

실험용 수치제어 쿠션 시스템의 개발과 드로잉 성형성에 미치는 영향

이정우* · 최치수** · 최이천**

Development of Experimental Numerically Controlled Cushion System and Its Effects on Drawability

J. W. Lee, C. S. Choi and Y. C. Choi

Abstract

It is well known, for many years, that deep drawability can be improved by applying variable blank holding force. To apply variable blank holding force during cup drawing, we set up pressure controlling system on experimental hydraulic press, and the pressure control system is often called NC(Numerically Controlled) cushion system. Using the NC cushion system we compare the drawability of square steel cups with NC cushion and that with conventional cushion. The results show drawability is greatly improved when the pressure control curve is designed in a S-shaped curve. This paper includes design details of the NC cushion system and experimental analysis of drawability with experimental NC cushion system.

Key Words : NC(Numerically Controlled) Cushion System, Deep Drawing, Drawability, Limiting Drawing Ratio(LDR), Blank Holding Force

1. 서 론

프레스를 이용한 박판의 Deep Drawing 공정에서는 드로잉 공정중 판재의 유입저항 크기를 조절하기 위하여 비드(bead)를 설치하기도 하지만 이는 성형의 진행에 따

라 변하는 유입 저항을 조절할 수 없기 때문에, 성형의 진행에 따른 유입저항을 조절하기 위해서는 특별히 고안된 장치가 필요하다.

박판의 딥 드로잉 성형성을 향상시키기 위하여 Hardt⁽¹⁾ 등은 블랭크홀더의 가압력을 적극적으로 조절하여 제품

* 삼척대학교 정밀기계공학과

** 기아자동차 생기개발팀

의 두께를 균일하게 조절한다거나, 최대 용력을 조절하는 등의 목적으로 페루프를 형성하여 제어한 바 있다. 이들의 업적은 블랭크홀딩력을 적극적으로 변화시켜 성형특성을 조절하는 최초의 응용이라고 볼 수 있다. Thiruvarudchelvan⁽²⁾ 등은 펀치력에 비례하는 블랭크홀딩력을 이용하여 주름이 적은 컵의 드로잉에 성공했다는 보고도 있으며, Yoshihara⁽³⁾ 등은 블랭크홀딩력을 퍼지논리를 이용하여 제어함으로써 원통컵의 딥 드로잉 공정의 유연성과 신뢰성을 높였다고 보고하였다. 이외에도 Ahmetoglu⁽⁴⁾ 등은 사각컵의 드로잉시 블랭크홀딩력을 조절하여 주름과 파단을 잘 제어할 수 있었다고 하며, Traversin⁽⁵⁾ 등은 딥 드로잉시 블랭크홀딩력을 가변했을 경우의 공정에 대한 유한요소해석을 통하여 최적의 블랭크홀딩력을 찾는 연구를 행한 바도 있다. 이러한 NC쿠션은 블랭크홀딩력을 제어함과 더불어 블랭크홀더의 움직임을 조절할 수 있는 부수적인 기능이 있어서 프레스 성형시 초기에 발생하는 충격과 소음을 대폭적으로 저감하는 부수적인 기능도 가지고 있다. 그러나 국내에서는 아직 NC쿠션의 적극적인 사용이 미미하다고 보여지며, 이는 NC쿠션의 사용효과에 대한 인식이 저조하고, NC쿠션의 구조와 역할에 대한 지식이 일천하기 때문이라고 보여진다.

이 논문에서는 NC쿠션의 기본특성을 연구하고 NC쿠션의 설계기술을 확보하기 위하여 NC쿠션의 설계와 제작 및 그 성능에 대한 연구와 분석을 행한 후, 실험용 600ton 유압 프레스를 개조하여 NC쿠션을 구현하기 위한 유압계와 제어계의 설계 및 제작에 관한 연구를 기술하였으며, 이렇게 제작된 NC쿠션을 이용하여 사각 컵의 드로잉성의 개선에 관한 실험에 관하여 기술하였다.

2. NC 쿠션의 설계와 제작

Fig. 1은 본 실험에 적용한 NC쿠션 시스템의 개략도이다. 그림에서 NC쿠션 시스템은 압력센서에서 읽혀지는 실시간 데이터를 NC쿠션 프로그램으로 전송하여 원하는 압력 제어곡선에 따라 시간에 따라 유압을 제어함으로써 드로잉시의 유입저항을 조절한다. 일반적으로 수치제어 쿠션 장치는 크게 다음 세 부분으로 구성된다.

가. 압력 조절이 가능한 쿠션시스템: 이를 위하여 수치제어 쿠션 장치에는 유압 서보밸브와 마찰이 적은 실린더가 사용되고 있다.

나. 쿠션압력 제어장치: 쿠션압력을 제어하기 위해서는 현재 쿠션에 걸리는 압력을 감지하는 압력 센서가 있고, 이러한 압력 센서에서 나오는 신호를 증폭하여 압력

제어용 S/W에 전달해 주어야 한다. 그리고 압력 제어 S/W에서 수행된 연산의 결과를 전기적으로 증폭하여 쿠션압력을 조절하는 서보밸브에 전달하는 부분이 있다. 또한 프레스의 동작과 관련된 순차제어를 행하기 위한 전기장치들과 디지털제어를 하기 위한 마이크로 프로세서나 컴퓨터들이 이에 포함된다.

다. 운용 및 제어 S/W: 이는 수치제어 쿠션시스템의 머리에 해당하는 부분이며, 센서나 증폭기에서 들어오는 압력신호와 프레스 램의 위치 정보 등을 이용하여 현재 설정되어야 할 압력을 계산하고 실제의 압력이 설정압력과 틀릴 경우에는 이를 제어하기 위한 신호를 만들어서 쿠션압력 제어장치로 전달하는 역할을 한다. 또한 필요에 따라서는 프레스의 순차제어신호를 포착하여 이와 연동된 동작을 할 수 있는 명령을 만들어 낸다.

이러한 일련의 제어 행위를 실현하기 위해서 유압회로와 디지털 제어를 행하는 제어기를 설계하였고, 실험용 600톤 유압 프레스에 이를 장착하였다. 제어를 위해서는 486급 산업용 컴퓨터와 12비트 분해능을 가진 A/D변환기, D/A변환기, 디지털 입출력기등을 사용하였으며, 프레스의 공정진행을 모니터링하기 위한 변위 센서와 압력 센서들도 설치하였다. 유압 압력의 제어는 유압 서보 밸브를 이용하였으며, Meter-Out방식을 이용하여 압력을 제어하였다. 제어 알고리즘은 비례-미분-적분 제어방식에 전방향 보상기를 병행하여 사용하였다. 운용 소프트웨어는 Windows하에서 약 10msec의 Control Time을 가지도록 하였으며, 사용자의 편의성을 위하여 이동평균(Moving Average) 필터를 사용하는 압력제어 곡선 생성 알고리즘을 구현하여 사용하였다.

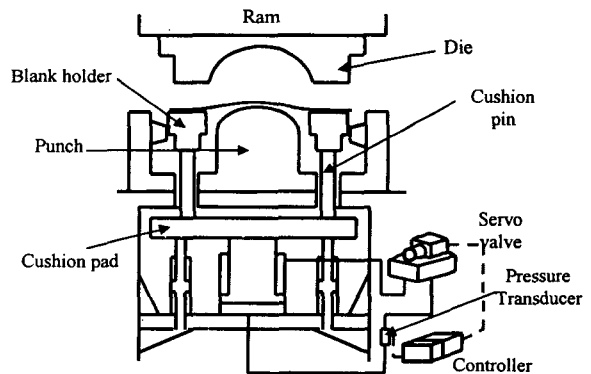


Fig. 1 Schematic Diagram of NC Cushion System

3. NC쿠션을 이용한 드로잉 실험

본 연구에서는 NC쿠션 실험을 하기 전에 PAM_STAMP 상용 프로그램을 이용하여 블랭크홀딩력 변화에 따른 성형성 평가를 하고자 하였다. 사각컵 드로잉에 대한 성형 해석은 실제 제작된 금형과 동일한 조건으로 설정하여 BHF패턴 변화별 해석을 수행하였다. Table 1은 본 해석에 사용된 해석조건과 기계적 물성치를 보여준다.

Table 1 Mechanical properties of the material used in experiment

재료	조건 변수		기계적 물성치		
	블랭크홀딩 압력	마찰 계수	이방성 계수	가공경화상수	가공경화지수
SC P1	70psi 178psi 286psi NC	0.15	1.42	0.58	0.23

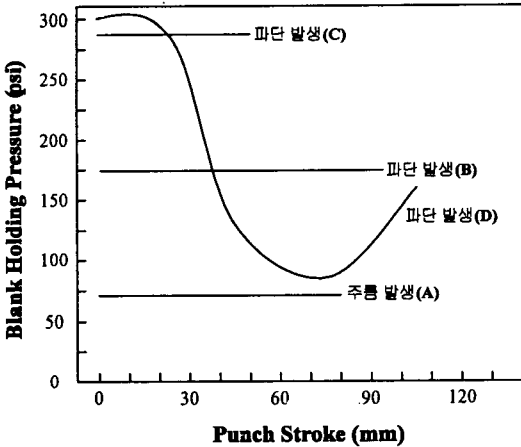


Fig. 2 Simulation results by Commercial FEM Package

NC쿠션 효과를 검증하기 위해 소형 사각컵 드로잉 금형을 제작하였다. 블랭크는 각변이 320mm인 정방형에 두께는 1.6mm의 것을 사용하였다. 드로잉핀치 크기는 150×150mm, 드로잉 최대깊이는 120mm까지 드로잉할 수

있도록 금형을 제작하였으며, 프레스 램의 속도는 2.4mm/sec인 600톤 유압프레스를 사용하였다.

Fig. 3은 본 실험에서 이용한 BHF패턴을 보여준다. Fig. 3의 A, B는 BHF의 가변이 없고 단지 크기만 달리한 BHF패턴이다. 그림 3의 C는 BHF의 크기를 성형역에 따라 가변시킨 BHF패턴이며, NC쿠션효과를 준 C패턴이 다른 패턴에 비해 성형성이 좋은 것으로 나타났다. 이것은 위에서 설명한 성형해석 결과와 마찬가지로 초기단계에서 BHF를 기준보다 높게 줌으로써 플랜지 부위에 발생하는 주름을 억제하고, 성형이 잘되는 중간단계에서는 기준보다 낮게 BHF를 설정함으로써 유입이 쉽게 되도록 도와주고, 마지막단계에서는 서서히 증가시켜 플랜지 부위에 발생하는 주름을 억제하여 드로잉성을 향상시키기 때문에 보여진다.

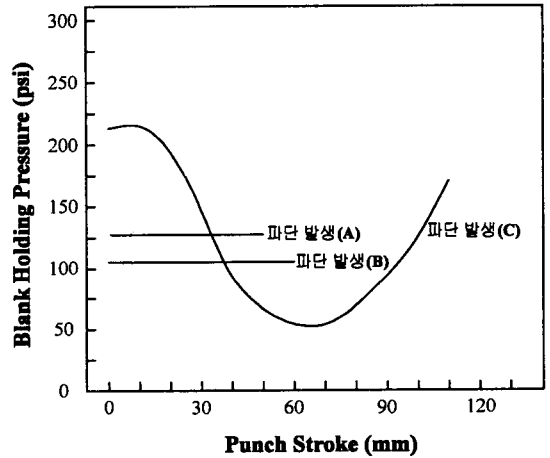


Fig. 3 Experimental results.(Straight line: conventional cushion system, S-shaped curve: NC Cushion)

4. 결과 및 토론

이렇게 개발된 NC쿠션을 이용하여 덩 드로잉 실험을 행한 결과 다음과 같은 것을 알 수 있었다.

(1) S자 형태의 쿠션 압력 패턴을 사용하면 기존의 공정에서처럼 일정한 쿠션 압력을 가하는 경우보다 드로잉성이 향상된다. NC쿠션은 초기단계에서 가압력을 높게 줌으로써 플랜지 부위에 발생하는 주름을 억제하고, 중간단계에서는 낮은 가압력을 가함으로써 유입이 쉽게 되도록 도와주고, 또한 마지막 단계에서는 서서히 가압력 증가시켜 플랜지 부위에 발생하는 주름을 억제하여 드로잉성 및 품질을 향상시키기 때문인 것으로 보여진다. 드

로잉성 향상에 관한 정량적인 분석은 앞으로의 연구과제이다.

(2) NC쿠션 사용목적중의 하나인 형합시의 충격과 소음 완화를 위한 예비가속은 실험용프레스의 램속도가 낮아서 실험하지 못했으나 이에 대한 연구도 앞으로 진행되어야 할 것이다.

(3) 최적의 가압력을 자동으로 찾아주는 지능형 NC쿠션제어 소프트웨어들도 앞으로의 연구과제로 남아있다.

후 기

이 연구는 공업기반기술 사업의 일환으로 수행되었으므로 이에 관계자 제위에게 감사를 표합니다.

참 고 문 헌

- (1) D. E. Hardt, M. C. Boyce and Ralph P. Fenn, 1990, "Real Time Control of Binder Force During Stamping", 16th IDDRG, Sweden Borlaenge, pp.17~28.
- (2) S Thirumarudchelvan, 1995, "Hydraulic short stroke device for deep drawing with the blankholder force proportional to the punch force", JMPT 51, pp.106~121.
- (3) Shoichiro Yoshihara, Ken-Ichi Manabe, Ming Yang and Hisashi Nishimura, 1997, "Fuzzy Adaptive Control of Circular-Cup Deep-Drawing Process Using Variable Blank Holder Force Technique", 塑性と加工 제38권 4호, pp.46~51.
- (4) M. Ahmetoglu, T. R. Broek, G. Kinzel and T. Altan, 1995, "Control of Blank Holder Force to Eliminate Wrinkling and Fracture in Cup Drawing Rectangular Parts", Annals of CIRP, Vol. 44/1, pp.247~250.
- (5) M. Traversin, R. Kergen and P. Harlet, "Finite Element Simulation of the Closed Loop Control of the Blank-Holder Force in Deep-Drawing"
- (6) S. Ujihara and Y. Hirose, "블랭크홀딩력 제어에 의한 차체판넬의 프레스 성형"(일본어), 塑性と加工, vol 33, No.375, 1992, pp.373~378.
- (7) D. McCloy and H. R. Martin, 1980, "Control of Fluid Power-Analysis and Design", Ellis Horwood,