

가습 공기의 채널에서의 압력 강하량 측정 Measurement of pressure drop through channels with humidified air

함미숙, 윤영기, 이원용, 김세훈*, 임태원*, 김창수

한국에너지기술연구원 고분자연료전지연구단, 현대자동차 환경기술연구소*

1. 서론

연료전지 스택에서의 입출구 압력 차이는 스택 설계에 있어서 고려해야할 중요한 요소로 가스 공급 설비에서의 동력 사용량과 분리판 가스 채널에서의 물 배출 특성은 물론 연료전지 성능에도 영향을 미치게 된다. 압력 강하량이 클수록 채널을 통한 유량 분배가 균일해지고 채널 내 생성된 물의 제거에 효과적이지만 높은 압력 강하량을 위해 가스 공급을 위한 동력이 증대되어야 하기 때문에 이를 고려하여 스택과 분리판의 유동장이 설계되어야 한다.

분리판에서 채널 형상에 의한 압력 손실 측정은 많이 있었으나 고분자 전해질 연료전지에서 중용한 습도 영향에 대한 실험은 거의 이루어지지 않고 있다.

본 연구는 유량 변화와 가습조건이 가스 확산층(GDL)의 유무에 따라 유동 채널을 통해 압력 강하량에 어떤 영향을 미치는지 확인하고 이를 분리판 설계에 반영하기 위한 자료를 확보하기 위한 것이다.

순수한 채널 유동과 연료전지에 사용되는 GDL에 대한 압력 손실의 영향을 살펴보기 위해 순수한 유동 채널에 대한 압력손실을 기준값으로 계산하였으며 검증을 위한 실험도 수행하였다. 채널 압력 손실은 채널 내에서 유동은 공기와 수증기의 혼합 가스 상태로 이상기체로 볼 수 없으므로 실제 기체와 같게 하기 위해 압축성 요소를 도입하여 계산하였다[1]. 실제 연료전지에서 채널 내부에서 응축이 발생할 경우에는 이상 유동(two phase flow)이 되어 수증기와 공기가 균일하게 혼합되어 있을 경우에 대한 homogeneous model로는 압력 분포의 예측이 어려우며 이를 확인하기 위해 실험을 수행하였으며 이론식과의 차이를 분석하였다. 연료전지 채널 설계에 반영하기 위해 가습상태를 변화시키면서 GDL이 없는 순수 채널 유동과 GDL이 있는 경우를 비교하여 분석하였다.

2. 실험 방법

실험에 쓰인 공기 분리판(유동판)은 실제 스택에 사용되는 것과 똑같은 형태로 아크릴판으로 제작되었으며 가스 확산층은 10BC GDL을 사용하였다.

셀 온도는 60도로 설정하여 상대습도는 건조 상태에서부터 110%까지 설정하여 실험하였다. 상대 습도 100%까지는 액상의 물이 형성되지 않았으나 그 이상에서

는 액상의 물이 채널 내에 응축되어 빠져나가는 현상이 반복되어 실험의 재현성을 찾기가 어려워 110%까지만 실험을 하였다.

실험 공기의 이용률을 40%로 설정하고 전류변화는 10A에서 240A까지 내기 위한 공기 유량을 계산하여 실험에 사용하였다.

셀 온도는 항온조를 이용하여 조정하였으며 가습라인과 분리판, 항온조의 온도를 측정하여 온도를 동일하게 유지시키는 가운데 실험을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

실험장치 및 실험방법의 신뢰성을 획득하기 위하여 상온 실험을 수행하여 계산 값과 비교하였다.(그림 1) 실험 결과 GDL이 없는 상태에서 압력 손실 측정값은 Reynold's 수 430이내에서는 오차 범위 5%이내였으며 그 이상에서는 점점 더 커졌다. 채널 내 유동은 층류 유동이지만 S. Maharudrayya외는[2] 레이놀즈 수가 100이상이면 채널의 굽은 부분에서의 박리 및 와류가 발생하기 시작한다고 하였는데 계산은 직선 유로로 가정하여 그 영향이 고려되지 않아 계산 값보다 실험값이 크게 나타나고 있다. GDL을 삽입하고 상온 시험을 한 결과 GDL이 없을 때보다 압력 손실이 줄어들었다. 이는 유동 채널을 통한 유체 이동뿐만 아니라 가스 확산 층을 통하여 유체가 이동하였기 때문이다. 따라서 분리판 초기 설계시 순수 채널식을 사용할 경우 GDL의 효과를 감안하여 압력 강화를 약간 크게 설정할 필요가 있다.

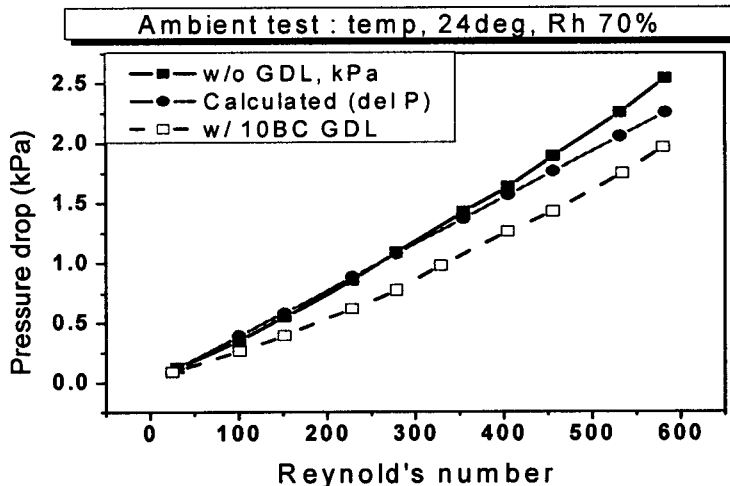


Fig. 1 Ambient test

가습된 공기를 공급하였을 때 가습 양에 따라 채널에서의 압력 강하량은 더욱 커졌으며 상대 습도가 100%이상부터는 채널 내 액상의 물이 형성되어 압력 강하량은 급속도로 커졌다.(그림 2) 습도를 고려해 계산한 압력 강하량과 실험을 통

해 얻은 값은 GDL이 없을 때, 계산 값과 가까웠으며 상온 시험과 마찬가지로 레이놀즈수가 400이상에서부터 실험값이 더 커지기 시작했다.

상대 습도 100%이하에서 GDL이 없을 때 습도에 따른 압력 강하량은 GDL이 있을 때보다 각 습도에서 10% 더 컸다. 이는 똑같은 유량이라도 유동 면적이 GDL의 기공성으로 인해 더 커지기 때문인 것으로 보인다. 그러나, Reynold수 200이하에서는 GDL이 있을 때 GDL이 없을 때보다 습도에 상관없이 압력 강하량이 더 커졌다. 이 부분에서는 GDL을 통한 유동 증가보다 유체의 점성력에 의해 GDL표면에서의 마찰이 크게 작용한 것으로 보인다.

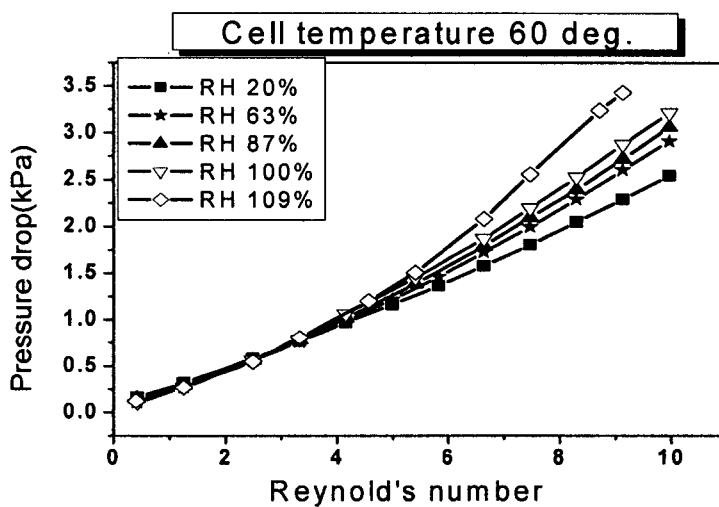


Fig. 2 Pressure drop response to flow rate with 10BC GDL

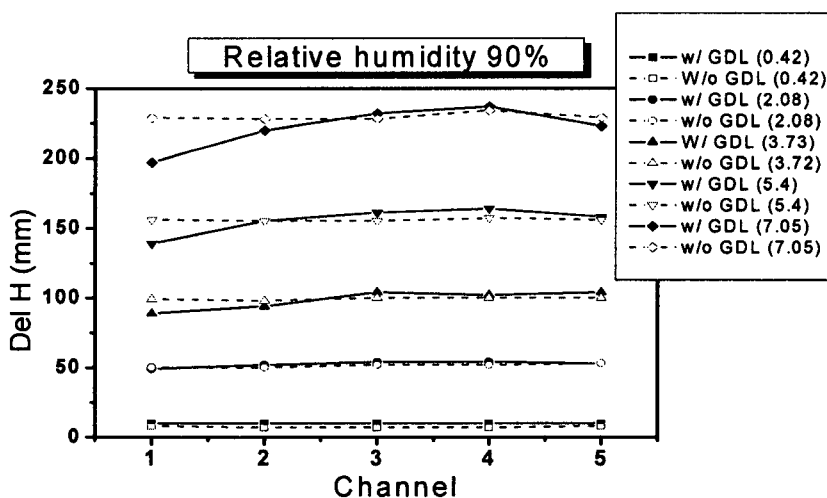


Fig. 3 Channel pressure drop difference

또한, 채널 간 압력 강하량 차이는 그림 3에서 보듯이 GDL이 없을 때는 2%이 내의 차이를 보였으나 GDL이 있을 때는 습도가 커질수록 압력 강하량 차이가 커졌다. 측정 포트 1, 5번이 다른 부분에 비해 압력 강하량이 작다. 이것은 GDL이 눌림에 의해 기공도가 낮아져 GDL을 통한 가스 유동량이 줄어든 것으로 보인다.

4. 결론

분리판의 유동 채널에서의 압력분포는 분리판 설계에서 고려해야할 중요한 인자이다. 본 연구에서는 고분자 전해질 연료전지 운전 범위내에서 습도와 GDL의 효과가 분리판 유동 채널에서의 압력 강하에 미치는 효과를 분석하였다. GDL이 있는 경우는 없을 때보다 속도 영역에 따라 채널 면적은 줄어들어도 GDL의 다공성 특성 때문에 압력 강하량이 줄어들었다. 습도가 높을 경우 채널당 압력 강하량에 변이가 증가하여 이를 고려하지 않을 경우보다 가스 공급에 불균일성이 증가하는 것을 알 수 있었다. 따라서 분리판 설계시 운용 조건뿐만 아니라 습도 조건과 GDL특성도 고려할 필요가 있다.

포화되는 구간에서는 액상의 물이 응집되어 채널을 막게 되므로 평균적으로 압력 강하량이 커지게 되는데 간헐적으로 일어나는 응집현상을 분석하기 위해서는 실시간으로 압력 강하량을 측정하여 정밀하게 분석할 필요가 있다.

응축에 의한 효과를 이론적으로 정확하게 해석하기는 어렵지만 연료전지 작동 범위에서 정성적인 영향을 분석할 필요가 있으며 채널 설계에 사용될 이론식의 정확도를 높이기 위하여 GDL의 기공도와 변형을 반영할 필요가 있으며 채널 구부러짐에 의한 영향을 포함시킬 필요가 있다.

참고문헌

- [1] Miller, R. W., Flow measurement engineering handbook, McGraw-Hill, New York, 1989
- [2] S. Maharudrayya et al, J. Power Source 138(2004) 1-13
- [3] P.H. Oosthuizen, L. Sun, K.B. McAuley, Applied thermal engineering 25(2005) 1083-1096