

## 원통형 컵에 대한 강판의 Conventional 스피닝의 실험 연구

이항수\*

### Experimental Study on the Conventional Spinning of Cylindrical Steel Cups

H. S. Lee

#### Abstract

The purpose of this study is preparing the database for conventional spinning of the steel sheets which are applied into the mechanical parts such as wheel disc and driving clutch drums. The experimental work for the conventional spinning of cylindrical typed shell has been carried out and the database for limiting spinning ratios, spring-back and thickness distributions has been obtained. The working conditions are categorized for the feeding velocity and dimension of rotating mandrel and forming roller. The results are useful to the product design of conical parts. And the present study can contribute to the improvement of industrial technology.

**Key Words** : Conventional Spinning, Cylindrical Cup, CNC Spinning Machine, Steel Sheet

#### 1. 개 요

금속판재의 성형가공 중에서 펀치 및 다이 등을 사용하지 않고, 원추형 또는 반구형 등의 축대칭 맨드렐에 소재를 고정시킨 후 회전시키는 가운데 성형롤러나 주걱을 이송시켜 점진적으로 소재를 맨드렐에 밀어 붙여 맨드렐과 같은 형상의 제품으로 성형하는 소성가공법을 스피닝이라 한다. 스피닝에는 평판을 셸(shell) 제품으로 만드는 Conventional 스피닝과 전단스피닝(shear spinning)이 있으며, 근래에 개발된 Flow Forming이 있다. 재래적인 스피닝은 정밀도가 높지 않은 단순형태의 제품에 적용되어 왔으나 관련기술의 발달과 함께 활용도가 점점 높아지고 있다. 오늘날에는 가정용품에서부터 전기용품, 기계부품, 자동차부품, 군수산업부품, 원자력산

업부품, 우주항공분야 등 거의 모든 산업분야 전반에 걸쳐 유용하게 적용되고 있다. 특기할 만한 사항은 강판을 활용한 자동차의 구동부품 생산에도 응용이 확대되고 있다는 점이다. 예를 들어, 대형 트럭의 휠의 경우 기능상 피로수명의 향상 목적으로 스피닝을 적용하고 있으며, 자동변속기의 여러 부품들이 스피닝의 활용가능 부품이다. 또한 각종 폴리 등에 대하여도 부품의 경량화, 고기능화 추세에 따라 부분적으로 스피닝이 적용되고 있다.

스피닝에 대한 기초연구는 일찍부터 발표되었으며 최근에는 제품개발의 사례가 많이 발표되었다. Kobayashi 등<sup>(1-2)</sup>은 전단스피닝과 Conventional 스피닝의 가공성에 대하여 발표하였다. Hayama 등<sup>(3-4)</sup>은 스피닝 공정중에 발생하는 가공력의 해석과 여러 가지 가공조건에 대한 역학적 변수의 영향을 조사하였다.

\* 한라대학교 기계공학부

근래에는 제품화 과정에서의 개발사례에 대한 연구들이 발표되었다.<sup>(5-6)</sup> 국내에서는 최재찬 등<sup>(7)</sup>이 전단스피닝의 가공력 해석을 위한 연구를 바탕으로 스피닝 연구를 시작하였다. 이후 소수이기는 하지만 기초이론 및 기계 개발 등의 연구결과가 보고되고 있다. 나경환 등<sup>(8)</sup>중소기업 지원을 목적으로 스피닝머시인을 개발하였으며, Kang 등<sup>(9)</sup>은 대형트럭용 휠디스크를 생산하기 위한 스피닝 성형기를 개발한 바 있다. 한편, 본 저자는 전단변형과 교축변형을 중심으로 하는 복합스피닝 공정에 관한 이론연구를 진행하였으며,<sup>(10)</sup> 기계부품의 개발을 목적으로 실험용 CNC스피닝머시인을 개발한 바 있다.<sup>(11)</sup>

이러한 연구내용을 바탕으로 스피닝공정에 대한 기술적 진보가 이루어지기는 했지만 재료에 있어서 기계부품으로 사용하는 강판에 대한 연구는 매우 빈약하다. 따라서 강판에 대한 스피닝의 성형성과 아울러 제반 현상을 분석하여 이를 데이터베이스화할 필요가 있다. 이러한 관점에서 본연구의 목적은 강판을 이용한 스피닝에 대한 성형성 자료를 확보하고 공정에 대한 제반 변수의 영향을 조사하여 향후 강판을 활용하여 실제 제품개발시 활용할 수 있도록 하는 것이다.

## 2. 실험

Fig. 1은 본 연구에서 사용한 스피닝머시인이다. 이 장치는 유압을 이용한 서보시스템으로 CNC프로그래밍이 가능하도록 하였다. CNC 프로그래밍 방법은 그래픽 또는 좌표값의 지정으로 공구를 이송시키도록 했다. CNC 컨트롤러의 자체프로그램을 작성하였으며, 좌표값의 변경점마다 가공정보(이송속도 등)를 조절할 수 있도록 하였다.

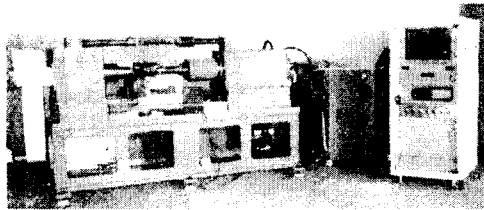


Fig. 1 Photo of CNC spinning machine

본 실험의 성형가공모식도를 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서와 같이 맨드렐을 주축에 고정하고 원형의 강판을 맨드렐에 고정하여 주축과 함께 회전시키는 가운데, 성형롤러를 이송시켜 제품을 성형한다.

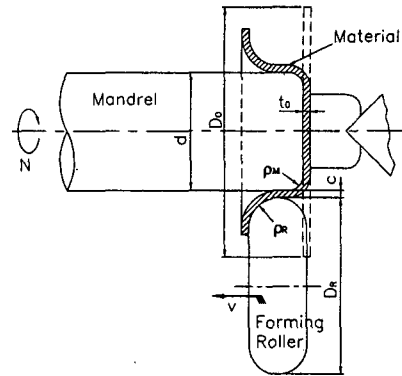


Fig. 2 Schematic diagram of conventional spinning for cylindrical cups

맨드렐의 직경은 80mm로 선정하였으며, 코너부 반지름의 영향을 살피기 위하여 코너부반경( $\rho_M$ )을 5mm와 10mm의 두가지로 제작하였다. 성형롤러는 직경을 160mm로 정하였으며, 롤러코너부 반경의 영향을 고찰하기 위해 코너반경( $\rho_R$ )을 2mm, 5mm, 7mm, 10mm의 4가지로 정하여 제작하였다.

스피닝 가공조건에 대해서는 롤러의 이송속도, 롤러 코너반경, 맨드렐의 코너반경, 소재와 맨드렐 사이의 클리어런스에 대하여 검토하였으며, LDR(limiting drawing ratio, limiting spinning ratio)의 성형성과 스프링백, 두께분포, 표면품질 등의 품질측면에 실험의 주요점을 두었다. 맨드렐의 회전속도는 583 rpm으로 일정하게 유지시켰으며, 윤활에 있어서는 무윤활조건을 적용시켰다. 맨드렐과 성형롤러에 대한 작업조건은 다음과 같다.

Table 1 Working condition for mandrel and roller

	Standard condition	Variable condition
Diameter of mandrel( $D_M$ )	80mm	-
Corner-R of mandrel( $\rho_M$ )	5mm	10mm
Diameter of roller( $D_R$ )	160mm	-
Corner-R of roller( $\rho_R$ )	5mm	2mm, 7mm, 10mm
Feeding velocity( $v_R$ )	0.8	0.4, 1.6
Clearance(c)	1.25t(2.5mm)	-

## 3. 실험결과 및 토론

실험에 사용된 소재는 두께가 2mm인 SCP1종의 강판

으로 스피닝된 제품 사진을 Fig. 3에 나타내었다. 결합에 있어 대체로는 주름(wrinkling)현상이 많이 발생하였다. 파단현상은 롤러의 코너반경이 작은 경우에 나타나는 현상과 주름현상이 심해져서 이에 따르는 종방향 응력이 커져서 발생하는 현상 등 2가지로 분류되어 나타난다.

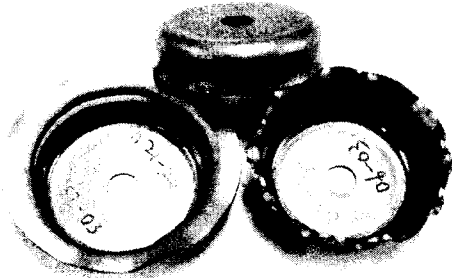


Fig. 3 Photo of spun cups with failure

Fig. 4는 원통형 스피닝시 발생하는 주름과 파단현상으로부터 한계스피닝비를 조사한 것이다. 이 그림에서 보면 공통적으로 성형률의 이송속도가 크면 한계스피닝비가 커지고, 또한 롤러의 코너반경이 커지면 역시 한계드로잉비가 커지는 것을 알 수 있다. 롤러코너반경이 작은 경우 맨드릴에 따른 성형성 차이가 많이 나며 롤러코너반경이 큰 경우에는 성형성 차이가 상대적으로 작다.

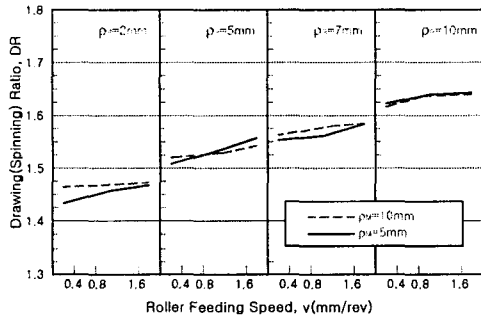


Fig. 4 Comparison of limiting drawing ratios with respect to the corner radius of roller

스피닝 후 제품의 정밀도를 결정짓는 요소는 스프링백과 두께변화이다. Fig. 5는  $\rho_M=10\text{mm}$ 인 맨드릴에 대한 스프링백량을 조건별로 정리한 것이다. 이 그림에서 이송속도가 커지면 현격하게 스프링백량이 커짐을 알 수 있다. 스피닝비(DR)가 클수록 스프링백이 많음을 알 수 있으며, 롤러의 코너반경에 대해서는 대체로는 작은 것이 좋은 결과를 보여주고 있다.

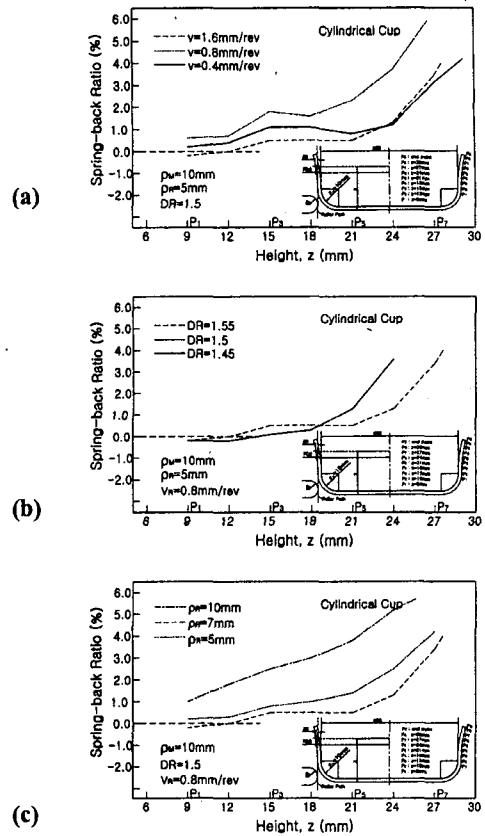


Fig. 5 Comparison of spring-back at the variable conditions; (a) feeding velocity, (b) drawing ratio, (c) corner radius of roller

한편, 스피닝된 시편의 두께변형률을 측정하여 Fig. 6에 나타내었다.  $\rho_M=10\text{mm}$ 인 맨드릴에 의한 제품을 측정된 데이터로서, 전반적으로 모든 경우에 맨드릴 코너부에서 약간의 두께감소가 발생하며 컵의 벽부에서 많은 두께감소가 일어난다. 또한 끝단부에서는 초기 두께보다 두꺼워지는 경향을 보인다. 이송속도에 따른 비교에서, 이송속도가 작아지면 벽부 두께감소가 커지는데, 이송속도가 0.4mm/rev인 경우에는 두께가 절반정도로 얇아짐을 확인할 수 있다. 맨드릴 코너부에서는 약간의 차이만 이송속도가 작은 경우가 두께감소가 적음을 확인하였다. 소재직경에 대해서는 스피닝비가 클수록 두께감소가 커지는데 이는 디프트로잉에서와 마찬가지로의 결과이다. 롤러코너반경의 영향도 매우 크다. 롤러코너반경이 2mm인 경우는 파단이 발생하여 데이터가 없는만큼 두께변화가 심했음을 알 수 있다.

## 후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R05-2000-000-00299-0) 지원으로 수행되었음.

## 참 고 문 헌

- (1) S. Kobayashi, I. K. Hall, E. G. Thomsen, 1961, "A Theory of Shear Spinning of Cones", Trans. ASME, J. Engineering for Industry, pp.485-495
- (2) H. C. Sortais, S. Kobayashi, E. G. Thomsen, 1963, "Mechanics of Conventional Spinning", Trans. ASME, J. Engineering for Industry, pp.346-351
- (3) M. Hayama, 1975, "Analysis of Working Forces in Shear Spinning of Cones", JSTP, Vol.16, No.175, pp.627-635
- (4) M. Hayama, T. Amano, 1975, "Experiments on the Mechanism of Shear Spinning of Cones", JSTP, Vol.16, pp.371-378
- (5) J. Faulhaber, 1987, "CNC Controlled Spinning of Truck Wheel Disks", Industrial & Production Engineering, Vol.11, pp.28-30
- (6) D. H. Pollitte, 1982, "Automatic Spinning-A Production Technique", Sheet Metal Industry, pp.518-538
- (7) 최재찬, 백남주, 김규남, 1981, "전단스피닝 가공의 3분력 해석", 대한기계학회논문집, 제5권, 제2호, pp.88-93
- (8) 나경환, 고명환, 임태홍 외, 1997, "중소기업 지원형 전용 스피닝공정 개발", 한국생산기술연구원 연구보고서, 95-A-1-0046
- (9) 강정식, 강이석, 이항수, 1999, 휠디스크 스피닝 성형기 개발, 한국정밀공학회지, 제16권, 제6호, pp.58-65
- (10) 이항수, 강정식, 1999, 전단 및 교축변형이 조합된 복합스피닝 공정에 관한 연구, 한국소성가공학회지, 제 8권, 제5호, pp.507-519
- (11) 이항수, 2002, 자동차부품 제조를 위한 실험용 스피닝머신 개발, 한국소성가공학회 2002년계학술대회 논문집, pp.117-120

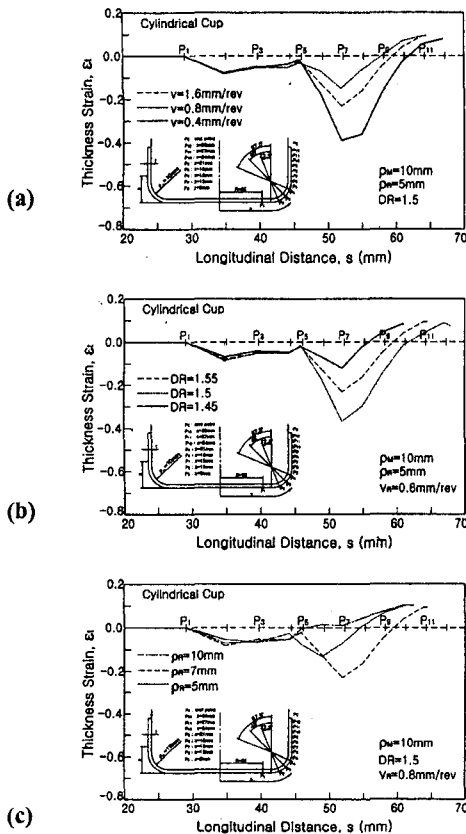


Fig. 6 Comparison of thickness distribution of spun cups at the variable conditions; (a) feeding velocity, (b) drawing ratio, (c) corner radius of roller

## 4. 결론 및 향후과제

강판을 소재로하여 원통형 제품에 대한 Conventional 스피닝 실험을 수행하였다. 실험결과로서 한계스피닝비에 대한 영향요소를 분석하였다. 한계스피닝비는 파단 및 주름현상에 의해 결정되며, 파단보다는 주름현상이 주 요소임을 확인하였다. 스프링백의 경우, 스피닝시 성형초기보다는 후기로 갈수록 그리고 이송속도 및 소재직경이 클수록 스프링백량이 많아짐을 알 수 있었다. 각 조건별로 두께변형률 분포를 조사하여 이송속도가 적절한 범위에서 두께변화가 작음을 알았으며, 롤러코너반경이 너무 작으면 두께감소가 지나쳐서 파단의 위험이 있음을 알았다.