

## Bending Machine의 서보제어에 관한 연구

송충현\*(조선대 대학원 기계설계공학과), 김성식(목포과학대학), 김경석(조선대학교 공과대학)

### A Study on the Servo Control of Bending Machine

C. H. Song(Graduate School, CSU.), S. S. Kim(Mokpo Science College),  
G. S. Kim(Dept of Mech. Eng, CSU.)

#### ABSTRACT

Recent general press brake has many problems in cutting high accurate products in the progress of industry. Previous hand-operated press brake needs many pre-processing works to adjust bending angle and marking-off works to calculate bending length. Also, The hand-operating work makes many geometric errors and has difficulty for variety-mass production. To solve these problems, this paper proposes Computer Numerical Control (CNC) general press brake and development of servo-control system based on database for reduction of geometric errors and pre-processing work time

**Key Words** : Bending(굽힘), Press Brake(절곡기), Spring Back(스프링백), Cutting force(절삭력), Sheet Metal(박판), Servo Control(서보제어), Positioning(위치결정), Database(데이터베이스), Bend Angle(벤드 각)

#### 1. 서론

프레스 가공은 금속판재를 이용하여 이어 붙임 없이 소성변형에 의하여 필요한 형상으로 성형하는 가공방법으로서 판재성형으로도 불린다. 얇은 박판의 성형공정은 전단변형이 주가 되는 전단(Shearing)과 스피이닝(Spinning)이 있고, 판면에 평행하게 작용하는 두 방향의 주응력에 의해서 변형을 일으키는 굽힘(Bending), 디프 드로잉(Deep Drawing), 스트레칭(Stretching) 공정이 있다. 굽힘가공은 위의 성형방법에서 가장 널리 쓰이는 방법으로 소형의 단품 제작에서부터 대형이며 복잡한 자동차의 차체, 비행기의 기체, 선박의 선체부품, 산업기계, 컴퓨터의 케이스 등의 제작에 이르기까지 널리 이용되고 있다. 대부분의 굽힘작업은 2차 세계대전 전까지는 숙련공의 경험 혹은 시행착오법에 의하여 주로 수작업으로 행하여져 왔으나 이후 수작업에 의한 양산적용이 어려워짐에 따라 프레스가공으로 그 사용이 변화하였다. 벤딩머신은 주로 얇은 철판 등을 원하는 각도에 따라 절곡 하는 판금작업에 사용되는 기계로서 흔히 절곡기(Press Brake)라 한다. 굽힘가공이 수작업에서 프레스가공으로 바뀔 때 따라 수작업에 의한 생산보다 생산성과 정도가 향상되었다. 하지만 현

재까지 주류를 이루고 있는 절곡기 역시 범용성이 높기 때문에 최근 산업 발달과 더불어 제품의 정밀도 향상의 요구에 부응하기에는 부족함이 많다. 범용성의 벤딩머신은 이동축(스트로크와 백게이지)을 수동 핸들에 의해 조작하기 때문에 여러 번의 샘플작업을 통해서 벤딩각도를 맞추어야 하고, 금긋기 작업에 의한 벤딩길이의 산출 등 아직까지 대부분 수작업에 의하여 작업을 하는 실정으로 치수 및 형상 오차가 크기 때문에 다품종 다량생산에는 부적합하다. 따라서 다품종 대량생산에 대응하기 위해서는 NC화가 필수적이라 할 수 있다.

본 연구에서는 범용 벤딩 머신에서 NC화를 꾀하고, 표준화된 데이터에 의해 작업을 행할 수 있도록 데이터 베이스화하고 서보제어 함으로써 벤딩 제품의 품질과 생산성을 향상시킬 수 있는 CNC 벤딩 머신의 개발에 관하여 연구하였다.

#### 2. 굽힘가공

##### 2.1 프레스에 의한 굽힘가공

굽힘가공은 가공재료인 얇은 박판이나 후판 등을 굽힐 때 전용기인 프레스브레이크 등으로 작업하는 것을 말하며 흔히 벤딩각으로 그 일량을 표시하는

경우가 많다. 프레스를 이용하여 벤딩가공을 할 때 높은 하중을 내기 위하여 유압에 의하여 벤딩머신의 펀치(Punch)가 다이홀더(Die holder)에 올려진 소재를 가압 함으로써 굽힘작업이 가능하게 된다. 일반적으로 판재성형(Sheet forming)에서 프레스에 의한 굽힘가공은 주로 한 쌍의 펀치와 다이에 의한 형굽힘(Die bending)인 V-굽힘과 U-굽힘을 실시한다. V-굽힘시 가공 가능한 판두께는 0.5~30 mm 정도이고 펀치와 다이의 폭, 굽힘방법에 따라 피어셜 벤딩, 보토밍(bottoming), 코이닝(Coining)의 3가지 종류로 분류한다. 피어셜 벤딩은 큰 곡률 반지름을 가진 제품을 비롯한 각도의 범위를 자유로이 선택할 수 있고, 보토밍은 비교적 약한 힘을 사용하여 좋은 정밀도를 얻는 방법이다. 코이닝은 아주 좋은 정밀도를 얻을 수 있지만 보토밍 대비 5~8 배의 가압력이 필요하게 되고 이는 기계의 수명과 정도에 영향을 미치게 된다. Fig. 1에 V-벤딩가공을 위한 굽힘장치를, Fig. 2에 V-벤딩의 종류를 나타내었다.

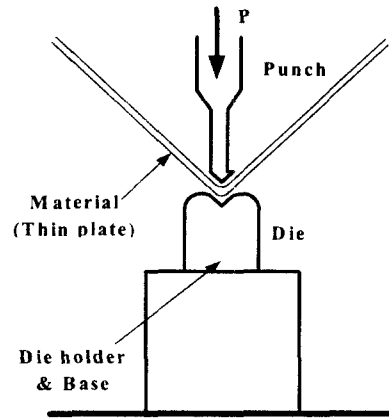


Fig. 1 Bending device for press work

### 2.2 굽힘작업시 고려사항

일반적으로 판을 굽힐 때 굽힘 외측은 인장응력, 내측은 압축응력을 받고, 응력을 받지 않는 중립면의 위치는 판두께의 중앙에서 내측으로 이동하며, 폭방향으로 외측에서는 수축하고 내측에서는 팽창한다. 응력-변형을 분포를 예측하고, 소재의 벤딩가공에 있어 굽힘문제의 최대과제인 최소굽힘반경과 스프링백을 고려하여야 한다. 최소굽힘반지름은 굽힘작업시 소재를 파괴하지 않고 굽힐 수 있는 최소의 굽힘 내 반경을 나타낸다. 스프링 백(Spring back)과 스프링고우(스프링백의 현상과 반대방향이며, 마이너스 스프링백이라고도 한다.)는 소재에 외력을 가한 후 그 외력을 제거하면 소재 내부에 잔류하는 탄성복원력에 의하여 원래상태로 되돌아가려는 성질이다. 스프링백에 영향을 미치는 인자로는 피가공재의 탄성한도, 탄성계수, 굽힘 반지름의 크기, 판두께, 펀치선단 반지름, 다이의 쇼울더 폭, 굽힘각도 등으로 요약할 수 있다. 따라서 스프링백의 현상을 줄이기 위하여 오버벤딩(Over Bending), 보토밍(Bottoming), 스트레칭(Stretch Bending) 등의 방법을 이용한다. Fig. 3에 V-벤딩에서의 스프링백을 나타내었으며 그 크기는 그림에서처럼 굽힘하중을 가했을 때와 제거했을 때의 차로 정의된다.

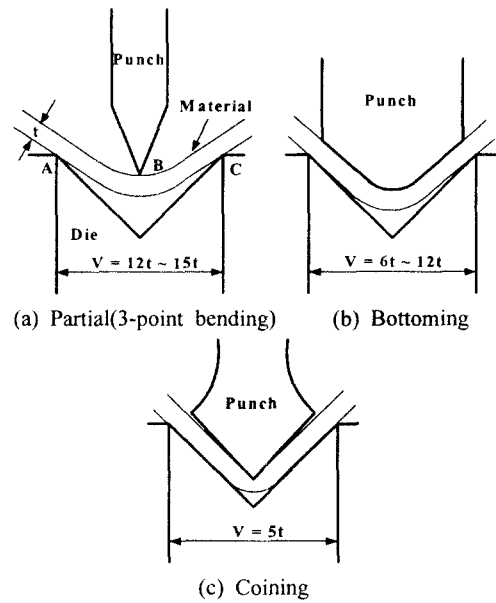


Fig. 2 various V-bending

### 2.3 CNC 벤딩머신의 구상

스프링백이나 스프링고우 현상을 줄인 고품질의 제품을 생산하기 위한 굽힘이론과 현장경험을 토대로 재질의 특성, 소재의 두께를 포함한 형상, 치공구(펀치와 다이) 등에 대한 데이터베이스를 작성하고 이 결과 값을 수치제어 장치에 전달함으로써 범용절

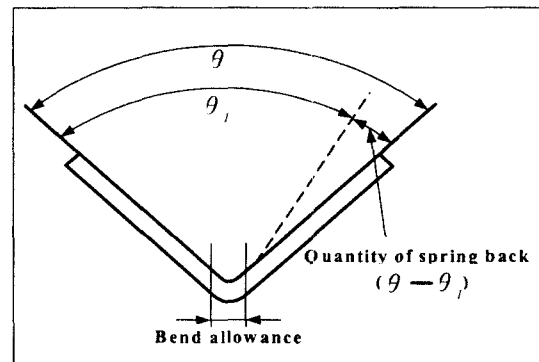


Fig. 3 spring back and bend allowance

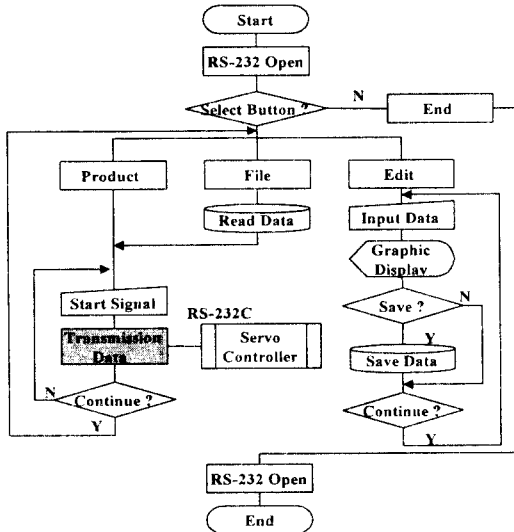


Fig. 4 Flowchart of servo control

꼭기 대비 품질과 생산성을 향상시킬 수 있게 된다. 데이터베이스는 PC에서 운영되고 그 결과 값은 CNC 벤딩머신의 각 이동축인 램이송, 스트로크축, 백게이지축의 위치결정량으로 결정되어진다.

### 3. 벤딩기의 서보제어

#### 3.1 서보제어 시스템

벤딩머신을 서보제어하기 위해서는 첫째, 벤딩기 몸체의 구조 설계, 둘째, NC 작업이 가능한 Controller의 설계, 그리고 데이터베이스를 기반으로 제작되어진 서보제어가 가능한 프로그램의 설계 등이다. 이상의 세 가지 조건을 만족시키는 벤딩머신의 제작으로 정밀도 높은 제품을 생산할 수 있다.

벤딩머신을 이용한 굽힘작업의 품질과 생산성에 있어 가장 중요한 관건은 정확한 벤드 각의 산출이다. 또한 벤딩머신의 최소이송단위 및 최대이송속도, 위치 정밀도, 반복 정밀도, 최대 제어 축 등이 된다.

데이터베이스의 설계는 SB34P V-벤딩 초기 세팅에 의해 정해 놓은 벤딩 각을 기준 각으로 하고 굽힘의 폭, 길이, 두께의 종류를 달리하며 각각의 조건에 따라 산출되는 벤딩 각을 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. Fig. 4에 서보제어에 대한 흐름도를 나타내었고 Fig. 5에 벤딩머신의 시스템 간략도를 나타내었다.

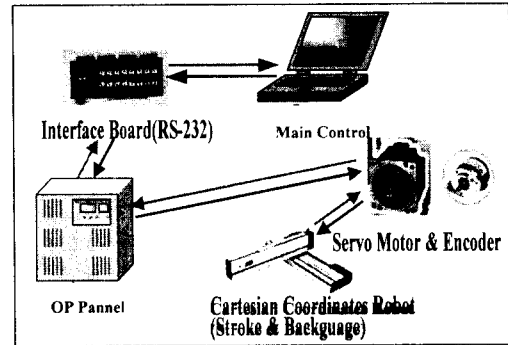


Fig. 5 Schematic of system in Bending Machine

#### 3.2 장치의 설계

벤딩기의 서보제어를 위해서 구동원은 서보모터를 이용하였고, 벤딩머신의 백게이지축과 스트로크축 외에 램이송이나 소재 공급장치 등에 이용될 수 있는 부가축을 고려하여 단일축 운전의 시스템으로 설계하고 8축 운전까지 가능하도록 고려하였다. 또한 종래의 범용절곡기나 NC 벤딩기의 기능을 갖게 되고, 대화형 입력방식 및 데이터베이스를 PC와 연결하여 운전이 가능하도록 하는 기능을 지녔다. 설계, 제작된 위치결정장치의 개발 목표 값을 참고이를 Table. 1에 나타내었다.

#### 3.3 프로그램

PC에서 벤딩하고자 하는 형상과 작업을 행하기 위하여 정리된 데이터베이스의 적용에 의하여 백게이지와 스트로크축의 이동량을 계산하게 되고 기계데이터로 변환한다. PC에 정리된 기계데이터는 RS-232C 인터페이스보드를 통하여 서보드라이브에 전송되어 구동하게 된다. 벤딩작업을 행하기 위하여 데이터를 대화형방식으로 입력받게 되고, 간단히 입력받은 이 형상은 데이터베이스와 이론적 계산을 통하여 고정도의 굽힘제품을 얻을 수 있도록 알고리즘과 프로그램을 개발하였다.

NC 벤딩 프로그램은 이송 축유니트의 특징인 최대 8축의 제어에 대하여 각각 단 축으로 독립된 작업을 수행하도록 하였으며 현재 2 축 제어를 감안하여 메인화면에 스트로크와 백게이지를 2 축으로 하여 서보모터의 속도에 따라 원하는 위치로 수동지령

Table. 1 Item of evaluation in positioning device

	feeding unit	Positioning	Repeat ability	feeding speed	Prssure
Unit	mm	mm	mm	mm/min	ton/m
Set Point	0.002	0.003	±0.003	15,000	6

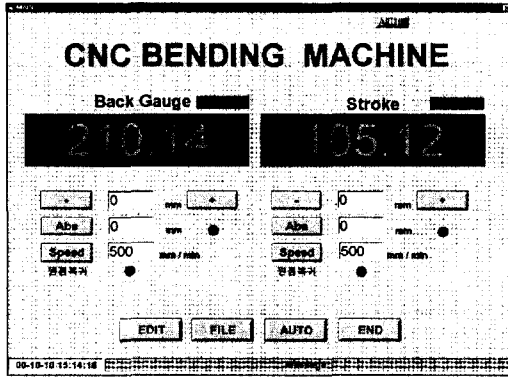


Fig. 6 Main Display of Servo Control Program

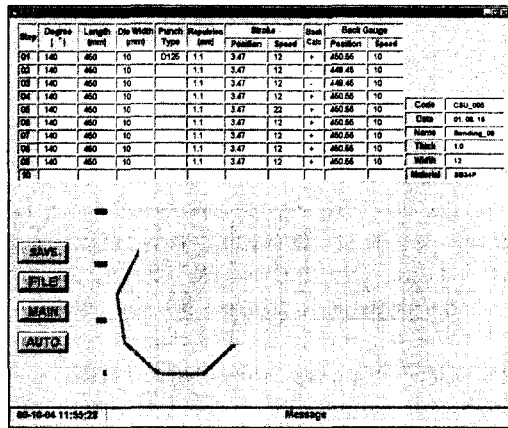


Fig. 7 Database Input Display

및 자동지령을 수행 할 수 있으며 위치추종장치의 진행상태를 눈으로 직접 확인 할 수 있다. 화면의 구성은 EDIT, FILE, AUTO, END로 구성되어 있고, EDIT 화면을 통하여 이론과 현장경험을 바탕으로 작성된 데이터의 정리가 가능하고, 정리된 데이터베이스는 FILE 화면 AUTO 작업과 연계하여 저장되어진다. 저장된 FILE을 메인화면이나 AUTO 화면에 불러내어 작업자의 선택된 지령에 따라 순차적으로 이동하여 벤딩이 진행되게 된다. 특히 본 프로그램은 연속적으로 작업을 행하고자 할 때 각각의 공정을 시간차, 혹은 신호처리에 의해 행할 수 있도록 설계하였다. 생산성 향상에 게 되어있다. Fig. 6과 7에 각각 대화형 입력의 메인화면과 데이터베이스 입력화면을 나타내었다.

#### 4. 결론

본 연구는 소프트웨어와 설계된 이송 축유니트의 성능평가를 위해 보토팜 방법의 굽힘가공 지령을 통하여 실험하였다.

1. SB34P 두께 1.0 mm, V-블럭의 폭 12 mm, 펀치의 가압력 6 ton/m로 선정하고 프로그램에 의해 반복적으로 운전한 결과 소프트웨어의 이론적인 결과 값 대비  $\pm 0.005$  mm 이내의 정도를 확인하였다.

2. 이송 축유니트의 최소이송단위 0.002 mm, 로스트모션 0.003 mm의 실험결과로 NC 절곡기 운용에 충분한 정도임을 확인하였다.

3. 데이터베이스의 구축은 숙련을 요하는 현재의 관급제작 방식을 탈피하여 고정도의 제품과 생산성을 향상시킬 수 있고, 절곡다이어, 절곡펀치 등의 부가장치를 규격화하여 표준화 관리할 수 있으리라 판단된다.

4. 본 연구내용은 소프트웨어와 무부하 운전에 관한 실험으로 향후 여러 가지 재질 및 각 두께, 인선의 길이 등에 따라 가공실험을 함으로써 좀더 객관성을 확보하고자 한다.

#### 후기

본 논문은 "2000~2001년도 한국과학재단 지정 조선대학교 지역 협력 연구센터인 수송기계 부품자동화 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. 조용식, "프레스 금형설계기술", 기전연구사, 1999
5. 류재구, 이종구, "프레스 금형설계일반", 학문사, 1997
6. (주)다사테크, "Robot& Motion Controller DMC-A1 Series," operating manual Ver1.2 Catalog.
7. T.X. Yu, L.C. Zhang, "Plastic Bending-Theory and Applications", World Scientific, 1995
8. KSB 0804-1997, 금속재료 굽힘시험방법