

# 스피닝 공정을 이용한 다단 원형 컵 형상의 성형성에 관한 연구

박종연\* (한양대 정밀기계공학과 대학원), 한창수 (한양대 기계공학부),  
최석우, 김승수, 나경환 (한국생산기술연구원).

## The Spinnability of Multi-step Cylindrical Cup in Spinning Process.

J. E. Park\* (Precision Mech. Eng. Dept., Hanyang Univ.), C. S. Han (School of Mech. Eng., Hanyang Univ. ), S. Choi, , S. S. Kim, K. H. Na (Korea Institute of Industrial Technology).

### ABSTRACT

The Spinning is a very effective manufacturing technology for short production runs in a variety of sizes and shapes, because it can form the cross-section or tubular parts various shapes. However 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 distribution of a multistage cup obtained by shear spinning process were observed and compared with those of a commercial product produced by conventional deep drawing.

**Key Words** : Spinning process, Spring back, Feed rate, Tool path, Angle of roller holder, Corner radius of roller.

### 1. 서론

최근 기계 및 자동차산업의 급속한 발전과 함께 소비자의 요구는 한층 다양해지고 있다 또한 제품의 수명주기도 짧아지고 있다 즉, 다품종소량생산화에 대한 요구는 21세기 들어 더욱 거세지고 있다. 따라서 이와 같은 시대적 요구에 부응할 수 있는 새로운 대체 기술이 절실히 요구되고 있다. 스피닝 공정(spinning process)은 다품종 소량생산화에 보다 적합한 소성가공 공정으로서 널리 인정받고 있으며, 다른 공정에 비해 우수한 표면, 낮은 생산비용, 직·간접비용 저하, 신속제작 등의 장점으로 인하여 현대산업의 기술변화에 적합한 재조공정 중 하나로 각광 받고 있다.(Fig. 1)<sup>[9][10]</sup> 그러나 국내의 경우 스피닝공정에 대한 인식부족으로 인하여 낮은 치수정밀도 및 형상정밀도 제품 성형에 적용되고있어 고부가가치 제품성형에 어려움을 겪고 있다. 따라서 치수정밀도 향상에 대한 연구, 특히 스

프링 백(spring back)에 대한 연구 등 제품정밀도 향상에 대한 연구개발이 요구되고있다.

본 연구는 자동차 부품이 다품종소량생산화에 대응하기 위해서 기존의 딥 드로잉공정(deep drawing process)으로 생산되어 왔던 제품을 스피닝공정으로 대체하고자 수행된 것으로, 상세한 내용은 지면을 통하여 이미 보고하였다.<sup>[13][14]</sup> 본 논문은 보고된 논문 중 부족한 부분을 보완한 것으로 제품의 두께정밀도, 형상정밀도를 충분히 만족하는 우수한

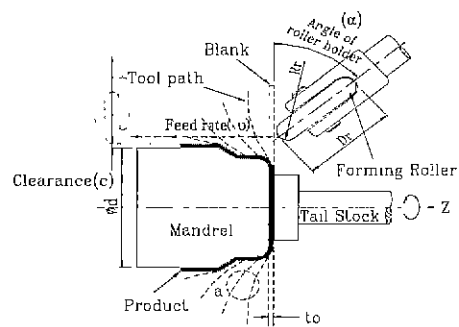


Fig 1 Spinning process

결과를 보여주고 있다.

선행연구를 통해<sup>[13][11]</sup> Fig. 2와 같은 제품을 성형하는데 있어서 가장 알맞은 성형조건은 Fig.3과 같은 이송경로(tool path). 코너반경(Rr)12mm, 설치각( $\alpha$ ) 7°, 이송속도( $v$ )1.5mm/rev임을 알 수 있었다. 또 맨드릴의 직경을 3°의 역 테이퍼(taper)로 가공하여 제품이 오버밴딩(over banding)되게 함으로써 스프링 백이 일부 감쇄되어 좀더 향상된 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

그러나 개발대상제품의 핵심인 직경(내경)정밀도가 상용화에 필요한 치수정밀도에는 미치지 못하였다. 따라서 본 연구에서는 정밀도 향상을 위해 제품의 측벽부 두께를 변화시키는 방법을 연구한다.

Table 1 Experimental conditions of spinning process.

Blank Diameter(Da)	206mm
Blank Thickness(ta)	2.8mm
Clearance(c)	2.8mm
Material	SPHD
Mandrel Diameter(d)	∅144.5mm
Forming Roller Dia(Dr)	∅180mm
Forming Roller Corner Radius(Rr)	6, 8, 10, 12mm
Angle of Roller Holder( $\alpha$ )	5, 7, 10°
Spindle speed of revolution	598 rpm
Forming Roller Feed Rate( $v$ )	0.5, 1.0, 1.5mm/rev

Table 2 Mechanical properties and chemical compositions of workpiece

제진 SPHD	두께 2.8	기계적성질		화합성분(%)		
		인장강도 (kgf/mm <sup>2</sup> )	연신율(%) l <sub>0</sub> =25×3.2mm	P	C	Mn
	2.8이상	33~35		0.04	0.10	0.50

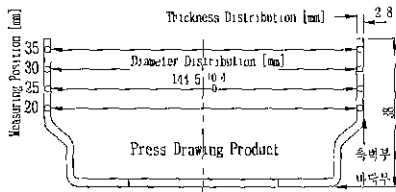


Fig 2 Target shape of product.

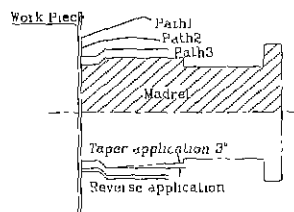


Fig. 3 Optimized tool path for the target product

## 2. 실험

본 실험은 프레스드로잉 제품과 같은 규격으로 (내경 144.5(+0.4, -0.0)mm, 두께 2.8t, (Fig. 2 참고)) 제품을 생산하기 위한 최적 스피닝공정 변수를 제시하기 위하여 수행되었다. 실험은 한국생산기술연구원이 (주)경창산업과 공동으로 개발한 회전소성 가공장치를 이용하여 수행하였으며, 이송속도( $v$ ), 코너반경(Rr) 등의 성형변수는 선행 연구자<sup>[9][10]</sup>들이 제시한 값들을 참고하였으며, 실험에 적합하도록 일부 값들을 수정하여 사용하였다. 실험에 사용한 소재는 두께 2.8mm의 드로잉용 열간압연 강판으로 직경 206mm로 블랭킹(Blanking)하여 사용하였다. Table 2에는 사용소재에 대한 기계적 특성과, 화학적 성분을 나타내었다.

Fig.4는 선행연구결과를 요약 정리한 그래프로서, 스피닝공정 변수가 두께정밀도 및 스피닝백에 미치는 영향을 한눈에 파악 할 수 있다.

Fig. 4 에서도 파악할 수 있듯이 코너반경 12mm, 이송속도 1.5mm/rev, 롤러 설치각7°, 맨드릴에 역 테이퍼를 주어 성형했을 때 제품의 두께분포, 측벽부 내경이 최소화되는 것을 확인할 수 있었다.<sup>[13][14]</sup> 그러나 제품이 요구하는 허용오차범위를 만족시키는 수준에는 미치지 못 하였다. 따라서, 허용오차범위를 만족시키는 정밀한 제품을 성형하기 위해서 측벽에서 부터 점진적으로 두께를 변화시키는 공정을 추가하여 연구하였다. 즉 클리어런스 값을 변화시키며 두께분포 및 직경(내경)분포의 변화를 살펴보았다. 이후에는 Fig 3과 같이 선정된 이송경로를 이용하여 코너반경12mm, 설치각7°, 역 테이퍼가 적용된 맨드릴에 각 공정변수를 고정하였을 경우 클리어런스(2.77mm, 2.80mm, 2.83mm)변화가 제품정밀도에 미치는 영향에 대해서 상세히 기술한다.

## 3. 실험결과 및 고찰

Fig. 5, 6. 7과 Table 3은 위와 같은 조건으로 이송속도에 따른 클리어런스를 각각 2.83mm, 2.80mm, 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 제 입증하는 결과라고 사료된다. 클리어런스를 2.80, 2.83mm 적용하여 성형한 경우에는 두께분포는 대체로 양호하다 특히 클리어런스가 2.80mm일 때의 두께분포는 덜

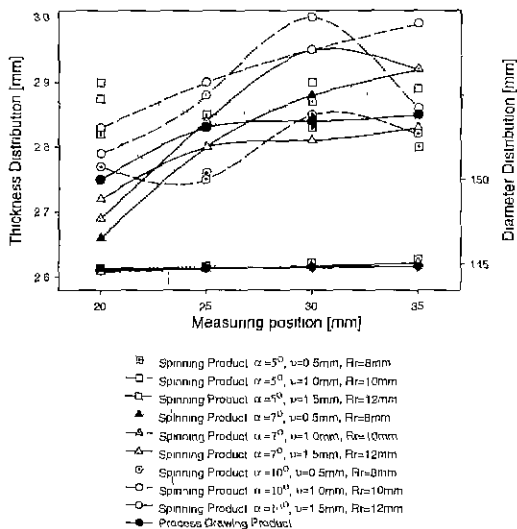


Fig. 4 Comparison of thickness distribution and with respect to various feed rate.

드로잉제품의 품질과 유사한 우수한 결과를 나타내고 있다.(Table 3 참고.)

Fig. 8은 이송속도와 클리어런스 변화에 따른 측벽부 내경분포를 나타내고 있으며, Fig. 9에는 동일한 성형변수에 클리어런스 변화에 따른 성형품의 단면형상을 나타내었다.

클리어런스에 따라 프레스드로잉 제품규격(내경 144.5mm +0.4, -0.0)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. 따라서 Table 3에 나타내있듯이 두께 값은 약간 감소하는 경향이 있으나 두께분포는 오히려 덜 드로잉제품보다 우수하여졌으며, 직경(내경)분포도 허용오차 범위를 만족하는 것으로 나타났다. 따라서 코너반경12mm, 이송속도1.5mm/rev, 설치각7°. 맨드릴에 역 테이퍼를 적용하고 클리어런스를 원 소재 두께보다 약간 작은 2.77mm로 성형하는 본 공정으로 프레스드로잉과 같은 제품정밀도를 구현 할 수 있었다.

Fig. 10은 최적성형조건인 코너반경12mm, 이송속

도 1.5mm/rev, 설치각 7°, 클리어런스 2.77mm, 맨드릴에 역 테이퍼를 적용하여 성형한 제품을 나타내고 있다. 스피닝공정에서 원 소재의 두께와 최종 제품의 각 부위별 두께가 일정한 제품을 얻기 위한 성형의 경우, 클리어런스를 적절히 적용하여 스프링백을 최대한 억제할 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 프레스 드로잉 성형제품의 측벽부 내경 144.5mm, 두께 2.81인 제품을 스피닝공정을 이용하여 성형한 결과, 설치각( $\alpha$ ), 코너반경( $R_r$ ), 이송속도( $v$ ), 클리어런스( $c$ )등의 성형변수들이 제품의 두께분포와 직경(내경)정밀도에 미치는 영향을 파악 할 수 있었다.

1. 이송속도가 대체로 빠르면 내경분포는 양호하나 두께분포는 프레스드로잉제품수준에 미치지 못 하였다 이송속도가 상대적으로 느릴 경우 위와 반대로 두께분포가 좀더 양호한 결과가 나왔으나 내경분포가 프레스드로잉제품 보다 치수정밀도에 미치지 못하였다 따라서 본 제품 성형에 있어서 적정 이송속도는 1.5mm/rev이다.
2. 클리어런스 2.77, 2.80, 2.83mm로 각각 적용하여 성형했을 때, 상대적으로 작은2.77mm일 때 스프링백이 최소화되어 직경(내경)정밀도가 우수하였으며 두께오차도 양호하였다.
3. 따라서 성형변수를 코너반경12mm, 성형이송속도 1.5mm/rev, 설치각7°, 클리어런스2.77mm, 맨드릴에 역 테이퍼(3°)를 주었을 때 제품의 두께분포, 직경(내경)정밀도가 허용공차 내에 근접하여 성형성이 가장 우수하였다. 따라서 프레스드로잉과 같은 제품정밀도를 구현 할 수 있는 최적 공정변수를 구할 수 있었다.
4. 스피닝공정에서 원 소재의 두께와 최종 제품의 각 부위별 두께가 일정한 제품을 얻기 위한 성형의 경우, 본 연구결과가 다른 제품 성형시 참고자료로 활용되었으면 한다.

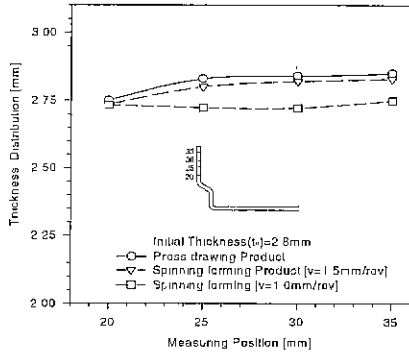


Fig. 5 Comparison of thickness distribution and with respect to various feed rate (taper application  $3^\circ$ ,  $\alpha=7^\circ$ ,  $Rr=12mm$ ,  $c=2.80mm$ .)

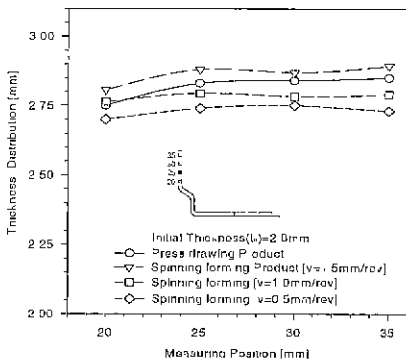


Fig. 6 Comparison of thickness distribution and with respect to various feed rate. (taper application  $3^\circ$ ,  $\alpha=7^\circ$ ,  $Rr=12mm$ ,  $c=2.83mm$ .)

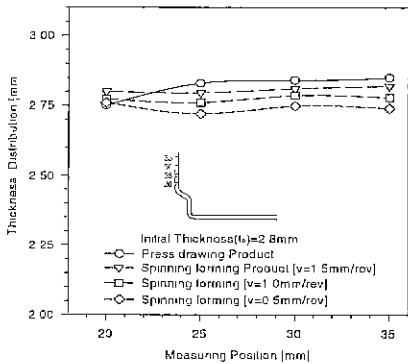


Fig. 7 Comparison of thickness distribution and with respect to various feed rate. (taper application  $3^\circ$ ,  $\alpha=7^\circ$ ,  $Rr=12mm$ ,  $c=2.77mm$ .)

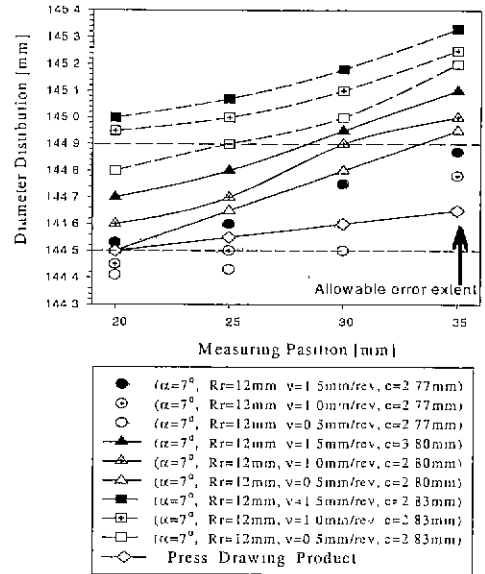


Fig. 8 Diameter distribution with respect to feed rates and angle of roller holder.

Table 3 Comparison of thickness distribution with respect to clearance

taper: $3^\circ$ application $\alpha=7^\circ$ , $Rr=12mm$ , $v=1.5mm/rev$	Measuring position				total thickness deviation
	20mm	25mm	30mm	35mm	
$c=2.83mm$	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

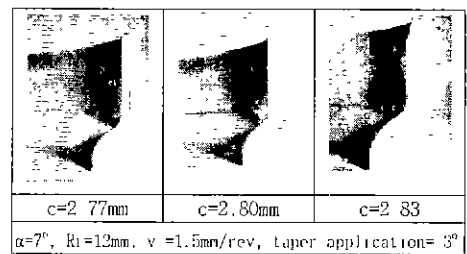


Fig. 9 Section comparison of thickness distribution and with respect to various feed rate.



Fig. 10 The optimized product of multistep cylindrical cup.

## 참고문헌

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. Thomse, 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.23 5~610. 1981
8. Masujiro Hayam Advances in Rotary Forming Process. pp 256~300, 1981.
9. Jurgens Koeppel. "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. 김종호, 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", 춘계학술대회발표논문집, 한국정밀공학회, pp.837-841, 2000.
14. 박중언외 "스피닝공정에 있어서 스프링백 억제방안에 관한 연구" 한국 정밀공학회 투고 중