

저가형 조립 분리판의 개발

*황 용신¹⁾, 이 주형²⁾, 지 상훈³⁾, 박 준호⁴⁾, 이 대영⁵⁾, **차 석원⁶⁾

Development of the Low Cost Assembled Separator

*Yong Sheen Hwang, Ju Hyung Lee, Sang Hun Ji, Jun Ho Park, Dae Young Lee,

**Suk Won Cha

Abstract : This study considers the feasibility of using the low cost assembled separator. The graphite plate has been widely used as the separator in the field of PEMFCs(Polymer electrolyte membrane fuel cell) industry because of its excellent material properties such as good corrosion resistance, good electrical conductance and so on. However, there are some problems for the commercialization due to its poor cost effectiveness for the large volume manufacturing and lack of mechanical strength. From this respect, this study has focused on the manufacturing technology in order to reduce the price for the commercialization of separator. This study also shows that the assembled separator of the suggested structure, which is composed of grafoil and PC(PolyCarbonate) materials, could be manufactured at low cost enough for the mass production. The flow fields produced by cutting foils and the base plates of the separators were simply made by mechanical work.

Key words : PEM fuelcell(고분자 전해질막 연료전지), Separator(분리판), Grafoil(탄소 포일), Polycarbonate(폴리 카보네이트), Low cost(저가격)

Nomenclature

RH : relative humidity, %

1. 서론

전 세계적으로 환경오염 규제 강화 및 에너지난이 이슈화되고 있다. 이에 따라 친환경적인 대체에너지의 개발이 활발하게 진행 중에 있으며, 그 중 연료전지는 청정에너지인 수소의 사용과 높은 효율로 인해 미래사회의 최적 대안으로 가장 주목받고 있다.

연료전지는 연료의 화학 에너지가 전기에너지로 직접 변환되어 직류전류를 생산하는 능력을 갖는 전기화학적 발전설비로서, 천연가스, 프로판, 나프타, 메탄올 등의 다양한 에너지원으로부터 전력과 열을 동시에 활용할 수 있는 고효율, 고�출력, 무공해, 무소음등의 특징을 갖는 환경친화적 차세대 핵심 발전 기술이다. 연료전지 상용화를 위해서 내구성, 물관리등 성능 최적화에 대한 연구뿐 아니라 상용화에 가장 걸림돌이 되고 있는 가격을 낮추기 위해 많은 연구가 이루어지고 있다. 그 중 연료전지 운전에 있어 성능 및 내구성에 영향을 미치는 화학적 특성 및 물리적 인자에 대한 많은 연구가 이루어

어져 왔으며, 이 결과 연료전지의 성능은 어느 정도 상용화에 가까워지게 되었다. 그러나 아직 까지 연료전지의 높은 제작비용은 상용화의 큰 걸림돌이 되고 있다.^{[1]-[5]}

연료전지의 성능을 일정하게 유지 시키면서 저가격화를 실현하기 위해서는 무엇보다도 분리판의 개발이 시급한 실정이다. 분리판은 현재 Graphite 판을 기계가공하여 사용하고 있으나, Graphite의 재료 비용에 비해 기계가공 비용이 너무 높아 저가격화를 실현시키는데는 큰 어려움이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 금속 분리판, 복합소재 분리판등 다양한 재료와 방법을 이용해 분리판의 개발을 진행시키고 있다.^{[1]-[5]} 그 중 Philip et. al.^[4]은 Grafoil을 이용하여 분리판을 구성하였고 Grafoil의 사용

1), 3), 4) 저자의 소속 : 서울대학교 기계항공공학부
E-mail : yshwang@snu.ac.kr, raul888@snu.ac.kr, pjh1304@snu.ac.kr

Tel : (02)880-8050 Fax : (02)880-1696

2) 저자2의 소속 : (주)엑스에프씨

E-mail : juhnlee71@gmail.com

Tel : (02)322-8396 Fax : (02)322-8397

5) 저자5의 소속 : 한국과학기술연구원

E-mail : ldy@kist.re.kr

Tel : (02)958-5674 Fax : (02)958-5689

6) 교신저자의 소속 : 서울대학교 기계항공공학부

E-mail : swcha@snu.ac.kr

Tel : (02)880-1700 Fax : (02)880-1696

가능성을 보여주었으며, Ballard Power사는^{[5]-[7]} Grafoil을 커팅 또는 압착하여 분리판을 만드는 발명을 하였다. Grafoil은 약 98%의 탄소로 제작되어지기 때문에 높은 전기 전도성 및 열전도성을 갖게 된다. 그러나 재료의 눌림에 의한 변형도가 커서 On-Off 시 발생한 열에 의해 재료의 눌림도 변형이 일어날 수 있으며, 조립 시 매번 일정한 눌림도로 제어하여 생산이 어렵게 된다. 또한 스택 적층 시 응력 집중이 편중되게 일어날 가능성이 크기 때문에 스택 제작 시에 큰 어려움을 갖고 있다.^{[3],[4]}

본 연구에서는 Grafoil을 사용하여 유로를 구성하였으며, 재료 자체의 문제를 해결하기 위해서 PC 재질의 베이스 판을 이용하여 Grafoil의 눌림도를 조절 하였다. 두 이종 재료를 이용하여 제작 단가를 낮출 수 있는 조립 분리판을 제작 하였으며, 조립분리판의 성능 특성 실험을 통하여 새로운 구조를 가진 분리판의 적용 가능성을 보여줄 것이다.

2. 분리판의 개발 과제 및 현황

연료전지의 상용화를 위한 가장 큰 걸림돌 중 한 가지는 연료전지의 비용이 높다는 것이다. 연료전지 시스템 제작 시 연료전지 스택의 비용이 약 40~60%를 차지하며, 스택 중 분리판의 제작 비용이 또한 40~60%를 차지하게 된다. 따라서 연료전지의 상용화 앞당기기 위해서는 스택의 안정적 성능을 유지하면서 분리판의 제작 단가를 낮추는 연구가 필수적이다.

현재 미국 에너지 청에서는 분리판 개발을 위해 기술적 목표를 Table. 1과 같이 두었다.^[3] 아직까지는 연료전지의 안정적인 성능을 위해서 그래파이트 분리판을 계속 사용하고 있다. Graphite 분리판은 Graphite 판을 기계가공을 통하여 제작하고 있어 재료 자체의 비용에 비해 제작단가가 높고 대량생산에 적합하지 않은 단점이 있다.

DOE Technical Targets : Bipolar Plates

Cost/\$ kW ⁻¹	< 10
System weight /kg kW ⁻¹	< 1
H2 permeation flux /cm ³ s ⁻¹ cm ⁻²	< 2 x 10 ⁻⁶
Corrosion / μA cm ⁻²	< 16
Electrical conductivity /S cm ⁻¹	> 100
Durability with cycling/ h	> 5000
Interfacial contact resistance at 140 N cm ⁻² /mΩ cm ²	< 10

Table 1 DOE Technical Targets

이러한 Graphite 분리판을 대체하기 위해 전 세계적으로 제작 단가가 저렴하고 Graphite 분리판과 같이 안정적으로 연료전지의 성능을 가질 수 있는 다양한 형태의 분리판이 개발 중에 있다. 이러

한 분리판의 개발은 크게 두 가지 방향으로 개발되어지고 있는데, 첫 번째는 복합소재 분리판과 같은 Non-metal 계열의 분리판 개발이 진행 중에 있으며, 두 번째는 Metal 계열의 분리판 개발이 진행 중에 있다.^{[1]-[5]} 하지만 두 가지 개발 방향 모두 현재의 DOE Target을 만족시키지는 못하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 복합소재 분리판 중의 Grafoil과 Grafoil 사용시 생기는 문제점을 보완해 줄 PC 재질의 분리판을 사용하여 DOE 목표를 달성 할 수 있는 가능성을 보여줄 것이다.

3. 실험 장치 및 방법

본 연구에서는 반응 면적이 25m²인 Assembled separator로 제작된 단위셀의 제작 및 실험을 수행하였으며, 제작된 단위셀은 공기극 과 연료극 모두 1열 사형유로로 제작을 하였다. Assembled separator의 사진을 Fig. 1에 나타내었다. Assembled separator의 구조는 Grafoil을 커팅하여 유로를 만들었으며, Grafoil이 가지고 있는 단점들을 보완하기 위해서 PC(PolyCarbonate) 재질을 기계 가공하여 제작 하였다. PC 재질의 베이스 판의 구조는 스택 제작 시 분리판의 설계와 동일하게 제작하기 위해서 공기극, 연료극의 메니폴드 부와 유로부와의 연결이 분리판의 앞면으로 연결되지 않고 후면을 통과해 연결을 시켰다. 분리판의 후면을 통과 시켜 메니폴드 부와 유로부로 연결하는 방법을 사용 시 스택의 실링을 용이하게 한다. 본 설계로 제작된 분리판은 양면으로의 제작이 가능하며, 스택의 적층 또한 용이하게 설계되었다. 전기적 집전은 PC로 제작되어진 판의 중앙을 통해 이루어지며, PC로 제작되어진 판의 높이와 Grafoil의 높이를 맞추기 위해서 Grafoil 판을 적층하였다. 본 연구에서 사용한 Grafoil은 하나의 분리판 제작 시 총 Grafoil 적층수가 5장이 사용되어진다. Grafoil의 적층수가 적을수록 접촉 저항 및 Ohmic 저항이 줄어드나 본 연구에서는 분리판의 사용 가능성을 보여주기 위한 연구로서 똑같은 재질의 Grafoil로 제작 실험하기 위해서 다층의 적층 구조로 제작되어졌다. PC

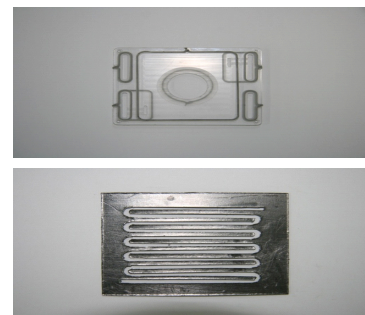


Fig. 1 Grafoil flow field and base plate (Assembly separator)

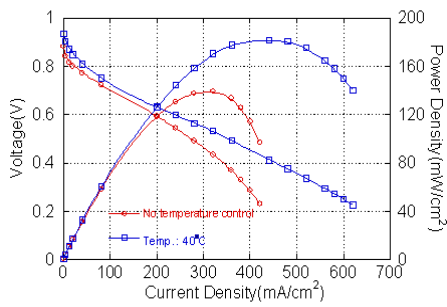


Fig. 2 Polarization curve of the assembled separator with respect to temperature

로 제작된 단위셀은 PC부에 히터 삽입이 불가능하여 상온과 분리판 외곽 집전판의 온도가 40°C인 지점에서 각각 실험을 수행하였다. 비록 낮은 온도에서의 실험 수행과 제작 시 다층의 Grafoil을 적층하여 제작하는 것은 Grafoil의 성능이 더욱 나쁘게 보일 수 있으나, 본 결과는 논문의 목적인 Grafoil과 PC 재질 판의 구조를 이용하여 스택에 적용할 수 있는 사용 가능성을 보여주는 결과로서는 큰 어려움이 없다.

실험 시 당량비는 수소 1.5, 공기 2.5로 운전을 수행하였으며, 연료극과 공기극 모두 상대습도 100%로 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 멤브레인은 3M사에서 제작된 Nafion® 217을 사용하였으며 촉매인 Pt는 0.5 mg/cm²으로 도포되었다. 수분은 버블러타입 가습기에 의해 공급되었다. 전자부하기는 Agilent사의 N3300A 시리즈를 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

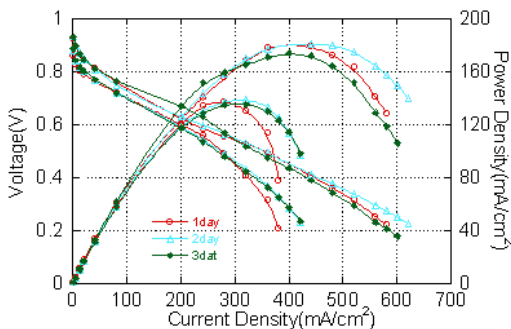
3.1 Assembled Separator의 성능 특성

Fig. 2에 조립 분리판의 I-V 특성을 나타내었다. x축은 전류 밀도를 나타내며, y축은 전압과 파워 밀도를 나타내었다. 각각의 실험은 단위셀의 온도 제어가 없는 상태와 Current Collector 부를 40°C로 제어한 상태에서 각각 수행되었다. 온도 제어가 없는 상태에서의 운전은 40°C로 제어 후 운전한 상태에 비해서 전체적인 I-V 성능이 낮게 나타나고 있으며, 상대습도가 100%로 운전하

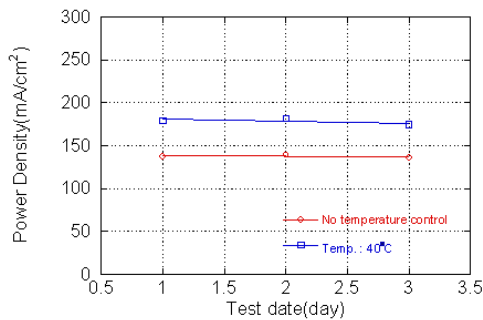
기 때문에 상온에서의 단위셀 운전 시 농도 분극 영역이 빨리 나타나는 것을 알 수 있다. 40°C의 경우는 농도 분극 영역 없이 전체적으로 일정한 기울기의 IV 특성을 나타내는 것을 알 수 있다. 온도 제어가 없는 단위셀의 경우 상온이 약 20°C에서 운전이 되어 40°C의 온도 조절 셀의 경우와 약 20°C의 운전 온도 차이를 갖으며, 이때의 성능 차이는 약 40mW/cm²의 성능차이를 보여줬다. 본 연구에서 사용된 PC 재질의 분리판에 직접적인 열을 가해 주는데 한계가 있어 낮은 온도에서 실험을 수행하였지만 실제 PC 재질은 내열성이 (135°C) 높고, 내한성(-132°C) 역시 뛰어나 온도 변화에 영향을 받지 않기 때문에 스택으로 적층 후 운전 시 연료전지의 통상 운전 영역인 80°C의 운전이 가능하며, 온도가 높아질수록 연료전지의 성능이 높아지는 점을 감안한다면 현 실험의 수준 이상으로 성능 구현이 가능할 것이다.

3.2 Assembled Separator의 성능 재현성

분리판의 재료로써 Grafoil의 최대 문제점은 재료의 눌림도가 커서 조립에 따른 성능 변화율이 크며, 스택 운전 시 재현성이 나쁘다는 점이다. 본 연구에서 고안된 조립 분리판은 PC 재질의 분리판으로 Grafoil의 눌림도를 조절하여 이러한 문제점을 해결하였다. Fig. 3에 3일간의 운전 특성 그래프를 나타내었다. Fig. 3 (a)에서는 초기 스택의 IV 특성을 측정하고 Shut Down 후 다음날 다시 IV 특성을 반복 측정하는 방법으로 3일간 실험을 수행하였다. 각각의 운전은 온도 제어를 하지 않은 상황과 40°C로 집전부의 온도를 제어한 상황에서 실험을 수행하였다. Fig. 3 (a)에서 볼 수 있듯이 각 날짜별로 실험결과와 작은 편차는 보이나 그 크기가 작고 두드러진 성능 저하는 보이지 않았으며, 실험간 편차는 특별한 방향성을 갖지 않는 것으로 보인다. Fig. 3 (b)에서는 Fig. 3 (a)의 결과에서 날짜별로 최고 파워 밀도의 변화를 나타내었다. 측정 간 약간의 최고 파워 밀도의 변화는 존재하지만 단위셀의 on-off 운전 시 두드러진 성능 변화가 없음을 알 수 있다.



(a) Polarization of the assembled separator



(b) Variation of the maximum

Fig. 3 Repeatability test of the assembled separator

4. Advantage of the Assembled Separator

Table 2. Comparison of properties

	Graphite	SS316	Grafoil	PC
Cost/\$ kg ⁻¹	75	7	0.2	3.22
Density/g cm ⁻³	2.25	8.02	0.7	1.2

연료전지 상용화를 위해서는 가격이 저렴하며, 성능이 우수하고 무게가 가벼운 분리판의 개발이 필수적이다. 지금까지 많은 재료들이 분리판 재료로서 고려되고 있으며, 많은 연구가 진행중이 있으나, Table. 1에서 언급한 DOE Target을 만족시킬 만한 분리판은 아직 나오지 않고 있다. 그 중 금속 분리판 표면에 코팅 처리를 하여 부식을 방지 하는 방법이 현재 활발히 연구 중에 있다. Table. 2에 현재 가장 많이 사용하고 있는 Graphite 판과 금속분리판으로 가장 많이 고려되고 있는 SS316, 그리고 본 연구에서 개발한 복합 분리판의 재료인 Grafoil과 PC의 재료 가격과 밀도를 나타내었다.^[3] Table. 2에서 볼 수 있듯이 Graphite 판의 경우가 가장 재료비가 비싸며, SS316의 경우 Graphite 판의 재료비에 약 1/10 정도밖에 되지 않는 것을 알 수 있다. 밀도는 SS316이 약 3-4배정도 높은 것을 알 수 있다. 본 연구에서 개발한 조립 분리판의 재료비는 SS316에 비해 약 1/2가격이며, 밀도 또한 Graphite 분리판 보다 작아 스택 제작 시 큰 이점을 가질 수 있는 가능성을 갖고 있다. 본 재료비는 가공비를 고려하지 않은 순수 재료비만을 나타내고 있으며, 본 재료비에 가공비를 고려하게 된다면 더욱 많은 가격차이가 생기게 된다.

Grafoil은 98% 탄소로 이루어진 재료로써 우수한 전기 전도성, 열 전도성, 가공성을 갖고 있다. Philip L.의^[4] 연구 결과에 따르면 Grafoil은 Graphite 판, 금속 분리판등에 비해 Volumetric power density나 Gravimetric power density가 월등히 좋은 것을 알 수 있다. Table 3에 각 재료의 체적, 중량별 파워 밀도를 나타내었다. Table 3의 결과에서 Grafoil의 성능이 타 재료에 비해 체적당, 중량당 특성이 월등히 좋은 것을 볼 수 있다. 선

Table 3 Power densities of materials used for current collectors

Material	Volumetric power density (mW cm ⁻³)	Gravimetric power density (mW g ⁻¹)
Poco TM graphite	131	71
Titanium	500	112
316L, gold coated	800	74
Grafoil TM	1235	1545

행 연구 결과에서 알 수 있듯이 Grafoil의 성능이 타 재료에 비해 연료전지 적용 시 성능 특성이 월등히 좋으나 재료 자체의 눌림도가 커서 스택의 생산 시 Grafoil의 눌림도를 조절하기가 쉽지 않다는 단점이 있다. 이러한 단점을 PC 재료를 몰딩하여 제작한 베이스 판으로 조절하게 된다면 값싼 재료들을 이용하여 좋은 성능의 스택을 저가에 생산할 수 있게 된다.

5. 결론

연료전지의 상용화를 위해서는 연료전지를 구성하는 부품이나 재료의 비용절감이 필수적이다. 그중 분리판이 차지하는 비용이 스택 제조에서 약 40~60%를 차지하기 때문에 분리판의 제조 단가를 낮추는 일이 무엇보다 시급한 실정이다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 조립 분리판이라는 새로운 구조의 분리판 형태를 이용하여 해결할 수 있는 방향에 대한 가능성을 제시하였다. 조립 분리판의 구성은 Grafoil과 PC 재질의 베이스 판으로 구성되어지며, Grafoil은 커팅법으로 유로를 구성하였고, PC 재료를 이용하여 베이스 분리판을 구성하였다. PC 재료를 이용하여 제작된 베이스 분리판은 Grafoil의 최대 문제점인 눌림도를 조절할 수 있으며, 이렇게 조절된 눌림도에 의해 연료전지의 안정적 운전이 가능하게 된다. 본 연구에서 사용된 재료인 Grafoil과 PC는 재료 자체의 단가도 낮지만 가공 단가 또한 낮아서 분리판 제작 시 비용을 절감할 수 있으며, 유로로 사용된 Grafoil은 전기 전도도, 열전도도, 기계적 강도 등이 좋아서 연료전지 스택의 안정적 운전을 가능하게 할 수 있다.

References

- [1] D.P. Davies, P.L. Adcock, M. Turpin and S.J. Rowen, 2000, "Bipolar plate materials for solid polymer fuel cells", Journal of Applied Electrochemistry, Vol. 30, pp. 101-105.
- [2] H. Tawfik, Y. Hung, D. Mahajan, 2007, "Metal bipolar plates for PEM fuel cell-A review", Journal of Power Source, Vol. 163, pp. 755-767.
- [3] N. de las Heras, E. P. L. Roberts, R. Langton and D. R. Hodgson, 2009, "A review of metal separator plate materials suitable for automotive PEM fuel cells", Energy Environ. Sci., Vol. 2, pp. 206-214.
- [4] Philip L. Hentall, J. Barry Lakeman, Gary O. Mepsted, Paul L. Adcock, 1999, "New materials for polymer electrolyte membrane fuel cell current collectors", Journal of Power Source, Vol. 80, pp. 235-241.
- [5] Kirk B. Washington, et. al., US Pat., US5300370, 1994.
- [6] David P. Wilkinson, et. al., US Pat., US 5521018, 1996.
- [7] David P. Wilkinson, et. al., US Pat., US5527363, 1996.