

데이터베이스를 이용한 서보제어방식의 절곡기 개발에 관한 연구

**A Study on Development of Press Brake by
Data-based Servo Control System**

김경석(조선대 기계공학부), 강기수(조선대 대학원), 송충현(조선대 대학원)
김성식(목포과학대학)

ABSTRACT

The purpose of this paper is to database each factors from experimental results and develop the servo-controlled feeding system on these database. At first, spring back and bending force are analyzed by basic theory of bending processing. In database, through practical experiment by the expert, various types of bending angel and thickness of plate are tested and classified with SB34P and Aluminum. For the development of servo-controlled feeding system, automatic feeding system is designed and manufactured with ball screw and LM guide and performance of the developed feeding system is tested under condition of standard machine tool examination. Also, Mechanical consideration of mainframe in press brake, development of controller based on NC, program for servo-control are studied. Finally, based on experimental data, the system is operated and compared with theoretical data

1. 서 론

판재의 굽힘 성형에 이용되는 전용 기계를 절곡기(Press brake)라 한다. 굽힘가공이 수작업에서 전용기인 프레스에 의한 가공으로 바뀔에 따라 수작업 대비 품질과 생산성에서 많은 향상을 가져왔다. 하지만 현재까지 주류를 이루고 있는 절곡기는 범용성이 높기 때문에 최근 산업 발달과 더불어 제품의 정밀도 향상의 요구에 부응하

기에는 부족함이 많다. 범용성의 절곡기는 이동축(Stroke & Back gauge)을 수동핸들에 의해 조작하기 때문에 숙련된 작업자에 의한 여러 번의 샘플작업을 통해서 굽힘 각도를 맞추어야 하고, 재질에 대하여 금긋기 작업을 통하여 굽힘 길이를 산출하는 등 아직까지 대부분 수작업에 의하여 작업을 하는 실정이다. 이로 인하여 가공 완료된 제품의 치수 및 형상오차가 크기 때문에 정밀한 제품의 제작 및 다품종 다량생산에는 부적합하다. NC 절곡기는 서보 모터나 기타 장치로 이동 축 부분을 제어하는 것으로 단순히 핸들 이송을 서보(Servo) 이송으로 바꾼 것이다.¹⁾ 이송 장치의 서보제어에 표준화된 데이터베이스를 바탕으로 소프트웨어의 운전에 의한 것이 PCNC 절곡기라 할 수 있다. 절곡기의 PCNC 기술은 PC를 기본으로 제어하며 데이터베이스에 의한 마크로 운영이라 할 수 있다. 따라서 완성제품의 정밀도를 향상시키고 다품종 대량생산에 대응하기 위해서는 NC화와 나아가 PCNC화가 필수요건이라 할 수 있다.²⁾ 본 연구에서는 굽힘가공의 기본적인 이론을 통하여 스프링백의 고찰을 행하고, 절곡기의 이동축 부분이 서보제어가 가능하도록 이송축유니트를 설계·제작하여 범용절곡기에 부착하고, 현업에서 굽힘가공시 숙련된 작업자에 의해 수 회 반복하여 절곡각도를 유추하는 오류를 피하기 위하여 각 재질마다 표준화된 데이터에 의해 굽힘가공을 할 수 있는 데이터베이스에 의한 절곡기의 운용을 지향하여 굽힘 제품의 품질과 생산성을 향상시킬 수 있는 서보제어 방식의 절곡기 개발에 관하여 연구하였다.

2. 굽힘가공

굽힘가공에서 가장 까다로운 것은 스프링백 현상이다. 스프링백은 소재에 외력을 가한 후 그 외력을 제거하면 소재 내부에 잔류하는 탄성복원력에 의하여 원래상태로 되돌아가려는 탄성회복 현상이다.^{3,4)} 그 크기는 굽힘 하중을 가했을 때와 제거했을 때의 차로 정의된다. 굽힘가공 중에 발생하는 스프링백 문제는 제품이 더욱 정교해지고 복잡해짐에 따라 그 비중이 날로 커지고 있다. 스프링백에 의해 발생하는 치수 오차가 부가적인 수정 공정을 요구하는 경우가 많으므로 스프링백 해석을 수행하여 문제점을 발견함으로써 더욱 효율적인 금형 설계가 가능해진다.⁵⁾ Fig. 2.1에 굽힘가공장치와 스프링백현상을 나타내었다. 스프링백 현상 및 양을 결정하는 인자는 매우 다양하다. 특히, 해석하고자 하는 문제가 잘 정의되어 있다 하더라도 주어진 문제의 모델링 차이, 즉 수치적 인자들(Numerical factors)을 어떻게 설정하느냐에 따라라도 스프링백 해석 결과가 다양하게 나타난다. 순수 굽힘에서 스프링백을 구하기 위한 가정은 인장과 압축에서의 응력-변형을 관계가 같고 곡률반경이 재료의 두께에 비하여 크므로 반경 방향 응력은 무시할 수 있으며, 중립면의 위치가 항상 중앙에 있다고 가정한다. 스프링백의 현상을 줄이기 위하여 굽힘 부위를 강압하거나, 다이 쇼울더(Die shoulder)부를 강압하는 방법, 역가압을 부가해서 굽힘 부위를 강압하는 방법, 재료의 탄성한계를 초과한 인장력을 주어 편치 형상에 밀착시키는 인장성형법 등을 이용하고 있으며 부품을 90°로 굽힘 한 후 캠다이(Cam-die)가 옆에서 부품을 굽히는 캠에 의한 과잉 굽힘법 등을 이용하고 있다.^{6,7)}

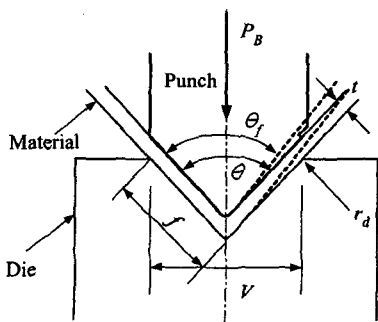


Fig. 1 Schematic of bending part

일반적으로 절곡기에서의 굽힘작업은 상부테이블의 가이드에 고정된 편치(절곡금형, 인선)와 하부테이블의 오목형상 다이 사이에서 이루어지고 있으며, 유압실린더에서 유압력을 공급하여 상부의 램이송 또는 하부의 다이 이송에 의하여 절곡작업을 실시하고 있다.⁸⁾ V-굽힘, U-굽힘, R-굽힘 등 여러 가지 굽힘의 방법 중에서 편치와 작업의 용이 등을 들어 V-굽힘을 많이 실시하고 있다. V-굽힘은 판 굽힘가공의 가장 대표적인 것이며 가장 흔히 사용하는 것이다. 가공형상은 앵글형상의 단순한 1 공정 굽힘에서 건축재, 새시 등에 사용하는 복잡한 다공정 작업까지 용도가 넓고, 그 예는 일상생활에서도 많이 볼 수 있다. 이러한 판재성형(Sheet forming)에서 프레스에 의한 굽힘가공은 주로 한 쌍의 편치와 다이에 의한 형굽힘(Die bending)을 실시한다.

3. NC 절곡기 설계

3.1 NC 절곡기 검토

범용절곡기 대비 데이터베이스 운용을 통한 서보제어 방식의 절곡기 개발에 있어서 검토할 점은 높은 절곡하중에 견딜 수 있는 충분한 강성의 본체설계, 제어시스템의 설계, 데이터 베이스의 구축과 운영을 필요로 한다. 절곡기를 구조상으로 분류하면 절곡인선이 이동하는 하향식과 절곡다이가 이동하는 상향식 절곡기로 나누어진다. 본 연구에서는 소재의 공급 및 배출등의 자동화에 용이한 하향식 절곡기를 선택하여 검토하였으며, 절곡하중을 내는 구동원에 있어서는 범용절곡기와 동일하게 유압펌프에 의해 구동되도록 하였다. 절곡기의 크기는 최대굽힘가공 80 ton 까지 낼 수 있는 절곡기를 대상으로 하였다.

3.2 제어 시스템

절곡기를 이용한 굽힘작업에서 가공품질과 생산성의 향상에 있어 가장 중요한 관건은 정확한 굽힘 각의 산출이다. 또한 절곡기의 최소이송단위 및 최대이송속도, 위치 정밀도, 반복 정밀도, 최대 제어 축 등이 된다. Fig. 2에 스트로크축과 백게이지축을 고려한 절곡시스템의 개략도와 Fig. 3에 NC 절곡기 운전 흐름도를 나타내었다.

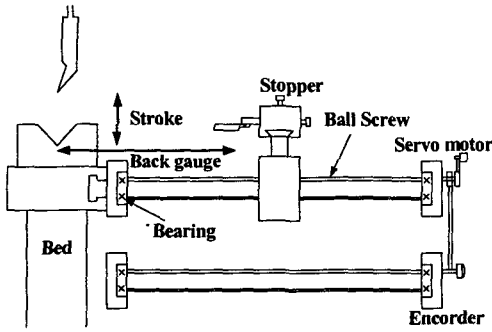


Fig. 2 stroke and back gauge system

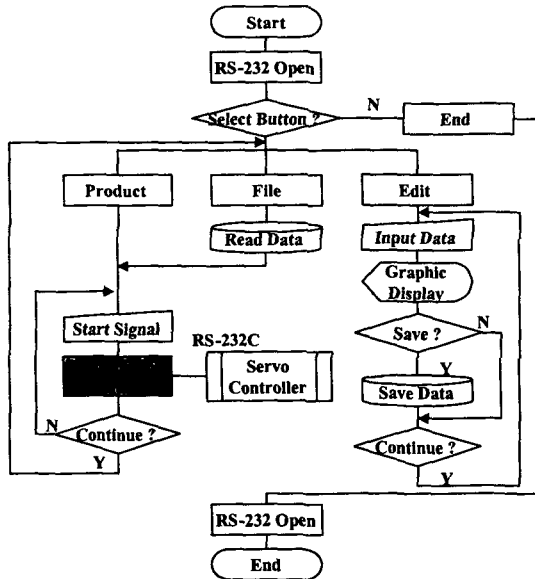


Fig. 3 Flowchart of servo control

핀치는 유압력에 의하여 일정량을 이동하게 되고 다이는 데이터베이스에 의하여 스트로크량만큼 자동으로 이송하게 되고, 소재의 길이방향 치수만큼 백게이지 또한 자동으로 이송하게 된다. 백게이지축은 이송부에 부착된 엔코더에서 위치확인을 받아 정밀하게 구동된다. 결과적으로 이러한 운용은 절곡기의 PCNC화를 위하여 모델을 형상화 및 데이터화하여 서보제어화한 것이다. 절곡기의 서보제어를 위해서 NC 작업이 가능한 컨트롤러의 설계와 경험적인 설계지침들과 노하우를 체계화 한 데이터베이스의 운용을 기반으로 서보제어가 가능한 프로그램의 설계를 행할 필요가 있다. 이를 위한 구상은 본체 부의 강도해석과 NC 시스템에 스프링백을 감안한 데이터베이스의

운영으로 CAD/CAM 장비의 효과를 노릴 수 있도록 하는 것이다. 또한 스프링백이나 스프링고우 현상을 줄이고 고품질의 제품을 생산하기 위한 굽힘이론과 현장경험을 토대로 재질의 특성, 소재의 두께를 포함한 형상, 치공구 등에 대한 데이터베이스를 작성하고, NC 가공을 위하여 개발된 소프트웨어에서 형상을 모델링하고 NC 가공코드를 생성하게 된다. 이 결과 값을 수치제어 장치에 전달함으로써 NC화가 가능하고, 데이터베이스는 PC에서 운영되고 서보제어를 통하여 절곡기의 각 이동축인 램이송, 스트로크축, 백게이지축의 위치결정량으로 결정되어 굽힘가공이 가능해지며 데이터베이스의 운용에 입각한 정확한 굽힘 각의 산출이 가능해진다.

3.3 장치의 설계

범용절곡기의 서보화를 위해서는 이송축의 서보제어가 우선적으로 실시되어야 한다. 절곡기의 이송축이라 함은 스트로크축과 백게이지축을 의미하며, 이송축의 서보제어를 위해서 구동원은 LG 서보모터를 이용하였고 엔코더를 부착하였다. 엔코더는 센서역할을 행하며 2000 펄스, 100/2500의 분해능을 지니고 있으며 위치검출을 행하게 된다. 절곡기는 CNC 공작기계와 같이 동기제어를 필요로 하지 않으므로 백게이지축과 스트로크축 외에 램이송이나 소재 공급장치 등에 이용될 수 있는 부가 축을 고려하여 단일 축 운전의 시스템으로 설계하고 최대 8 축 운전까지 가능하도록 고려하여 설계하였다. 또한, 종래의 범용절곡기나 NC 절곡기처럼 간이 이송만을 행하는 기능을 갖게 하고, 대화형 입력방식 및 데이터베이스의 운영이 PC와 연계하여 작업 가능하도록 설계, 제작하였다. 설계, 제작된 이송축유니트를 범용절곡기의 이동축인 스트로크축과 소재의 길이방향 이동축인 백게이지축에 탑재하기 위하여 개발 목표 값을 세우고, 장치의 올바른 설계와 검증을 위하여 스트로크축과 백게이지축의 반복정밀도를 테스트한 결과 그 정도가 0.005 mm, 스트로크축과 백게이지축의 인칭테스트 결과 오차의 범위가 0.003 mm 이내로 CNC 공작기계 수준으로 절곡기에 사용하는데 전혀 무리가 없다고 판단된다. 제작된 이송축유니트를 Photo. 1에 나타내었다.

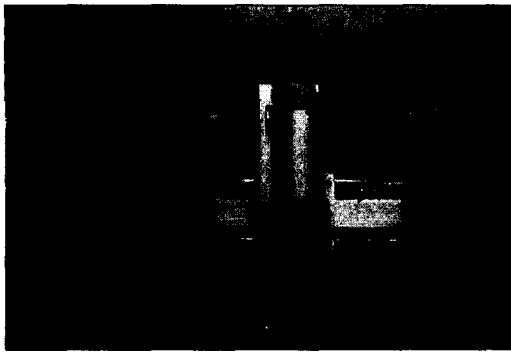


Photo. 1 Developed feeding system

3.4 데이터베이스

데이터베이스의 정리는 SB34P 5 mm 재질의 90° V-굽힘 초기 세팅에 의해 정해 놓은 굽힘 각을 기준 각으로 하고 재질, 두께의 종류를 달리 하며 각각의 조건에 따라 산출되는 굽힘 각과 스트로크의 크기를 정리하였다. 데이터의 입력방식은 굽힘형상, 인선모양, 길이, 폭 등의 단편적인 내용을 대화형 입력방식에 의해 행하고 그 결과 값은 기계어로 변환된 후 RS-232C 인터페이스보드를 통하여 각 이송축으로 전달되어진다. 굽힘 가공 제품의 설계에서 제조까지 일관성 있는 제품생산을 위하여 제작되었으며, 화면의 구성은 EDIT, FILE, AUTO, END로 구성되어 있다. EDIT 화면을 통하여 제작하고자 하는 제품의 단편적인 자료, 즉 형상, 재질, 인선, 다이, 두께 등을 입력한다. 정리된 편집내용은 굽힘이론과 현장경험을 바탕으로 작성된 알고리즘을 통하여 운전데이터로 변환, 저장된다. 저장된 FILE을 메인화면 또는 AUTO 화면에 불러내어 작업자의 선택된 지령에 따라 순차적으로 이동하여 굽힘가공이 진행되게 된다. 특히 이 프로그램은 연속적으로 작업을 행하고자 할 때 각각의 공정을 시간차, 혹은 신호 처리에 의해 행할 수 있도록 설계하였다. Fig. 4에 프로그램의 Edit 부분의 흐름도를 나타내었으며, Fig. 5에 대화형 입력의 메인화면을 나타내었다. 유압력에 의한 램이송에 의하여 절곡기의 펀치가 다이를 향해 전후진을 반복하고 설계 변수를 감안하여 계산된 스프링백 등을 고려하여 정리된 데이터베이스의 운용에 의해서 이송축유니트의 스트로크축과 백게이지축이 각각 이동을 하

며 굽힘가공을 진행하게 되고 엔코더에 의하여 작업을 감지하게 된다. 다공정 연속작업을 고려하여 입력 값인 각 공정별로 재질, 두께, 굽힘 각도, 인선의 반지름, 굽힘 폭 등의 변수에 대하여 데이터베이스의 운용에 의하여 굽힘 이론과 현장경험을 고려한 스트로크량과 백게이지량으로 자동 결정되고, 순차실행으로 작업자 없이 자동적으로 다음 공정으로 넘어가는 형식으로 설계되어 있다. 모든 화면상에서 숫자로 표시된 부분은 각 조건에 따라 정해진 백게이지와 스트로크축의 이동량을 나타낸다. 데이터베이스 입력화면은 작업 오류를 줄일 수 있도록 설계변수 등을 고려하여 정리된 데이터베이스를 바탕으로 입력할 수 있도록 되어 있으며, 가공형상을 직접 시뮬레이션할 수 있도록 설계되었다.

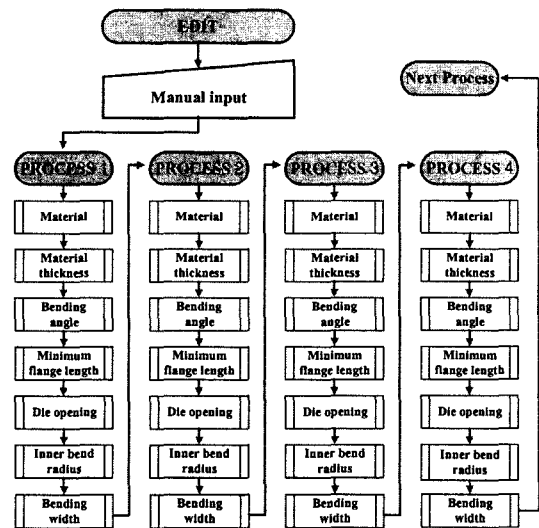


Fig. 4 Flowchart of edit part

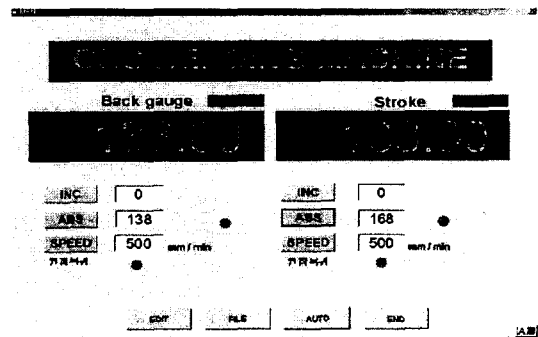


Fig. 5 Main Display of Servo Control Program

제품 완성면에서 각 재질의 두께, 길이, V-블록의 폭 등에 따라 이동량을 정리할 수 있게 하였다. 소프트웨어는 퍼스널 컴퓨터(486DX2)를 이용하여 구동하였으며, 비주얼 베이직 6.0을 이용하였다.

4. 실험

데이터베이스를 운용한 서보제어 방식의 절곡기에 대한 성능평가와 데이터베이스 구축을 위하여 AMADA社의 RG 80 시리즈 절곡기를 이용하여 데이터베이스를 작성하였다. 공작물 가공에서 일반적으로 사용되는 SB34P, AI 등을 사용하여 굽힘가공을 실시하였다. 서보제어시스템의 변수를 제한하기 위하여 V-블록의 폭을 38 mm, 인선의 반지름 5 mm, 재질의 길이와 폭을 각각 100 mm × 100 mm으로 고정시키고, 굽힘각도를 각각 90°, 110°, 120°, 150°로 설정하여 이 때 다이의 움직임량과 굽힘각도를 측정하였다. 세팅값을 정리한 후 각 두께별, 각도별로 조건을 변경하여 실험을 실시하였다. 데이터의 객관성을 위하여 각 조건별로 3회 이상 절곡을 실시하였으며, 재질의 두께를 1 ~ 5 mm의 5가지로 했을 때 두께의 변화, 스프링백의 크기 등의 변수에 따라 달라지는 다이의 이동량을 측정하였다. 이 때 발생하는 이론적인 힘, 측정각도, 다이의 이동량, 원하는 절곡각도를 추종하기 위한 다이의 이동량 등을 정리하였다. 본 연구에서는 다이의 이동량을 측정하여 소재의 두께를 뺀 나머지 양을 스트로크의 크기로 하였다. SB34P 90° 굽힘을 목표로 두께를 각각 1 mm~5 mm로 변경하고 굽힘각도의 변화와 스트로크의 크기를 측정한 결과 두께가 1 mm일 때 굽힘각도는 111°, 스트로크의 크기는 4.90 mm이었고, 두께가 5 mm일 때는 9.20 mm로, 설계조건이 모두 같은 상황에서 재질과 두께별로 측정된 굽힘각도와 스트로크의 크기는 상이하였다. 이는 재질, 각도 등의 조건에 따라 일정한 법칙으로 굽힘각도, 스트로크의 크기를 예측하기가 매우 난해함을 보여줬다. Fig. 6~Fig. 9에서 SB34P와 AI의 실험에서 두께에 따른 편차가 각기 다를 수 있다. 이는 재질, 굽힘각도, v-블록의 폭, 재질의 두께 등의 설계조건에 따라 등에 따른 오차, 재료의 제

조상태 또는 본 연구에서 배제한 소재의 폭 등에 의해 이론적인 데이터로써 표준화를 하기에는 부적합함을 나타낸다. 따라서 데이터베이스의 구축에 현장경험을 고려한 경험데이터의 적용이 필요하다고 판단된다.

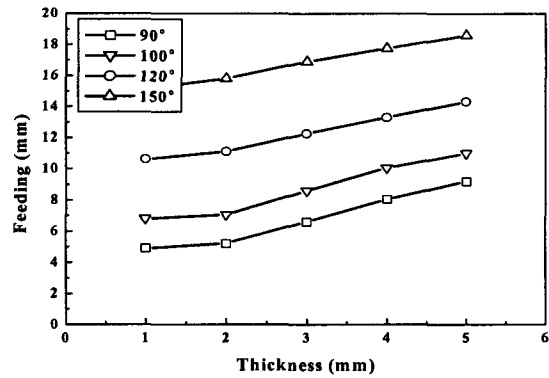


Fig. 6 Movement of die(SB34P)

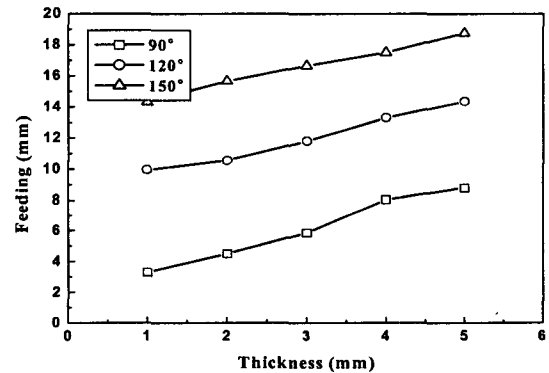


Fig. 7 Movement of die(AI)

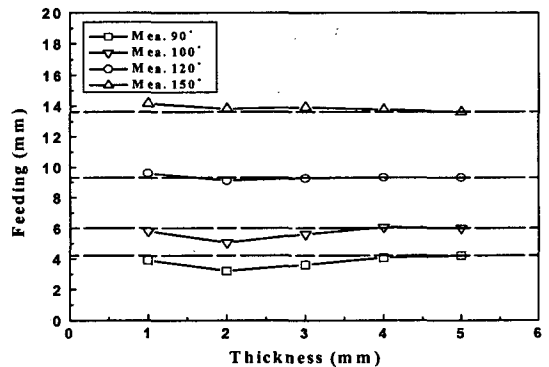


Fig. 8 Measurement & theory(SB34P)

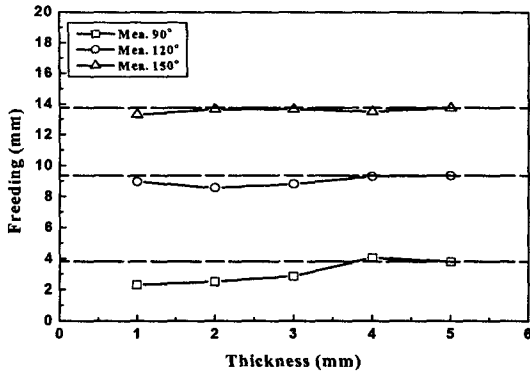


Fig. 9 Measurement & theory(Al)

5. 결론

본 연구는 데이터베이스 운용을 통한 서보제어 방식의 절곡기 개발에 관한 것으로, 스트로크축과 백게이지축의 자동이송을 위하여 2 축의 서보제어가 가능한 이송축유닛을 설계·제작하고, 범용절곡기의 NC화하는 것을 목표로, SB34P, AI 등의 굽힘 실험을 통해 굽힘가공 데이터를 작성하였다. 실험데이터와 굽힘이론을 바탕으로 작성된 데이터베이스를 대화형 입력방식의 프로그램에 의하여 운전할 수 있도록 구성하고 이송축유닛의 성능을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 이송축유닛의 이송을 확인한 결과 최소이송단위는 0.002 mm, 반복정밀도 0.005 mm, 인칭 테스트 결과 0.003 mm 이내로 NC 절곡기 운용에 있어 충분한 정도임을 확인하였다.

2. 데이터베이스 운용으로 굽힘가공 제품의 설계에서 제조공정 까지 다공정 작업으로 일관성 있는 제품생산이 가능하게 됨을 알 수 있었다.

3. 굽힘이론과 현장경험을 토대로 작성된 데이터베이스의 구축과 운용을 위하여 스프링백에 영향을 주는 모든 설계변수들에 대하여 이론 값에 준하지 않고 다수의 실험을 통하여 그 편차를 보정함으로써 다공정작업이 가능하고, 이는 품질과 생산성에도 크게 기여할 것으로 판단된다.

후기

본 논문은 "2001~2002년도 한국과학재단 지정 조선대학교 지역협력연구센터인 수송기계부품 공장자동화 연구센터의 연구비 지원에 의해 연구되었습니다."

참고문헌

1. Y. Alitintans and A. J. Lane, "Design of an Electro-Hydraulic CNC Press Brake," *Int J. Mach. Tools Manufact*, vol. 37, No. 1, pp 45-59, 1997
2. Kerry L. Elkins and Robert H. Sturges, "Design of a Sensor for on-line Measurement of Loaded Bend Angle for Pressbrake Control", *Robotics and Computer Integrated Manufacturing* 17, pp. 329-340, 2001
3. Anon., "Sheet metal bending methods", *Accurate Manufacturing Company News Release*, EM-105, 1989
4. 정완진, "박판성형시 탄성복원에 대한 유한요소 해석", *대한기계학회논문집 A권*, Vol. 23, No 12, pp. 2197-2208, 1999
5. 양동열, 이상욱, 윤정환, 유동진, "박판성형에서의 스프링백 해석과 산업적 응용", *한국소성가공학회지*, Vol. 8 No. 1, pp. 22-28, 1999
6. 조웅식, "프레스 금형설계기술", *기전연구소*, 1999
7. 류제구, 이종구, "프레스 금형설계일반", *학문사*, 1997
8. T.X. Yu, L.C. Zhang, "Plastic Bending-Theory and Applications", *World Scientific*, 1995