

# 레이저를 이용한 박판 성형의 정밀도 향상에 관한 연구

## A study on precision improvement in laser forming of sheet metal

김지태\*, 나석주\*\*

\* KAIST 기계공학과 박사과정

\*\* KAIST 기계공학과

### 1. 서 론

금형을 제작하지 않고 박판을 성형 하는 방법은 크게 접촉식과 비접촉식으로 나눌 수 있다. 접촉식 방법은 프레스나 롤러 등을 이용하여 외압에 의해 재료에 스트레스를 가하여 변형을 일으키는 방법으로, 금형을 이용한 박판 성형과 그 메커니즘이 동일하다.

비접촉식 방법은 박판에 국부적으로 열을 가해 생긴 열응력(thermal stress)으로 변형을 일으키는 방법으로 물리적인 제약이나 공구의 마모가 없을 뿐만 아니라, 스프링백 현상이 없기 때문에 공정 설계가 비교적 간편하고, 정밀도가 우수한 장점이 있다[1]. 비접촉식 방법에 적용되는 열원으로는 가스화염(gas flame), 아크 플라즈마(arc plasma), 레이저 등이 이용되고 있다. 가스화염은 재료의 두께가 비교적 두꺼운 선박제조에 있어서 곡변형 공정에 주로 사용되고 있는데, 가스 화염과 아크 플라즈마의 경우에는 국부적인 가열이 비교적 어렵고, 재료의 두께 방향으로의 온도차 발생이 용이하지 않기 때문에 부가적인 수냉 시스템이 도입되어야 하는 단점이 있다. 이에 반해 레이저는 에너지 조절이 용이하고, 광학계를 이용한 조작이 가능한 데다가, 국부적인 순간 가열이 용이하기 때문에 부가적인 냉각 시스템이 필요치 않아 정밀 박판 성형에 이용하는 연구가 많이 진행되고 있다[2-5].

레이저 성형은 고정밀도 가공을 할 수 있는 가능성을 가지고 있지만, 레이저 성형에서의 공정변수들 특성상 변동이 있을 수 있고, 이로 인한 오차가 발생하게 된다.

본 연구에서는 레이저 성형의 특징을 파악하고 이를 위한 귀환제어 방법을 도입하려고 한

다.

### 2. 단일 각도 성형에서의 귀환 제어

단일 각도 성형을 하는데 있어서 가장 큰 문제점은 성형 각도의 변화(variance)에 있다. 이런 변화는 크게, 레이저 출력의 변화, 재료의 물성치 변화, 그리고 표면 조건의 변화에 의해서 생기는 것으로 알려져 있다[6]. 하지만, 이런 공정 변수들은 최종적으로 비선형 관계로 최종 성형 각도에 영향을 미치기 때문에, 이들의 변화율을 알더라도 해석식을 통해 성형 각도의 변화율을 계산하기는 불가능 하다. 따라서 본 연구에서는 컴퓨터 모의 실험을 통해 그 변화량을 예측해 보았다. 그림2.1은 해석식(1)[7]을 가지고, 각각의 변수에 정규 분포의 오차를 주면서 성형 각도의 변화를 표시한 그림이다.

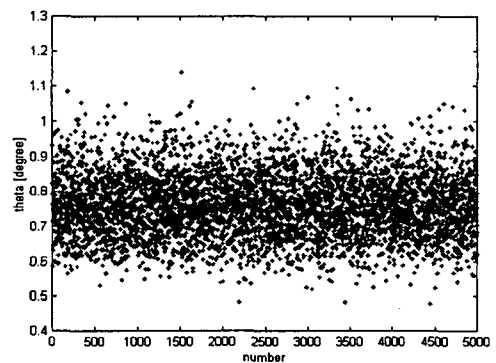


Fig. 2.1 Distribution of theta obtained by computer simulation

이를 이용해서 정규 확률 그림(normal probability plot)(그림2.2)을 그려 봤을 경우 성형 각도 역시 정규 분포를 따르는 것을 알 수 있었

다. 따라서 통계학적 분석을 통해 표준 편차를 구할 수 있었다.

$$\theta = 3 \left( \frac{\alpha_m}{\rho \cdot C_p} \right) \frac{A \cdot P \left( \frac{7}{2} \right)}{v \cdot r^2} - 36 \left( \frac{r \cdot Y}{E} \right) \frac{1}{t} \quad (1)$$

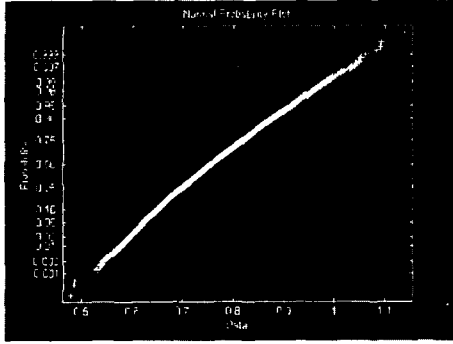


Fig. 2.2 Normal probability plot of theta

그림2.3은 이렇게 구한 표준 편차를 선에너지 (line energy)별로 표시한 그림이다. 그림에서 보면 선에너지와 표준 편차는 선형적인 관계를 갖는 것을 알 수 있다.

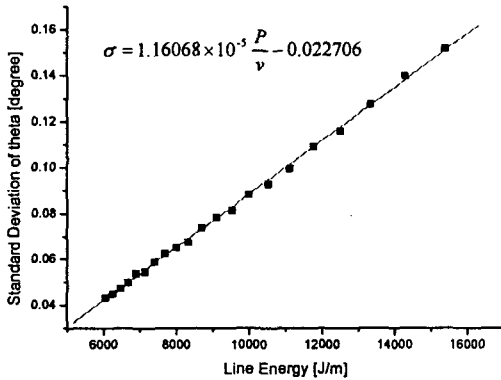


Fig. 2.3 Standard deviation of theta with respect to line energy

이러한 관계를 이용하여 다음과 같은 알고리즘으로 귀환 제어를 수행하였다.

- 목표 각도와 현재 각도와의 차이가 최고 성형 가능 각도 보다 클 경우 최고 성형 각도로 성형을 수행한다.
- 각도 차이가 최고 선형 각도 보다 작을 경우, 성형 각도를 각도차이에서 3σ를 뺀 값을 목표로 하여 성형을 수행한다.
- 목표 각도와 실제 얻어진 성형 각도 사이에서 다음과 같은 적응 이득(adaptive

gain)을 정의하여 다음번 식에 사용한다.

$$\theta = Adaptive\_gain \cdot k_1 \frac{P}{v_i} + k_2$$

그림2.4는 위의 알고리즘을 이용하여 실제 각도를 성형한 결과이다. 성형 각도 5도에 대해서 오차 0.13도로 좋은 결과를 얻은 것을 알 수 있다. 그림2.5는 본 실험에서 레이저 조사 회수와 성형 각도를 보여주고 있다. 실제 성형 각도와 계획한 성형 각도 사이의 관계를 보면 본 알고리즘이 계획대로 수행되고 있음을 알 수 있다.

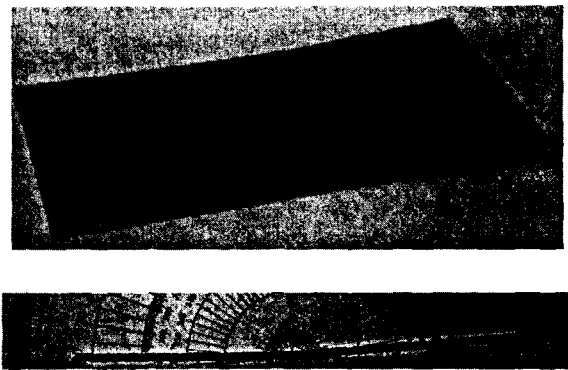


Fig. 2.4 Result of experiment: Target=5°, iteration=5, theta=4.87°

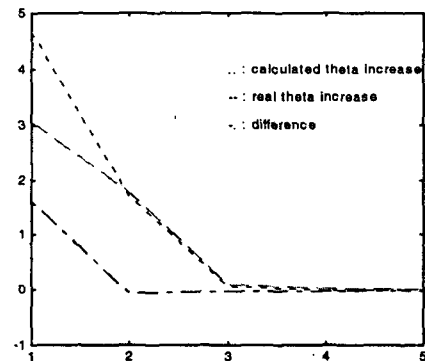
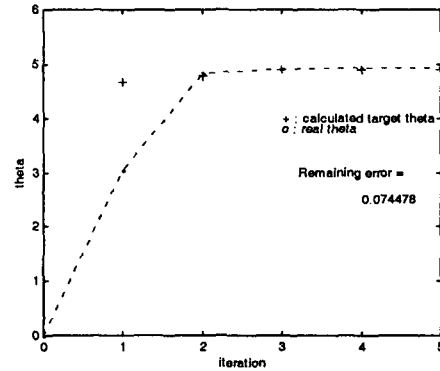


Fig. 2.5 Process of experiment

### 3. 결 론

본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 레이저 성형에서의 오차를 분석하고, 각 공정 변수의 변화를 이용하여 성형 각도의 변화를 예측하였다.
- 2) 예측된 변화를 이용하여 귀환제어 방법을 제안하고, 표면 조건 변화를 고려하여 적응 제어 방식을 도입하였다.
- 3) 제안된 방법을 실험으로 검증하여 좋은 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

### 후 기

본 연구는 BK21 연구 자금의 후원으로 이루어진 결과입니다.

### 참고문헌

1. C.L. Yau, K.C. Chan and W.B. Lee : Laser bending of leadframe materials, J of Material Process Technology, 82 (1998), 117-121
2. Jitae Kim, S.J. Na : Development of irradiation strategies for free curve laser forming, J of Optics and Technology, 35-8 (2003), 605-611
3. K.C Chan and J. Liang : Laser bending of an Al6013/SiCp Aluminum matrix composite sheet, J of Material Process Tehcnology, 100 (2000), 214-218
4. J Lawrence, M.J.J. Schmidt and L. Li : The forming of mild steel plates with a 2.5kW high power diode laser, Machine Tools and Manufacture, 41 (2001), 967-977
5. J. Magee, J. Sidhu and R.L. Cooke: A prototype laser forming system, J of Optics and Laser Engieering, 34 (2000), 339-353
6. G. Thomson and M Pridham : Improvements to laser forming through process control refinements, J of Material Processing Technology, 30 (1998), 141-146
7. C.L. Yau, K.C. Chan and W.B. Lee : A new analytical model for laser bending, Laser Assisted Net shape Engineering, Meisenbach (1997), 156-169