

자동차 구동용 PEMFC 금속계 분리판 개발

이 종찬¹⁾, 김 기정²⁾, 양 유창³⁾, 전 유택⁴⁾

Development of PEMFC Metallic Bipolar Plate for Automotive Driving

Jongchan Lee, Ki Jung Kim, Yoo Chang Yang, Yoo Taek Jeon

Key words : PEMFC(고분자연료전지), Metallic Bipolar Plate(금속계 분리판), Sheet Metal forming (박판성형), Formability(성형성), Springback(스프링백), Finite Element Method(유한요소법)

Abstract : The metallic bipolar plate in PEMFC is widely used for automotive driving because of its advantages, i) high strength, ii) high chemical stability, iii) low gas permeability and iv) applicability to mass production. Especially, the metallic bipolar plate which is manufactured with the sheet metal stamping process can be applied in automotive PEMFC with less volume and weight because of its thin thickness but the formability and springback problems arise in real manufacturing process. The assessment for formability and springback of metallic bipolar plate should be performed before making stamping die sets. In this work, the methodology for determining the allowable draft angle of flow passage is introduced by using finite element analysis. In analysis results, as the draft angle of flow passage increase, the major strain and thinning is increase with exponential function. The allowable draft angle without fracture is presented by fitting the results. Additionally, the staking results with manufactured metallic bipolar plates by stamping process is presented.

Nomenclature

d : Depth of flow passage, mm
 L_w : Land width, mm
 C_w : Channel width, mm
 θ : Draft Angle of Flow passage, degree

1. 서론

고분자연료전지(PEMFC)는 Fig. 1에서와 같이 분리판(Bipolar Plate), 기체확산층(Gas Diffusion Layer, GDL) 및 막전극체(Membrane Electrode Assembly, MEA)로 구성된다. 이중 분리판은 기체 확산층을 구조적으로 지지하고 수소, 산소 및 냉각수의 수송 및 전기화학적 반응을 통해 생성된 전류를 수집, 전달하는 역할을 하는 핵심 부품이다. 따라서 분리판은 우수한 전기전도성, 열전도성, 가스 밀폐성 및 화학적 안전성을 가져야 한다.⁽¹⁾⁽²⁾

최근까지 분리판에 대한 연구는 흑연계 소재

혹은 수지와 흑연을 혼합한 복합 흑연 재료로 제작된 분리판에 대한 것이 주류를 이루고 있다. 그러나 연료전지를 자동차에 적용하기 위해서는 스택의 부피 및 중량의 최소화과 대량생산을 통한 생산 단가의 확보가 필요하다. 이에 최근에는 자동차 메이커를 중심으로 금속계 분리판의 성형 공법 및 코팅 방법에 대한 연구가 광범위하게 이루어지고 있다.

금속계 분리판은 흑연계 분리판 대비 강도 및 밀폐성이 뛰어나며 두께 0.1~0.2mm의 박판을 사

-
- 1) 현대하이스코 연구개발팀(서울)
E-mail : jcleee@hysco.com
Tel : (031)899-3350
 - 2) 현대하이스코 연구개발팀(서울)
E-mail : siren77@hysco.com
Tel : (031)899-3340
 - 3) 현대자동차 연료전지개발1팀
E-mail : ycyang@hyundai-motor.com
Tel : (031)899-3202
 - 4) 현대하이스코 연구개발팀(서울)
E-mail : ytjeon@hysco.com
Tel : (031)899-3337

용할 수 있어 연료전지 스택의 부피감소 및 경량화가 가능하다. 또한 대량 생산에 적합한 박판 프레스 성형 공정의 적용이 가능하여 자동차용 고분자 연료전지에 가장 적합한 형태로 알려져 있다. 금속계 분리판 재료로는 스테인리스강, 티타늄 합금, 알루미늄 합금 및 니켈 합금 등이 적합한 것으로 알려져 있으며 이 중 스테인리스강이 상대적으로 저렴한 소재 원가 및 우수한 내식성으로 인해 주목을 받고 있다. 그러나 여전히 내식성 및 전기전도성 측면에서 분리판 요구 조건을 만족하지 못하는 특성을 나타내어 내식성 및 전기전도성을 동시에 확보할 수 있는 Pt, Au 등의 귀금속, 질화물, 탄화물 등의 금속화합물과 흑연계 등을 이용한 코팅 시스템 개발이 활발히 진행되고 있다.⁽³⁾⁽⁴⁾

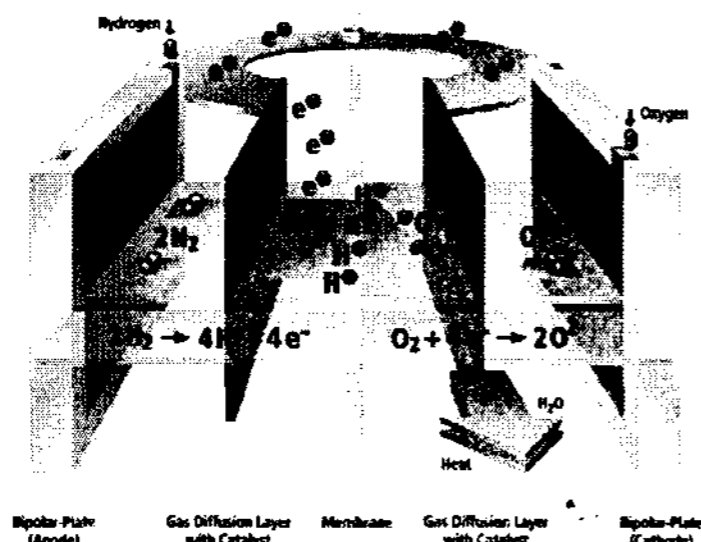


Fig. 1 Principle of PEMFC



Fig. 2 Structure of Fuel Cell Stack

금속계 분리판의 생산 방법은 기계가공을 이용한 방법과 프레스 가공을 이용한 박판 스탬핑(Stamping) 성형 방법이 있다. 전자는 높은 생산단가와 느린 생산 속도로 인해 대량생산에 적합하지 않으며 분리판의 두께가 비교적 두꺼워 스택의 부피 감소 및 경량화에 불리하다. 따라서 최근에는 박판 스탬핑 성형 방법이 주류를 이루고 있으며 이외에 시트하이드로 포밍(Sheet Hydro-forming)을 이용한 방법이 소개되고 있으나 상대적으로 느린 생산 속도로 인해 대량 생산에 적합하지 않아 대량 생산 공정에 적용하기는 적합하지 않은 것으로 판단된다.

박판 스탬핑 성형 방법을 이용하여 분리판을 생산할 경우 고려되어야 하는 부분은 i) 성형 형

상의 정밀도 및 ii) 스프링백(Springback) 결함의 최소화이다. 자동차 용 대면적(반응 면적 320cm² 이상) 금속계 분리판의 경우 다수(약 40개 이상)의 이웃한 유로를 성형해야 하며 이로 인하여 각 단위 유로 간의 형상 차이가 발생한다. 또한 유로 성형 부위와 성형이 없는 부위와의 잔류 응력의 차이로 인하여 스프링백 발생을 피할 수는 없는 것이 현실이다. 또한 유로의 설계 측면에서 같은 반응 면적에서 유로의 개수가 많은 것 즉 가능한 채널 폭(C_w)과 랜드 폭(L_w)을 최소화하는 것이 연료전지의 성능에 유리한 것으로 알려져 있어⁽⁵⁾ 설계 단계에서 부터 성형성 및 스프링백의 검토가 선행되어야 한다. 이에 본 논문에서는 Fig 3에서 나타낸 유로 설계 변수에 대한 성형성 검토 방법을 제시하고 결과에 대해 기술한다.

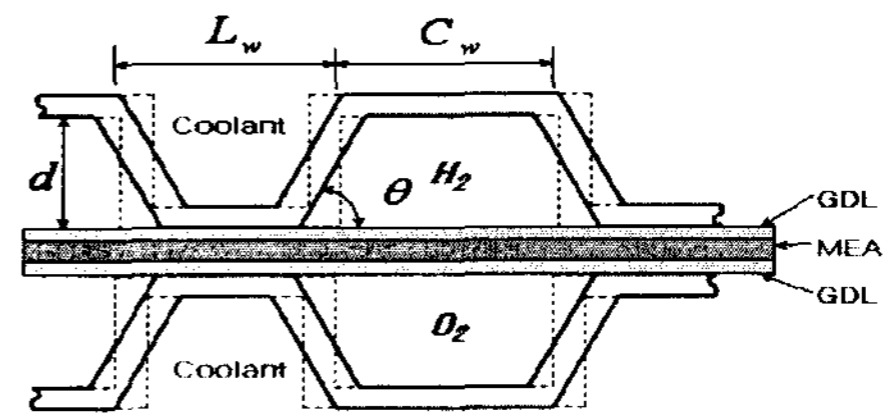


Fig. 3 Design parameter for flow passage

2. 유로 형상에 따른 성형성 검토

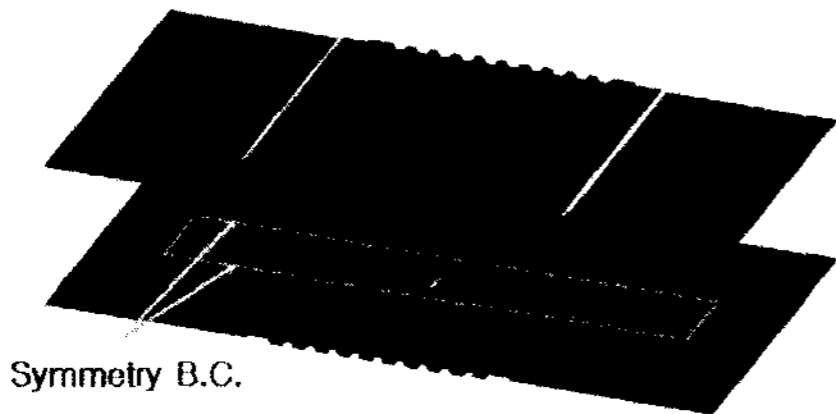
성형성 검토를 위하여 본 논문에서는 소재로 스테인리스강 316L 0.2t을 사용하였으며 채널폭(C_w), 랜드폭(L_w)을 1.3mm으로 고정하고 유한요소법 상용 프로그램인 AutoForm을 이용하여 유로깊이(d) 및 각도(θ)에 따른 성형성을 검토하여 파단 없이 성형 가능한 유로 깊이 및 각도에 대한 기준을 제시한다.

2.1. 성형해석 모델 및 조건

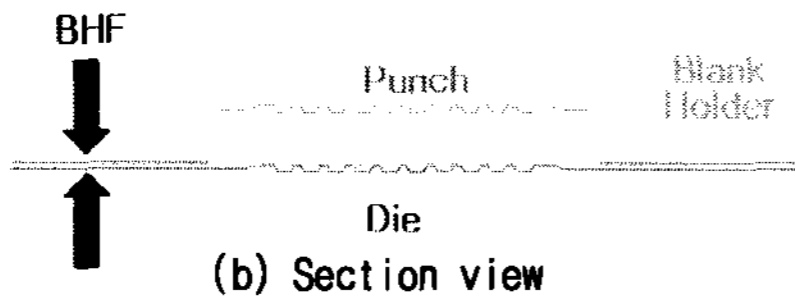
금속계 분리판의 형태별로 차이는 있으나 일반적으로 대면적 금속계 분리판의 경우 대부분의 유로 형태는 직선으로 이루어지며 직선 유로의 경우 평면변형(Plain Strain) 조건에서 성형이 이루어진다. 따라서 성형해석 시간을 고려하여 Fig. 4와 같이 해석 모델을 구성하였다. 유로의 길이 방향으로는 대칭 경계 조건을 부여하여 평면변형 조건을 구현하였으며 Blank holder를 두어 끝단에서 소재의 유입 양상을 검토할 수 있도록 하였다. 성형성 검토에 사용된 스테인리스강 316L의 인장 특성 및 기계적 물성은 아래 Tabel 1에 표시하였으며 응력-변형률 관계와 성형한계도(Forming Limit Diagram, FLD)는 Fig. 5에 나타내었다.

Table 1 Tensile and mechanical property for SS316L

	Elastic Modulus (GPa)	Yield Stress (MPa)	Density (ton/mm ³)	Anisotropy		
				0°	45°	90°
SS316L	130	300	7.8E-9	0.65	1.27	1.06



(a) 3D view



(b) Section view

Fig. 4 Analysis Model

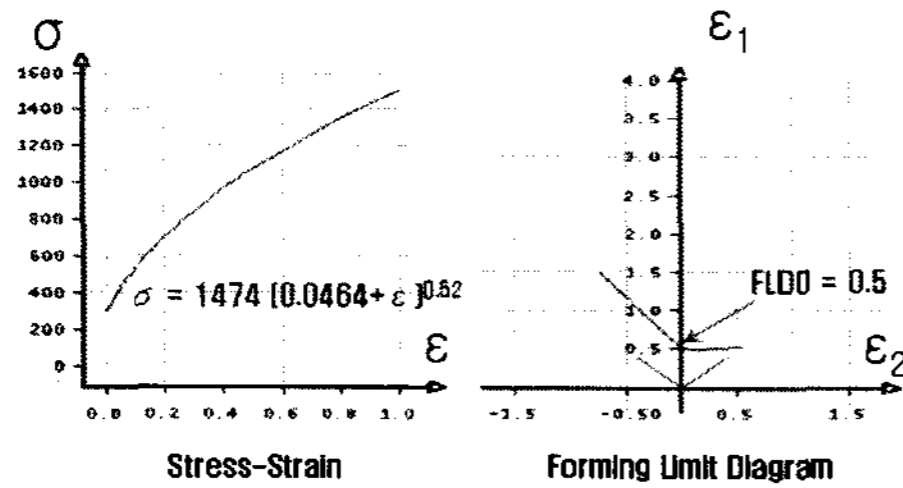


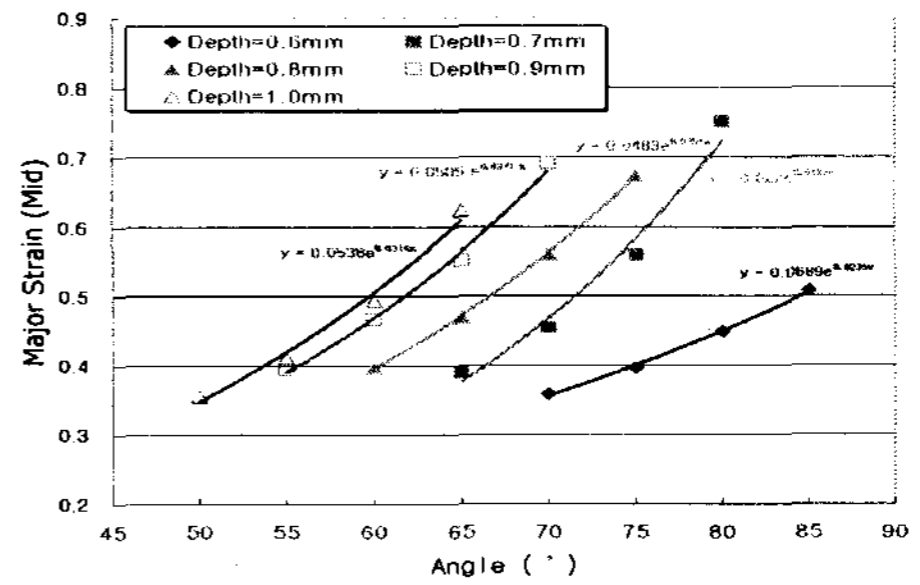
Fig. 5 Tensile test and forming limit diagram for Stainless Steel 316L

2.1. 성형해석 결과

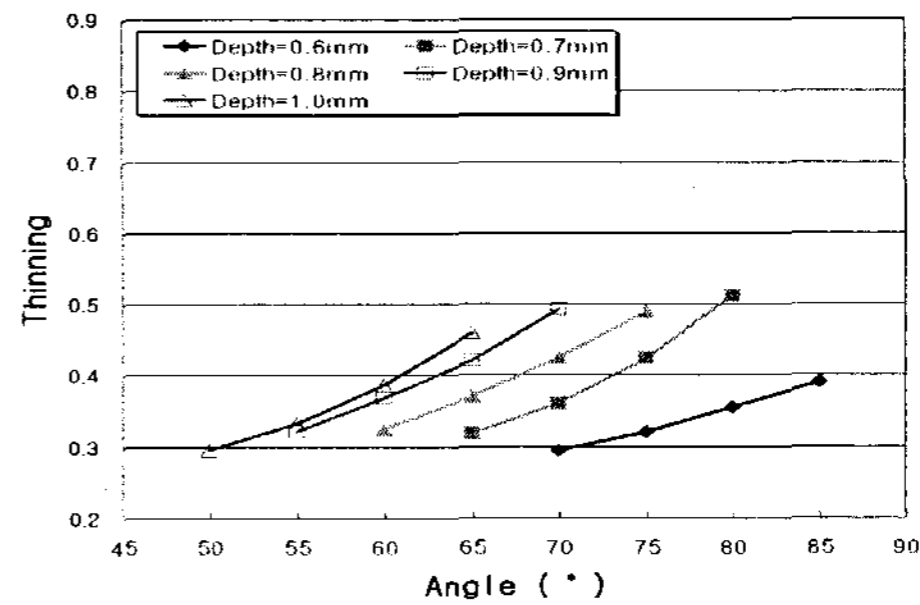
Fig. 6 (a)는 유로 각도(θ)에 따른 중립면에서의 주방향 변형률(Major Strain)을 나타낸다. 결과에서 보는 바와 같이 유로각도가 증가함에 따라 변형률은 지수함수 형태로 증가하는 것을 볼 수 있으며 유로 깊이가 증가함에 따라 그 기울기도 커지는 것을 알 수 있다. Fig. 6의 (b)는 두께 감소율을 나타내며 주방향 변형률과 같은 양상을 보인다.

각 유로 깊이에서의 각도에 따른 주방향 변형률의 값을 지수함수로 근사하고 평면 변형률 파단 조건인 0.5를 적용하여 유로 깊이에 따라 파단 없이 성형 가능한 각도를 도출하면 Table 2와 같은 결과를 얻을 수 있다. 결과에서 유로 깊

이가 증가함에 따라 성형 가능한 각도는 급격히 감소함을 알 수 있다.



(a) Major strain at mid surface



(b) Thinning

Fig. 6 Analysis results with angle and depth of flow passage

Table 2. Allowable draft angle of flow passage

Depth (mm)	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
Angle (degree)	84	71	67	61	60

3. 금속계 분리판 성형 결과

도출된 성형 가능 유로 각도를 기준으로 대면적 금속계 분리판을 설계하고 금형을 제작하여 성형한 후 적층한 결과의 단면을 Fig. 7 (a), (b)에 각각 나타내었다. 여기서 (a)는 1차 성형, (b)는 개선 성형한 분리판을 이용하여 적층한 단면이다.

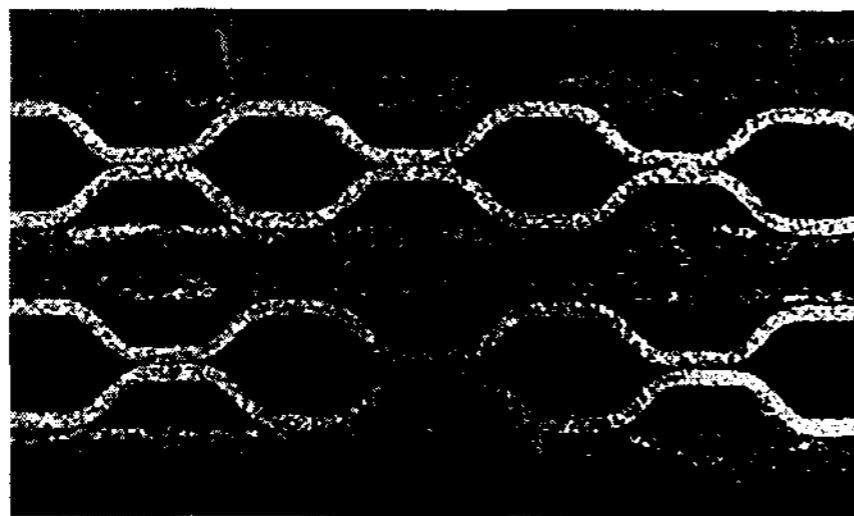
1차 성형 시 성형하중 및 금형 가공의 정밀도의 부족으로 인하여 기체확산층(GDL)을 지지하는 부분의 편평부가 확보가 되지 않아 (a)에서 보는 바와 같이 기체확산층이 유로 안쪽으로 침투하는 현상이 발생하였다. 이렇게 될 경우 산소 및 수소의 유동을 방해하는 역할을 하며 결과적으로 기체의 유입부와 출구부의 압력 차이가 증가하게 되어 연료전지 성능 감소가 발생한다.

금형 가공 정밀도를 높이고 충분한 성형하중

을 이용하여 개선 성형한 결과 (b)에서 보는 바와 같이 기체확산층의 침투를 막아 차압을 감소시키고 따라서 성능을 향상시키는 결과를 도출 할 수 있었다.



(a) With 1st manufactured bipolar plate



(b) With 2nd manufactured bipolar plate

Fig. 8 The stacking picture with metallic bipolar plate

4. 결론

본 논문에서는 금속계 분리판의 유로 형상 설계를 위해 정해진 깊이에 따라 파단 없이 성형 가능한 각도를 결정하는 방법과 실제 대면적 분리판을 성형하여 적층한 결과를 제시하였다. 이러한 연구 결과로 부터 다음의 결론을 도출 할 수 있다.

1. 정해진 깊이에서 각도가 증가함에 따라 주방향 변형을 및 두께 감소율은 지수함수 형태로 급격히 증가하며 유로 깊이가 증가함에 따라 기울기도 증가한다.

2. 주방향 변형률의 결과를 지수함수로 근사하여 채널폭과 랜드폭이 1.3mm일 때 각 깊이 별로 파단 없이 성형 가능한 각도를 제시하였다.

3. 금속계 분리판의 실제 성형 결과와 적층한 결과를 제시하였으며 유로 형상의 확보가 연료전지 성능 확보에 중요한 역할을 함을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 산업자원부 대체에너지 프로젝트형 기술개발 사업, 자동차 구동용 80KWh급 PEMFC 발전 모듈 개발의 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] 정경우, 김세용, 양유창, 안승균, 전유탉, 나상목, 2006, "PEMFC용 금속분리판 코팅기술 개발: I. 표면 및 부식 특성 평가", 한국신.재생에너지학회 2006년도 추계학술대회논문집 pp.348~351
- [2] 윤용식, 정경우, 양유창, 안승균, 전유탉, 나상목, 2006, "PEMFC용 금속분리판 코팅기술 개발: II. 코팅 금속분리판 연료전지 성능 특성 연구", 한국신.재생에너지학회 2006년도 추계학술대회논문집 pp.352~355
- [3] E. A. Cho, U.-S. Jeon, S.-A. Hong, I.-H. Oh, S.-G. Kang, 2005, "Performance of a 1 kW-class PEMFC stack using TiN-coated 316L stainless steel bipolar plates", J. Power Sources, 142, pp177-183
- [4] P. L. Hentall, J. B. Lakeman, G. O. Mepsted, P. L. Adcock, and J. M. Morre, 1999, "New materials for polymer electrolyte membrane fuel cell current collectors" J. Power Sources, 80 pp235-241
- [5] 김기정, 전유탉, 김효균, 2006, "연료전지 성능에 미치는 채널형상에 대한 연구", 한국신.재생에너지학회 2006년도 추계학술대회논문집 pp.59~62