

# 요소 재구성을 통한 용융탄산염 연료전지용 셴디드 슬롯 플레이트의 성형 이력을 고려한 굽힘 특성 분석

## Analysis of the bending behavior of the shielded slot plate for the molten carbonate fuel cell considering the forming effect

\*이창환<sup>1</sup>, 황준선<sup>1</sup>, #양동열<sup>1</sup>, 박종승<sup>2</sup>, 장인갑<sup>2</sup>, 이태원<sup>2</sup>

\*C. W. LEE<sup>1</sup>, J. S. HWANG<sup>1</sup>, #D. Y. YANG(dyyang@kaist.ac.kr)<sup>1</sup>,

J. S. PARK<sup>2</sup>, I. G. CHANG<sup>2</sup>, T. W. LEE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국과학기술원 기계공학과, <sup>2</sup>두산중공업 연료전지 개발센터

Key words : Molten carbonate fuel cell, shielded slot plate, forming effect

### 1. 서론

용융탄산염 연료전지(Molten carbonate fuel cell)는 발전용 연료전지 중 하나로 열병합 발전 등에 적용 가능하다. 또한 상용화에 가까운 연료전지 중 하나로 평가되고 있다 [1]. 용융탄산염 연료전지는 금속 분리판(셴터플레이트, 셴디드 슬롯 플레이트)과 구성요소(애노드, 캐소드, 매트릭스)로 구성된다. 이 중, 셴디드 슬롯 플레이트(Shielded slot plate)의 단위 형상은 사다리꼴 형상이며, 박판 성형 공정을 통해 제작된다.

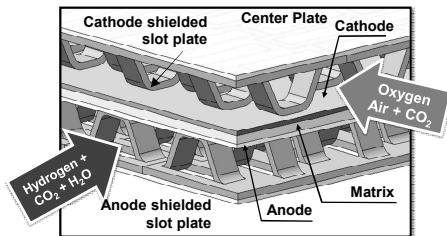


Fig. 1 Structure of the molten carbonate fuel cell

용융탄산염 연료전지는 셴디드 슬롯 플레이트와 구성요소간의 접촉성을 향상시켜 효율을 향상시키기 위해 면압이 가해진다. 따라서 연료전지의 장기 운전성능 및 발전 효율을 향상시키기 위해 셴디드 슬롯 플레이트의 고강성 설계가 필요하다. 따라서 고온, 면압 상태에서 셴디드 슬롯 플레이트의 상온 및 고온 거동, 열변형을 분석하고 이를 설계에 반영할 수 있는 방법이 필요하다.

셴디드 슬롯 플레이트는 박판 소성가공 공정에서 제작되기 때문에 성형 공정에서 발생한 응력

분포, 유효 소성변형율이 셴디드 슬롯 플레이트의 거동에 큰 영향을 끼친다. 따라서 셴디드 슬롯 플레이트의 거동 분석에 성형 이력의 고려가 동반되어야 한다. 기존의 연구 [2]에서는 자동차 부품의 성형 해석 형상을 사용하여 요소를 재구성한다. 그리고 해석 결과를 사상(Mapping)하여 충돌 특성 분석 등을 진행하였다. 그러나 이와 같은 방법의 경우, 단위 형상의 반복 구조로 구성된 셴디드 슬롯 플레이트에는 적용이 어렵다.

따라서 본 연구에서는 셴디드 슬롯 플레이트의 단위 형상 해석 결과를 사용하여, 육면체 요소를 재구성하였다. 그리고 단위 형상의 요소 재구성 결과를 반복, 대칭을 통해 대면적 해석 모델을 구성하였다. 그리고 3점 굽힘 실험 및 해석을 통해 해석 모델의 유효성을 검증하였다.

### 2. 요소 재구성을 통한 대면적 해석 모델 개발

셴디드 슬롯 플레이트의 성형 공정은 개방형 사다리꼴 형상을 성형하는 슬리팅 공정, 소재의 성형성을 향상시키는 중간 성형 공정, 목적 형상으로 성형하는 최종 성형 공정의 3단 성형 공정으로 구성된다 [3]. 단위 형상의 거동 분석은 성형 해석 결과를 직접 사용하여 해석이 가능하다. 하지만 3점 굽힘 등의 대면적 거동 해석은 필요한 요소의 개수가 기하 급수적으로 증가하기 때문에 단위 형상의 직접적 적용이 어렵다. 따라서 요소 재구성을 통해 단위 형상의 요소 개수를 1/10로 줄이고, 이를 반복 및 대칭을 통해 대면적 거동 해석을 위한 해석 모델을 구성하였다.

요소 재구성은 네 가지 단계로 진행된다. 먼저

단위 형상의 3단 성형 공정 해석 결과를 사용하여 목적 형상을 추출한다. 두 번째로, 금형 형상을 통해 구성된 요소를 목적형상과의 비교 및 표면 적응, 요소 유연화(Mesh smoothing)를 통해 목적형상으로 요소를 재구성(Remeshing)한다. 세 번째로, 성형 이력을 고려하기 위해 단위 형상의 성형 해석 결과를 사상(Mapping)하여 단위 형상의 요소를 재구성하였다. 마지막으로, 대면적 해석 모델은 단위 형상의 절점, 요소, 상태변수를 반복 및 대칭을 사용하여 구성하였다.

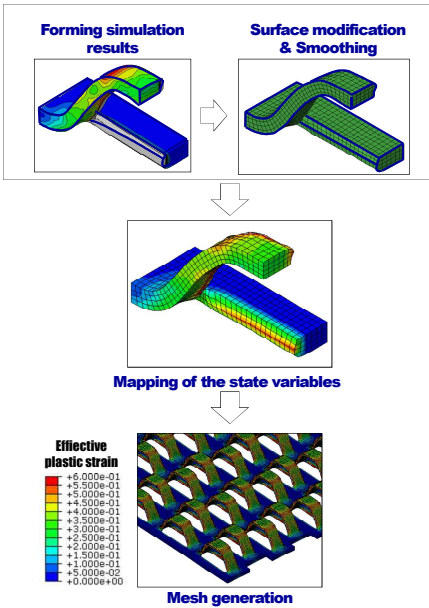


Fig. 2 Mesh generation of the large-area simulation model using the results of the forming process

### 3. 3점 굽힘 실험 결과 분석

셴디드 슬롯의 굽힘 특성을 분석하기 위해 3점 굽힘의 실험 결과와 해석 결과를 비교하였다. 3점 굽힘은 스펠 거리(Span length) 120mm, 다이와 펀치의 반경(Radius)은 12.7mm를 사용하였다. 시편은 가로 세로 각각 200mm, 30mm이며, 셴디드 슬롯 플레이트의 사다리꼴 형상이 성형된 길이 방향에 대해 실험을 진행하였다.

성형 이력을 고려하지 않는 경우, 그림 3에서와 같이 소성변형이 실험 결과에 비해 빨리 발생하였다. 그리고 폭 길이 대비 하중 역시 압하량 25mm에서 실험 결과보다 38.7% 낮게 예측되었다. 그러나 성형 요소 재구성을 통해 성형 이력을 고려하는 경우 실험 결과와 유사한 하중-변위 선도를 얻을 수 있었다.

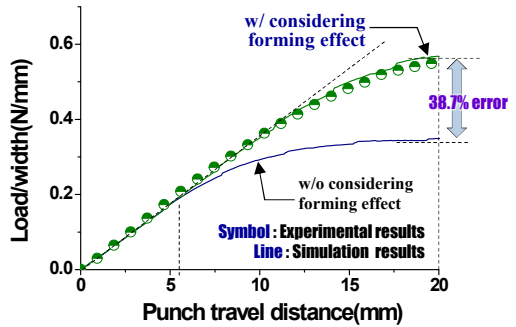


Fig. 3 Simulation results and experimental results of the three-point bending

## 4. 결론

본 연구에서는 대면적 셴디드 슬롯 플레이트의 거동 해석을 위해 단위 형상의 성형 해석 결과를 사용하여 1/10 요소 밀도를 갖도록 요소를 재구성하였다. 이를 반복 및 대칭을 통해 성형 이력을 고려한 대면적 거동 해석 모델을 만들 수 있었다. 3점 굽힘 해석 결과 성형 이력을 고려한 해석 모델의 경우 실험 결과와 근소한 차이를 보이는 하중-변위 선도를 얻을 수 있었다. 이와 같이 개발된 해석 모델의 경우 고온, 작동 환경에서 금속 분리판의 거동 분석에 적용 가능하다.

## 후기

본 연구는 2008년도 지식 경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (2008-N-FC12-J-04-2100)

## 참고문헌

1. C. Yuh, J. Colpetzer, K. Dickson, M. Farooque and G. Xu, 2006, Carbonate Fuel Cell Materials, J. of Mater. Engineering and Performance, vol. 15, pp. 457~462
2. S. H. Lee, C. S. Han, S. I. Oh, P. Wriggiers, 2001, Comparative crash simulations incorporating the results of sheet forming analyses, Eng. Comput., vol. 18, pp. 744~758.
3. C. W. Lee, D. Y. Yang, S. R. Lee, I. G. Chang and T. W. Lee, 2011, Three dimensional forming simulation of the shielded slot plate for the MCFC using a ductile fracture criterion, Proc. NUMISHEET 2011, Seoul, Korea, pp. 911~918