

# 고주파 유도 열원 기반 후판 삼각 가열 성형 기술 A Novel Technology of High-Frequency Induction Heating-based Forming for a Thick Steel Plate

\*#이광석<sup>1</sup>, 전효원<sup>1</sup>, 조유미<sup>1</sup>, 이정환<sup>1</sup>

\*\*K.S. Lee(ksl1784@kims.re.kr)<sup>1</sup>, H.W. Jeon<sup>1</sup>, Y.M. Jo<sup>1</sup>, J.H. Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국기계연구원 부설 재료연구소 변형제어연구실

Key words : Thick metal plate, high-frequency induction, triangular heating, numerical simulation

## 1. 서론

최근 고주파를 이용한 급속 유도 가열 방법은 기존의 가스 토치식 가열에 비해 무공해로 짧은 시간에 정밀한 입열량을 구현할 수 있는 특징으로 인해 가공, 성형, 열처리, 의료, 반도체 등 산업 전반에 걸쳐 각광받고 있다. 특히 투입에너지의 상당 부분이 열에너지로 방출되어 판재 표면에 집중되게 되므로, 선박용 후판 성형을 위한 선상 가열(line heating)에도 유용하게 적용 가능하다. 단, 이와 같은 줄열의 발생은 coil/core 디자인 형상, 판재 두께 및 이동 속도 등에 의해 민감하게 변한다.

본 연구에서는 고주파 유도 열원의 이동 경로를 다르게 설계하여 고속 삼각 가열을 수행함에 있어 판재 표면 및 두께 방향의 변형량 예측을 위한 해석 연구를 우선 수행하였고, 자체적으로 고주파 유도 곡가공 장치를 제작하여 20 mm 두께 후판의 비대칭 선상가열 실험을 직접 수행하여 해석 결과와 비교, 열원 이동 경로 설계의 영향을 확인하고자 하였다.

## 2. 실험 방법

고주파 유도 열원 적용 3차원 자계-열 및 열-구조 연성해석의 개요도 및 유한요소해석을 위한 피성형 판재의 열기계적 및 자기적 물성치는 [1]에 서술한 바 있다. 해석 정밀도의 향상을 위한 충분한 air atmosphere를 포함하는 3-D modeling은 그림 1과 같다. 표면 효과(skin effect)를 감안하여 구리 코일, 전기강판 코어, 피성형 SS400 후판의 표면은 조밀한 메쉬를 형성하였다. 그림 2는 실제 고주파 유도 열원의 중심이 cover하는 삼각가열 범위 및 축을 정의한 개요도이다.

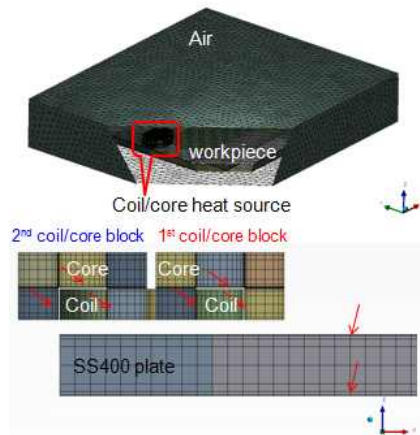


Fig. 1 The mesh shape for electromagnetic-thermal coupling analysis of high-frequency induction heating.

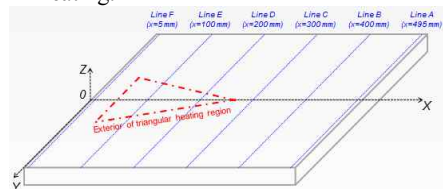


Fig. 2 Workpiece plate overlapped with exterior of triangular heating region.

같은 삼각 영역을 cover하기 위한 열원 이동 경로의 차이가 온도 및 변형량 분포에 미치는 영향을 확인하기 위해 zigzag-type (Case A) 및 fan-type (Case B)와 같이 두 개의 서로 다른 삼각 가열 경로를 그림 3 과 같이 설정하였다.

유한 요소 해석 유효성 검증을 위해 실제 고주파 유도 삼각 가열 실험을 재료연구소 보유 고주파 유도 정밀 성형 장치를 적용해 수행하였으며, 해석과 동일하게 40 kW의 인가 파워, 15 kHz의 주파수, 열원과 판재와의 공간은 5 mm로 고정하였다.

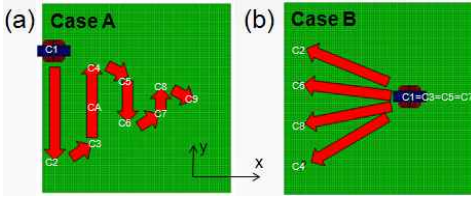


Fig. 3 Two different heating paths for triangular heating-based forming; (a) zigzag type (Case A) and (b) fan-shaped type (Case B).

### 3. 결과 및 고찰

그림 4의 (a)-(c)는 각각 Case A 삼각가열시 파워 인가 10초 후, 60.4초 후 및 200초 후 표면 두께 방향으로의 영구 변형량 해석 결과로, 열변형 초기에는 열팽창에 의해 열원 방향으로 판재가 팽창되었다가 냉각되면서 오히려 아래로 처지는 현상을 확인할 수 있으며, 최대 변위차이는 3.19 mm였다. 반면 그림 4(d)-(f)는 각각 Case B 삼각가열시 파워 인가 15.4초 후, 245.8초 후 및 400초 후 영구 변형량 해석 결과로, 최대 변위가 1.872 mm로 Case A 대비 낮았다.

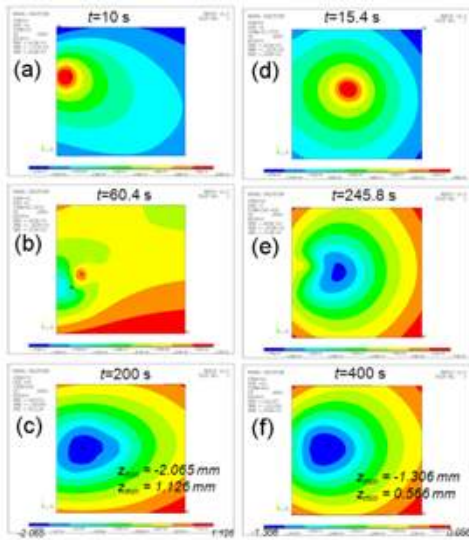


Fig. 4 Numerically calculated distributions of permanent deformation in the z-axis for the work; zigzag-type triangular heating at representative elapsed times of (a) 10 s, (b) 60.4 s and (c) 200 s after turning the high-frequency induction-heating power on, and fan-shaped triangular heating at representative elapsed times of (a) 15.4 s, (b) 245.8 s and (c) 400 s after turning the high-frequency induction-heating power on.

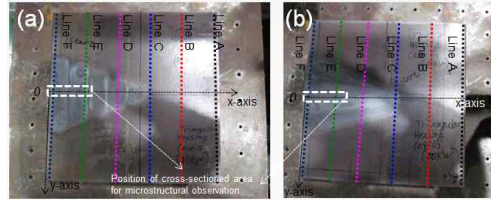


Fig. 5 Photographs of SS400 plates by high-frequency induction-based triangular heating by means of (a) zigzag-type and (b) fan-type heating patterns.

그림 5는 각각 Cases A 및 B의 열원 이동 경로에 따라 성형된 후판 실사이고, 일례로 그림 5(a)의 y축과 평행한 6개의 다른 평행선들(A~F)을 따라 측정된 영구 변형량을 해석치와 비교한 graph는 그림 6과 같다.

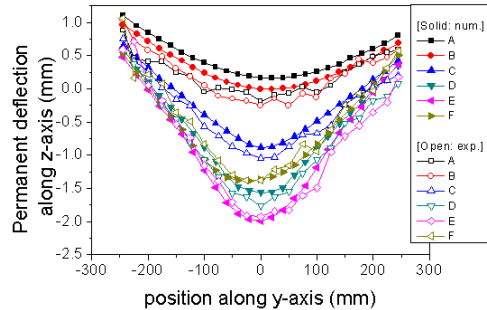


Fig. 6 Comparison of vertical displacement for zigzag-type triangular heated SS400 plates obtained by FE-analysis and actual experiment.

### 4. 결론

KIMS 개발 고주파 유도 후판 정밀 목가공 장치 적용 삼각 가열 성형 해석과 실험 결과를 비교하였으며, 오차 범위 최대  $\pm 0.3 \text{ mm}$  이내로 매우 잘 일치하였고, 따라서 목적 형상 비대칭 열 유기 정밀 성형 및 해석의 효율성을 검증할 수 있었다.

### 후기

본 연구는 산업기술연구회 생산현장중합지원사업의 지원으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. Lee, K.S., Eom, D.H. and Lee, J.H., "Deformation behavior of SS400 thick plate, by high-frequency-induction-heating-based line heating", *MMI*, **19**, 315-328, 2013.