

연료전지 자동차용 막 가습기 개발

김 경주¹⁾, 이 무석²⁾, 윤 준기³⁾, 신 용철⁴⁾

Development of Membrane Humidifier for FCEV

Kyoungju Kim, Mooseok Lee, Joonkhee Yun, Yongcheol Shin

Key words : Membrane humidifier, Hollow fiber, Dry-jet wet spinning, Polyetherimide

Abstract : An object of the present study is to provide a hollow fiber membrane humidifier capable of improving the humidification efficiency while lowering the pressure loss, and is suitably usable for PEMFC(Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell). The performance of PEMFC is decisively dependent on the humidity of the electrolyte membrane(fluorinated membrane) and a humidifier plays an important role in moisturizing electrolyte membrane. Especially, this humidifier is a passive type(power-free) item and is volumetrically optimized. In this research, we propose the substitutes for the expensive fluorinated humidifier materials and the optimum dry-jet wet spinning conditions of hollow fiber membrane. In addition to that, This study will present an performance of an humidifier and compare computational results with the experimental data.

1. 서론

본 연구의 목적은 다른 연료전지에 비해 상대적으로 높은 출력 밀도, 고효율, 낮은 작동 온도 등의 장점 등으로 인해 연료전지를 장착한 버스나 승용 전기 자동차의 주 동력원으로 부각되고 있는 고체 고분자전해질 연료전지(Proton exchange membrane fuel cell 또는 Polymer electrolyte membrane fuel cell, 이하 PEMFC)의 운전 중 연료전지의 가습을 위한 막 가습기(membrane humidifier)를 개발하는 것이다¹⁾.

특히, 현재 일부 상용화된 고가 소재의 가습기 중공사막을 보급형 소재로 개발 및 상용화함으로써 연료전지 자동차 부품의 국산화에 기여하는데 또 다른 목적이 있다.

본 연구를 통하여 개발하고자 하는 연료전지용 막 가습기는 중공사막(Hollow fiber)을 이용한 기체-기체 막 가습기(Gas to gas membrane humidifier)로써, 접촉 표면적이 넓고 중공사막의 고집적화가 가능하여 작은 설치 공간으로 연료전지 스택의 가습이 충분히 이루어질 수 있고, 가습기를 통하여 연료전지에서 고온으로 배출되는 미 반응 가스에 포함된 수분과 열을 회수하여 재사용할 수 있으므로 연료전지 스택의 가습에 들어가는 별도의 수분과 에너지를 절약

할 수 있는 장점이 있다.

고체 고분자전해질 연료전지의 성능에 직접적인 영향을 미치는 요인 중의 하나는 연료전지의 핵심구성 요소인 막-전극 접합체 (Membrane-electrode assembly, MEA)의 전해질 막과 촉매층 내의 이오노머(Ionomer)에 일정량 이상의 수분을 공급하여 함수율을 유지하게 함으로써 전해질 막과 촉매층 내의 이오노머 자체가 보유하고 있는 이온 전도도의 최대 성능을 얻는 것인데, 상기에서 개발하고자 하는 막 가습기는 연료전지에서 고온으로 배출되는 미 반응 가스에 포함된 수분과 열을 막 표면을 통하여 연료전지에 공급되는 상온의 건조한 반응가스에 공급함으로써 연료전지의 가습과 온도 유지에 이용된다.

이에 본 연구에서는 고가의 불소계 소재를 대체하여 비불소계의 범용 고분자소재를 채택한 중공사막의 개발을 위하여 건습식 방사(Dry-Jet wet spinning)²⁾를 통하여 최적의 고분자 조성 및 제조 조건을 얻었으며, 이렇게 제조된 중공사막을 이용하여 막 가습기를 제조하여 성능을 평가하였다.

1)-4) 코오롱 중앙기술원 / ECO 연구소

E-mail : kimkj@kolon.com

Tel : (031)280-8626 Fax : (031)280-8999

2. 막 가습기 개념 설계

2.1 막 가습기의 원리

막 가습기는 친수성의 중공사막을 통해 연료 전지 스택을 통해 배출되는 수분과 열에너지를 교환하는 역할을 하며 이때 막 가습기에서 수분 이동에 대한 기전력 (Driving force)은 기체의 분압차 (Partial pressure difference)이며 수분이 타 기체에 비해 상대적으로 높은 투과 속도를 보이므로 선택적으로 분리막을 통과하게 된다.

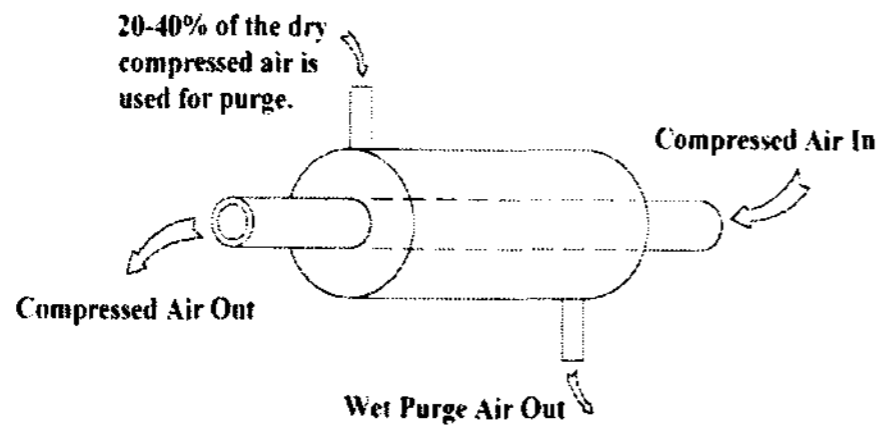


Fig. 1 Schematic of membrane humidifier

위 그림의 경우 스택에서 배출되는 고온 고습의 공기(또는 일정한 온도의 물)가 중공사막의 외부로 흐르고 중공사막 내부로 건조공기가 공급되어 막을 경계로 수증기의 분압차가 발생되어 막 외부의 수분이 건조공기 측으로 이동하여 공급되는 공기가 가습된다. 이때 가습원의 종류 및 수분의 이동 방향에 따라 막 가습기는 아래와 같이 분류된다.

Table 1 Types of membrane humidifier

가습원의 상태	Gas-to-gas	가습원이 기체 상태 모통 순환후 발생되는 습은 gas를 재활용
	Water-to-gas	가습원이 액체상태, 초순수 사용 (가습 효율 극대화 가능)
수분흐름 방식	Out-in flow	유입공기가 중공사 내부로 흐름 (막외부 고습도)
	In-out flow	유입공기가 중공사 외부로 흐름 (막내부 고습도)

한편, 여러 가습방식 중 막 가습기 방식은 다음과 같은 이유로 연료전지 분야의 가습방식으로 일반화되어 가고 있다. 즉, 기존 가습방식과 달리 막 가습기는 Passive device 이므로 별도의 부속품, 동력에너지, 제어장치가 불필요하며 이로 인해 저 에너지화/소형화/경량화가 가능하게 된다. 반면 다른 가습기에 비해 고가 소재의 중공사막 적용으로 인해 아직은 고가라는 단점이 있다.

2.2 최적 가습기 설계

유동해석을 통해 가습기 내부에서의 유체 흐름 현상을 이해하고, 최적 Packing density 및 구조 설계를 하고자 아래와 같이 가습기 내에서의 핵심인자를 도출하였다. 막 가습기의 성능 최적화를 위하여 Packing density나 중공사 내경 등의 구조 인자의 최적화가 필요하다.

$$\Delta P = F_n (\text{FR, Temp., Packing density, Inner Diameter of HF})$$

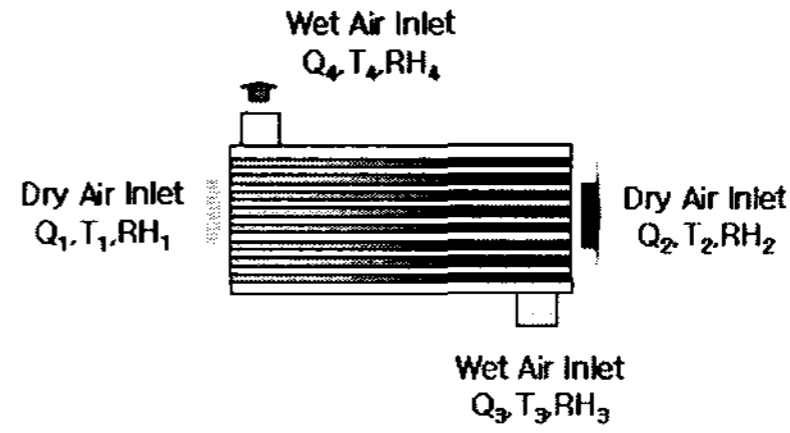


Fig. 2 Key factors of membrane humidifier

3. 비불소계 중공사막 개발

3.1 비불소계 소재 중공사막 제조

중공사막의 경우 기존 UF/MF에서 널리 사용되는 폴리설폰(Polysulfone)이나 폴리이써설폰(Polyethersulfone)을 사용할 수 있으며 이때 소재 자체의 우수한 내열성 및 기계적 성질은 막 가습기로서 장점인 반면 낮은 친수성으로 인해 가습성능이 저하될 수 있다는 한계점도 가지고 있다. 폴리이미드의 경우 매우 우수한 내열성 및 친수성으로 인해 불소계 고분자를 대체할 수 있는 가장 유력한 막 가습기용 중공사막 소재 후보로 생각되며, 실제로 일본 제품의 경우 비불소계 고분자를 적용한 사례가 있다.

불소계 소재를 대체할 가장 적합한 소재로 폴리이미드계 고분자를 선택하였으며 본 연구에서는 폴리이미드계 소재 중 우수한 내열성과 함께 가공성을 가지는 폴리이써이미드(Polyetherimide)를 기본으로 건습식 방사 (Dry-jet wet spinning)에 의하여 중공사막을 제조하였다.



Fig. 3 FE-SEM Image of hollow fiber

이렇게 제작된 중공사막의 막 기본 특성을 측정하였으며, 가습성능을 측정하기 위하여 2.4 m²의 막 면적을 갖는 20 kW급 고분자 연료전지 시스템에 적용할 수 있는 가습기를 제작하였다.

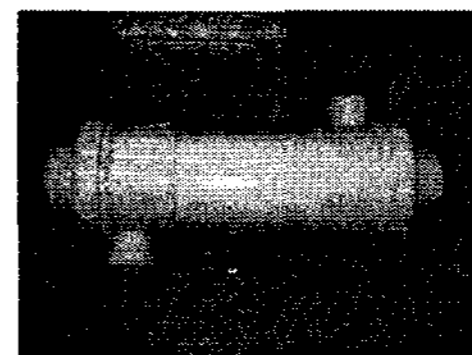


Fig. 4 Membrane humidifier(20 kw) for PEMFC

3.2 가습성능 측정

막 가습기의 성능 평가를 위해 다음과 같은 가습성능 평가 장치를 제작하였다. 이때 주요 측정 인자로는 습도, 온도, 유량, 압력이 있으며 각각을 가습기 전후에서 자동 기록하게 된다. 가습성능은 가습원인 스택 배출 습윤공기와 가습기를 통과한 습윤 공기의 Dew point 차이로 측정한다.

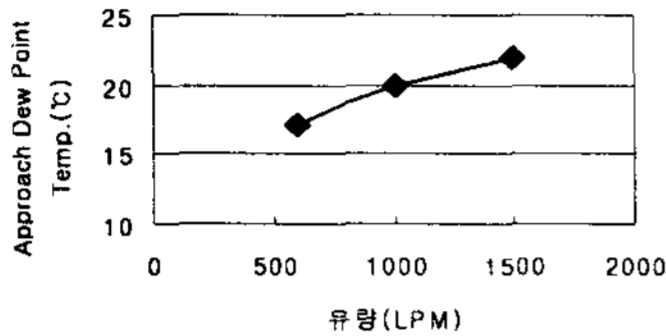


Fig. 5 Moisturizing Performance of 20 kW Humidifier

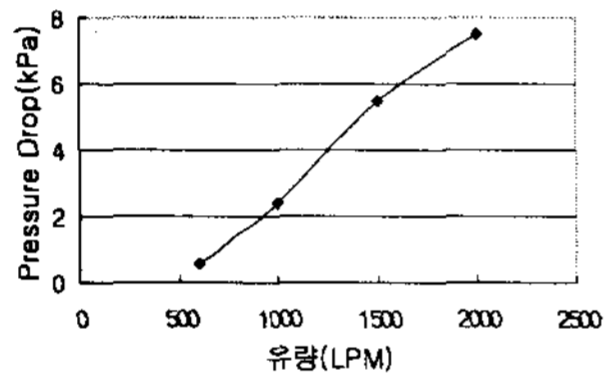


Fig. 6 Pressure Drop through the 20 kW Humidifier

4. 결 론

불소계 소재 막 가습기를 대체할 중공사막 개발을 위하여 폴리이써이미드(Polyetherimide)를 선택하여 건습식 방식에 의해 중공사막을 제조하였고 이렇게 제조된 중공사막을 이용하여 20 kW 급 고분자연료전지용 가습기를 제작함으로써 막 가습기의 가습성능을 측정할 수 있었다.

후 기

본 연구는 산자부 신재생에너지 개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] Nozomu Tanihara, 2005, "Fuel Cell Use Humidifier," USP2005/0221133
- [2] Mulder, M., 1992, "Basic principles of membrane technology," Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, Netherlands