

## 유체성형과 결합한 다점 무금형 판재 성형기술

박종우\* · 홍예선\*\* · 양승훈\*

### Multi-Point Dieless Sheet Forming Technology Combined with Fluid Forming

J. W. Park, Y. S. Hong and S. H. Yang

#### Abstract

A new concept of dieless sheet forming technology is proposed in this study to overcome the drawback of conventional dieless forming technology. For this purpose, dual points contact of the conventional punch system, which is a primary cause of surface defects, is replaced to single point contact using technology combined with fluid forming. It is expected that the advanced system may lead to easy displacement control of multi-punch elements, reducing surface defects, and increasing precision and forming limits. The reduced number of punch elements also saves the cost of the equipment. In addition, the new technology can be utilized for deep drawing as well as two- or three-dimensional curved surface forming, and thereby become multi-functional and multi-purpose differently from the conventional technology.

**Key Words** : Multi-Point Dieless Forming, 2- or 3-D Curved Surface, Deep Drawing

#### 1. 서론

보통 금속판재의 3차원 곡면은 제작기간이 길고 값이 매우 비싼 matched die로 성형하거나 금형을 사용하지 않는 너무 큰 선체 곡면은 생산성이 매우 낮은 line heating 수작업으로 성형하고 있다. 무금형 성형 (dieless forming: DF) 기술은 금형을 전혀 사용하지 않고 금속 판재를 성형하는 첨단기술로서 지난 수십년 간 항공, 선박, 건축, 자동차 등의 산업계를 중심으로 많은 판재성형 업계가 개발을 갈망해 온 꿈의 기술이다. 이 기술은 금형 없이도 3차원 곡면을 성형할 수 있기 때문에 종래의

matched die법에 비해 금형비와 납기를 크게 줄이고, 특히 조선산업에서 생산성을 획기적으로 개선하며, 소재 특성의 열화도 방지할 수 있는 이점이 있다.

미국, 일본, 중국 등은 오래 전부터 무금형 성형기술의 개발에 심혈을 기울인 결과, 최근에는 상용화 기술 개발도 진행되고 있다. 이 기술은 수많은 금속봉을 이용하여 성형하기 때문에 multi-point forming(MPF)이라고도 불리는데, 과거에는 단순히 금속봉 다발로 곡면을 형성시켜 금형 대용으로 사용하려는 연구가 많았으나 최근에는 개개의 금속봉을 능동적으로 제어하여 다양한 곡면을 신속하게 성형하려는 연구도 이루어지고 있다<sup>(1)</sup>.

\* 한국과학기술연구원 재료연구부

\*\* 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

본 연구에서는 기존 multi-point dieless forming 기술의 특성을 분석하여 그 문제점을 극복할 수 있는 새로운 개념의 기술을 제안하고, 이 신기술의 특징과 활용 가능성을 살펴보고자 한다.

## 2. 기존 기술의 분석

지금까지 개발되어 온 무금형 판재 성형기술은 그 기술 수준과 특성에 따라 Fig. 1과 같이 두 가지 유형으로 분류할 수 있다. Fig. 1-(a)의 제1세대형은 상하 양쪽의 수많은 금속봉 다발을 미리 원하는 형상으로 배열하여 금형 대신 사용하는 방식으로서 미국 MIT나 1990년대 이전 일본에서 주로 연구되어 왔다<sup>(2,3)</sup>. 이 방식은 초기에 성형판재의 양면과 접촉하는 금속봉에 국부적으로 큰 힘과 변형이 집중되기 때문에 접촉부에 자국이 생기거나 그 주위에 주름이 발생하기 쉽다. 따라서 때로는 금속봉과 소재 사이에 탄성이 있는 고무판이나 강판을 끼워 성형소재의 표면결함을 방지하기도 한다<sup>(1,4)</sup>.

Fig. 1-(b)의 제2세대형은 초기에 모든 금속봉을 소재와 밀착시키고, 성형이 시작되면 각 금속봉을 점진적으로 이동시켜 최종 형상을 만들어 가는 방식으로서 1990년대 초에 고안되었다<sup>(1)</sup>. 이 방식은 제1세대형보다는 성형결합이 적고, 성형한계가 높은 진보된 기술로서 상업적인 응용이 기대되고 있다.

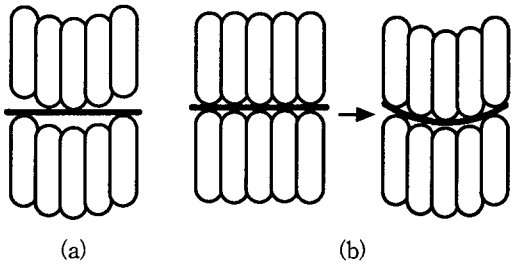


Fig. 1 Type of conventional dieless forming technology (a) die type, (b) active type

그러나 제2세대형은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 성형 전 판재가 평탄한 상태에서는 모든 상하 금속봉의 간격이 동일하고, 상하 접촉점이 수직선상에서 서로 일치하지만 판재가 성형되기 시작하면 수평면을 제외한 모든 경사면에서 상하 봉과 판재의 접촉점이 동일 수직선상으로부터 벗어나 서로 어긋나게 되고, 더욱이 그 위치와 간격이 판재가 성형되는 동안 계속 변한다. 따라서 성형 중 연속적으로 변하는 상하 봉의 위치와 간격을 정확하게 제어하기 위해 고도의 기술이 필요하다. 그리고 설령 위

치제어는 정밀하더라도 큰 변형량이 요구되거나 위치에 따라 두께변화가 큰 경우에는 여기에 맞게 상하 봉의 간격을 실시간으로 정확하게 예측하는 것은 쉽지 않다.

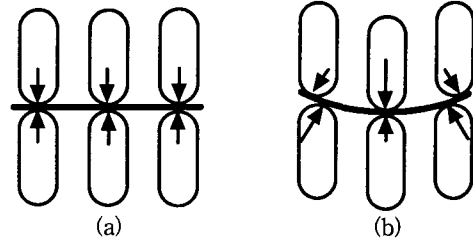


Fig. 2 Change in contact points and force (a) before forming, (b) during forming

또한 곡면을 성형하는 과정에서 상하 봉이 모두 판재에 고르게 힘을 가하는 것이 아니라 그림에서 보는 바와 같이 판재에 별로 힘을 가할 필요가 없는 봉이 일부 존재한다. 이러한 idle 봉은 성형하려는 곡면의 형상에 따라 서로 다른 위치에서 발생하며, 보통 판재가 이동하는 방향과 반대 방향으로 힘을 가하는 위치에 존재한다. 특히 가운데가 오목하거나 볼록한 단순곡면 성형에서 idle 봉은 가장 바깥 옆에 위치한 상하면 중 어느 한쪽 면에서 반드시 발생한다. 이러한 상태에서 가로와 세로로 각각 n개의 봉이 있는 경우 상하면 전체의 봉수는  $2n^2$ 이고, idle 봉수는  $4(n-1)$ 개이므로 총 봉수에 대한 idle 봉수의 비율, P는 다음과 같은 식으로 구해진다.

$$P = 2(n-1)/n^2$$

Fig. 3은 idle 봉의 비율을  $n \times n$  배열의 봉 수, n에 대해 나타낸 것으로서 봉수가 감소함에 따라 idle 봉의 비율은 급격히 증가한다. 특히 상하 각 면의 봉이  $3 \times 3$  matrix 배열일 때 idle 봉의 비율은 전체 봉의 44%에 달하여 거의 절반에 가까운 봉이 성형에 별다른 역할을 못하게 된다. Idle 봉의 비율은 봉수가 증가할수록 점차 낮아져  $20 \times 20$  배열에서는 9.5%가 된다.

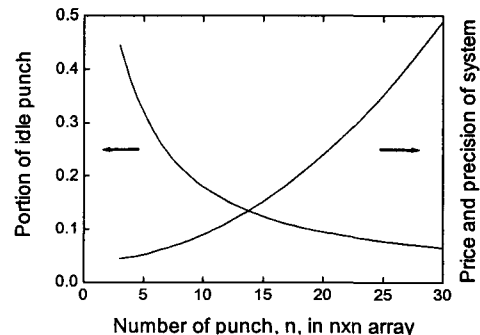


Fig. 3 Variation in the portion of idle punches, precision and cost with punch number

그러나 이것은 단순곡면 성형의 경우이고, 굴곡이 많은 복잡한 형상의 곡면에서는 이보다 비율이 높다. Idle 붓이 발생하면 그 만큼 붓의 효율이 감소하므로 불필요한 붓에 많은 제작비를 투입한 결과가 된다. 또한 idle 붓이 발생하면 판재 성형에 필요한 힘이 모든 붓에 골고루 분산되지 못하고, 특정한 소수의 붓에 집중되어 이 붓과 접촉하는 판재의 면에 붓 자국이나 주름이 발생하기 쉽다.

3차원 곡면의 성형에 필요한 최소한의 붓은 3×3 배열 상태이지만 이 경우 붓의 수가 워낙 적어 가장 단순한 곡면 성형밖에 할 수 없으며, idle 붓의 비율이 거의 절반에 가까워 정밀도가 매우 낮다. 정밀도를 높이고, 좀더 다양한 형상까지 성형하려면 붓의 간격을 조밀하게 하고, 붓의 수를 증가시켜야 하지만 장비의 가격이 올라가는 문제가 발생한다 (Fig. 3). 따라서 붓의 적정 수와 간격은 요구되는 정밀도와 장비가격을 고려하여 결정해야 한다.

### 3. 신기술의 고안 및 특성

#### 3.1 기본 구조 및 원리

본 연구에서는 기존 성형장치의 문제점을 극복할 수 있는 새로운 무금형 판재성형 시스템이 고안되었으며, Fig. 4는 그 기본 개념도이다. 새로운 시스템의 가장 큰 특징은 상하 양쪽에 모두 붓을 배열한 기존 시스템과는 달리 한 쪽 붓은 그대로 두고, 다른 쪽 붓은 고분자 탄성체나 유체로 대체한 것이다. 고분자 탄성체나 유체는 형상변화가 자유롭기 때문에 한쪽 붓의 움직임에 따라 위치가 자유로이 변하면서 소재에 압력을 가할 수 있다. 특히 물이나 기름과 같은 유체는 이미 hydroforming에 이용되고 있는 것처럼 Pascal의 원리에 의해 압력을 사방에 골고루 전달하여 소재 전면에서 균일한 압력을 가할 수 있고<sup>(5)</sup>, 외부에서 압력을 마음대로 조절할 수 있는 이점도 있다. 강도가 높거나 두꺼운 판재를 성형하는 경우에는 고분자 탄성체나 유체의 일부를 금속 등 강도가 높은 물질로 대체한 보조대를 이용할 수도 있다.

신 시스템의 또 다른 이점은 기존 방식에 비해 붓의 수가 절반밖에 되지 않기 때문에 기존 설비의 가장 큰 문제점 중의 하나인 시스템 가격이 크게 절감되는 것이다. 뿐만 아니라 모든 붓에 힘이 가해지기 때문에 idle 붓이 발생하지 않아 붓의 활용도도 높아진다.

또한 고분자 탄성체나 유체로 대체된 면은 소재와 면 접촉을 하므로 변형에 필요한 힘이 소재 전면에서 골고루 분산되어 성형 자국이나 주름과 같은 결함이 잘 생기지

않는다. 더구나 소재 양면의 붓을 시간과 위치에 따라 변화시켜야 하는 기존의 MPF 장치와는 달리, 새로운 시스템은 고분자 탄성체나 유체가 항상 소재의 변형에 따라 함께 움직이므로 한쪽 면의 붓의 위치만 제어하면 되기 때문에, 위치 제어가 단순, 용이하고, 높은 성형 정밀도가 얻어질 수 있다.

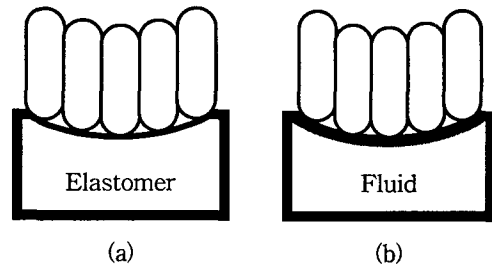


Fig. 4 Basic concept of advanced dieless forming technology (a) elasto-type, (b) fluid-type

한편 새로운 성형장치는 금형을 사용한 성형에도 효과적으로 이용될 수 있다. 이 때 금형은 matched die가 아니라 single die이므로 금형 가격이 절감되고, 제작기간이 단축되는 효과가 있다. 이것은 기존의 elasto forming이나 fluid forming<sup>(6)</sup> 및 hydroforming<sup>(5)</sup> 방식과 유사하지만 신 시스템에서는 다수의 금형을 동시에 부착하여 개별적으로 작동시킬 수 있으므로 대형의 복잡한 형상도 한번에 성형하거나 한꺼번에 많은 수의 제품을 생산할 수 있다.

그 외에도 새로운 시스템은 non-matched 금형으로 deep drawing도 가능하므로 기존의 MPF로는 불가능한 고형상비(깊이/폭)도 얻을 수 있어 다기능, 다목적으로 활용할 수 있다. 또한 본 개발 장치는 다수의 붓을 사용하므로 이방성 판재의 주름발생을 방지하기 위해 위치에 따라 blank 지지압력을 적절히 변화시키기도 용이하다.

#### 3.2 개발 성형장치의 구조 및 성형 예

Fig. 5는 새로운 개념을 도입하여 개발한 무금형 판재성형 시스템이다. 이 시스템은 컴퓨터 제어부, 유압 공급부 및 성형부로 구성되어 있다. 성형부는 다시 상부의 다축 제어부와 하부의 elastomer로 이루어지며, elastomer는 필요시 유체로 대체할 수 있게 하였다. 다축 제어부는 서보밸브와 다축의 금속봉으로 구성된다.

성형하려는 형상은 컴퓨터에 입력되어 다축 성형부로 전달되며, 여기서 서보 밸브를 통해 금속봉이 이동하면서 실시간으로 변하는 위치신호를 컴퓨터로 보내어 위치가 정밀하게 제어된다. 다축 금속봉은 초기에 옆으로 나

란히 배열되어 있다가 제공된 위치 신호에 따라 점진적으로 이동하면서 elastomer나 유체 충전 bed 위에 놓인 금속판재를 변형시켜 최종 형상으로 성형한다. 성형 판재와 닿는 금속봉의 머리 부분은 교환 가능한 구조로 만들어 성형품의 형상에 따라 적절한 형태로 바꿀 수 있게 하였다.

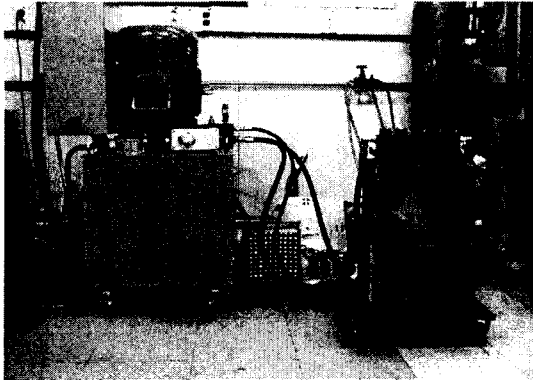


Fig. 5 Dieless MPF equipment developed in this study

Fig. 6은 개발된 dieless forming 장치를 이용하여 여러 가지 형상을 성형한 예이다. Fig. 6-(a)는 두께 1 mm인 1000계 알루미늄 판재로 성형한 2차원 곡면으로서 판재 표면에 성형자국이나 주름이 나타나지 않고 곡면성형이 잘 이루어진 것을 볼 수 있다. Fig. 6-(b)는 개발된 장치에서 두께 0.5 mm인 1000계 알루미늄 판재를 deep drawing하여 제조한 3차원 곡면 성형품이다. 따라서 새로운 기술은 기존 기술보다 표면 결함이 적고, 높은 성형한계가 기대된다. 이 외에도 개발된 새로운 성형장치를 이용하여 다양한 곡면 성형이 가능하였으며, 이는 새로운 개념의 dieless forming 기술이 기존 기술의 단점을 보완하면서 다기능, 다목적으로 사용될 수 있음을 보여준다.

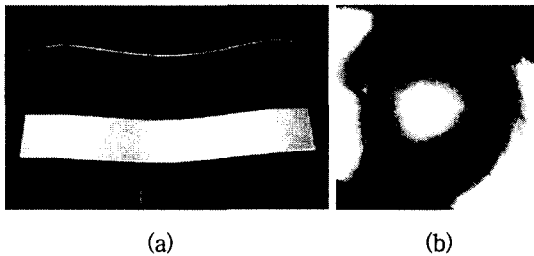


Fig. 6 Example of various parts by MPF  
(a) 2D curved surface, (b) 3D deep drawing

#### 4. 결론

기존의 dieless forming 기술은 금속판의 양면에 금속봉이 점접촉을 하므로 표면결합이 발생하기 쉽고, 정밀한 위치제어가 어려우며, 일부 금속봉은 성형에 별다른 역할을 못하여 성형 정밀도와 효율이 떨어지고, 장비가 고가인 단점이 있다. 이에 비해 한쪽 면의 금속봉을 유체나 고분자 탄성체로 대체한 새로운 개념의 dieless forming 기술은 위치제어가 용이하고, 표면결합이 적으며, 높은 성형한계가 기대된다. 또한 장비가 보다 저렴하고, 단순 곡면 성형뿐만 아니라 deep drawing도 가능하여 다기능, 다목적으로 활용할 수 있다.

#### 후 기

본 연구는 KIST의 기관고유사업으로 수행되었으며, 본 연구에 많은 도움을 주고, 상호 기술협력에 합의한 중국 길림공대의 이명철 박사에게 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- (1) Li, M., Liu, Y., Su, S., Li, G., 1999, "Multi-point forming: a flexible manufacturing method for a 3-d surface sheet", J. Mat. Proc. Tech., Vol. 87, pp.277~280.
- (2) Knapke, J. A., 1988, "Evaluation of a variable configuration die sheet metal forming machine", MIT Master thesis.
- (3) Li, M., Liu, Y., Cai, Z., 1999, "A dieless forming technique for sheet metal", Int. Conf., Seoul, Korea.
- (4) Eigen, G. F., 1992, "Smoothing method for discrete die forming", MIT Master thesis.
- (5) Schuler, "Metal forming handbook", 1998, Springer, Berlin, Germany, pp. 188~193, 405~432.
- (6) "Metals Handbook, Forming and Forging", Vol. 14, 9th edition, 1988, ASM, Metals Park, Ohio, pp. 605~615.