

## 플로우 터닝 공정에서의 성형성 연구

최석우\* · 김승수\* · 나경환\* · 차달준\*\*

## Formability of Flow Turning Process

S. Choi, S. S. Kim, K. H. Na and D. J. Cha

### Abstract

The flow turning process, an incremental forming process, is a cost-effective forming method for axi-symmetric intricate parts to net shape. However, the flow turning process shows a fairly complicated deformation, it is very difficult to obtain satisfactory results. Therefore extensive experimental and analytical research has not been carried out. In this study, an fundamental experiment was conducted to improve productivity with process parameters such as tool path, angle of roller holder( $\alpha$ ), feed rate( $v$ ) and corner radius of forming roller( $R_r$ ). These factors were selected as variables in the experiment because they were most likely expected to have an effect on spring back. The clearance was controlled in order to achieve the precision product which is comparable to deep drawing one. And also thickness and diameter distributions of a multistage cup obtained by flow turning process were observed and compared with those of a commercial product produced by conventional deep drawing.

**Key Words** : Flow Turning Process, Spring Back, Feed Rate, Tool Path, Angle of Roller Holder, Corner Radius of Roller, Clearance.

### 1. 서 론

플로우 터닝(Flow turning)공정은 회전하는 소재를 부분적으로 성형하여 제품을 완성하는 회전 점진성형 공정으로, 비교적 복잡한 축대칭 형상도 손쉽게 성형이 가능하고, 다품종 소량생산에 적합하여, 자동차 부품을 비롯한 선박, 우주항공, 주방용품 및 기계류 부품 등 산업전반에 걸쳐서 널리 활용되고 있는 우수한 공정이다(Fig. 1). 특히 오늘날과 같이 소비 수요가 다양하고, 제품의 수명 주기와 납기가 짧아지고 있어, 모델 변경이 빈번한

시대에 적합한 성형 공정이라고 할 수 있다. 그러나 고부가가치 고정밀 제품 성형을 위한 다양한 연구의 뒷받침이 부족하여, 고정밀 제품 생산에는 널리 응용되지 못하고 있다.

본 연구는 종래 딥드로잉 공정으로 생산되어 왔던 자동차용 자동및선 부품을 플로우 터닝 공정으로 대체하고자 수행된 연구로서, 후속 공정과의 원활한 연계를 위하여 기존의 프레스 드로잉 제품과 같은 규격으로 제품을 생산하기 위한 공정 지식 및 최적 공정 변수를 제시하기 위하여 수행되었다.

\* 한국생산기술연구원 생산공정기술연구팀

\*\* (주)경창산업 신세대사업부

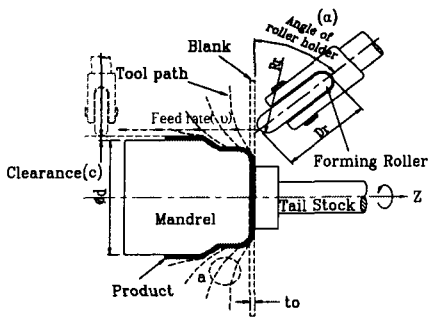


Fig.1 principle of the Flow turning process

본 연구가 플로우 터닝 공정의 정밀도 향상과 부품 정밀도 향상에 토대가 되어 본 공정이 고정밀 제품 성형에 널리 활용되는 계기가 되기를 기대한다.

## 2. 실험

본 연구의 대상 제품은 자동차용 자동미션 부품으로 내경  $144.5 \pm 0.04\text{mm}$ , 두께 2.8t (Fig. 2 참고) 규격을 가지고 있으며, 열연압연강판(SPHD)를 블랭킹하여 원소재로 사용하고 있다.

플로우 터닝 공정의 주요 공정 변수는 롤러 이송 경로 (Tool path), 롤러 이송속도 ( $v$ ), 롤러 성형각도 ( $\alpha^\circ$ ), 롤러 코너 반경 ( $R_r$ ), 클리어런스 ( $c$ ) 등이 있으며 (Fig. 1 참고), 본 연구에서는 이와 같은 주요 공정 변수들이 제품 정밀도에 미치는 영향을 살펴보았다. 특히 본 연구는 종래의 드로잉 제품을 대체하고자 수행된 연구임으로, 딥드로잉 제품과 동등한 두께 특성과 형상 특성을 갖는 제품을 성형하기 위한 공정변수에 대한 연구와 성형 방법 연구에 주력하였다.

이 중에 이송경로 및 코너 반경 값은 그 동안의 연구결과<sup>[11,12,13]</sup>를 통하여 얻은 지식을 활용하여 사용하였다. Fig. 4는 선정된 롤러의 이송경로를 나타내주고 있다. 롤러 코너 반경은 본 제품 성형을 위한 여러 번의 연구로부터 검증된 값 ( $R_r=12\text{mm}$ )를 사용하였다.

Fig. 3은 본 실험에 사용된 플로우 터닝 장치의 외관을 보여 주고 있으며, Fig. 5는 성형롤러 코너 반경이 제품의 두께분포에 미치는 영향을 나타내 주고 있다.

그러므로 본 실험에서는 Fig. 4와 같이 선정된 롤러 이송경로와 롤러 코너반경을 이용하여, 롤러 이송속도, 롤러 성형각 등의 성형변수를 최적화하고, 양호한 품질의 제품을 생산하기 위한 방안을 제시 하고자 한다.

## 3. 실험결과 및 고찰

Fig. 6, 7은 성형롤러 코너 반경이 12mm인 경우, 롤러 성형각이 제품 두께에 미치는 영향을 분석한 것으로, 롤러 이송속도가 상대적으로 클수록 제품의 두께분포가 양호하여 짐을 알 수 있다. 본 제품의 경우 롤러 이송속도가 1.5mm/rev인 경우 프레스 제품과 동등한 두께 분포를 나타내고 있다.

롤러 성형각이 제품 두께 분포에 미치는 영향은 롤러의 이송속도의 영향에 비하여 상대적으로 낮은 것으로 나타나고 있으나, Fig. 5, 6, 7에서 알 수 있듯이 롤러 이송속도가 1.5mm/rev인 경우 롤러 성형각이 작을수록 제품의 두께는 프레스 드로잉 제품에 근접하고 있다. 그러나 롤러 성형각이  $5^\circ$  이하가 되면 제품 표면 불량 현상이 발생한다. 이는 첫 번째 롤러 이송경로 (Fig. 1 참고)에서 소재와 롤러의 측벽이 접촉하는 이상 접촉에 의하여 발생하는 현상으로 롤러 성형각은 작을수록 제품두께 분포에 유리하나, 본 실험에서는 롤러의 성형각  $7^\circ$  가 한계인 것으로 판단된다. 따라서 제품 두께 분포의 측면에서 살펴보면 롤러 코너반경 12mm, 롤러 이송속도 1.5mm/rev, 롤러 성형각  $7^\circ$  가 가장 적합한 공정 변수값임을 알 수 있다.

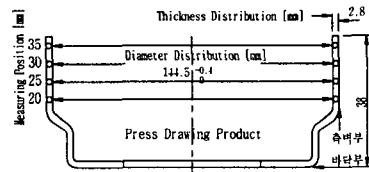


Fig. 2 Target shape of product

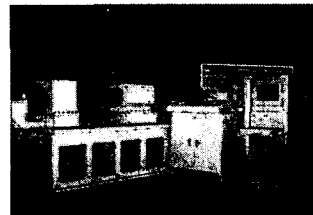


Fig. 3 Flow turning machine

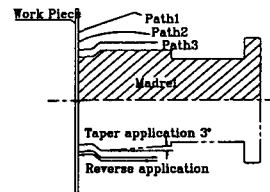


Fig. 4 Optimized tool path for the target product

다음은 공정변수에 따른 측벽부의 내경분포를 살펴본다. Fig. 8에서 살펴보면 전체적으로 프레스 드로잉 제품보다 성형높이 20mm위치에서는 성형롤러 설치 각이  $5^\circ$ ,  $7^\circ$ 일

때 롤러 이송속도 변화에 큰 영향 없이 비교적 스프링백 양이 적고 대체로 일정한 경향을 나타내고 있으나 롤러 성형각이  $10^\circ$  일 때는 35mm위치에서는 약 2mm까지 크게 측벽부 내경이 커졌다. 즉 측벽부의 내경 분포는 제품의 두께분포와 비슷한 경향으로 롤러 성형각이  $10^\circ$ 인 경우보다 상대적으로 작은  $5^\circ, 7^\circ$ 인 경우가 보다 양호한 결과를 나타내고 있다. 그러나 제품이 요구하는 공차 범위를 만족시키는 수준에는 미치지 못 함을 알 수 있었다.

이와 같은 스프링 백 현상은 제품에 적극적인 두께 변화를 유도하는 공정설계를 통하여 충분히 해소될 것으로 판단된다. 그러나 본 연구는 종래의 드로잉 제품을 후속 공정의 변화 없이 플로우 터닝 공정으로 대체하는 것이 주요 목적으로 제품의 두께분포가 드로잉 제품과 다른 제품을 성형하는 적극적인 두께 변화 공정을 채택할 수 없었다. 따라서 본 연구에서는 맨드릴 형상을 일부 수정하여 역테이퍼(테이퍼 각  $3.0^\circ$ )를 갖는 맨드릴을 사용하여 (Fig. 4참고), 제품이 오버 밴딩(Over bending)될 수 있는 실험을 수행하였다.

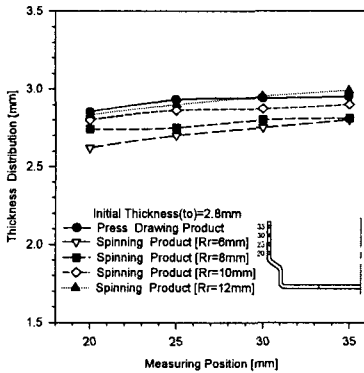


Fig. 5 Comparison of thickness distribution with respect to various corner radius of roller ( $\alpha=10^\circ$ ,  $v=1.5\text{mm/rev}$ ,  $c=2.80\text{mm}$ )

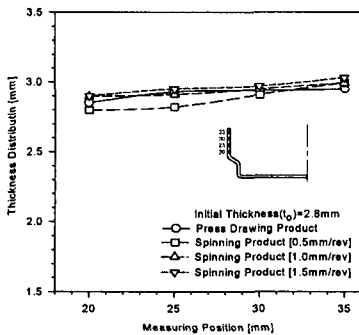


Fig. 6 Comparison of thickness distribution with respect to various feed rates. ( $\alpha=7^\circ, R_r=12\text{mm}, c=2.80\text{mm}$ )

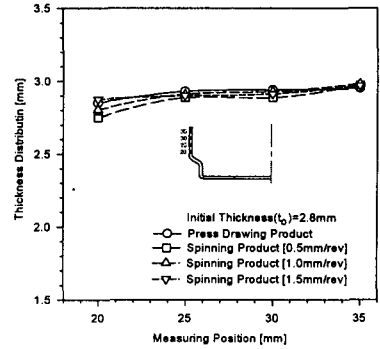


Fig. 7 Comparison of thickness distribution with respect to various feed rates. ( $\alpha=5^\circ, R_r=12\text{mm}, c=2.80\text{mm}$ )

실험결과 제품의 두께분포는 Fig. 9에서 살펴볼 수 있듯이 롤러 이송속도가 1.5mm/rev인 경우 다른 공정과 마찬가지로 매우 양호하고, 직경분포도 144.80mm~144.98mm에 이르는 등 비교적 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 아직 드로잉 제품의 측벽부 내경공차  $144.5^{+0.4}_{-0.6}\text{mm}$ 에는 미치지 못함을 알 수 있었다.

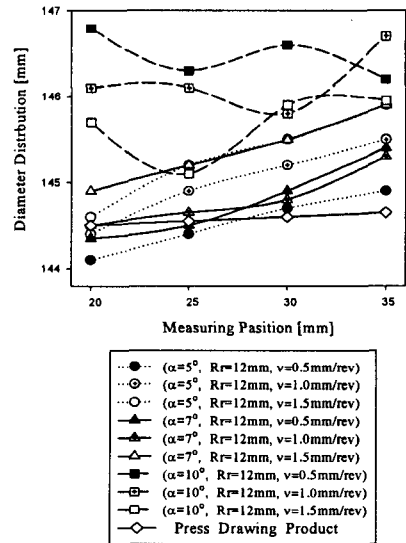


Fig. 8 Diameter distribution with respect to feed rate and angle of roller holder ( $c=2.80\text{mm}$ )

따라서 본 연구에서는 제품의 허용공차 이내에서 제품의 두께를 변화시키는 방법을 적용하여 보았다. Fig. 10, 11은 Fig. 9와 같은 조건으로 이송속도에 따른 클리어런스를 각각 2.83mm, 2.77mm로 적용, 성형한 결과를 나타낸 것이다. 이송속도는 클리어런스 변화에도 불구하고 선행연구 결과와 마찬가지로 대체로 1.5mm/rev 일 때가 대체로 성형성이 우수하였다. 이는 본 제품 성형에는 1.5mm/rev의

이송속도가 적합함을 재 입증하는 결과라고 사료된다. 클리어런스를 2.80, 2.83mm 적용하여 성형한 경우에는 두께 분포는 대체로 양호하다. 특히 클리어런스가 2.80mm일 때의 두께분포는 딥 드로잉제품의 품질과 유사한 우수한 결과를 나타내고 있다.(Table 1 참고.)

Fig. 12는 이송속도와 클리어런스 변화에 따른 측벽부 내경분포를 나타내고 있으며, Fig. 13에는 동일한 성형변수에 클리어런스 변화에 따른 성형품의 단면형상을 나타내었다.

클리어런스에 따라 프레스드로잉 제품규격(내경  $144.5 \pm_{0.4}^{0.4}$ mm)과 비교해보면 클리어런스 2.83mm일 경우 소재가 맨드릴에 밀착되지 않아 맨드릴과 소재사이의 틈새만큼 측벽부 내경이 커지는 반면 클리어런스 2.80mm일 때는 소재두께와 같은 클리어런스를 적용했을 때는 측정점 30mm까지는 허용오차 범위내에 근접하였으나, 측벽부로 진행해감에 따라 스프링백 현상이 발생하였다.

클리어런스를 원소재 두께보다 작은 2.77mm로 적용, 실험한 결과 소재가 맨드릴에 완전히 밀착되어 클리어런스 2.80mm적용한 성형품과 비교해볼 때 측벽부 내경이 줄어서 제품이 요구하는 공차에 적합한 제품을 성형할 수 있었다. Table 1에 나타내었듯이 두께 값은 약간 감소하는 경향이 있으나 두께분포는 오히려 딥드로잉제품 보다 우수하여 졌으며, 직경(내경)분포도 허용오차 범위를 만족하는 것으로 나타났다. 따라서 코너반경12mm, 이송속도 1.5mm/rev, 설치각7°, 맨드릴에 역테이퍼를 적용하고 클리어런스를 원 소재 두께(2.8t)보다 약간 작은 2.77mm로 성형하는 본 공정으로 프레스드로잉과 같은 제품정밀도를 구현 할 수 있었다.

Fig. 14는 이와 같은 조건에서 성형한 제품을 나타내고 있다.

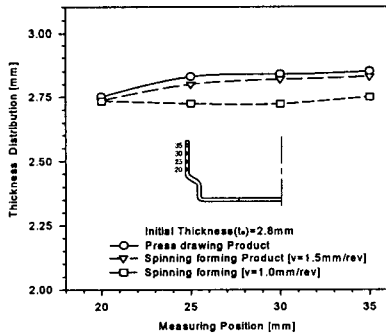


Fig. 9 Comparison of thickness distribution and with respect to various feed rate (taper application  $3^\circ$ ,  $\alpha=7^\circ$ ,  $Rr=12\text{mm}$ ,  $c=2.80\text{mm}$ )

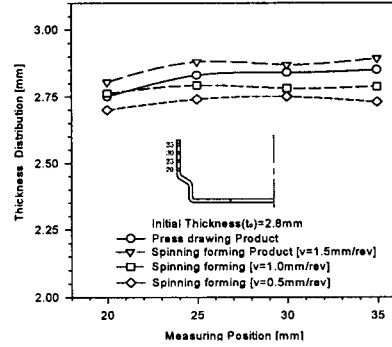


Fig. 10 Comparison of thickness distribution and with respect to various feed rate (taper application  $3^\circ$ ,  $\alpha=7^\circ$ ,  $Rr=12\text{mm}$ ,  $c=2.83\text{mm}$ )

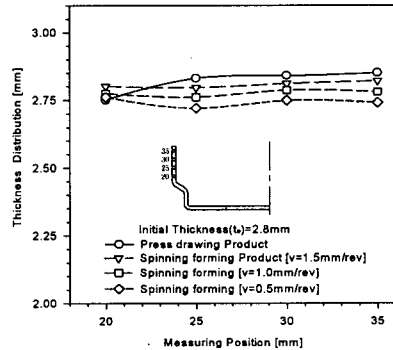


Fig. 11 Comparison of thickness distribution and with respect to various feed rate (taper application  $3^\circ$ ,  $\alpha=7^\circ$ ,  $Rr=12\text{mm}$ ,  $c=2.77\text{mm}$ )

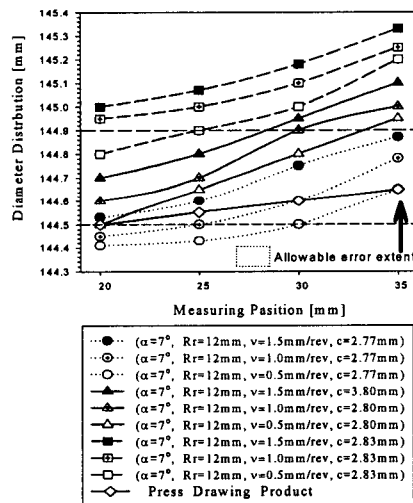
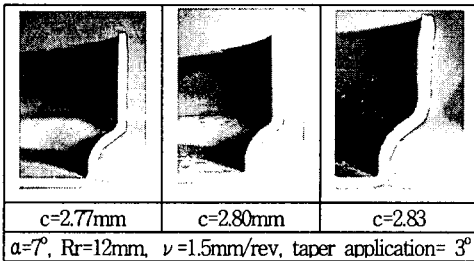


Fig. 12 Diameter distribution with respect to feed rates and angle of roller holder

**Table 1 Comparison of thickness distribution with respect to clearance**

Taper 3° application, $\alpha=7^\circ$ , $Rr=12mm$ , $\nu=1.5mm/rev$	Measuring position				
	20 mm	25 mm	30 mm	35 mm	Total thickness deviation
c=2.83mm	2.80	2.88	2.86	2.89	0.09
c=2.80mm	2.75	2.79	2.81	2.83	0.08
c=2.77mm	2.80	2.77	2.79	2.82	0.02
Process product	2.75	2.83	2.85	2.87	0.12



**Fig. 13 Comparison of deformed shapes**



**Fig. 14 Photograph of the optimized product**

#### 4. 결론

본 연구에서는 프레스 드로잉 성형제품의 측벽부 내경 144.5mm, 두께 2.8인 제품을 플로터닝 공정을 이용하여 성형한 결과, 성형각( $\alpha$ ), 이송속도( $\nu$ ), 클리어런스(c)등의 성형변수들이 제품의 두께분포와 직경(내경)정밀도에 미치는 영향을 파악 할 수 있었다.

(1) 롤러 이송속도는 상대적으로 빨라질수록 품질이 우수한 결과를 나타내었으며, 본 제품 성형시에는 1.5mm/rev인 경우가 가장 알맞은 것으로 나타났다.

(2) 또한 선정된 가공경로에서 성형롤러 코너반경 12mm일 때 롤러 성형각 5, 7, 10°로 실험한 결과, 롤러 성형각도가 상대적으로 작아 질 수록 두께분포가 양호하였다. 그러나 성형각이 5°이하가 되면 제품표면 불량 발생하였다.

(3) 클리어런스 2.77, 2.80, 2.83mm로 각각 적용하여 성형했을 때, 상대적으로 작2.77mm일 때 스프링백이 최소화되어 직경(내경)정밀도가 우수하였으며 두께오차도 양호하였다.

(4) 따라서 성형변수를 코너반경 12mm, 성형 이송 속도 1.5mm/rev, 성형각 7°, 클리어런스 2.77mm, 맨드렐에 역 테이퍼(3°)를 주었을 때 제품의 두께분포, 직경(내경)정밀도가 허용공차 내에 근접하여 성형성이 가장 우수하였으며, 프레스드로잉과 같은 제품정밀도를 구현 할 수 있는 최적 공정변수를 구할 수 있었다.

(5) 플로터닝 공정에서 원 소재의 두께와 최종 제품의 각 부위별 두께가 일정한 제품을 얻기 위한 성형의 경우, 스프링 백을 완전히 없게 하는 것은 대단히 어려운 것을 알 수 있으며, 본 연구결과가 다른 제품 성형시 참고자료로 활용되었으면 한다.

#### 참 고 문 헌

- (1) R. L. Kegg. Engrg. for Industry, Trans. ASME 119, 1960.
- (2) S. Kalpakciogbu, J. of Engrg. for Industry, Trans, ASME, 125, 1961.
- (3) S. Kalpakciogbu, J. of Engrg. for Industry, Trans, ASME, 478, 1961.
- (4) H.C. Sontais, S. Kobayashi and E. G. Thornse, J. of Engrg for Industry, Trans, ASME, (Nov. 1963).
- (5) S. Kalpakciogbu, J. of Engrg. for Industry, Trans, ASME, 49, 1964.
- (6) Wang Qiang and Z. R. Wang, "Numerical Simulation and Experimental Study on the new Process of too-roller bending spinning" Advanced Technology of Plasticity, Vol.3 pp.1387~1390, 1993.
- (7) Masujiro Hayam. "Rotary Forming Process", pp.235~610, 1981.
- (8) Masujiro Hayam. Advances in Rotary Forming Process, pp.256~300, 1981.
- (9) Jurgen Koepfel. "chipless Production Methods" 金屬プレス, vol.30 no.11, pp.5~16, 1998.
- (10) R. Kopp, O. Durr. "Innovative metal Forming Processes to manufacture Future Sheet Metal" Advanced Technology of Plasticity, Vol.1 pp.69~80, 1999.
- (11) 김중호, 박규호, "알루미늄 원통컵 스피닝작업을 위한 롤러이송경로설계", 한국소성가공학회지, 제7권 제5호, pp.489~495, 1998.
- (12) 나경환외 "복합 회전소성 가공공정 개발최종보고서" 한국 생산기술 연구원, 2000.
- (13) 박중언외 "스피닝공정에 있어서 스프링백 현상에 관한 연구", 춘계 학술 대회 발표 논문집, 한국 정밀 공학회, pp.837~841, 2000.