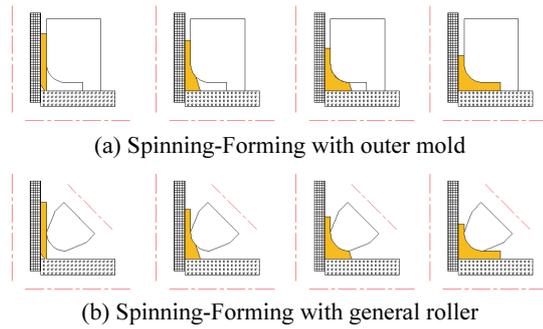


Fig. 1 Expected process flow

이다. 이때 플랜지의 두께는 관부 두께보다 두꺼워야 하며 플랜지-관 연결부의 내측은 직각의 모서리가 되어야 하고 외측은 크기 별로 규격에서 요구하는 반경의 둥근 모서리가 되어야 한다.

2.1 외부금형을 이용한 공정 2.1.1 외부금형을 이용한 공정해석

통넵플랜지 제작을 위해 고려된 공정 개략도는 Fig. 2와 같다.^{5,6} 크게 관부와 플랜지부를 성형하는 두 개의 공정으로 나뉘고, 맨드릴과 푸셔, 외부금형이 공통적으로 적용된다. 축방향 유동을 반경방향으로 변환하기 위해 각 하부공정별 롤러가 사용된다. 1차 공정에서 통넵플랜지의 중요형상인 관-플랜지 연결부 모서리를 성형한다. 이후 플랜지 목표 두께를 성형하며 최종 형상을 2차 공정에서 성형한다.

소재가 압하되어 단부에서 플랜지를 형성될 때 직경이 증가하므로 두께는 감소하게 된다. 이를 방지하기 위해 2차 공정에서 사용되는 롤러의 후퇴속도가 적절히 정의되어야 한다. 대상 크기는 4"로 규격에서 요구하는 주요 치수를 바탕으로 성형 후 마무리 가공을 고려하여 Table 1과 같이 목표 성형치수를 정하였다. 소재를 압하시키는 푸셔의 이동속도는 0.5 mm/s로, 회전속도는 100 rpm으로 고정하였다.

모서리부가 성형되는 1차 공정의 소요시간은 약 20 s이며 이 때의 변형 형상과 공정 동안의 압하하중을 각각 Figs. 3과 4에 표시하였다. 푸셔의 이동거리는 약 10.5 mm 이다. 그럼으로부터 내측의 직각모서리 및 외측의 둥근모서리가 성형된 것을 확인할 수 있다.

2차 공정의 목적은 소재를 반경방향으로 유동시켜 플랜지를 성형함으로써 최종형상을 성형하는

Table 1 Targets for dimensions

Size	Lap diameter, G (mm)	Fillet radius, R (mm)	Lap thickness, T (mm)
4"	156-157	9-11	4.05-4.65

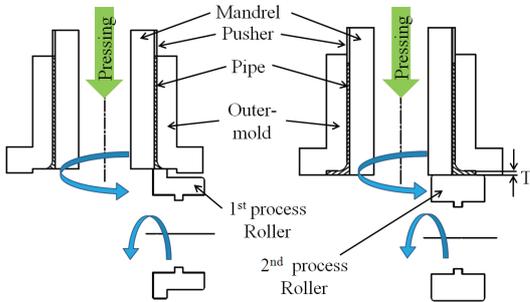
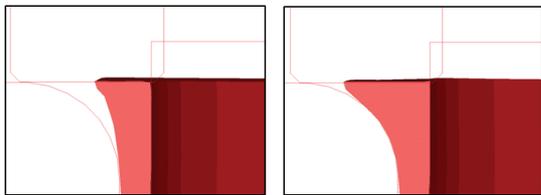


Fig. 2 Manufacturing process of stub end by spinning with outer mold



(a) 5 mm pressing (b) 10.5 mm pressing

Fig. 3 Deformed shapes during 1st process

것이다. 이 때 플랜지의 두께가 반경방향으로 유동함에 따라 두께가 감소될 것이므로 점진적으로 플랜지가 형성될 수 있는 조건을 확인하기 위해 세 가지 조건을 구성하여 시뮬레이션 하였다. 조건 1에서 랩 롤러는 이동하지 않으며, 두 번째 조건에서 0.1 mm/s의 속도로 랩 롤러가 등속 이동한다. 마지막 조건에서 랩 롤러는 이동속도 0.14 mm/s를 시작으로 공정 중 점차 감속하여 종료 시 정지하게 된다.

조건 1의 경우 생성될 플랜지부의 공간을 미리 확보한 후 소재를 압축한 것으로, 약 10mm 압하 후 소재의 관부 내측에 접힘이 발생하였다. 계속하여 약 40mm까지 압축을 진행하면 외부금형과의 접촉에 의해 등근모서리부에서 접힘이 발생하였고 이는 적절한 공정이 아니며, 소재의 유동을 적절히 제어할 필요가 있다는 것을 알 수 있다.

플랜지의 두께를 점진적으로 증가시키기 위해 롤러가 지속적으로 등속 후퇴하는 조건 2에 대하여 검토하였다. 검토 결과 조건 1과 달리 공정 초

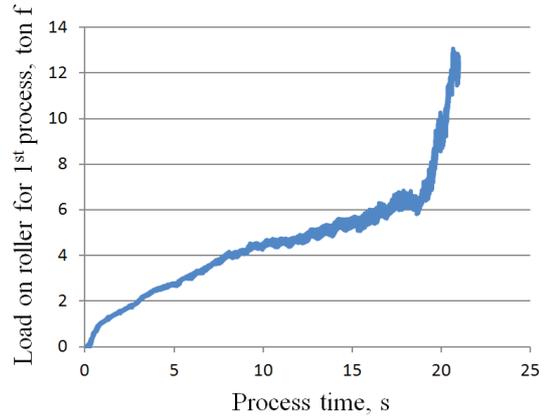


Fig. 4 Pressing load on roller for first process

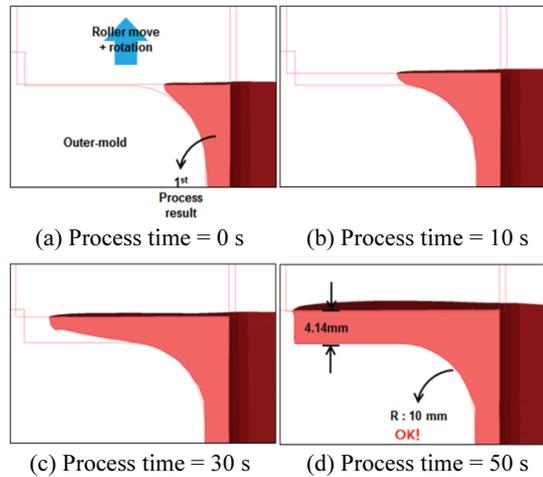


Fig. 5 Deformed shapes over the process time

반에 소재의 내측 접힘을 발생하지 않았으나 반방향으로 퍼져나가는 속도가 빨라 약 30mm 압하 후 플랜지 단부가 외부금형에 반경방향으로 접촉하였다. 이후 지속되는 반경방향 유동은 반경방향의 구속으로 플랜지의 접힘을 유발하였고, 롤러의 등속후퇴 또한 적절한 공정이 아님을 확인할 수 있었다.

조건 2의 결과를 토대로 2차 공정 초반에 롤러의 후퇴속도를 빠르게 한 후 지속적으로 감소시키는 조건 3을 구성하였다. 공정 초반 소재의 접힘이 발견되지 않았으며, Fig. 5와 같이 플랜지의 폭과 두께가 점진적으로 잘 성형되는 것으로 보아 적절한 공정이라고 할 수 있다. Fig. 6은 2차 공정 동안의 압축하중을 출력한 것이다.

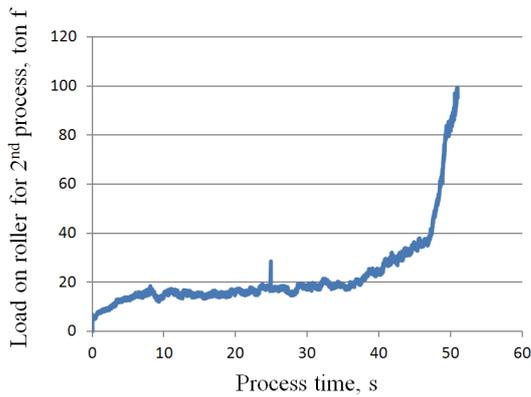


Fig. 6 Pressing load on roller for second process

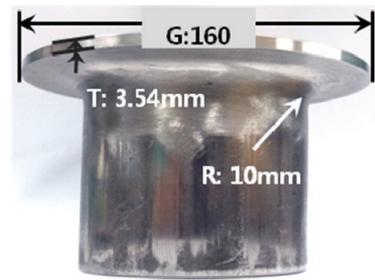


Fig. 8 Prototype model and major dimensions made by spinning

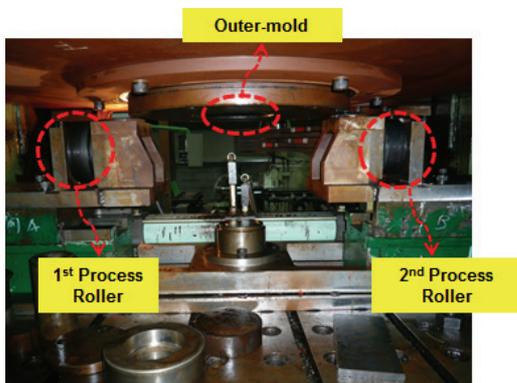


Fig. 7 Flange spinning machine

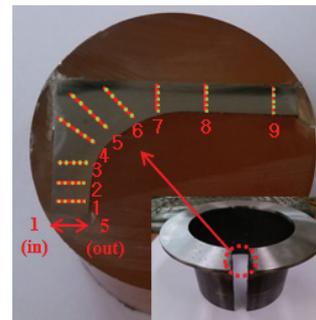


Fig. 9 Locus for hardness measurement on the specimen

2.1.2 외부금형을 이용한 통넱플랜지의 제작

제작을 위해 회전성형이 가능한 설비를 Fig. 7 과 같이 개발하였다. 소재 압축은 유압으로 구동되며 맨드릴과 외부금형은 100 rpm으로 회전한다. 롤러는 접촉에 의한 자회전이 가능하도록 볼베어링으로 지지하였으며 1차 공정과 2차 공정 사이의 공정최소화를 위해 각 공정 별 롤러를 모드 설치하여 필요 시 선택할 수 있도록 하였다. 개발된 장치를 이용하여 시험용 통넱플랜지를 제작하였으며 이를 Fig. 8에서 보이고 있다. 규격에서 요구한 치수와 형상이 만족됨을 확인하였다. 제작된 시제품의 플랜지부 강도를 간접평가하기 위해 Fig. 9와 같이 임의 단면을 채취하여 비커스 경도를 측정하였으며 그 결과를 Fig. 10에서 보이고 있다. 측정 결과 원소재의 경도 값 대비 가공된 플랜지부의 측정값이 상대적으로 큰 것을 알 수 있으며, 플랜지부의 위치별 경화 정도가 다른 것으로 보아 초반에 유입된 소재가 지속적으로 성형되어 가는 것을 알 수 있다.

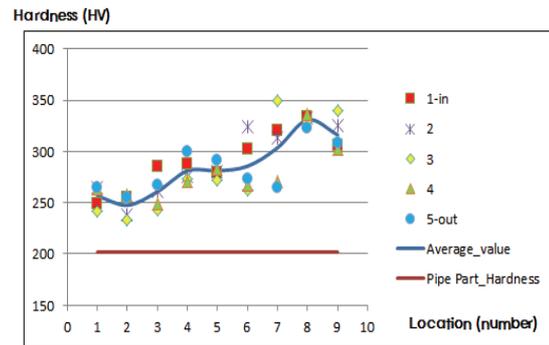


Fig. 10 Hardness measurement result

2.1.3 결과 및 고찰

외부금형을 이용한 스피닝-단조 공정은 소재의 압축을 통한 축방향 유동을 반경방향 유동으로 변환하여 플랜지를 성형하는 방법으로, 플랜지의 폭 및 두께가 공정 동안 지속적으로 적절하게 생성되어야 함을 확인할 수 있었다. 이를 위해 랩 롤러의 후퇴속도를 선형감속조건으로 구성하였다. 검토된 조건으로 시제품을 제작하여 관찰하였으며 작은 하중으로 규격에서 요구하는 외형과 주요 치수를 만족하는 제품을 생산할 수 있었다.

그러나 본 공정의 경우, 다양한 크기의 롱넥플랜지를 제작하기 위해 모든 크기에 대응하는 금형이 필요하므로 금형제작비의 부담을 피할 수 없다. 또한 공정 진후에 외부금형을 장착하고 탈거해야 하는데 이는 공수의 증가로 이어지며, 작업공간이 협소하여 안전사고 위험이 따른다.

2.2 범용롤러를 이용한 공정

2.2.1 범용롤러를 이용한 공정해석

앞서 살펴본 개발된 공정의 문제를 보완하기 위해 범용롤러를 적용하여 관-플랜지 연결부 둥근 모서리를 가공하는 공정을 구상하였으며 Fig. 11에서 소재와 금형들의 배치를 보이고 있다. 앞의 공정을 잘 관찰하면 외부금형을 대신하기 위해 둥근 모서리 생성과 플랜지의 반경방향 구속을 위한 금형이 필요함을 알 수 있으며 Fig. 11의 라운드 롤러(round roller)와 랩 가이드(lap guide roller)가 그것들이다.

Fig. 11에서 굵은 1점 쇄선은 각각 소재 및 금형들의 자전축이다. 소재는 푸서에 의해 축방향(x)으로 압축되고 반대편 단부에서 랩롤러에 의해 유동방향이 반경방향으로 변환된다. 공정 동안 랩롤러는 압축방향으로 점차 후퇴하며 후퇴속도는 가변이다. 라운드 롤러는 이동 없이 마찰에 의해 자회전하며 둥근모서리를 성형한다.

기존 공정의 개발과정을 살펴보면 압하속도를 일정하게 했을 때, 공정 초반에서 플랜지의 두께 위주로, 중반 이후는 폭 위주로 형성시키는 것이 적절하다는 것을 알 수 있었다. 본 공정에서는 이를 좀 더 세분화하여 공정 초반(총 공정시간의 30%)부에 플랜지 두께의 70%만큼 랩롤러를 후퇴시킨다고 가정한다. 공정의 총 시간은 성형될 플랜지의 체적과 푸서에 의해 압하되어 빈공간으로 유입될 체적을 비교하여 75 s로 계산되었다. 본 공정의 변수는 3"를 기준으로 하여 계산하였으며, 과정이 타당하다면 다른 크기의 제품에도 동일한 방법을 적용하여 도출할 수 있을 것이다. 공정시간의 30% 전후 랩 롤러의 이동속도를 결정하기 위해 Fig. 12와 같은 시간-속도 도표를 이용하였다. 플랜지의 두께는 가공여유를 고려하여 4.4 mm로 하였고, 그림 11과 같은 공정 동안의 후퇴속도를 생각할 때, 면적 A와 B의 합은 4.4의 70%인 3.1이 된다. 나머지 면적 C로부터 v_1 을 결정하면 다시 면적 A와 B로부터 v_0 를 구할 수 있다. 30 s 이후의 총 이동거리는 면적 C에 해당하는 1.3 mm가

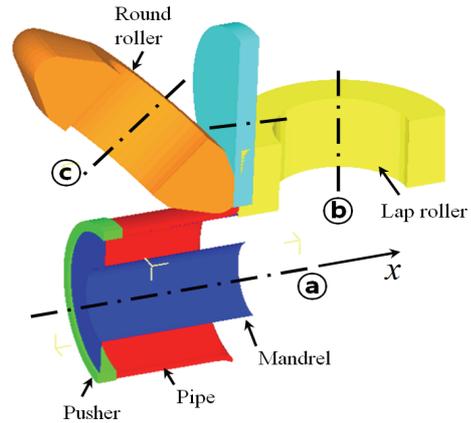


Fig. 11 Arranged dies with general rollers

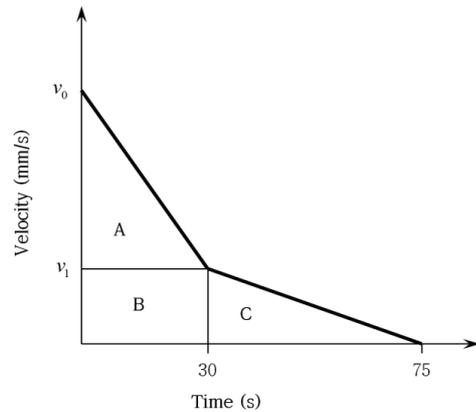


Fig. 12 Lap roller velocity over process time

되며 이를 만족하는 속도 v_1 은 0.0585 mm/s이다. 이로부터 면적 B는 1.17 mm이며 A는 1.92 mm 임을 알 수 있고, 초기속도 v_0 는 0.25 mm/s가 된다. 즉 공정시간 30 s를 기준으로 랩 롤러의 후퇴속도는 기울기가 다른 감소하는 두 개의 직선으로 표현된다.

한편, 플랜지의 폭방향 구속을 위한 랩 가이드의 이동속도는 압하되어 유입되는 체적이 랩으로 형성되는 체적과 동일하다고 가정하여 결정할 수 있다. 체적비교를 통해 시간 별 랩 가이드의 이동거리를 구할 수 있으며, 적절히 분할된 각 범위에서 미분하면 해당시간에서의 속도를 결정할 수 있다. 30 s 이후의 속도는 등속인데, 랩 롤러의 후퇴속도가 30 s 이후에도 감소하는 것을 상기하면, 중반 이후부터 플랜지의 폭 위주로 가공된다는 것을 알 수 있다.

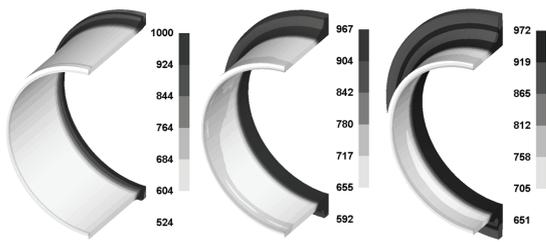


Fig. 13 Effective stress distributions (MPa)

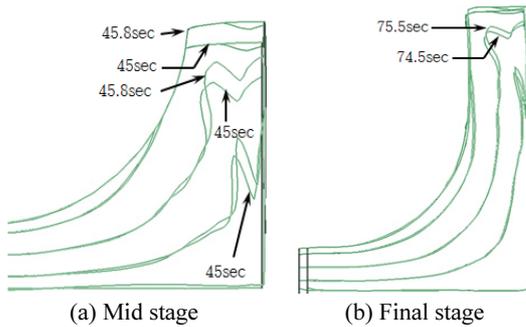


Fig. 14 Net flow shapes by spinning

본 공정변수를 바탕으로 시뮬레이션 한 후 공정의 초반, 중반 및 후반부 유효응력 분포를 Fig. 13에서 보이고 있으며, 좌로부터 각각 8.3 s, 45.8 s 및 75.5 s 일때의 변형형상과 응력분포이다. 초반부와 중반부까지는 금형과 접촉하는 부분에서 상대적으로 높은 응력 값이 분포하며 공정이 마무리되는 최종단계에서는 플랜지부 전반적으로 높은 값이 분포함을 확인할 수 있다. 소재 내부의 유동분포를 확인하기 위해 Fig. 14와 같이 소재 단면의 유동흐름을 출력하였다. 좌측 그림은 공정 중반부의, 우측은 후반부의 일정 구간에 대한 유동형태로 중반부까지는 랩 롤러의 후퇴에 따른 플랜지의 두께증가와 동시에 반경방향의 성형이 동시에 진행됨을 알 수 있다. 공정의 마무리 단계에서 랩 롤러는 거의 정지상태이므로 반경방향의 유동만이 관찰되며 표면의 접촉이나 터짐 등의 결함 없이 제작이 가능한 것으로 판단된다.

2.2.2 범용롤러를 이용한 통널플랜지의 제작

공정 시뮬레이션 결과를 참고하여 3"부터 12"까지 제작이 가능한 스피닝 설비를 개발하였다. 베이스프레임 위로 금형이 장착된 하부프레임들이 타이로드에 지지되어 슬라이딩할 수 있는 형태로 구성되어 있으며 유압과 전동모터를 동력원으로 한다.

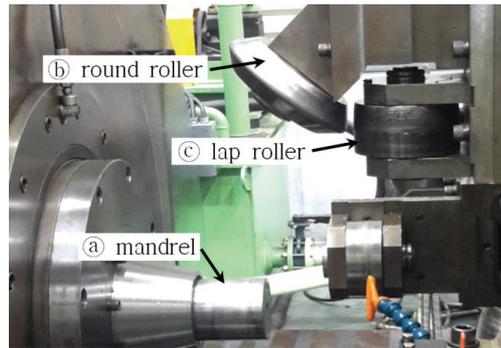


Fig. 15 Arranged dies with general rollers

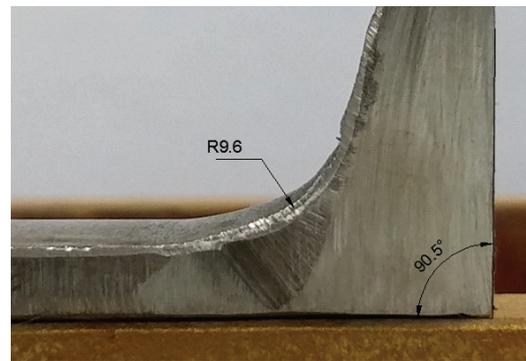


Fig. 16 Internal and external corners at section

금형의 배치는 시뮬레이션 조건을 반영하되 간섭등을 고려하여 Fig. 15와 같이 배치하였다. 그림에서 괄호문자 (a), (b) 및 (c)는 각각 맨드릴, 라운드 롤러, 그리고 랩 롤러이다. 맨드릴에 장착된 소재는 회전하는 동시에 푸셔에 의해 압착되고, 나머지 금형들은 별도의 동력 없이 소재와의 마찰로 자회전한다. 공정 중 발생하는 가공열 및 마찰열의 냉각을 위해 연속 윤활유 공급장치를 추가하였다.

시뮬레이션에 적용된 3" 통널플랜지를 대상으로 시험제작하였으며 제작된 제품을 절단하여 그 단면을 Fig. 16과 같이 검사한 결과 직각모서리와 둥근 모서리가 적절히 성형되었음을 확인할 수 있었다. 다섯 개의 시제품으로부터 절단된 단면에서 플랜지의 두께를 측정한 결과 최소두께의 평균은 목표값 대비 6.8 % 작은 값으로 제작된 것을 확인하였다. 그러나 이는 후가공을 통해 최종제품으로 제작할 수 있는 범위이다.

2.2.3 결과 및 고찰

외부금형을 이용한 회전 다단성형공정의 장점

Table 2 Process comparisons of welding and spinning without outer mold

	Welding	Spinning w/o die
Total number of unit process	19	7
Process time (min)	88	42
Process cost (KWR)	7,683	3,791

을 유지하고 금형가공비 등의 단점을 보완하기 위해 여러 가지 크기의 제품에 범용으로 적용할 수 있는 롤러를 이용하여 공정변수를 결정하고 시제품을 제작하였다. 개발된 공정의 개선효과를 확인하기 위해 일반적으로 사용되는 용접공정과 비교한 결과를 Table 2에 정리하였다. 전체 개별공정은 19개에서 7개로 줄었으며, 제작공수와 제작비용은 모두 용접공정에 비해 50 % 이상 감소한 것으로 조사되었다.

3. 결론

본 논문에서 랩 조인트 형식의 배관연결에 사용되는 롱넥플랜지의 새로운 두 가지 제작방식에 대해 논하였다. 기존 용접공정의 단점들을 보완하고자 무용접 일체형 제작 방법을 제안하였으며, 공정하중을 줄이기 위해 다단 회전성형공정을 도입하였다. 몇 가지 시뮬레이션 조건을 통해 일정 압하속도에 대하여 적절히 가변하는 랩 롤러의 이동속도가 결정되어야 함을 알 수 있었으며, 이를 고려하여 외부금형을 이용한 4" 시제품을 제작하였다. 시제품을 절단하고 그 단면을 검사하여 목표형상 및 치수가 잘 만족하였음을 확인하였으며 여러 위치에서 측정된 경도값으로부터 플랜지부 전반적으로 높은 수준의 가공경화가 발생한 것을 확인하였다.

외부금형을 이용한 방법에서 발생하는 금형가공비나 금형 장착 및 탈거로 인한 제작시간 증가 문제를 해결하기 위해 외부금형 대신 여러 크기의 제품에 범용으로 사용할 수 있는 롤러를 적용한 방법을 검토하였다. 공정을 전반과 후반으로 분할하고, 압하되어 유입되는 체적과 플랜지로 성형되는 체적의 비교를 통해 공정 전반부에는 플랜지의 두께위주로, 후반부에는 폭 위주로 가공되는 조건을 구성하였다. 시뮬레이션 결과를 반영하여 시제품을 제작하였으며 목표형상 및 치수가 잘 만족됨을 확인하였다. 기존 용접공정과 비교 결과 전

체 개별공정의 수는 19개에서 7개로 줄었으며 공정 시간 및 공정비용 모두 50 % 이상 감소하였다.

본 개발 공정을 이용하여 시제품을 생산 중이며, 중장기 양산에 적용할 경우 품질 및 가격경쟁력을 동시에 제고할 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

1. Araki, K., "Manufacturing Method of Lap-Joint Pipe," JPN Patent, No. Shou64-71527, 1989.
2. ASME No. B16.9, "Factory-Made Wrought Buttwelding Fittings," 2007.
3. Cho, G. R., Bae, W. B., and Choi, G. D., "Pipe Joint Forming Method by Local Rapid-Heating," KOR Patent, No. 2003-0062470, 2003.
4. Kim, J. S., Cho, J. R., and Jeong, H. S., "Manufacturing Method of Long-Neck Flange," KOR Patent, No. 10-0688066, 2007.
5. Park, J. E., Han, C. S., Choi, S., Kim, S. S., and Na, K. H., "The Spinnability of Multi-Step Cylindrical Cup in Spinning Process," Proc. of KSPE Spring Conference, pp. 1016-1020, 2001.
6. Hong, L. P., "The Development of Manufacturing Method Using Spinning Process of Ingegrated Stubend for Piping Connection," M.Sc. Thesis, Department of Mechanical Engineering, Korea Maritime and Ocean University, 2013.
7. Gwak, G. Y., Jeon, J. W., Cho, J. R., Choi, J. Y., and Kim, J. S., "Development of Integrated Stub End by Spinning Process," Int. J. Precis. Eng. Manuf., Vol. 16, No. 7, pp. 1473-1477, 2015.
8. Gwak, G. Y., "A Study on the Development of Manufacturing Process for Integrated Stub End by Spinning," Ph.D. Thesis, Department of Mechanical Engineering, Korea Maritime and Ocean University, 2015.