

## 만드렐이 없는 CNC Spinning 기술개발에 관한 연구

이 춘 만(창원대 기계설계공학과), 허 태 목\*(창원대 기계설계공학과)

A study on the development of CNC spinning technology without mandrel

C. M. Lee(Dept. of Mech. Design & Manu. Eng.), T. M. Heo(. Dept. of Mech. Design & Manu. Eng.)

### ABSTRACT

Spinning has been used widely for the manufacture of hollow parts with rotational symmetry. With developing CNC machine, CNC machine center can be applied to the spinning processes. In this paper, a study on the development of CNC spinning technology without mandrel is carried out. The deforming process of the spinning process was simulated by DEFORM 3D to give basic design data.

**Key Words** : Spinning(스피닝), Metal forming(소성가공), Finite Element Analysis(유한요소해석), Computerised Numerical Control(컴퓨터수치제어)

### 1. 서론

회전하고 있는 소재에 롤러(Roller)나 다이(Die)등을 사용하여 소성 가공하는 공정을 스피닝 공정(Spinning process)이라 한다. 이 성형법은 좋은 표면처리와 이음 없는 제품 생산에 적합하고, 근래에 들어 이러한 공정에 관한 연구<sup>1-3)</sup>가 많이 이루어져 소성가공분야에서 그 활용 영역이 넓어지고 있다. 여러 직경을 가진 파이프형 소재를 스피닝 공정에 의해 직경 변화가 다양한 제품으로 만드는 공정은 산업적으로 매우 중요한 공정이다. 머플러(Muffler)같은 제품은 주로 용접이나 스웨이징 머신(Swaging machine)에 의해 생산되어 왔으나, 최근에 스피닝 공정에 의해 생산이 시도되고 있다.

본 연구의 목표는 CNC 선반을 이용하여 대구경 동 튜브를 만드렐(Mandrel)없이 스피닝하는 기술을 개발하는데 있다. 이를 위해 CNC선반에 각종 특수 치공구를 설계하여 부착하였으며, 소성변형에 대해서는 상용 S/W인 DEFORM 3D로 해석하여 CNC 스피닝 공정 개발에 대한 기초데이터를 마련하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 스피닝

스피닝은 관재 또는 Shell형상 소재를 회전시켜 롤러나 다이를 이용하여 성형하는 가공법이다. 이 방법은 경험에 의존해서 가공해 왔기 때문에, 기술의 체계화가 늦어져 이의 보급은 한정된 분야로 남겨져 있었지만, 지금은 가공 기술과 가공설비가 점차 갖추어져 여러 산업 기기에 있어 각종 회전대칭 부품의 생산에 이것을 적용하고 있다. 스피닝 공정은 크게 롤러를 이용하는 방법과 원추형 다이를 이용하는 방법이 있으며, 본 논문에서는 롤러를 이용한 방법을 이용하여 제품을 만들었다. 롤러를 이용하는 방법은 소재와 롤러의 접촉면적이 적고, 접선방향의 마찰은 거의 무시할 수 있으므로 마찰에 의한 열 발생이 적은 장점을 가지고 있다. 반면에 반경의 변화가 매우 큰 경우에는 표면에 주름이 생기는 단점을 가지고 있다.

특히, 본 연구에서는 만드렐 없이 스피닝을 해야 하므로 주름방지를 위한 여러 가지 방안이 필요하며, 설계단계에서 시행착오를 줄이기 위한 해석과 검증과정이 필요하다.

#### 2.2 공구 개발

본 연구의 만드렐이 없는 CNC스피닝 공정에서는

CNC선반에 장착될 척(Chuck), 냉각 시스템(Cooling system), 롤러(Roller)등의 새로운 치공구를 개발하였다.

먼저 척이 기존의 CNC선반용 척으로는 불가능하므로 Fig.1과 같이 외측에는 소재를 3군데의 넓은 면적에서 견고하게 잡아주고, 내측에는 원통형으로 소재를 지지할 수 있는 새로운 척을 개발하였다.

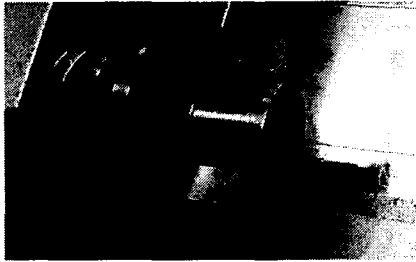


Fig.1 Chuck

고속으로 회전하는 Roller bearing의 마찰을 줄이기 위해 윤활유의 강제 순환이 필요했다. 이때 강제 순환과 동시에 윤활유를 냉각시키기 위한 Cooling system이 필요하며 Fig.2와 같이 설계, 제작하였다.

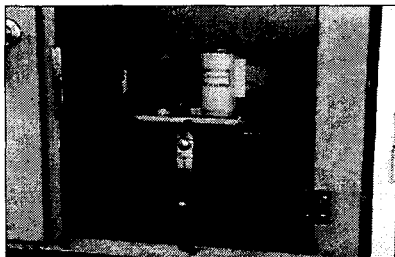


Fig.2 Cooling system

소재를 밀어붙여 원하는 형상으로 성형하기 위한 Roller는 고속도강으로 Fig.3와 같이 설계, 제작하였다.

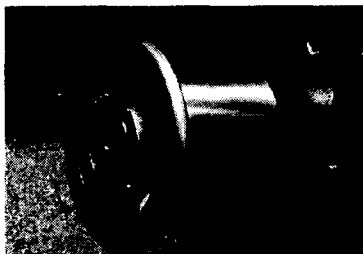


Fig. 3 Roller

## 2.3 모델링 (Modeling) 및 해석

Fig.4는 성형하기 위한 소재를 장착하고 있는 상태의 CNC 스피닝 공정의 핵심 부품을 Modeling한 것이다.

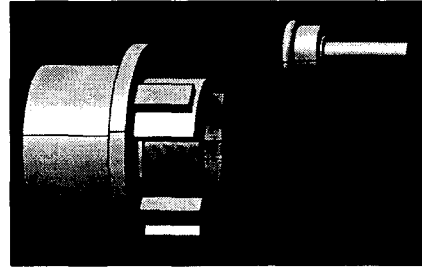


Fig. 4 Modeling of the CNC spinning

가공할 소재는 외경 206 mm, 내경 193 mm, 길이 265 mm의 치수를 가진 중공 형상이다. 재질은 인탈산 동이고, 물성치는 Table 1과 같다.

Table 1 Material properties of process

강종	화학성분(%)					
	Cu	Fe	Sb	S	Pb	Ni
CDA110	99.94	0.0025	0.0003	0.0012	0.0012	0.001

해석에 사용된 유효응력과 유효변형률의 관계식은 (1)식이고, 그래프 Fig.5는 이다.

$$\sigma = c \epsilon^n = 451.295 \epsilon^{0.328} \text{ MPa} \quad (1)$$

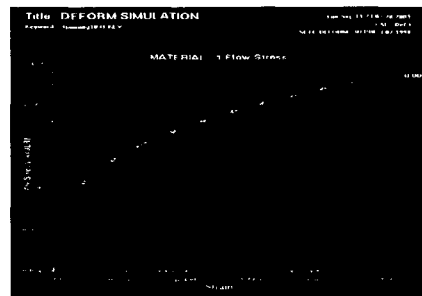


Fig.5 Stress-Strain Curve

스피닝 공정은 점진 성형방법이므로 이론적으로 해석하기는 대단히 어렵다. 그 이유는 파이프형 소재로부터 제품에 이르기까지 수만 회전에 의해 성형

되므로 공정 전체를 이론 해석하기는 거의 불가능하다. 그래서 스피닝 공정의 시작과 종료 부분만을 DEFORM 3D로 해석하여 변형상태, 응력 및 하중 등을 분석하여 스피닝 공정 개발 시에 기초데이터로 활용하였다.

튜브, 방진구 척, 롤러는 CATIA와 I-DEAS로 모델링 하여 DEFORM 3D로 데이터를 옮겨 해석하였다. 위 모델링 결과를 바탕으로 I-DEAS 프로그램의 Mapped mesh를 사용하여 Fig.6은 가공 시작 시, 종료 시의 유한요소 모델이다.

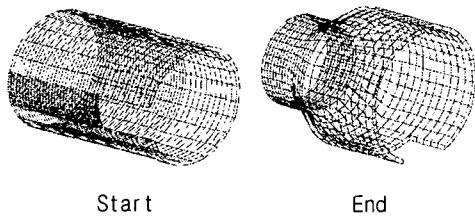


Fig.6 Finite element model

스피닝 공정 시작시의 유한요소모델의 node는 2900개, element는 1400개이다. 종료시의 유한요소모델의 node는 1822개, element는 870개이다. 해석 시 열전달과 열변형 그리고 공작물 사이의 마찰은 무시하였으며, 롤러와 소재 사이의 마찰상수는 0.1로 하였다.

척은 1800 rpm으로 회전하고, 롤러는 30 mm/s의 속도로 회전하는 소재의 반경방향으로 이송시켜서 해석을 하였다. 해석의 step간 간격은 element 길이의 1/4.5인 0.000074초로 하였다.

다음 Table 2는 해석에 소요된 시간과 실제 가공 시간, 그리고 주변 장치에 작용하는 최대 하중을 나타내고 있다.

Table 2 Result by the analysis

		원소재	완성품
실제 가공 시간(sec)		0.024	0.012
방진구에 작용하는 최대하중(N)	X 축	1.272 E05	2.856 E04
	Y 축	5.196 E04	1.080 E04
	Z 축	1.476 E05	4.928 E04
롤러에 작용하는 최대하중(N)	X 축	1.376 E04	3.168 E03
	Y 축	2.016 E04	6.880 E03
	Z 축	4.592 E04	1.620 E04

Fig.7,8,9 는 스피닝 공정의 시작부분을 해석한 결과이다. Z, Y축 방향이 공작물에 작용하는 대표적인 힘의 방향이므로 Fig. 7은 Z축 방향으로 방진구와 롤러에 작용하는 하중을 나타낸 그래프이다. 그래프는 770step에서 하중이 급격히 증가했으며 이것은 770step에서 형상변화가 급격히 일어남에 기인한 것

으로 보인다. Fig.8과 Fig.9는 스피닝 공정 시작부분의 공작물에 작용하는 유효변형률(Effective strain) 분포와 유효응력(Effective stress) 분포를 보여준다. Fig.10은 스피닝 공정 종료 부분의 공작물에 작용하는 유효응력(Effective stress) 분포를 보여준다

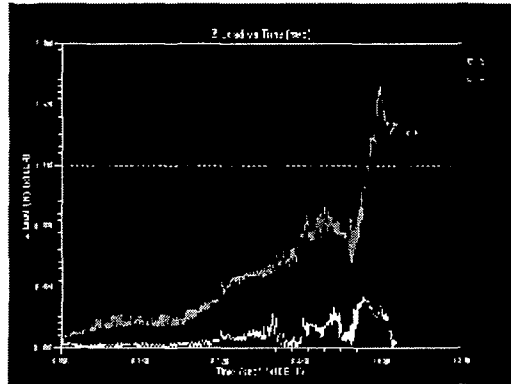


Fig.7 Applied load on work and roller (Z load-Time)

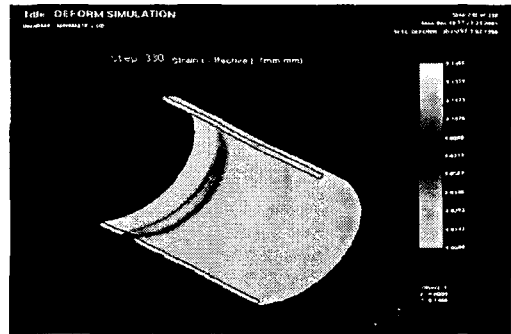


Fig. 8 Effective Strain(Start)

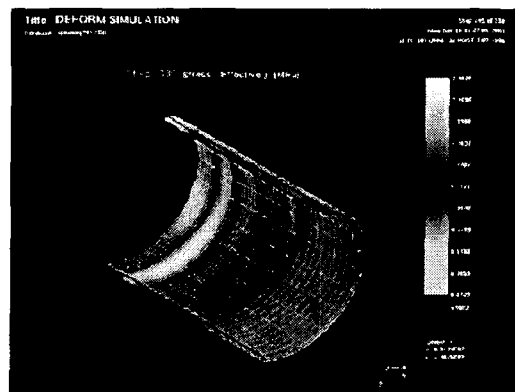


Fig.9 Effective Stress(Start)

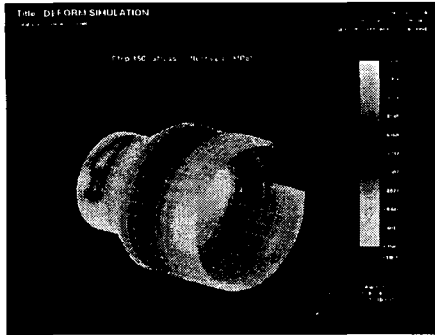


Fig.10 Effective Stress(End)

### 2.4 인장시험

스피닝 가공전의 시편과 가공 완료된 제품에 대해 인장시험을 하였는데, 가공전의 최대인장강도는 평균 35.519 kgf/mm<sup>2</sup>에서 가공 후 평균 46.701 kgf/mm<sup>2</sup>로 14.6%의 인장강도 증가를 볼 수 있었다. Fig.11 과 Fig.12는 가공 전, 후 재료에 대한 하중-변위 관계 그래프이다.

가공 후 제품의 인장강도 테스트에서 선형적으로 힘의 증가를 보이지 않는 것은 인장시편이 너무 작아 인장기의 Gripper부분에서 안정적으로 고정이 되지 않아 일어난 결과로 볼 수 있다. 그리고, 가공 전의 재료의 시편은 인장강도 테스트를 하기에 충분한 크기이므로 공칭응력을 적용하였고, 가공 후 제품의 시편은 작은 크기였기에 진응력을 적용하였다.

Table 3은 각 시험편의 사이즈를 정리한 표이다. 단, 어깨부 반지름은 15 mm로 잡았다.

Table 3 인장시험편의 사이즈

	표점거리	평행부 길이	나비	두께
가공 전	50 mm	약 60 mm	19 mm	5 mm
가공 후	약 4.17 mm	약 5 mm	5 mm	2.63 mm

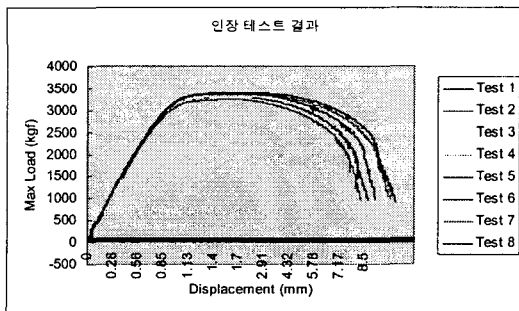


Fig.11 가공 전 재료의 인장강도 Test 결과

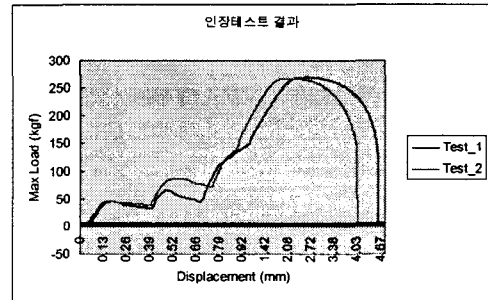


Fig.12 가공 후 제품의 인장강도 Test 결과

### 3. 결론

본 연구에서는 CNC 선반을 이용하여 대구경 동 튜브를 만드렐(Mandrel)없이 스피닝하는 기술을 개발하였다. 이를 위해 CNC 선반에 각종 특수 치공구를 설계하여 부착하였으며, 소성변형에 대해서는 상용 S/W인 DEFORM 3D로 해석하여 CNC 스피닝 공정 개발에 대한 기초데이터를 마련하였다. 재료의 가공 전, 후의 인장강도를 확인해 보았다.

스피닝 공정은 대량 생산에 적합하며 산업적으로 매우 중요한 가공법이다. 해석 시간의 지나친 소모로 만족할만한 데이터를 충분히 얻지는 못했으나, 유한요소해석을 통해 Spinning 제품의 대량생산에 따르는 문제의 해결은 매우 의미 있는 일이며 향후 계속적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

### 후기

본 논문은 과학기술부 및 한국과학재단 지정 창원대학교 공작기계기술연구센터의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

### 참고 문헌

1. “회전가공” “, 일본소성가공학회 저
2. “스피닝에 대한 소고”, 대전 기계창, 이태호 저.
3. “有限尿素法과 上界解法을 이용한 스피닝 工程解析에 관한 研究”, 충남대학교, 김종형 저
4. “A Lower Upper-bound Solutions for Shear Spinning of cones”, 부산대학교, 최재찬 저
5. “전단스피닝 가공의 삼분력 해석”, 최재찬, 백남주, 김규남