

# 다점 성형 장치를 이용한 선체외판 성형기술 개발

## Development of cold-forming process of Shiphull with Reconfigurable Multi-Punch Dies

\*#고영호<sup>1</sup>, 하석문<sup>1</sup>, 한명수<sup>1</sup>, 전유태<sup>2</sup>, 김광호<sup>2</sup>

\*# Y.H. Ko<sup>1</sup>(yhko@dsme.co.kr), S.M. Ha<sup>1</sup>, M.S.Han<sup>1</sup>, Y.T. Jeon<sup>2</sup>, K.H. Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>대우조선해양 산업기술연구소, <sup>2</sup>(주)스틸플라워

Key words : Multi-point forming, Sectional forming, DTF, shiphull

### 1. 서론

조선·중공업 분야 구조물의 외판은 일반적으로 두꺼운 금속 판재로 구성되어 있어 제작 과정에서 후판의 곡가공은 필수적인 공정 중의 하나이다. 특히 선체의 선수나 선미부는 복잡하고 깊은 3차원 형상의 이중 곡면으로 구성되어 있다. 일정한 곡률을 갖는 단순 곡면체를 성형할 때에는 롤을 사용한 냉간 성형법을 적용하기도 하지만 복잡한 형상을 제작하기 위해 선상 가열법(line heating)을 사용한다. 선상 가열법은 국부가열과 수냉으로 발생한 판의 굽힘과 수축으로 곡면을 제작하는 방법이다. 이 작업은 내업 공정 중에서도 매우 자동화가 늦어지는 분야 중 하나로서 여전히 숙련자의 경험과 기술에 의존하고 있다. 그러나 프레스에 의한 냉간 굽힘 가공 자동화의 경우 프레스 다이의 설정만으로 된다는 장점이 있다. 하지만 다이를 임의의 선체 곡면에 대해 준비하는 것이 불가능하여 이를 해결하기 위해서 본 연구에서 다점 성형법에 관해 검토하고자 한다.

### 2. 탄성회복 제어 방법

외력에 의해 소성변형이 일어난 재료는 외력이 제거되면 탄성회복(spring-back)이 일어난다. 판재 성형에서 필연적으로 발생하는 탄성회복은 금형 설계와 제작에 있어서 매우 중요한 문제이다. 기존의 탄성회복 제어를 위한 방법은 시행착오를 반복함으로써 시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 본 연구에서는 공간-주파수(spatial-frequency) 이론에 기반을 둔 푸리에(fourier)변환을 이용한 변형전달함수(deformation transfer function, DTF)를 적용하여 탄성회복을 예측하고자 하였다. 선형 시불변 시스템에서 전달함수는 식(1)과 같이

표현되는데 곡면 성형에서 입력 신호는 다이 형상을 대표하는 곡면 좌표  $d(m,n)$ 이고 출력 신호는 가공 형상의 측정 곡면 좌표  $p(m,n)$ 이다. 따라서 이산 푸리에 변환(Discrete fourier transform)에 대한 공간 주파수 영역에서의 전달 함수는 식(2)와 같이 표현할 수 있다.

$$H(u,v) = \frac{DFT\{Output(m,n)\}}{DFT\{Input(m,n)\}} \quad \text{식(1)}$$

$$H(u,v) = \frac{DFT\{p(m,n)\}}{DFT\{d(m,n)\}} = \frac{P(u,v)}{D(u,v)} \quad \text{식(2)}$$

위 식을 다단계 성형 공정에 적합하도록 고쳐 쓰면 전달함수  $H$ 는 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$H(u,v) = \frac{DFT\{p(m,n)\}_i - DFT\{p(m,n)\}_{i-1}}{DFT\{d(m,n)\}_i - DFT\{d(m,n)\}_{i-1}} \\ = \frac{P_i - P_{i-1}}{D_i - D_{i-1}} \approx \frac{ERROR}{D_{i+1} - D_i} \quad \text{식(3)}$$

위 식에서 성형 오차와 전달함수에 의해 수정 입력 곡면 형상  $D_{i+1}$ 을 계산할 수 있다

### 3. 유한요소해석

실험 단계의 다점 성형법은 판재 준비에서 결과 산출까지 많은 시간과 비용이 요구되기 때문에 유한 요소법을 이용한 예측을 통해 결과에 대한 시행착오를 최소화하였다. Fig.1은 다점 성형 실험에 대한 1/2 유한요소 모델이다. 3차원 고체 요소로 8절점의 1차 선형 감적분 요소(linear brick reduced integration element)를 적용하여 hourglass control이 가능하도록 하였다. 펀치는 강체(rigid surface)로 모델링하여 판재와 펀치에서 발생하는 비선형 접촉 현상을 해석적으로 고려하였다. 판의 성형 단계 해석에는 abaqus explicit code를 적용하고 탄성 회복 해석을 위한 제하 단계는 implicit code를 사용하

었다. 판 크기는 2000×1000×20이며 재료 특성은 당사에서 선체 외관에 사용하고 있는 고장력 강판을 적용하였다.

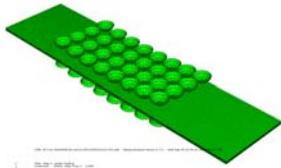


Fig. 1 FE Model of Multi-point Forming

2회의 예비성형(D1, D2)을 거쳐 최종 펀치 배열(D3)을 결정하였으며 오목형(concave)과 안장형(saddle)을 대상으로 하였다. D1의 종곡과 횡곡률 반경은 각각 3100/3000이며 D2는 2700/2600 이다. 다점 성형 장치가 1회 성형으로 성형 가능한 영역이 1000×1000이므로 동일한 영역으로 분할하여 곡면을 성형하였다. Fig.2는 목적 곡면과 D1에 의한 성형 해석 결과를 나타낸 것이다.

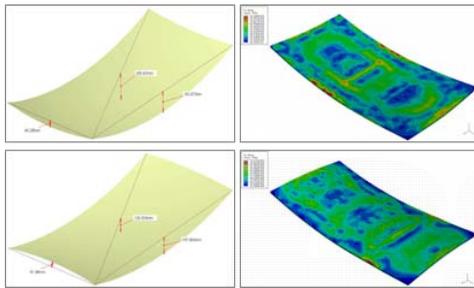


Fig. 2 Object shape and FE Analysis

### 3. 다점 성형 실험

Fig.3은 2000ton 교정기에 연결한 다점 펀치 모듈을 나타낸 것이다. 상하부 각 64개의 펀치로 구성되어 있으며 최대 펀치 stroke는 310mm이다. 서보모터 한개가 8개의 펀치 모듈을 구동하며 구동축과 펀치 모듈은 베벨기어를 이용하여 힘을 전달한다.



Fig. 3 Multi-point Forming Machine

실험은 4회 분할 성형하는 것으로 진행되었으며 성형 후 다관절 3차원 측정 장치(CMM)을 이용하여 100mm간격으로 측정하였다. 2단계에 걸쳐 P1, P2

를 얻고 DTF를 계산하여 최종 펀치 좌표 D3를 도출하였다.



Fig. 4 Experimental results

Fig.4는 분할 성형 실험 결과를 나타낸 것이다. 다점 성형 장치가 일반적인 금형과는 달리 펀치간 간격이 존재하기 때문에 성형 중 표면에 일부 압흔(dimple)이 발생하였으나 전반적인 곡형상에는 변화가 없었다. 오목곡의 최대 성형 깊이는 190mm로 목적 곡면과 5%정도의 오차가 발생하였으며 안장형 곡은 123mm성형되어 8%정도의 오차가 나타났다

### 4. 결론

본 연구는 다점 성형 장치 적용 시 경제적인 측면을 고려하여 소형 펀치 모듈을 사용하여 중대형 곡판을 성형하고자 해석 및 실험적으로 검토한 것으로 아래와 같은 결론을 도출하였다.

1. 분할 성형법을 이용한 선체 외판 성형 가능성을 확인하였고 prototype 장치의 작동 상태 및 구조적 안정성을 입증하였다.
2. 변형전달함수를 적용함으로써 목적 곡면과 근사한 이중곡면을 성형할 수 있었다.
3. 다점 성형법의 결함을 제어하고 정밀 성형이 이루어 진다면 후판 곡면 생산성 향상에 기여하게 될 것이다.

### 참고문헌

1. M.Z. Li, Z.Y. Cai, Z.Sui, Q.G. Yan, "Multi-point forming technology for sheet metal" Journal of Materials Processing Technology, Vol.129, pp.333~338, 2002.
2. Linfa Peng, Xinmin Lai, Mingzhe Li, "Transition surface design for blank holder in multi-point forming" Machine Tools & Manufacture, Vol.46, pp.1336~1342, 2006.
3. J.H. Lee, J.S. Yoon, C.H. Ryu, S.H. Kim, "Springback compensation based on finite element for multi-point forming in shipbuilding" Advanced Materials Research, Vol.26~28, pp.981~984