

다점 성형가공시스템의 조선 적용성에 대한 기술 동향

박철성, 이정수(☞)한진중공업, 산업기술연구팀

1. 개 요

조선 산업은 세계 경제의 전반적인 경기 호전으로 인해 물동량의 증가 및 이로 인한 선박수요의 증가, 그리고 노후 선박의 증가로 인해 최근 큰 호황기를 맞고 있으며, 우리나라의 조선 산업은 세계 시장 점유율 약 38%로서 세계 1위의 자리를 차지하고 있다. 그러나 최근 중국의 공격적인 시장진출로 인해 그 자리를 위협 받고 있는 실정이며, 고부가가치의 여객선 위주로 재편하고 있는 유럽 조선 산업의 현황을 볼 때, 국내 조선업계에서도 선박 수출국에서 선박기술 수출국으로 나아가기 위해서는 과학적이며 체계적인 선박 생산기술이 절실히 요구된다.

하지만, 아직까지 자동화되지 않고 노동력에 의존하는 기술들이 있으며, 특히 선박의 선수 및 선미 부분의 3차원 곡면 성형에는 대부분 불꽃 가열과 냉각을 반복하는 선상가열법(Line Heating Method)을 이용하여 아래의 Fig. 1과 같이 수작업으로 제작하고 있다.

이러한 선상가열법은 소음과 고열, 섬광 발생으로 작업환경이 열악하고, 생산성이 매우 낮으며, 소재 표면에 직접적인 열을 가하기 때문에 재질 열화 등의 문제가 발생할 수 있다. 또한 이 방법은 전문



Fig. 1 조선용 곡면을 위한 선상가열법

인력 양성에 장기간이 필요함에도 열악한 작업환경으로 인해 신규 인력의 충원이 어려워 기술단절의 위험과 인

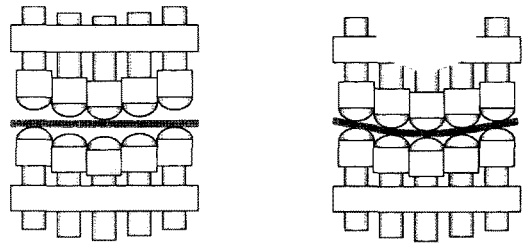


Fig. 2 다점 무금형 성형의 공정 개념도

건비 상승이 문제가 되고 있다. 이러한 문제들을 해결하기 위해 국내외에서 최근 선상가열을 사람대신 기계로 자동화하는 기술개발이 시도되었으나 인간의 감각과 경험에 크게 의존하는 기술을 컴퓨터로 제어 가능하도록 수치화하는 것이 매우 어렵기 때문에 아직까지 만족스런 실용화 수준에는 이르지 못하고 있다.

이에 따라, 3차원 곡면을 성형하는 또 다른 기술로서 다점 무금형 성형(Multi-Point Forming or reconfigurable discrete die forming)법이 미국, 일본 등을 중심으로 오래 전부터 연구가 진행되어 왔다. 아래의 Fig. 2는 다점 무금형 성형에 대한 공정 개념도를 나타내고 있다.

조선용 3차원 곡면은 자동차, 전기전자, 통신제품 등과 같이 양산성을 요구하지 않을 뿐만 아니라 후판을 주로 가공하기 때문에 일반 금형(Solid Die)을 이용한 생산은 어려움이 있으며, 또한 블록마다 두께와 형상이 다른 경우가 대부분이고 각 블록에 대한 수요가 많지 않으므로 다품종 소량생산을 기반으로 하는 조선용 후판 가공 시 다점 무금형 성형이 적합하다. Fig. 3은 일반적인 금형에 의한 성형법과 다점 무금형 성형에 의한 성형법을 비교하여

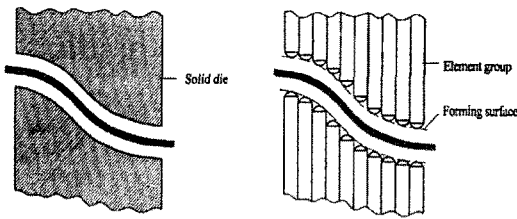


Fig. 3 일반 금형에 의한 성형법과 다점 무금형 성형법의 비교

나타내고 있다.

다점 무금형 성형법의 기본 원리는 금형을 여러 조각으로 분할하여 각 조각의 위치를 조절함으로써 2차원 또는 3차원 곡면을 자유롭게 만들어 기존의 일반적인 금형 대신 판재 성형에 사용하는 것이다. 따라서, 일단 다점 성형가공 장치를 만들면 매번 다른 금형을 만들지 않고도 다양한 곡면 형상의 성형이 가능하다.

2. 해외 기술개발 사례

2.1 미국 (U.S.A)

미국은 1970년대부터 다점 무금형 프레스 성형법에 대한 기초연구를 시작하였다. 미국 보잉사에서는 Fig. 4에 나타난 것과 같이 상하에 배열된 다수의 펀치 위치를 조절하여 곡면 형상을 만드는 장치로서 특허를 등록하였다. 이 방식은 새로운 금형을 제작하지 않고도 펀치요소의 위치만 조절하여 다양한 형상의 곡면을 신속하게 성형할 수 있는 장점이 있다. 이 기술의 개발 초기 단계에는 기술 부

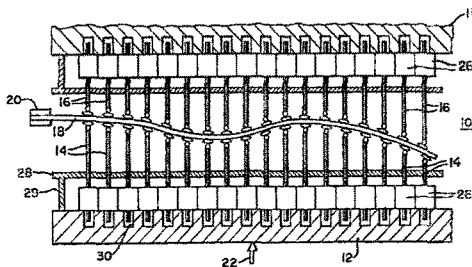


Fig. 4 다점 성형법에 의한 곡면 성형장치



Fig. 5 항공기용 3차원 곡면 성형기술 적용

족으로 충분한 성능이 나오지 않았으나 1980년대부터 MIT 대학 등의 연구와 컴퓨터, 자동화기기 등 주변기술의 발달로 1990년대 이후 성능이 크게 개량되어 실용화 분야가 급속도로 확대되었다. 최근 2002년에는 Northrop Grumman 항공사에서 항공기용 3차원 곡면의 다점 무금형 성형기술을 개발하여 Fig. 5와 같이 항공기 제작에 이 기술을 적용하기 시작하였다.

2.2 일본 (Japan)



Fig. 6 플랜트용 3차원 곡면 후판 성형

세계 최초의 실용화는 1978년 일본의 미즈비시 중공업이 비록 성능이 뛰어나지는 않았지만, 조선용 곡면 성형에 적용한 것이다. 그 후 일본은 1993년에 히타치 제작소에서 실시간으로 곡면제어가 가능한 유압식 다점 무금형 장치를 개발하여 Fig. 6에 보는 것과 같이, 1.2 m×1.4 m 크기의 플랜트용 3차원 곡면 후판 성형에 성공하였으나, 고가의 고출력 장치의 부착과 당시 기술적 어려움으로 상용화에 실패하였다.



Fig. 7 중국에서 개발한 무금형 성형장치

2.3 중국 (China)

중국은 1990년대에 길림 대학을 중심으로 다점 무금형 성형에 대한 연구를 시작하여 Fig. 7에 나타난 것과 같이 고정식 무금형 성

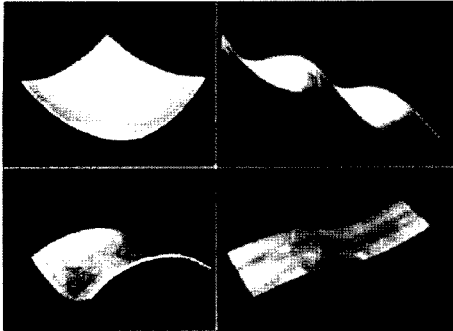
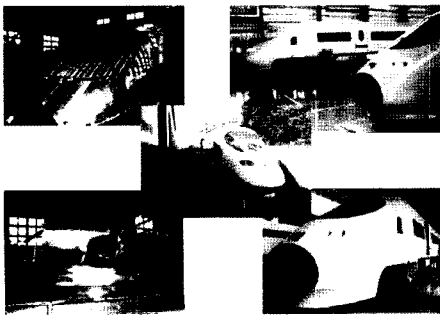
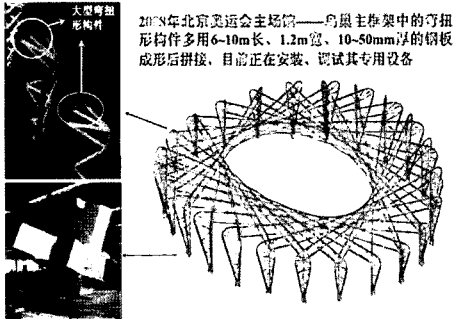


Fig. 8 무금형 성형장치로 제조된 각종 3차원 박판 곡면



(a) 중국 고속전철에 적용 사례



(b) 2008 베이징 주경기장 적용 사례

Fig. 9 중국의 3차원 곡면성형 적용 사례

형장치를 개발하였으며, Fig. 8과 같이 무금형 성형 장치로서 다양한 형상의 3차원 박판을 성형하였다. 또한, 10년 이상의 연구를 통해 Fig. 9에 나타낸 것과 같이 2003년에 고속전철, 2004년에 조선, 2005년에 건축용 등 여러 분야의 3차원 곡면 성형에 차례로 적용하였다.

3. 목적곡면 생성 및 위치좌표 산출

3.1 조선용 3차원 목적곡면의 생성기법

3차원 다점 무금형 성형법을 조선에 적용하기 위해서는 먼저 성형하려는 목적곡면이 3차원 CAD에서 읽을 수 있는 형태로 만들어져야 한다. 대부분의 선체 설계는 3차원 CAD 프로그램을 통해 이루어지므로 곡면의 형상정보는 이미 구축된 조선용 CAD시스템으로 추출할 수 있다. 선체 설계는 먼저 Fig. 10과 같이 기본선도를 작성하는 것으로 시작하며, 이 기본선도를 확장해 3차원 곡면을 얻고, 선박 건조를 위한 생산도가 작성된다. 생산도를 작성하는 과정에서 곡면은 Fig. 11처럼 성형하기에 적합한 크기의 단위 곡면으로 분할된다.

곡면의 위치에 대한 정량적인 좌표는 단위곡면으로부터 직접 얻을 수는 없으므로 측정점 부여작업을 통해 정량화된 위치 좌표값을 구한다. 측정점 부여작업으로 얻은 값은 점 정보이므로 이를 3차원 곡면으로 나타내기 위해서는 곡면화 작업을 거쳐야 한다. 곡면화 작업은 측정점을 직선으로 연결하는 방법과

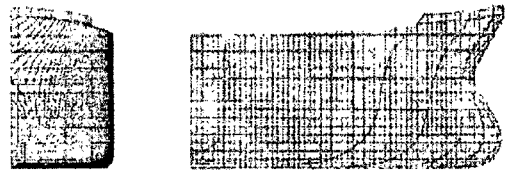


Fig. 10 선박건조를 위한 기본선도

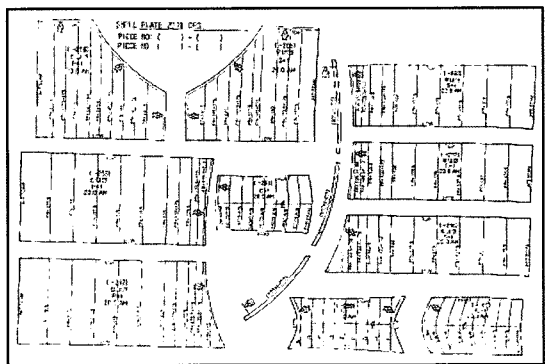


Fig. 11 3차원 곡면성형을 위한 단위곡면

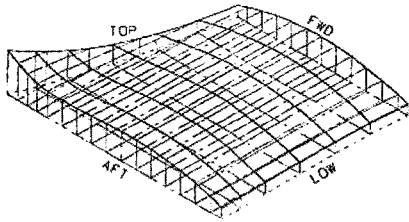


Fig. 12 곡면화 작업을 통한 목적곡면

곡선으로 연결하는 방법이 있으며, Fig. 12는 곡면화 작업을 거쳐 얻어진 목적곡면을 나타내고 있다.

3.2 펀치 위치좌표 산출기법

다점 무금형 성형을 위해서는 펀치가 목적 곡면과 일치하는 3차원 곡면으로 배열되어야 한다. 이를 위해서는 3차원 공간상에서 펀치가 목적곡면과 접촉하는 위치좌표를 구할 수 있어야 한다. 접점의 위치좌표를 구함으로써 곡면 성형을 위한 펀치의 상대위치를 결정할 수 있기 때문이다.

펀치헤드와 목적곡면은 모두 3차원 곡면이므로 두 면이 접촉하는 위치를 구하기 위해서는 고도의 수학적 기법이나 기하학적인 처리가 필요하다. 목적곡면은 형상이 자유로워 구나 타원의 일부와 같이 해석적으로 표현하기 어려운 경우가 대부분이다. 따라서 유한요소를 이용해 근사적으로 표현할 수 있으며, 펀치는 일정한 곡률반경 R을 가지는 구의 일부로 가정할 수 있다. 펀치는 Z방향으로만 이동이 가능하며, 펀치는 회전이 없는 강제운동을 하므로

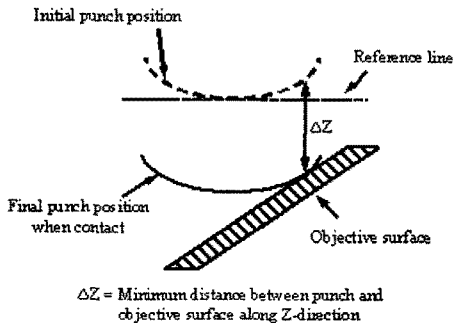


Fig. 13 펀치의 위치좌표산출 개념도

접점이 초기 위치로부터 Z방향으로 이동한 거리는 펀치의 기준점이 이동한 거리와 같다. 또한, 펀치가 이동해야 할 거리는 공간상에서 목적곡면과 펀치헤드 간 Z방향의 최소거리를 구하는 것과 같다. 이것에 대한 개념도를 Fig. 13에 나타내었다.

4. 성형해석 및 곡면성형

4.1 다점 무금형 성형해석

본 고에서는 목적곡면으로부터 펀치의 위치좌표를 산출하는 것은 CAD 프로그램을 이용하였다. 수백 개의 펀치 각각에 대해 수작업으로 구하는 것은 한계가 있으므로 CAD프로그램의 자동화 기법을 이용하여 100개의 실용 펀치에 대해 위치 좌표를 산출하였다.

해석에 사용된 펀치는 10×10 배열로 총 100개이고, 펀치헤드 곡률반경은 R20이다. 100개의 펀치와 목적곡면을 CAD에서 모델링 후 위치좌표 자동

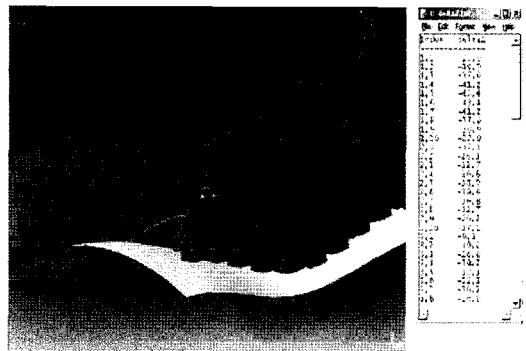


Fig. 14 펀치와 목적곡면의 위치좌표 산출

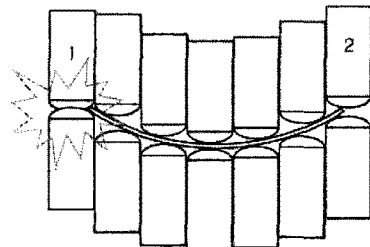


Fig. 15 상하 펀치의 충돌문제

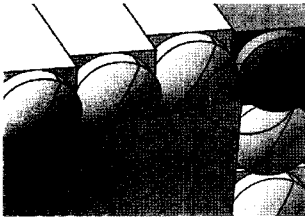


Fig. 16 판재와 펀치몸통의 접촉문제

화 기법을 이용해 Fig. 14와 같이 구할 수 있었다. Figure 14는 조선에 사용되는 여러 가지 3차원 곡면 중 비틀림 곡면을 대상으로 위치좌표를 구하고, CAD

에서 곡면에 맞게 펀치를 배열한 모습을 나타내고 있다.

상기의 펀치위치좌표 산출과정에서 발생 가능한 문제점을 검토한 결과 Fig. 15와 같이 일부 상하 펀치가 충돌할 수 있음이 예측 되었다. 즉, 펀치의 배열면적보다 판재의 크기가 작으면 판재의 모서리에서는 Fig. 15의 1번 펀치가 아래 펀치와 충돌을 일으킬 수 있다. 또 판재의 모서리부의 2번 펀치는 성형에 기여하지 못하는 유히펀치 임을 알 수 있었다. 따라서 향후 위치좌표 산출 시 충돌을 예측하고, 유히펀치를 성형에서 제외시킬 수 있는 알고리즘이 포함할 필요가 있다. 또한 경우에 따라서는 Fig. 16과 같이 곡면의 모서리가 펀치의 몸체와 접촉하는 문제를 발생할 수 있음을 발견하였다. 이러한 비정상적인 접촉 상태를 사전에 예측할 수 있는 프로그램을 개발하거나 이러한 접촉을 피할 수 있는 펀치의 설계가 필요하다.

4.2 다점 무금형 성형실험

CAD프로그램의 자동화 기법을 통해서 산출된 펀치의 위치좌표와 이를 이용하여 생성된 3차원 곡면이 실제 조선용 곡면 성형에 이용될 수 있는지 검증하기 위해서 다점 무금형 성형장치로 성형실험을 실시하였다. 성형에 사용된 성형장치는 Fig. 17에 나타낸 것처럼 가로와 세로가 20mm인 펀치가 10×10으로 배열되어 있다. 또한 이 장치는 외국의 다점 성형장치와는 달리 한쪽 면만 펀치를 사용하고 반대면은 유체나 고분자 탄성체로 압력을 가한다. 따라서 이 장치에서는 앞에서 예측된 상하 펀치간

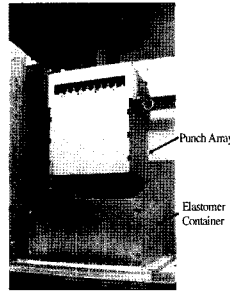


Fig. 17 다점성형 실험용 장비

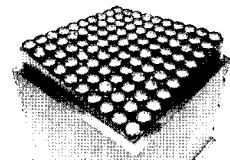


Fig. 18 비틀림 곡면성형을 위한 펀치배열

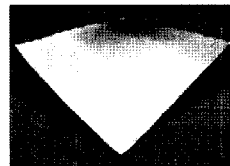


Fig. 19 실제 성형된 비틀림 곡면형상

의 충돌 문제는 발생하지 않는다.

실험대상 곡면은 비틀림 곡면을 선택하여 산출된 펀치 위치좌표를 펀치제어용 프로그램에 입력하고, Fig. 18과 같은 곡면을 생성하였으며, Fig. 19는 두께 1mm의 알루미늄 판재를 사용하여 앞서 생성한 비틀림 곡면을 다점 성형장치로 성형한 결과이다. 성형된 판재는 펀치자국이나 주름과 같은 결함없이 비틀림 곡면으로 성형되었다. 이러한 결과는 이 기술이 조선용 3차원 곡면에 이용될 수 있음을 보여준다.

5. 맺음말

다점 무금형 성형기법은 금형이 필요없이 성형장치 내의 펀치의 위치 제어만으로 성형대상 강판의 다양한 목적곡면을 가공해 낼 수 있는 기술로서, 현재 조선소에서 선박용 후판의 3차원 곡면가공을 위해 보편적으로 활용하고 있는 선상가열법의 단점을 획기적으로 개선할 수 있으며, 선박의 선수 및 선미 외판에서와 같이 가공형상이 다양한 작업에 매우 신속하고 유용하게 적용할 수 있는 장점을 가지고 있는 기술이다.

이 성형 기술은 국내외적으로 조선용 3차원 곡면 성형에 실용화된 사례가 아직 없으며, 이 기술을 바탕으로 자동화된 성형공정과 관련 핵심기술 시스템이 내장된 자동 성형장치를 개발할 경우, 성형 작업자의 경험이나 전문성이 상대적으로 적게 요구되기 때문에 작업 효율성과 정도를 획기적으로 개선할 수 있고 결과적으로 생산성 향상과 선박 건조원

가 절감에 기여할 수 있을 것이다.

후 기

본 기술 보고는 대우조선해양(주)과 한국과학기술 연구원과 공동으로 수행한 연구 결과를 바탕으로 작성되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 강동하, 박종우, 김태원, 2004, "다점 무금형 2차원 곡면성형 최적화 연구," 한국소성가공학회 춘계학술대회 논문집, pp.

66-69.

2. 박종우, 2002, "금속 판재 성형 기술의 진보," 한국소성가공 학회지, 제11권, 제3호, pp. 223-229.
3. M.Z. Li, Z.Y. Cai, Z. Sui, and Q.G. Yan, 2002, "Multi-point forming technology for sheet metal," Journal of Material Processing Technology 129, pp. 333-338.
4. H.C. Kuo, and L.J. Wu, 2002, "Automation of heat bending in shipbuilding," Computer in Industry 48, pp. 127-142.
5. Zhong-Yi Cai, Ming-Zhe Li, 2002, "Multi-point forming of three-dimensional sheet metal and control of the forming process," International Journal of Pressure Vessels and Piping 79, pp. 289-296. Ⓜ

박 철 성 | 한진중공업 기술연구소 산업기술연구팀 대리



- 1976년12월생
- 2004년 부산대학교 항공우주공학 석사
- 관심분야: Multi-Point Forming, EGW/ESW
- E-mail: pocssy@hanjinsc.com

이 정 수 | 한진중공업 기술연구소 산업기술연구팀장



- 1968년2월생
- 1995년 부산대학교 기계공학 석사
- 관심분야: 생산자동화, 변형강도
- E-mail: leejs@hanjinsc.com