고분자전해질 연료전지용 복합분리판 개발 동향

우수한 특성을 가진 고분자 전해질 연료전지의 핵심요소로 저가, 고성능 및 고 효율성을 가진 분리판을 개발하기 위한 노력이 전 세계적으로 추진되고 있다. 특히 연료전지가 상용화되기 위해서는 전지의 제조가격과 스택의 부피 및 무게를 낮추어야 하며 일례로 자동차를 위한 80 kW 시스템에서 목표하는 소요비용은 kW당 30$이하 그리고 무게는 80 kg 이하이다. [1] 이러한 목표를 위해, 사용되는 촉매의 양을 줄이거나 극히 얇은 전해질 막을 개발, 또는 전지제작이 사용되는 물질의 가격을 낮추는 등 다각적인 방법으로 전지 구성부품들의 개발이 이루어지고 있다. 이러한 구성 부품들 중 단일품목으로써 가장 높은 비용을 차지하는 분리판의 개발은 우선적으로 해결돼야 할 관건이라고 할 수 있다. [Fig. 1]

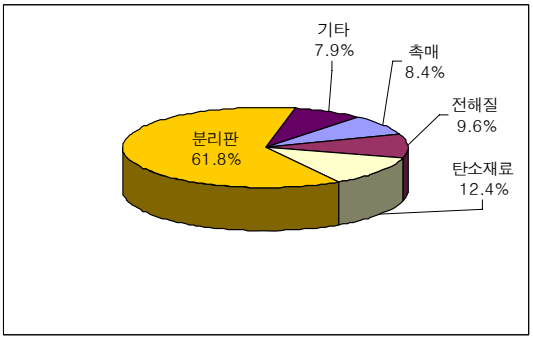

Fig. 1. Cost ratio of PEMFC Stack.

가장 이상적인 분리판은 전기 전도성, 밀폐성, 내 부식성, 견고성이 우수하고 얇고 가벼우며 가공성이 좋아야 하는데 현재 범용적으로 가장 많이 사용되고 있는 분리판의 재질은 그라파이트로써 전기 전도성이 뛰어나며 내 부식성이 뛰어나지만 그라파이트는 내부에 기공이 많으므로 밀도가 낮아 경량의 스택 제작이 가능하나 반응가스의 혼합을 막기 위해 일정한 두께가 요구되어 결과적으로 스택의 부피가 커지게 되는 단점을 가지고 있다. 또한 성형시 기계가공을 거쳐야하므로 제조가격이 비싸 PEMFC 제작비용 중 60% 이상을 차지하고 있으며 대량생산이 어려운 단점이 있다. 따라서 현재 분리판에 대한 연구의 초점은 가격이 싸며 가공이 쉬운 재료를 이용하여 제조 단가를 낮출 수 있는 방향으로 진행 중이며, 이에는 크게 고분자/탄소 복합체를 이용한 복합 분리판과 전기

저항이 작고 내식성이 좋은 금속을 사용하는 금속 분리판의 두 가지 방법이 있다.[2] 첫째, 금속은 금속자체가 갖는 우수한 전기 전도성과 우수한 기계적 물성 및 싼 가격 때문에 분리판의 재질로 금속을 이용하게 하고 있다. 그러나 고체 고분자 연료전지에 이용되는 프로톤 교환막은 일반적으로 양이온을 교환해 줄 수 있는 작용기가 있는 고분자로 만들어진다. 이때 고분자 구조 내에 양이온 교환능력이 있는 작용기인 술폰산(sulfonic acid) 기가 존재하며, 이 술폰기가 연료전지 운전 중 약 1M의 황산으로 작용하게 되어 금속의 부식이 촉진되고 표면에 생성된 금속산화물(metal oxide)이 전기절연체로 작용하여 전기전도성을 낮추며, 또한 이때 해리 되어 나오는 금속 양이온이 촉매층 및 고분자 전해질을 오염시킴으로써 연료전지의 성능을 감소시키게 된다.[3] 둘째, 전도성 물질로서 탄소와 고분자를 최대 9:1 까지 배합한 후 사출성형이나 몰딩성형을 통해 고분자 복합 분리판을 제작하는 방법이 있는데 이는 초기 장치설비 투자 후에는 연속공정을 통해 분리판을 제작할 수 있으므로 그라파이트 분리판 가격의 70%이상을 차지하는 가공비를 크게 줄일 수 있는 장점이 있다. 복합분리판을 가공하는 방법으로는 방전가공(EDM-Electric Discharge Machining), 밀링 가공, compression molding, transfer molding process를 들 수 있다. 이러한 네 가지 프로세스는 이미 고분자 성형기술로 이미 사용되고 있는 프로세스로서 기술적인 측면과 함께 경제적인 이유로서 제조 원가가 적게 드는 프로세스를 선택하여 이익을 극대화할 수 있다. 수량이 소량이면 EDM 및 밀링 가공을, 수량이 중간 정도이면 compression molding을 사용하고, 대량 생산 체제에서는 transfer molding을 이용할 수 있다.

국내 기술 현황

국내에서의 스택용 분리판에 대한 가공 및 제작은 승림카본, 대양산업, 가람 등의 회사에서 이루어지고 있는데 각 회사는 graphite 판에 resin을 함침 시킴 후 주어진 유로 설계에 따라 밀링가공을 하고 있다. 복합분리판에 대한 기술개발은 동화공업, 한국타이어 등이 관심을 가지고 있는 것으로 알려져 있으며 포항공대에서도 연구가 이루어지고 있다. 현재, 구성요소 제조에 대해서는 기본적인 기술습득이 이루어진 상태라고 볼 수 있으나 성능향상, 대면적화, 신뢰성 및 장기성능 등에 대한 연구가 보다 집중적이고 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

Table 1. World-wide status of the comopsite bipolar plates development.

Players	Materials	Processes
Quantum Composite, BMCI, Porvair, SGL Carbon	Graphite compounds	Molding
Morgan	Graphite compounds	Electro-etching
Graftech	Expanded graphite	Rolling & molding
Schunk Kohlenstoffiechnik GmbH	Graphite composite	Pressing
ZBT	Carbon/resin	Compression molding, injection molding, extrusion, drilling
Mitsubishi Electronic	Carbon/resin	Molding
한국타이어㈜	Carbon/resin	-
Morgan (㈜가람), 승림카본	Graphite	Milling

국외 기술현황

국외의 복합분리판 개발은 이미 1980년대 초반부터 시작되었으며 현재 상용화에 가깝게 진행되고 있는 상황이다. 복합분리판에 이용되고 있는 전도성 물질은 크게 금속과 탄소로 나뉠 수 있고 이를 고분자와 혼련한 후 압출성형, 사출성형 등을 통해 분리판을 제작하는 것이 일반적인 공정이다. 다음에 그 실례를 들어보기로 한다.

1) 금속 복합재

금속을 전도성물질로 채택 한 복합분리판은 1998년 미국 에너지성에서 전기전도성이 우수하고 내부식이 뛰어난 TiC 파우더를 고분자와 혼합한 후 molding을 통해 분리판을 제작 하였으며[4], Los Alamos 국립 연구소에서는 2001년 다공성의 그라파이트와 polycarbonate (PC) 그리고 스테인리스를 이용하여 분리판을 제작하였다[5]. 이때 다공성 그라파이트는 고밀도 그라파이트에 비해 가공시간 및 생산비용이 적게 든다는 장점을 가지고 있으며 전기전도성을 유지할 수 있다. 또한 PC 및 스테인리스는 기체투과도를 만족시킬 수 있으며 가공성이 좋은 PC를 이용하여 분리판을 성형 하고 스테인리스가 갖는 우수한 기계적 물성을 또한 갖게 된다.

2) 탄소 복합재

탄소를 전도성물질로 하는 탄소복합분리판은 현재 대부분의 복합분리판개발에 응용되고 있는데 이때 이용되는 고분자는 열가소성수지 및 열경화성수지 모두 이용 되고 있다. 열가소성 수지로서는 polypropylene, polyethylene, polyvinylidene fluoride 등이 이용되고 있으며 열경화성 수지로서는 phenolic 수지, epoxy 수지 및 vinyl ester 계열 수지가 이용되고 있다 [6]. 또한 수지의 종류에 따라 그 성형방법 및 시간이 결정되는데 열 경화성 수지의 경우 고온 몰드에서도 단단한 성질을 갖기 때문에 몰드를 냉각하기 위한 시간이 짧아 processing time이 짧은 장점을 가지고 있으나 열 가소성 수지에 비해 상대적으로 가격이 비싼 단점이 있다. 따라서 최근에 연구의 초점은 열 가소성 수지로서 가소성 수지의 특성인 재생 가능한 장점이 크게 부각되고 있다. 복합분리판의 재료로 이용되는 물질들의 예를 Table 2 에 예시하였다.

Table 2. Bipolar plate materials.

<table>
<tr><td></td><td>Base material</td><td colspan="2">Support material</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Metal based</td><td>Layered graphite</td><td>Polycarbonate plastic</td><td>Stainless steel</td></tr>
<tr><td>Titanium carbide</td><td>Polyvinylidene fluoride</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2">Resin</td><td>Filler/Fiber</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Carbon based</td><td>Thermoplastic</td><td>- Polyvinylidene fluoride
- Poly propylene
- Polyethylene</td><td rowspan="2">- Carbon/graphite powder
- Carbon black
- Coke-graphite
- Carbon/graphite fiber
- Cellulose fiber
- Cotton flock</td></tr>
<tr><td>Thermoset</td><td>- Epoxy resin
- Phenolic resin (phenyl aldehyde Resol, phenyl aldehyde Novolac, etc)
- Furan resin
- Vinylester</td></tr>
</table>

참고 문헌

1. T. M. Besmann, J. W. Klett, J. J. Henry, Jr., and E. L.-Curzio, J. Electrochem. Soc., **147** (2000) 4083.
2. D. N. Busick and M. S. Wilson, Fuel Cell Bulletin, **2** (1999) 6.
3. T. Mennola, M. Mikkola, M. Noponen, T. Hottinen and P. Lund, J. power Source, 112, 261(2002).
4. A. B. LaConti, A. E. Griffith, C. C. Cropley, J. A. Kosek, US patent A9076018 (1998).
5. Los Alamos National Laboratory Home Page (1998). Available from World Wide Web: http//www.ott.doe.gov/pdfs/contractor.pdf. Last retrieved 5 November 2001.
6. V. Mehta, J. S. Cooper, *J. Power Sources* **114** (2003) 32.