

박판의 딥 드로잉 성형을 위한 수치제어 쿠션 시스템의 개발

이정우* · 최치수**

(2000년 10월 30일 접수)

Development of Numerically Controlled Cushion System for Use in Deep Drawing of Sheet Metals

J. W. Lee and C. S. 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 cushion pressure control system on the hydraulic press, and the pressure control system is often called NC(Numerically Controlled) cushion system. A cushion pressure control experiment was carried out using the NC cushion and it was shown that the proposed system produced good performance. The comparison of drawability of square cups with and without NC cushion showed that the drawability could be greatly improved when S-shaped pressure curve was applied. This paper includes design details of the NC cushion system and experimental analysis of drawability with NC cushion system.

Key Words : Numerically Controlled Cushion System, Deep Drawing, Drawability,
Blank Holding Force

1. 서 론

박판 금속의 딥 드로잉(deep drawing of sheet metals)은 평면의 금속판으로부터 컵 형상의 제품을 만드는 공정이다. 이러한 형상을 성형하기 위해서는 박판의 외주부, 즉 플랜지(flange)를 블랭크 홀더(blank holder)라고 불리우는 장치를 이용하여 두께방향으로 가압한 후에 박판의 중심부를 원하는 형상의 펀치(punch)로 밀면서 원하는 형상으로 가공하게 되는데, 이때 펀치의 진행에 따라 블랭크 홀더로 가압되어진 외주부가 중심부로 유입된

다. 블랭크의 외주부에 큰 가압력이 걸리게 되면 외주부가 중심으로 유입되는 양이 상대적으로 적어지게 되고, 작은 가압력이 걸리게 되면 유입되는 양이 상대적으로 커진다. 외주부가 펀치의 진행에 따라 유입되는 양은 때로는 비드(bead)를 이용하여 조절되기도 하는데, 이때에도 블랭크의 가압력은 중요한 공정인자가 된다. 가압력이 작으면 플랜지 부위에서 주름이 잡히고, 가압력이 상대적으로 커지면 펀치저부에서 파단이 일어나기도 한다⁽¹⁾. 따라서이 블랭크 홀더력(blank holding force)의 조절은 딥 드로잉 성형의 성패에 중요한 인자가 되는데, 이

* 삼척대학교 정밀기계공학과

** 기아자동차 생기연구팀

블랭크 훌더력을 종종 쿠션 힘(cushion force)이라고도 불린다. 기존의 산업용 프레스에서는 성형중에 일정한 블랭크 훌더력을 가하는 것이 일반적이었고, 극히 최근에 이 블랭크 훌더력을 몇 단계로 가변 시킬 수 있는 프레스들이 시판중이다. 이렇게 가변 쿠션력을 가하는 장치는 일반적으로 수치제어 방식으로 운용되거나 제어되기 때문에 수치제어 쿠션 시스템(numerically controlled cushion system)이라고 불리며, 이 논문은 이러한 수치제어 쿠션 시스템의 개발에 관한 것이다.

이렇게 딥 드로잉 성형중에 편치의 진행(stroke)에 따라 쿠션력을 변화시키면 드로잉 성형성이 좋아진다는 사실에 관한 연구는 오래 전부터 진행되어 왔다. 1988년에는 Manabe등에 의해서 가변 쿠션력에 관한 제안이 있었으며⁽²⁾, 1990년에는 Hardt등에 의해서 폐회로 제어에 의한 쿠션압력의 제어가 이루어 졌다⁽³⁾.

Thiruvarudchelvan등은 편치력에 비례하는 블랭크 훌더력을 사용하여 주름이 적은 컵의 성형에 성공하였다고 보고하였고⁽⁴⁾. Hishida등은 박판 성형시 블랭크 훌더력의 제어에 대한 실험적 분석을 행하였고⁽¹¹⁾, Ahmetoglu 등은 AI2008-A4에 대하여 가변 쿠션압이 성형성에 미치는 영향에 관하여 연구하였다⁽⁵⁾. Traversin등은 유한요소 해석을 통하여 가변 쿠션압이 딥 드로잉 성형성을 향상 시킨다는 연구를 수행하였다⁽⁶⁾. 최근에는 Saran등에 의해서 주기적으로 빠르게 변하는 쿠션압력(Pulsating Blank Holding Force)이 성형가능영역을 넓혀준다는 사실을 밝히기도 하였으며⁽⁷⁾, Siegert등은 금형의 일부분을 분할하여 각기 다른 크기의 쿠션압력을 가해주는 연구도 수행한 바가 있다⁽⁸⁾. 쿠션 압력의 제어 측면에서는 Yoshihara등이 1997년에 퍼지제어(Fuzzy Control)와 적응제어를 융합한 제어 알고리즘을 제안한 바도 있다⁽⁹⁾. 이러한 연구에 따르면 수치제어 쿠션장치를 사용하는 경우 다음과 같은 효과를 기대할 수 있다.

(1) 성형가능 영역의 확장: 제품의 기하학적인 형상이나 금형설계에 따라 일정한 쿠션압에서는 성형이 불가능한 경우에도 쿠션압을 가변시키면 성형이 가능해지는 경우가 많다. 또한 계절적인 요인등에 의해서 변화되는 공정인자의 영향을 배제할 수 있는 효과가 있다.

(2) 스프링 백(spring back)의 방지: 일정한 쿠션압을 가해주는 경우에 비해서, 가변 쿠션압을 가해주면 성형의 최종 단계에서 쿠션 압력을 높여 줄 수 있기 때문에 스프링 백의 양을 적게 할 수 있다.

(3) 가공 소음의 저하: 프레스 가공시 상형과 하형이 맞닿을 때 발생하는 충격음은 가공 소음의 대부분을 차지하는데, 수치제어 쿠션시스템을 사용하게 되면 상형과

하형의 형합속도(型合速度)를 줄여줄 수 있어서 소음을 저하시킬 수 있다.

(4) 소재 원가 절감: 드로잉시 파단과 주름이 발생하지 않는 쿠션압력을 찾아 성형할 수 있기 때문에 기존의 일정한 쿠션압력을 가하는 경우에 사용하던 소재보다 드로잉 성형성이 낮은 재료를 사용함으로서 소재의 원가를 절감할 수 있다.

최근에는 금형의 개발기간이 단축되는 추세에 있기 때문에 금형을 수정하는 시간도 극히 짧아지는 경향이 있고, 고장력 강판의 채용이 늘어나면서 스프링 백이 문제 가 됨에 따라 이러한 수치제어 쿠션 시스템에 관한 관심이 고조되고 있다. 이 논문은 이러한 수치제어 쿠션 시스템의 하드웨어와 소프트웨어의 개발에 관한 것이다. 600톤 유압 프레스를 개조하여 수치제어 쿠션 시스템을 장착하였으며, 이를 이용하여 사각 컵의 딥 드로잉 성형에 관한 실험을 수행하였다. 이 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2절에서는 수치제어 쿠션 시스템의 설계에 관한 사항을 논의하였고, 3절에서는 수치제어 쿠션 시스템 하드웨어 및 소프트웨어의 제작에 관하여 기술하였으며, 4절에서는 수치제어 쿠션 시스템을 이용한 실험 및 수치해석에 관하여 기술하였다. 마지막으로 5절에서는 이 논문의 내용을 요약하면서 향후의 연구과제에 관하여 정리하였다.

2. NC 쿠션 시스템의 설계

수치제어 쿠션 시스템을 사용하는 주된 이유중의 하나는 주름이나 파단 없이 제품을 성형하는 것이고 다른 하나는 성형시의 소음을 줄여주는 것이다. 후자의 목적을 달성하기 위해서는 초당 수 m/sec에 이르는 편치속도를 가진 프레스가 필요하다. 그러나 이 연구는 산업용 프레스에 사용이 가능한 수치제어 쿠션 시스템을 위한 설계자료를 마련하는 데에 있고, 실제 사용이 가능한 프레스가 램(ram)의 속도가 수 mm/sec인 600톤 유압용 프레스이었기 때문에 금형의 형합시의 충격소음 감소에 관한 연구는 불가피하게 배제할 수밖에 없었고, 따라서 이를 제외한 수치제어 쿠션 시스템의 하드웨어와 소프트웨어의 설계에 초점을 맞추고자 한다. 실제로 쿠션 압력이 편치의 행정에 따르는 함수로 제어가 가능하면 충격 소음 감소를 위한 쿠션의 제어는 어렵지 않다고 보여진다.

쿠션의 압력을 편치의 행정에 따르는 함수로 만들어 주기 위해서는 다음 세 가지의 구성이 필요하다.

(1) 압력제어가 가능한 유압 쿠션 부시스템(subsystem):

이 부분은 유압 서보 밸브와 정지마찰력이 작은 유압 실린더로 구성된다.

(2) 쿠션압력 제어 부시스템: 이 부분은 수치제어 쿠션 시스템을 운용하고 제어하기 위한 제어용 컴퓨터와 쿠션 압력을 감지하기 위한 압력 센서, 프레스 램의 위치를 감지하기 위한 위치센서와 그것들의 증폭기, A/D 변환기(analog to digital converter), D/A 변환기(digital to analog converter) 및 이산 사건을 감시하거나 발생시키기 위한 DIO(digital input and output) 접속기 등으로 구성된다.

(3) 운용 및 제어 소프트웨어: 운용 소프트웨어는 사용자와의 인터페이스와 데이터 관리를 담당하며, 제어 소프트웨어는 실제 쿠션 압력의 제어를 담당하면서 관련 기기를 제어한다.

실제로 수치제어 쿠션 시스템은 유압과 공압을 이용하여 모두 구현이 가능한데, 공압을 사용하게 되면 실린더의 크기가 커지고 응답속도가 늦어지는 단점이 있기 때문에 유압을 사용하는 것이 바람직하다고 보여진다. 단상형과 하형의 형합시의 충격을 줄여주기 위한 예비가속 단계에서는 낮은 압력에서의 작동이므로 공압을 병용하여 사용할 수 있다고 보여지는데 앞에서 지적한 바와 같이 이 부분은 이 논문의 범위가 아니기 때문에 생략한다. 이러한 구성을 가지는 장치의 구성을 그림 1에 도식으로 나타내었다. 이 그림에서는 프레스의 볼스터(bolster)에 편지가 설치되어 있고, 볼스터의 아래 부분에 쿠션용 실린더가 배치되어 있으며, 쿠션 패드 위에 박판 소재를 올려 놓은 후, 프레스의 램이 하강운동을 하면서 성형된다. 따라서 프레스의 램이 쿠션 패드와 맞닿으면서 가압하기 시작할 때 서보밸브는 쿠션용 실린더에서 빠져나오는 작동유의 압력을 제어함으로서 블랭크 홀딩력을 조절하게 된다. 이러한 구성을 채택한 이유는 기존의 600ton 유압프레스의 개조를 최소화하기 위함이었으나, 이러한 설계는 단지 하나의 서보밸브를 사용하기 때문에 저가격으로 수치제어 쿠션 시스템을 구현 할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 이러한 설계는 램의 속도를 조절하지 못한다는 단점이 있어서 변형율을 제어하지 못한다는 단점이 있다. 또한 수동적인 제어 방식을 사용하였기 때문에 쿠션압을 올리는 명령에 대한 응답 속도가 프레스의 램의 속도에 영향을 받기 때문에 늦다는 단점도 있다. 그러나 이러한 설계는 수치제어 쿠션 시스템의 기본설계검증과 수치제어 쿠션 시스템이 성형성에 미치는 영향을 연구하는데에는 문제가 없다고 판단된다. 특히 응답 속도의 면에서는 계단 입력과 같은 급격한 변화만 없다면 제어에 큰 문제가 없으며, 이러한 제

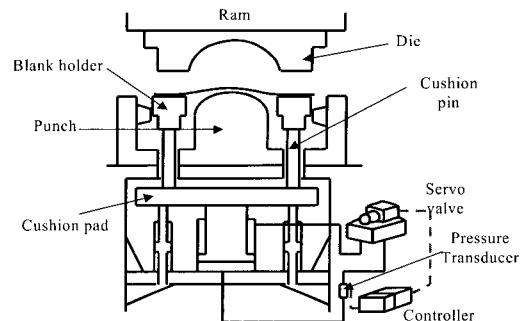


Fig. 1 Schematic Diagram of NC Cushion System

어시스템은 램의 가압에 대하여 수동적인 제어를 행하고 릴리프 밸브가 병렬로 연결되어 있기 때문에 어떠한 경우에도 제한된 크기의 출력(bounded output)을 내보낸다라고 하는 관점에서 안정하다는 장점을 갖는다. 한편 이 논문에서 제시한 제어 시스템이 수동적이기 때문에 응답 속도가 늦을 수 있다는 단점을 보완하기 위해서 Fig. 2에서 보이는 것처럼 PID제어와 함께 전방향 보상기(feedforward compensator)를 사용하였다. 전방향 보상기는 급격한 제어입력의 변화에 대한 응답속도를 개선하는 것으로 알려져 있다^[10].

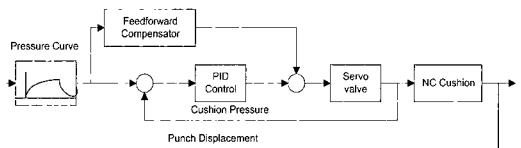


Fig. 2 Block Diagram of NC Cushion System

Fig. 2에서는 수치제어 쿠션 시스템의 제어 블록선도를 나타내었는데, 제어 입력은 사용자가 설정한 압력곡선이며 이 압력곡선은 프레스 램의 변위를 입력으로 받아 그에 해당하는 압력을 제어 입력으로 발생시킨다. 제어 시스템은 이 압력을 전방향 보상기로 전한다. 주된 제어 알고리즘은 산업계에서 가장 많이 사용되는 PID제어기(proportional-integral-derivative Control, PID control)를 사용하였다. PID제어기의 출력은 전방향 보상기의 출력과 더해지고, 그 결과는 서보 밸브로 전해져서 서보밸브의 개도(opening)을 제어하고, 그 결과는 다시 쿠션 압력에 영향을 미치게 된다. 그리고 이 압력은 압력센서에 의해서 전기량으로 변환된 후 귀환(feedback)된다. 제어 블록선도에 외란(disturbance)은 나타내지 않았지만, 그중 가장 큰 것은 쿠션 실린더의 마찰과 스틱-슬립

(stick-slip)인데 이는 디더신호(dither signal)을 제어입력에 중첩시킴으로서 제어할 수 있다고 보여진다. 또 다른 외란은 인근의 프레스에서 전해지는 충격인데, 이는 제어루프의 적분기가 작동하여 외란을 배척(disturbance rejection)할 것으로 보여진다.

Fig. 3에는 위와 같은 논의에 근거한 유압 회로를 나타내었는데, ⑦의 볼 밸브를 열면 수치제어 쿠션 시스템이 작동되며, 볼 밸브를 닫으면 기존 방식의 일정한 쿠션압력이 릴리프 밸브(relief valve)에 의해서 제어되도록 하였다. 이상으로 수치제어 쿠션 시스템의 설계에 관하여 기술하였으나, 실무와 관련된 부분은 참고문헌⁽¹²⁾에 상세히 기록되어 있다.

3. NC 쿠션의 제작

유압계는 기존의 프레스의 유압계를 개조하여 NC 쿠션의 동작을 가능하도록 하였으며, 볼 밸브를 설치하여 볼 밸브의 설정에 따라 기존의 일정압 쿠션과 수치제어 쿠션을 선택하여 사용할 수 있도록 하였고, 수치제어 쿠션을 사용하는 경우에는 쿠션 실린더의 릴리프 압력을 높인 상태에서 사용해야 한다. 압력센서는 게이지 압력을 출력하는 스트레이인 게이지(strain gauge)식 압력센서를 사용하였고, 서보 밸브는 전기 피드백 방식의 비례밸브를 사용하였다. 이 밸브는 이 연구에서 사용하는 샘플링 속도에서 안정한 것으로 선정하였다. 그러나 크랭크식 프레스에서의 고속 성형에서는 사용하지 못하는 응답속도와 용량을 가졌는데, 응답 속도를 위해서는 직접 구동 밸브를 사용해야 할 것으로 보인다. 또한 압력의 제어에 있어서 미터인(meter in) 방식과 미터아웃(meter out) 방식을 동시에 사용함으로서 응답 속도를 올릴 수 있을 것이라고 판단된다. 이러한 부품들 이외에도 Fig. 3에서 볼 수 있는 바와 같이 필요한 필터나 릴리프 밸브 등도 설치하였다. 프레스 램의 변위용 센서로는 LDT(linear differential transformer)를 사용하였다. 제어기에서는 서보 밸브의 스플甩입력을 받아 제어 입력인 압력 명령과 비교하여 밸브의 이상작동 여부를 확인하는 등, 제어계의 강인성과 안정성을 위한 장치를 하드웨어와 소프트웨어에 설치하였다.

제어 장치로는 유압계에 설치된 센서와 구동기 이외에 제어 컴퓨터를 내장한 제어기 핵체를 따로 제작하였고 이 제어기 핵체에는 사용자 인터페이스를 위한 모니터와, 사용자로부터의 입력을 받기 위한 스위치, DIO, D/A 변환기, A/D변환기 및 신호 증폭기와 필터 등을 설치하여 사용하였으며, 디지털 신호의 절연을 위해서는 광절

연기(optical isolator)를 사용하였다. 제어용 컴퓨터로는 산업용 IBM PC 호환기종을 사용하였으며, 사용된 A/D 변환기와 D/A변환기는 12비트의 분해능을 가진 것을 사용하였다. 제어 프로그램은 Fig. 2에 나타난 제어 알고리즘을 디지털 방식으로 구현하였으며, 평균 10msec의 샘플링 속도를 가지도록 하였다. 운용 시스템으로서 실시간을 구현하기 어려운 윈도우즈 95를 사용하였기 때문에⁽¹⁵⁾ 제어 샘플링 시간은 일정하지 않았으며, 제어오차를 필터링 함으로서 불균일한 제어 샘플링 시간의 영향을 보상할 수 있도록 하였다. 산업용 프레스의 제어기에서는 제어오차를 필터링하는 경우 응답속도가 늦어지므로

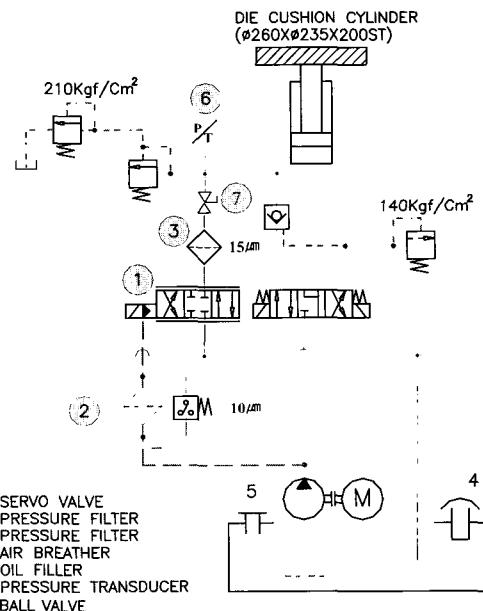


Fig. 3 Schematics of Hydraulic Circuits

실시간 제어용 운용 시스템을 채용해야 할 것으로 보여진다. 운용 소프트웨어는 사용자가 마우스의 드래그(drag) 혹은 클릭(click) 만으로 운용할 수 있도록 만들었는데, 센서의 시험과 조정(calibration), 센서의 종류와 구동기의 특성 등을 쉽게 입력하도록 하였다. 산업현장에 수치제어 쿠션 시스템이 설치된 경우 가장 많이 사용되는 압력제어 곡선의 편집도 마우스의 드래그만으로 가능하도록 하였다. 사용자는 제한된 개수의 압력곡선 조절점을 조절하면 압력곡선 생성소프트웨어는 실시간으로 부드럽게 이어진 실제의 압력곡선을 만들어 보여 주도록 하였다. 압력곡선을 부드럽게 해주는 방법(smoothing algorithm)으로는 CAD에 의한 3차, 5차 곡선⁽¹³⁾과 이동 평균(moving average) 법⁽¹⁴⁾을 구현하여 비교하여본 결과,

이동 평균법을 사용하는 것이 필터링된 압력곡선의 부드러움과 생성된 압력곡선의 예측성 면에서 우수한 것으로 판단하여 이동평균법을 사용하였다. 이상으로 수치제어 쿠션 시스템의 설계에 관하여 기술하였으나, 실무와 관련된 부분은 참고문헌⁽¹¹⁾에 상세히 기록되어 있으며 제작된 제어기와 프레스의 사진을 Fig. 9에 보였다.

4. 수치해석 및 실험

4.1 수치해석에 의한 압력제어곡선의 형상 결정

압력제어 곡선을 실험에 의해서 생성하기 위해서는 많은 노력이 경주되어야하기 때문에 실제의 실험에 앞서서 유한요소 해석을 통하여 쿠션 압력곡선의 대략적인 형태를 결정하였다. 유한요소 해석에 사용된 조건은 Table 1과 Table 2에 나타내었다. 유한 요소 해석을 위해서 상용 코드인 PAMSTAMP를 사용하였고 3차원으로 해석 하였으며 대칭 조건을 이용하여 1/4면 모델링하였다. 격자(mesh)는 적분점 3개를 가진 사각 쉘(shell)요소를 사용하였으며, 격자 크기는 초기에는 균일한 각변 8mm의 사각을 사용하여 시작하였고 적응 격자 세분화를 이용하였다. 사용된 블랭크는 각변 320mm의 정사각형이고, 드로잉 제품은 사방 120mm의 사각컵이다. case A,B 와 C는 일정한 쿠션 압력을 가한 경우이다. case D는 수치제어 쿠션 시스템을 사용한 경우인데, 이는 case A,B와 C에 관한 수치 실험을 행한 이후에 결정된 곡선을 가지고 실험한 것이다. Fig. 4에는 수치실험의 결과가 나타나 있는데, case C는 편치 행정 55mm 부근에서 파단이 일어나고 case B에서는 편치행정 100mm 부근에서 파단이 일어나며, case A에서는 편치행정 80mm 부근에서 주름이 발생한다. 이러한 실험에 따라 압력제어 곡선이 만족해야하는 조건을 대략적으로 판단한다면 다음과 같이 요약할 수 있다.

(1) 편치행정 0-55mm 사이에서는 300psi 이하의 블랭크 가압력이 가해져야 한다. 그러나 주름이 발생하지 않기 위해서는 초기의 가압력은 높이고 편치행정이 진행함에 따라 파단이 발생하지 않도록 가압력을 낮추는 것이 바람직하다.

(2) 편치 행정 55-80mm 사이에서 주름이 발생하지 않기 위해서는 75psi정도의 압력을 가해주어야 한다. 특히 80mm 근처에서는 주름이 발생하지 않도록 75psi 이상이 유지되어야 한다.

(3) 편치 행정 80-100mm에서는 주름과 파단이 발생하지 않기 위해서 75-175psi를 만족해야 한다. 그러나 성형이 끝나는 120mm부근에서는 스프링 백을 방지하기

위해서 가압력을 높이는 것이 바람직하다.

이와 같은 판단에서 case D와 같은 곡선을 생성하여 수치실험을 행한 결과 case D의 경우에는 110mm부근에서 파단이 일어났다. 이러한 실험을 통하여 S-자와 유사한 압력곡선을 기본형태로 하여 수치제어 쿠션시스템을 이용한 사각컵 실험을 행하였다.

Table 1 Simulation Conditions

Case	Blank Holding Pressure	Friction Coefficient
case A	70 psi	0.15
case B	178 psi	
case C	286 psi	
case D	NC Cushion	

Table 2 Mechanical properties used in experiment

Material	Mechanical Properties		
	Normal Anisotropic Constant	Work Hardening Coefficient	Work Hardening Exponent
SCP1	1.42	0.58	0.23

4.2 사각 컵 드로잉 및 압력제어 실험

위와 같은 논의에 따라 설계되고 제작된 수치제어 쿠션 시스템을 이용하여 사각 컵의 드로잉 실험을 행하기 전에 압력제어가 잘 되는가를 실험하였다. Fig. 6에는 드로잉이 실패한 경우의 압력제어 실험을 보였는데, 파단이 일어나기 전까지는 압력제어가 5%이내에서 비교적 잘되는 것을 볼 수 있다. Fig. 7에는 드로잉이 성공한 경우의 압력제어 실험을 보였는데, 역시 성형이 끝날 때까지 압력제어가 잘 수행되고 있음을 볼 수 있다. 표시된 제어오차는 필터링 되기 전의 제어 오차이고, Fig. 7은 낮은 압력에서의 압력제어가 잘되는가를 판단해 보기 위해서 편치 행정 60-90mm 사이에서의 압력을 낮추어서 실험한 것이다.

4.1절에서 설명된 수치실험을 확인하기 위해서 실제로 사각 컵의 드로잉실험을 행한 결과가 Fig. 5에 나타나 있는데, 수치실험의 결과보다도 낮은 쿠션 압력에서 파단이 일어나고 있음을 알 수 있는데(case A, B), 이는 수치 실험의 조건이 마찰의 모델링과 사용소재의 물성등의 면에서 실제의 실험조건과 일치하지 않는 부분이 있었기 때문으로 판단된다. 따라서 쿠션 압력 곡선을 전체적으로 하향으로 조정한 후에 수치제어 쿠션 시스템을

이용하여 실험한 결과(case C), 주름도 없으면서 파단도 일어나지 않는 드로잉을 실현 할 수 있었다.

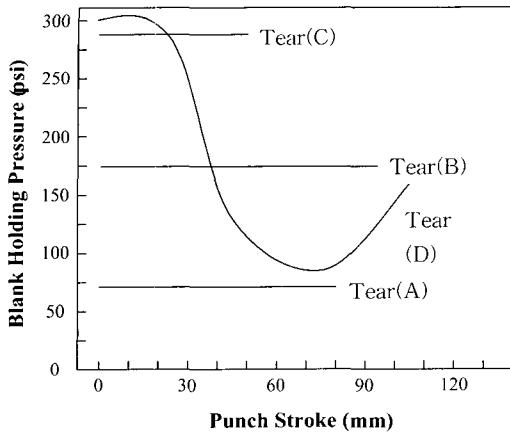


Fig. 4 Simulation results

또 다른 실험으로서 각변의 길이가 320mm인 동일한 소재를 사용하여 각변의 길이가 150mm인 사각 컵의 드로잉을 기존의 일정한 쿠션 압력을 사용하여 성형한 경우와 수치제어 쿠션 장치를 이용하여 성형한 경우를 비교해 보았는데(Fig. 8), 일정한 쿠션 압력을 가한 경우는 약 65mm 정도의 깊이까지만 성형할 수 있었고, 수치제어 쿠션장치를 사용한 경우는 깊이 120mm이상까지 완전한 성형이 가능하였다.

5. 결론 및 향후 계획

이 논문에서는 산업용 수치제어 쿠션 장치를 개발하기 위한 기초 연구단계로서 600톤 유압용 프레스에서 사용이 가능한 수치제어 쿠션 장치를 개발과 수치제어 쿠션 장치를 이용한 박판의 딥드로잉 실험에 관하여 기술하였다. 제안된 쿠션 압력 제어 시스템은 구조가 단순하면서 저가격으로 실현 할 수 있다는 장점이 있으나, 고속의 램 속도를 가진 프레스에서는 보다 응답 속도가 빠른 구조로 개선할 필요가 있다. 사용된 운용시스템은 원도우즈 95이었으나 향후에는 실시간 운영 시스템에서 제어를 담당하고, 사용자 인터페이스만 일반적인 운영시스템에서 담당하는 것이 바람직하다고 판단된다. 제작된 수치제어 쿠션 시스템을 이용하여 사각 컵 드로잉 실험을 행한 결과, 수치 실험을 통하여 얻어진 S-자 형태의 쿠션 압력곡선을 수정한 쿠션 압력곡선을 사용하여 주름과 파단이 없는 드로잉을 실현할 수 있었다.

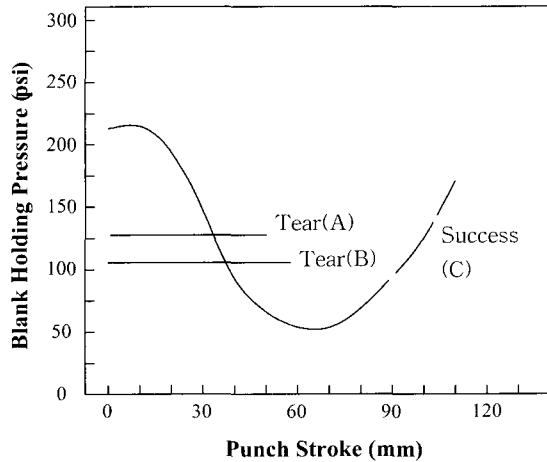


Fig. 5 Experimental results

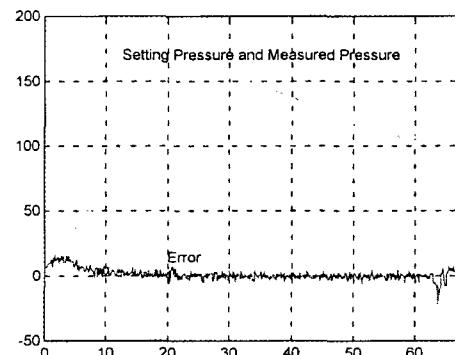


Fig. 6 Pressure control experiment-1 The metal sheet teared out at punch corner near punch stroke of 65mm(Lower flat curve: pressure control error Setting pressure curve and measured pressure curve appeared almost same before tearing out)

그러나 이 논문에서는 저속의 램 속도를 가진 프레스를 사용하였기 때문에, 수치제어 쿠션 시스템을 사용한 형 합시의 소음 절감 효과는 실험하지 못하였으며 이는 향후의 연구과제로 수행해야 할 것으로 보여진다. 또한 압력제어 쿠션의 최적 형태를 수치실험을 통하여 보다 정확하게 찾아낸다거나, 몇 번의 드로잉실험 결과를 이용하여 압력제어 쿠션을 자동으로 찾아내는 인공지능적인 기법을 이용하는 연구등이 앞으로의 연구과제로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

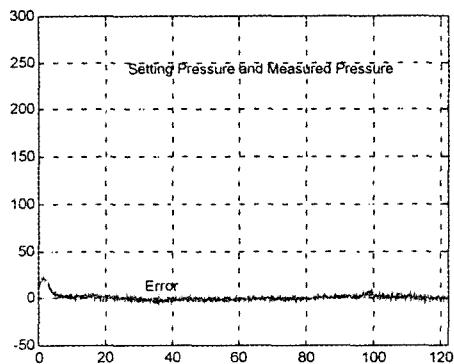


Fig. 7 Pressure control experiment-2 Deep drawing is successful with NC cushion(Lower flat curve pressure control error Setting pressure curve and measured pressure curve appeared almost same)

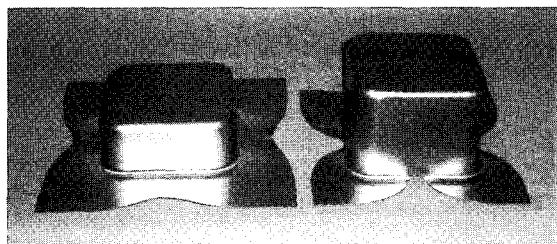


Fig. 8 Cups drawn with conventional method(left) and with NC cushion(right)

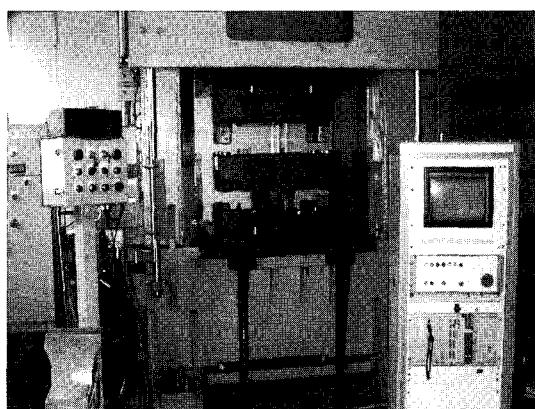


Fig. 9 Experimental setup with 600 ton hydraulic press.(center: Drawing die set, lower right: NC cushion controller)

참 고 문 헌

- (1) D. E. Eary and E. A. Reed, 1974, "Techniques of press working sheet metal", Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- (2) K. Manabe, H. Hamano and H. Nishimura., 1988, "A new variable blank holding force method in deep drawing of sheet metals", Journal of JSTP, vol. 29, no. 330, pp. 740~747.
- (3) D. E. Hardt, M. C. Boyce and R. P. Fenn, 1990, "Real time control of binder force during stamping", Proc of 16th IDDRG, Borlaenge, Sweden, pp. 1~12.
- (4) S. Thiruvarudchelvan, 1995, "A hydraulic short-stroke device for deep drawing with the blank holder force proportional to the punch force", J. of Materials Processing Technology, vol 51, pp. 10 6~121.
- (5) M. Ahmetoglu, T. R. Broek and T. Altan, 1995, "Control of blank holding force to eliminate wrinkling and fracture in deep-drawing rectangular parts. Annuals of CIRP, vol 44, no 1, pp. 247~250.
- (6) M. Traversin, R. Kergen and P. Harlet, 1996, "Finite element simulation of the closed-loop control of the blank-holder force in deep drawing", SAE 96, pp. 109~118.
- (7) M. J. Saran and F. A. Jokhio, 1999, "Sheet forming with pulsating blankholder- modeling and experiments", SAE1999-01-3157.
- (8) K. Siegert, M. Haeussermann, B. Haller, W. Fritz blankholder in cooperation with a new press design", SAE1999-01-3226.
- (9) S. Yoshihara, K. manabe, M. Yang and H. and J. Hohnhaus, 1999, "Segment elastic Nishimura, 1997, "Fuzzy adaptive control of circular-cup deep drawing process using variable blank holder force technique", JSTP Journal, vol 38, no 435, pp. 46~51.
- (10) Y. Takahashi, M. J. Rabins and D. M. Auslander, 1970, "Control and dynamic systems", Addison Wesley, Reading, Massachussettes.

- (11) Y. Yoshida and R. H. Wagoner, 1993, " Experimental analysis of blank holder force Stamping Symposium, Warrendale, PA, pp. 93~100. in sheet metal forming", Sheet Metal and Stamping Symposium, Warrendale, PA, pp. 93~100.
- (12) 산업자원부, 2000, "박판의 딥드로잉 성형성 향상 기술에 관한 연구", 공업기반 기술과제 연구보고서.
- (13) Lee, K., 1999, "Principles of CAD/CAM/CAE systems", Addison Wesley, Reading, Massachusetts.
- (14) J. S. Bendat and A. C. Piersol, 1986, "Random data-Analysis and measurement procedures", 2nd ed., Eiley Interscience, New York.
- (15) 이상엽, 2000, "Visual C++ Bible", 영진출판사, 서울.