

MCFC 금속 집전판의 프리폼 형상을 이용한 성형성에 관한 연구

A study on formability of MCFC shielded slot using preform shape

*이창환¹, 류승민¹ #양동열¹ 김영진², 김윤성², 강동우², 장인갑², 이태원²

*C. H. Lee¹, S. M. Ryu #D. Y. Yang(dyyang@kaist.ac.kr)¹, Y. J. Kim², Y. S. Kim², D. W. Kang², I. G. Chang², T. W. Lee²

¹ 한국과학기술원 기계공학과, ² 두산중공업 연료전지 개발 센터

Key words : shielded slot, MCFC

1. 서론

용융탄산염 연료전지(Molten Carbonate Fuel Cell)은 다른 형태의 연료전지와 함께 높은 열효율, 높은 환경친화성, 모듈화 특성 등의 장점을 공유하는 동시에, 650°C의 고온에서 운전되기 때문에 인산형 또는 고분자 연료전지와 같은 저온형 연료전지에서 기대할 수 없는 장점들을 갖고 있다. [1]하나의 분리판으로 이루어진 PEMFC와 다르게, MCFC의 금속 분리판은 Fig. 1에서와 같이 센터 플레이트(Center plate)와 쉴디드 슬롯 플레이트(Shielded slot plate)로 구성된다. 금속 분리판은 셀 내에서 가스 유로의 공간을 확보하고 각 셀 사이의 가스 혼합을 방지하며 전극을 포함한 매트릭스를 지지하는 역할을 한다.[2]

이 중에서 쉴디드 슬롯 플레이트(Shielded slot plate) 또는 집전판은 가스의 유로를 확보하는 동시에 촉매가 놓여질 수 있는 공간을 만든다. 이는 센터플레이트의 웨트 실(Wet seal)부 아래쪽으로 Fig. 1과 같이 삽입되어 애노드 쉴디드 슬롯 플레이트(Anode shielded slot plate)의 경우는 애노드를 구조적으로 지지하여 반응 가스가 유동할 수 있는 공간을 만들며 또한 촉매와 반응가스, 애노드가 접촉하여 실질적으로 전류를 만들어내는 반응을 일으킬 수 있게 한다. 캐소드 쉴디드 슬롯(Cathode shielded slot)의 경우는 캐소드를 지지하여 반응 가스가 유동할 수 있도록 한다. 쉴디드 슬롯은 위와 같이 구조적으로 지지하는 역할 뿐 아니라 애노드, 매트릭스(Matrix), 캐소드(Cathode)에서 발생하는 전기를 집전하는 역할을 수행하기도 한다. 따라서 이를 집전판으로 부르기도 한다.

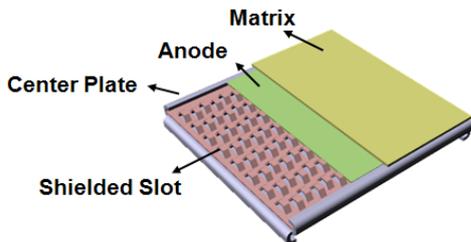


Fig. 1 MCFC unit cell

따라서 쉴디드 슬롯의 성형에서 중요한 사항이 되는 것은 개방형 사다리꼴 형상(open corrugated shape)의 형상 정밀도가 된다. 이는 반응가스가 흐르는 공간을 확보하고, 또한 촉매가 로딩될 수 있는 공간을 확보하기 때문이다. 또한 애노드 및 캐소드에 접촉하는 면적이 넓어야 집전 효율이 증가하기 때문에 상부 평탄부의 확보가 성형에서 중요한 목표가 되고 있다. 따라서 본 연구에서는 이 쉴디드 슬롯 플레이트를 스테인리스 스틸 박판으로 성형하기 위하여 프리폼 형상을 사용하여 다단계 성형 공정을 적용하기 위한 기초적인 실험을 수행하였다.

2. 쉴디드 슬롯 성형 공정

Fig 1.에서와 같이 개방형 사다리꼴 형상을 제작하기 위해서는 일반적인 슬리팅 공정 및 성형 공정의 복합 공정을 사용한다. 본 연구에서는 3단계 공정을 적용하여 1단계(step 1)에서는 성형될 형상을 소재에서 절단하는 슬리팅(slitting) 공정, 2단계(step 2)에서는 성형성을 향상시키기 위한 프리폼(preform)공정, 3단계(step 3)에서는 원하는 형상을 성형하는 성형(forming)공정의 3단계 공정으로 쉴디드 슬롯 성형 실험을 하였다. 이 중 프리폼의 형상은

최종 성형하고자 하는 사다리꼴 형상과 같은 높이를 갖게 설계하여 성형시 두께 감소가 균일하게 분포될 수 있도록 최종 성형 결과인 사다리꼴이 아닌 육각형으로 설계하였다.

본 연구에서는 단위 패턴에 대한 성형 특성을 파악하기 위해 9개 패턴이 지그재그로 두 개의 배열을 가지는 간이금형을 제작하여 단위 패턴에 대한 성형특성을 분석하였다. 또한 이의 프리폼 형상에 대한 성형성을 파악하기 위하여 프리폼 형상을 가지는 3단 성형공정, 프리폼 형상을 거치지 않는 2단 성형공정 모두 성형특성 평가 가능하도록 간이 금형을 제작하였다.

Fig. 2는 제작한 간이 금형의 사진이다. 그림에서 볼 수 있듯이 3단계의 성형 공정을 거칠 수 있도록 제작하였고 필요에 따라 임의로 펀치 및 다이 셋을 교체할 수 있도록 제작하였다. 또한 성형이 되면서 다 단계 공정을 거치기 때문에 소재를 단위 길이만 큰 움직이며 다 단 성형 공정을 가능케 하였다. Fig. 3은 제작한 간이 금형을 UTM(Universal Tensile Machine) Instron 5583에 장착한 사진 및 그 실험 결과이다. 실험에는 스테인리스 박판 소재를 사용하였다. 또한 우측 사진은 중간 성형 과정을 포함하는 3단 성형 공정으로 성형한 실험 결과이다.

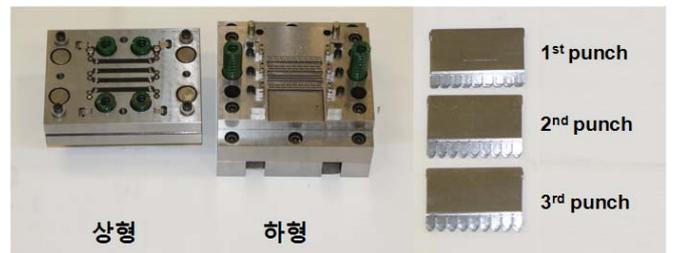


Fig. 2 Die sets of shielded slot and punch shapes

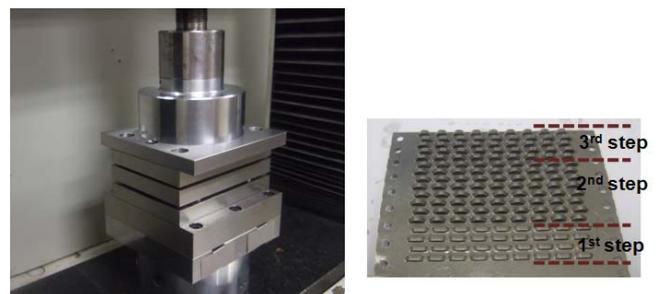


Fig. 3 Experimental set-up and result

3. 쉴디드 슬롯 성형 공정

실험은 2가지로 진행하였다. 중간 성형공정, 프리폼을 사용하지 않는 2단 성형공정으로 성형된 시편과 프리폼을 사용한 3단 성형 공정을 간이 금형을 사용한 성형 실험의 결과를 단면 분석을 통해 프리폼의 효과를 분석하였다.

Fig. 4는 슬리팅 공정(Step 1) 및 성형 공정(Step 2)으로 이루어진 2단 성형공정으로 제작된 시편의 단면 사진이다. 위 사진은 슬리팅 공정 후의 시편 단면 사진이다. 이는 3단 성형공정으로 성형된 시편과 동일 펀치 및 다이를 사용하기 때문에 두 성형 공정 모두 같은 형상을 갖는다. 아래쪽 사진은 슬리팅 공정(step 1)으로 성형된 시편을 최종 성형 금형을 통해 성형한 결과이다. 이는 사진에서와 같이 상부 평탄부와 연결되는 사다리꼴 형상에 단면

결합을 갖는 것을 확인할 수 있다. 이는 상부 평탄부와 연결되는 부분에서 소재의 국부적 단면 감소(Local thinning)이 발생하였다. 초기 소재 두께 대비 40% 감소된 60%의 두께를 갖는다.

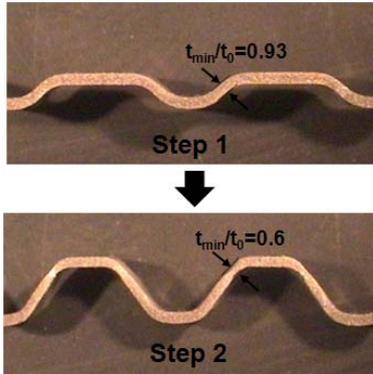


Fig. 4 Experimental result of 2 step forming

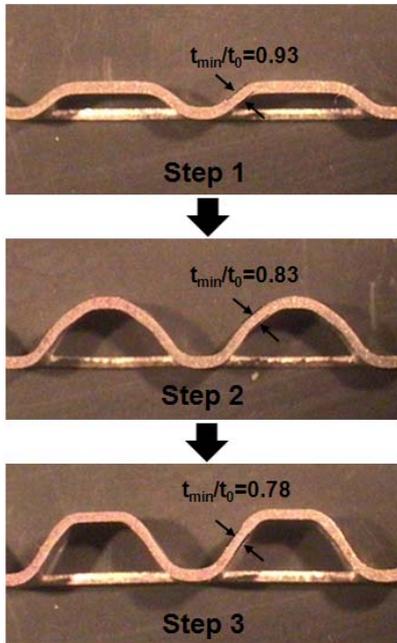


Fig. 5 Experimental result of 3 step forming

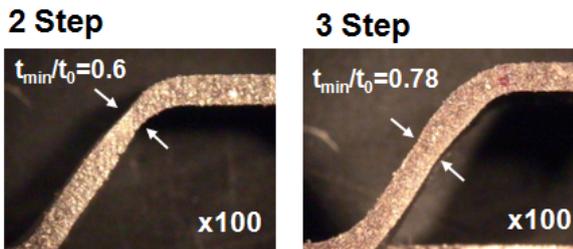


Fig. 6 Comparison of 2 step & 3 step forming

Fig. 5는 중간 성형 공정(step 3), 프리폼공정(step 2)을 거치는 3단 성형 공정의 실험 결과이다. 위에서부터 각각 슬리팅 공정, 프리폼, 성형 공정의 성형 실험 단면 결과이다. 슬리팅공정의 성형 단면은 2단 성형공정과 같은 단면형상을 갖는다. 프리폼공정의 결과 육각형 형상을 갖는다. 이의 최소 두께는 초기 소재 대비 0.83으로 17%의 소재 단면 감소율을 보인다. 또한 이 형상의 높이는 최종 성형 결과와 같은 단면 높이를 갖는다. 또한 프리폼 공정을 거친 단면을 성형공정(step 3)을 통해 추가 성형하는 경우 최종 형상인 사다리꼴 형상을 얻을 수 있다. 최소 두께 발생은 2단 성형공정에서와 달리 사다리꼴의 양 변의 가운데 부근에서 발생한 것을 확인할 수 있다. 또한 이의 초기 소재 대비 두께는 0.78로 22%의 단면 감소가 발생하였다.

2단 성형공정 및 3단 성형공정의 최종 성형결과는 Fig. 6과 같다. 이 사진은 시편을 100배 확대한 사진이다. 2단 성형결과 최소 두께가 발생하는 지점은 상부 평탄부와 사다리꼴의 두 변이 연결되는 부분에서 발생한다. 이는 사다리꼴 중 고 종횡비 및 각도를 갖는 형상의 경우 최종 성형 공정상 소재의 소성 변형이 최소 두께를 갖는 부분에서 집중해서 발생하기 때문이다. 이때의 두께 감소율은 40%로 실제 이를 사용하기에 무리가 있다. 그러나 프리폼공정(step 2)을 거치는 경우 2단 성형공정에서와 달리 최소 두께가 발생하는 부위가 상부 평탄부와 연결부가 아닌 사다리꼴의 두 변의 중간에서 발생한 것을 확인할 수 있다. 이의 두께 감소율은 22%로 2단 성형공정에 비해 그 값이 상당히 감소한 것을 확인할 수 있다. 이는 프리폼 성형공정에서 이미 최종 형상의 높이를 확보하기 때문에 2단 성형 공정에서 육각형 형상(프리폼 형상)을 성형하는 과정에서 소재의 소성변형이 소재 전체에 걸쳐 발생하게 된다. 또한 최종 성형공정에서도 소재의 변형이 국부적으로 발생하지 않기 때문이다.

Fig 7.은 3단 성형 공정의 성형하중을 나타낸 그래프이다. 이는 실제 성형 하중은 슬리팅 공정(step 1)에서의 성형 하중이 주된 영향을 주는 것으로 파악할 수 있다. 또한 3단 성형공정에서 성형공정(step 3)은 성형하중에 큰 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다.

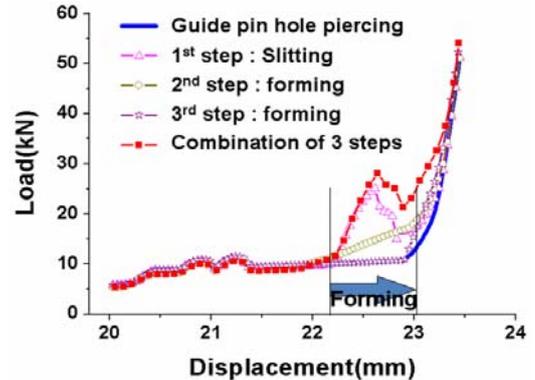


Fig. 7 Forming load for 3 step forming

4. 결론

고 종횡비를 갖는 사다리꼴 형상을 성형하는데 있어서 중간 성형공정(프리폼공정)의 효과를 확인하기 위해 이를 사용한 공정과 이를 사용하지 않은 공정의 최종 형상을 비교하였다. 프리폼을 사용하지 않은 경우 상부 평탄부와 연결부에서 소재 두께 감소가 40% 발생하였고, 프리폼 형상을 사용한 경우 사다리꼴의 양 변 중간에서 22% 발생하였다. 성형 공정에서 결합이 발생하던 것을 중간에 프리폼을 사용함으로써 성형 가능하다는 것을 확인하였다. 최종 형상을 성형하는 과정에 중간 성형단계(프리폼)를 사용함으로써 소재의 균일한 단면 변화를 일으킬 수 있고 또한 국부적 단면감소를 방지할 수 있다.

후기

본 연구는 신재생에너지 프로젝트형 기술개발 사업의 “MCFC 초정밀 금속분리판 성형공정 개발” 과제에 일환으로 진행되었습니다.

참고문헌

1. Ryan O'Hayre, 2006, "Fuel Cell fundamentals", Wiley
2. C. Yuh, 2006, "Carbonate Fuel Cell Materials", Journal of Materials Engineering and Performance, Vol 15(4), pp. 457-462
3. Naoto Hagino, Junichi Endo, Shunji Kato, "Processing of a metallic fuel cell separator by stamping", Advanced technology of plasticity. 2008, pp 392-393