

## 연료전지용 쉴드슬롯판의 자중처짐해석

이상욱<sup>#</sup>, 심언태<sup>1</sup>, 이경수<sup>1</sup>, 우동욱<sup>1</sup>, 김지영<sup>1</sup>, 김정현<sup>1</sup>

### An analysis for the deflection profile of MCFC shield-slot plate by gravity

S. W. Lee, U. T. Shim, K. S. Lee, D. W. Woo, J. Y. Kim, J. H. Kim

#### Abstract

In this study, the equivalent physical properties of the shield-slot plate that has a lot of very tiny bridge shape structures on its plane were determined by tensile tests and structural analyses. With those results in hand, numerical analyses for the deflection profile by gravity effect were carried out to compare with experimental results. The two results were shown coincident very well so that the estimated equivalent physical properties were verified enough for further studies such as curvature reduction for the shield-slot plate.

**Key Words** : Shield-slot plate, Gravity effect, Deflection, Finite element method

#### 1. 서론

용융탄산염형 연료전지 (MCFC; Molten Carbonate Fuel Cell)는 용융탄산염을 전해질로 사용하여 전기화학반응에 의해 무공해 발전이 가능한 시스템으로 환경 친화적인 발전 기술 장치로서 부각되고 있다. 고온에서 운전되므로 폐열 회수를 통한 높은 열효율과 전기화학반응이 용이하고 또 모듈화가 가능하다는 장점을 갖고 있다.

용융탄산염 연료전지는 단위전지를 적층하여 스택을 구성한다. 단위전지는 크게 세 부분으로 구성되어 있는데 전극부, 매트릭스부 및 분리판부가 그것이다[1].

본 연구에서는 분리판 내의 주요 부품 중 하나인 쉴드슬롯판이 생산과정에서 곡률이 크게 생겨 이를 개선하기 위한 첫 단계로서 쉴드슬롯판의 기계적 특성을 유한요소 해석을 통해 파악하고자 한다. 이를 위해 쉴드슬롯판의 동등 물성치를 구하여 자중 해석을 수행하고 이 결과를 실제 제품의 자중 처짐 형상과 비교함으로써 검증하고자 한다.

#### 2. 쉴드슬롯판의 동등 물성치

##### 2.1 곡률 발생 방향

Fig. 1 은 현재 사용되고 있는 쉴드슬롯판에서 한 개의 반복 cell (RVE; Representative Volume Element)을 보여주고 있다. 그림에서 파악할 수 있듯이 쉴드슬롯이 위쪽 방향으로만 성형되어 있다. 이렇게 한쪽 방향으로만 판재를 성형하게 되면 스프링 백 현상에 의해 자연히 볼록한 (convex) 형태를 띠게 된다. 그림에 볼록해 지는 방향을 화살표로 표시하였다.

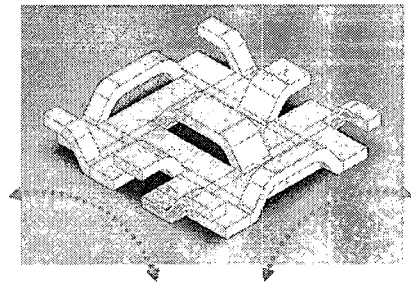


Fig. 1 RVE of the shield-slot plate and the direction of curvature due to springback

# 교신저자 : 순천향대학교 기계공학과

E-mail : swlee@sch.ac.kr

1. 순천향대학교 기계공학과

## 2.2 동등 물성치 실험 및 계산

SUS 316L 의 판재에 쉘드슬롯이 무수히 성형됨으로 인해서 쉘드슬롯판의 물성치는 원래 판재의 그것과 판이하게 달라진다. 유한요소 해석으로 쉘드슬롯판의 거동을 파악하려면 무수한 쉘드슬롯의 효과가 포함된 동등 물성치 (균일 평균 물성치)를 구해야 할 필요가 있다.

재료 시험의 가장 기본적인 시험법인 인장 시험법을 이용하여 쉘드슬롯판의 동등 Young 을 구하였다. Fig. 2 는 인장 시험 전후의 모습을 보여주고 있다. Fig. 3 는 인장 시험 결과 그래프를 보여주고 있다. 일반적인 금속 소재의 시험 결과와 비슷하게 선형구간이 나온 후 비선형 구간이 이어지는 모습을 보여주고 있다. 이 선형구간에서 쉘드슬롯판의 Young 을 추정할 수 있다. 쉘드슬롯판의 동등 Young 을은 약 5.0GPa 로 나타났다. SUS 316L 원판의 통상적인 Young 을이 약 200GPa 이라는 사실을 고려할 때 상당히 줄어들었음을 알 수 있다. 또한 파괴가 일어나는 시점은 연신율 21%에 응력 213MPa 정도임을 알 수 있었다.

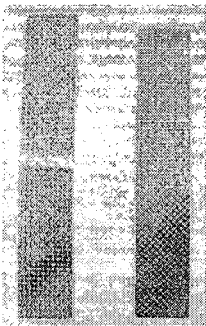


Fig. 2 Tensile test specimen

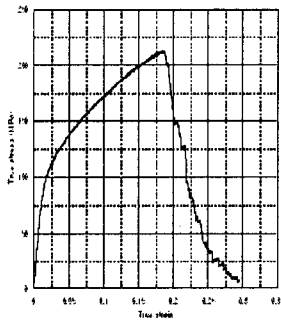


Fig. 3 Tensile test result

쉘드슬롯판의 두께가 1.7mm 인 것을 감안하여 쉘드슬롯판의 동등 비중을 계산하였다. 그 결과 동등 비중은 2.27로 나타났다.

쉘드슬롯의 성형 높이가 두께에 반영되었기 때문에 굽힘 해석을 위한 단면 2 차 모멘트의 수정 계수를 구해야 한다. 이를 위해 Fig. 4 와 같이 3 차원 쉘드슬롯의 형상을 만든 후 이로부터 단면 깊이에 따른 단면 2 차 모멘트[2]의 변화를 계산하여 면적 평균하였다. (Fig. 5 참조) 이로부터 굽

힘모멘트에 대한 수정계수를 0.45436 으로 정하였다[3].

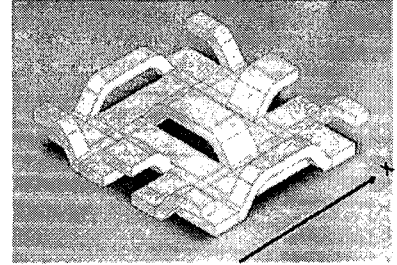


Fig. 4 Direction of x axis

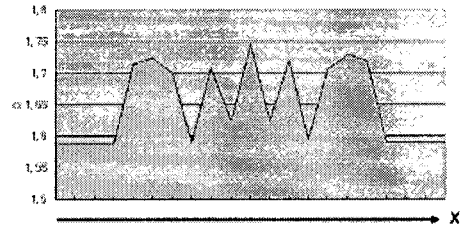


Fig. 5 Variation of the second moment of area along x axis

## 3. 자중처짐해석

굽어진 쉘드슬롯판의 원래의 (자중의 영향이 없을 때의) 곡률 반경을 구해보기 위하여 쉘드슬롯판에 대한 자중 해석을 유한요소법으로 시도하였다. 해석은 탄성 영역에서 수행되었으며 사용한 상용코드는 ANSYS 9.0 이다. 또한 해석 결과를 검증하기 위하여 실제 쉘드슬롯판의 자중에 의한 처짐 (굽은) 형상을 측정하여 비교하였다.

쉘드슬롯판 원판의 크기가 1,400 (가로) x 800 (세로)으로 매우 커서 자중에 의한 형상 변화가 심하여 곡률 반경을 제대로 측정할 수 없었다. 원판의 일부를 잘라낸 소형판을 이용하면 자중의 효과가 덜 하므로 곡률 반경을 쉽게 잴 수 있다고 판단하였다. Fig. 6 에 원판과 소형판과의 관계를 보였다. 테이블에 자유롭게 놓여 있을 때 원판이 자중에 의하여 edge 부를 제외한 나머지 부분은 테이블에 밀착되는 모습을 볼 수 있다. 소형판은 성형에 의해 발생한 곡률을 잘 보여주고 있다. 소형판의 크기는 420 (가로) x 520 (세로)이다.

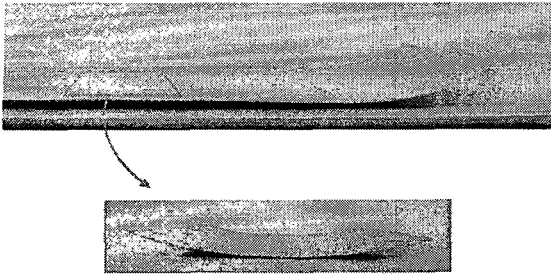


Fig. 6 A small size plate cut off from the original size plate and the deflection profiles of the two plates

소형판으로부터 측정된 곡률 반경은 약 635mm 이었다. 이 곡률 반경은 자중의 효과가 거의 배제 되었을 때의 형상으로부터 나온 것으로 일차 추정하였다. 그러나 실제 소형판 정도의 크기에서도 자중의 효과가 있을 수 있어서 이에 대한 검증이 필요하였다. 이에 따라 앞 절에서 정한 동등 물성치를 사용하여 소형판에 대한 자중 해석을 시도 하였다. Fig. 7 에 그 결과를 보였다. Fig. 7 에서 알 수 있듯이 소형판에도 자중 효과가 분명하게 있었다. 따라서 자중 효과가 완전히 배제된 곡률 반경은 635mm 보다 작을 것으로 사료되었다.

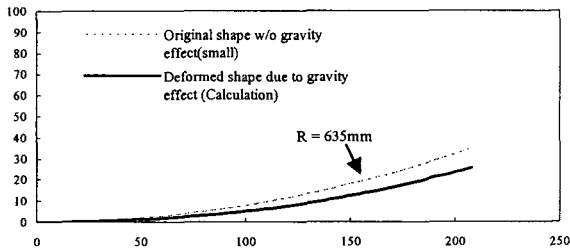


Fig. 7 Gravity effect appeared even for the small plate

소형판의 측정된 곡률 반경 635mm 를 참값으로 하여 자중 해석 후 처짐 곡률 반경이 그 값이 되도록 역추적 해석을 실시하였다. Fig. 8 에 이에 대한 결과 그림을 보였다. 해석 결과, 자중 효과가 완전히 배제되었을 때의 곡률 반경은 520mm 로 추정되었다. 따라서 이 값을 쉘드슬롯판의 성형에 의해서만 발생하는 초기 곡률 반경으로 간주하기로 하였다.

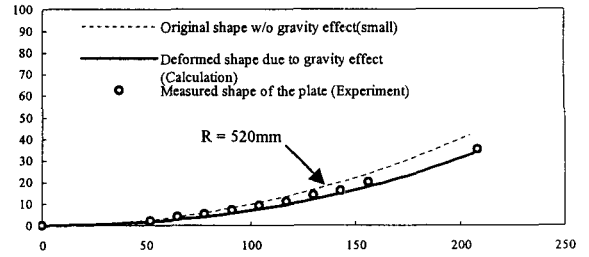


Fig. 8 Analysis result to determine the original curvature free from the gravity effect

추정된 곡률 반경 520mm 를 사용하여 원판의 자중 처짐에 대한 해석을 시도하였다. 해석 결과를 Fig. 9 에 나타내었다. 해석 결과는 실험값과 잘 일치하였다. 이로써 쉘드슬롯판에 대한 동등 물성치도 함께 검증되었다.

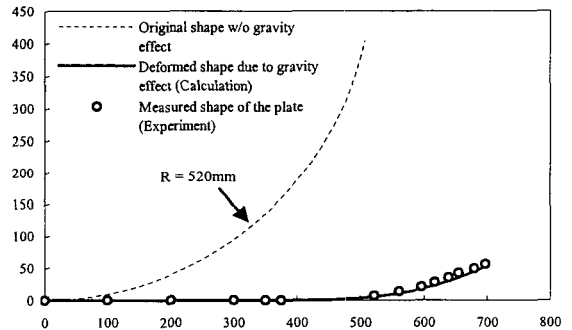
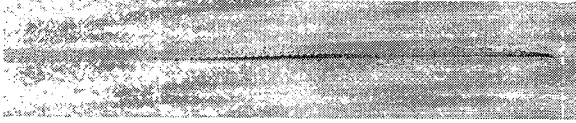


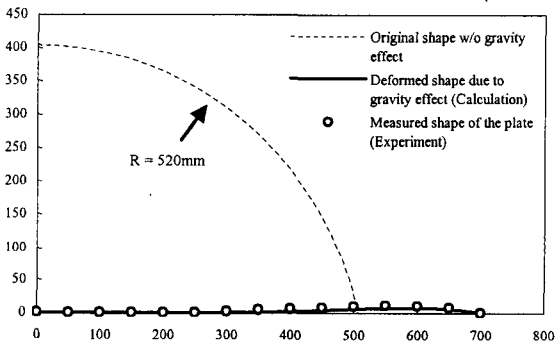
Fig. 9 Comparison of deflection profile for the original size plate between the analyzed and experimental results

쉘드슬롯판이 역방향으로 뒤집혀 있을 때의 자중 처짐 형상도 해석해 보았다. Fig. 10 는 역방향 쉘드슬롯판의 자중 처짐 형상을 보여주고 있다. 원판에서 바로 형상을 얻기 어려워서 띠 형태로 원판을 길게 절단한 후 형상을 측정하였다. 순방향 쉘드슬롯판의 자중 처짐 형상과 달리 역방향 쉘드슬롯판은 edge 부의 가까운 부분이 올라온 것을 제외하고는 테이블에 거의 밀착하며 edge 부근의 곡률도 크지 않다.



**Fig 10 A picture showing the deflection profile of a shield-slot strip (upside down position)**

Fig. 11 에 해석한 결과와 실험값을 비교하였다. 두 결과가 매우 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 이로써 동등 물성치가 잘 추정되었음을 다시 한번 확인할 수 있었다.



**Fig.11 Comparison of deflection profile for the original size plate (upside down position) between the analyzed and experimental results**

#### 4. 결론

본 연구에서는 실험과 유한요소 해석을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 유한요소 해석을 수행할 수 있도록 쉴드슬롯판의 동등 물성치를 인장시험 및 고체역학적 계산에 의해서 결정하고 이를 자중 해석을 통해 검증하였다.

(2) 본 연구의 결과는 추후 쉴드슬롯판의 편평도 향상실험 및 해석을 하기 위한 기본 자료로 활용 가능하다고 판단된다.

#### 후 기

본 연구는 포항산업과학연구원 (RIST)의 지원으로 수행되었으며 관계자 제위께 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 분리판 고온강성 해석 및 강성조절 기술 개발 (중간보고서, 1 차년도), 포항과학연구원, 2005
- [2] 材料力學 - 李鍾元의 2인 공저, 淸文閣, 2001
- [3] ANSYS User's Manual Ver. 9.0, 2004