

물의 표면증발속도의 실험연구 및 연료전지
연구에서의 응용
Water Evaporation Rate and Application in PEMFC
Research

이삼일, 이원용, 김창수

한국에너지기술 연구원 연료전지 연구센터

1. 서언

물은 인류와 가장 밀접한 물질의 하나로 그에 대한 기초 연구가 많이 되어 있는 연구분야의 하나이며, 그 중 물의 증발속도 문제는 자연계를 대상으로 많이 취급되어 왔다. 이를테면, 농업에서의 물 관리, 발전 및 생활용수용 댐의 물 관리, 태양열못, 건조공정 등이 있다[1-3]. 이렇게 물의 증발속도에 대한 많은 모델들이 보고 되어있지만 대부분이 자연계 조건(압력, 온도, 습도, 풍속) 범위에서 실시한 기초연구들이다. 시스템 적인 연구에 있어서 종종 자연조건과 다른 상태에서의 물의 증발속도를 알 필요가 있다. 특히 동적 과정 분석에 있어서 열역학적인 취급이 불가능할 수가 있다. 예를 들어, 고체고분자형연료전지의 전극표면에 있어서의 물 관련 현상에 대한 해석, 고체고분자형연료전지의 막 형가습기의 설계 분야 등에서 물의 증발속도를 알 필요가 있다. 물의 증발속도에 관하여 Ueda 등[4,5]의 연구에 의한 상세한 이론적 해석이 보고되어 있으며, 모델 중에 압력과 습도 항목들이 포함 되어 있지만, 적용범위와 실험 값과의 검증이 확실히 되어 있지는 않다.

본 연구에서는 고체고분자형연료전지 전극표면에서 물 및 연료전지에서 사용되는 가습기의 설계를 위하여 온도, 압력, 습도 및 풍속을 파라미터로 물의 증발속도를 정량화하는 연구를 실시하였다. 파라미터가 많은 만큼 균일한 고찰을 하자면 실험회수가 많아지는 것은 필연적으로 이것을 피하며 균일한 고찰결과를 얻기 위하여 직교배열(直交配列)법으로 실험을 계획하였다. 그 대신 각 실험의 정밀도와 재현성을 높이기 위하여 실험 설비와 실험방법 측면에서 주의를 기울였으며, 얻어진 실험결과는 회귀계산(回歸計算)으로 정리되어 물의 표면에 있어서의 증발속도를 계산하는 간편한 실험식을 얻을 수 있었다.

2. 실험

2.1 직교실험설계(直交實驗設計)

물의증발은 물분자가 액상으로부터 기상으로 확산하는 과정으로, 확산의 이론으로 생각할 때 단위시간과 단위면적의 물의 표면 증발량은 물 분자 자신의 물성 외에 주위 온도, 압력, 습도 및 기상의 흐름속도 즉 풍속의 영향을 받는다고 생각된다. 그러므로 본 연구에서는 온도, 압력, 습도 및 풍속을 파라미터로 하여 단위면적 및 단위시간에서의 물 증발량을 물의 증발속도로 정의였다. 변수가 5항목이므로 서로간의 상관관계를 각각의 변화범위 안에서 균일하게 고찰을 하려면 상당히 많은 실험을 하여야 한다. 그러므로 본 연구에서는 이미 서언에서 언급 한 바와 같이 직교배열(直交配列)법으로 실험을 계획하여 재현성 있는 실험결과를 얻도록 노력하였다.

No.	T °C	P atm	H %	V m ³ /hr
1	20	1	30	71
2	20	1.7	55	49
3	20	2.4	80	28
4	20	3	95	7
5	40	1	55	28
6	40	1.7	80	7
7	40	2.4	95	71
8	40	3	30	49
9	60	1	80	49
10	60	1.7	95	28
11	60	2.4	30	7
12	60	3	55	71
13	80	1	95	49
14	80	1.7	30	28
15	80	2.4	55	7
16	80	3	80	71

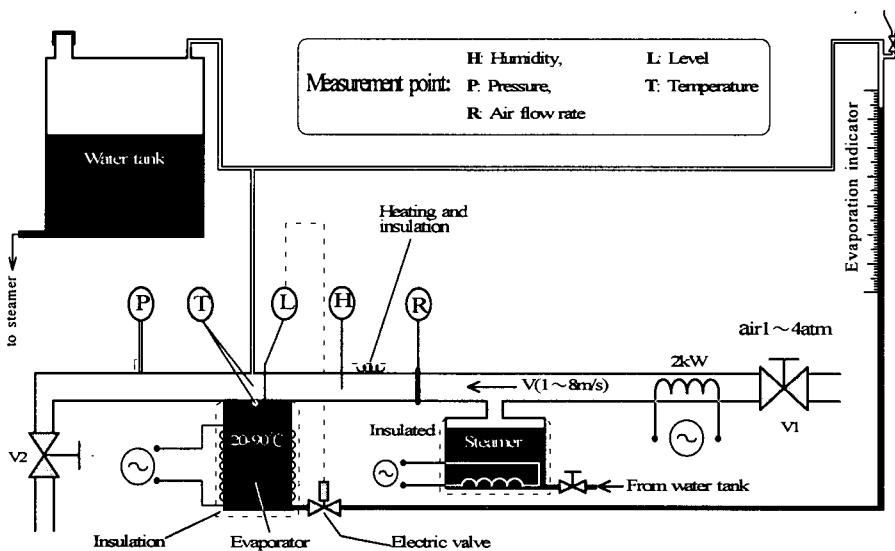
구체적으로는:

1. 설비 면에 있어서 실험결과에 크게 영향을 주는 물 증발 면의 레벨 제어를 정확히 하여 측정 오차를 가능한 줄였다.
2. 같은 실험을 2회 이상 실시하여 실험 값을 확인함으로써 조작에 의한 우연오차를 방지하게 하였다.

표 1에서 볼 수 있듯이 본 실험은 고분자연료전지가 가동하는 범위 즉, 온도(T) 20 - 80°C, 압력(P) 1 - 3atm, 습도(H) 30 - 90% 및 풍속(V) 1 - 10m/s에서 실시하였다.

2.2 실험설비

그림 1에 실험장치를 나타내었다. 물의 증발은 공기가 흐르는 $\phi 50\text{mm}$ 파이프의 안쪽으로 향한 일정한 면적으로, 공기의 흐름과 평행하게 노출된 증발수면으로부터 진행되며, 증발속도는 증발수면을 일정한 레벨에 유지하는 과정에서 보충되는 물의 양을 측정하여 계산된다. 물의 온도는 히터에 의하여 유체의 온도와 일치되게 조절되었으며 증발수면의 레벨은 레벨센서(L)와 증발기의 물 공급을 제어하는 솔레노이드 밸브를 통하여 정밀하게



제어되었다. 증발수면 위쪽을 흐르는 공기는 air compressor로부터 공급되는데 V1 및 V2에 의하여 유량 및 압력이 각각 조절된다. 공기가 수면에 도달하기 전에 앞부분에 설치되어있는 히터 및 가습기에 의하여 온도와 습도가 조절되며 공기의 난류의 영향을 줄이기 위하여 앞부분에는 정류판이 설치되었다. 그리고 높은 습도에서 실험할 경우 공기중의 수분이 파이프 내벽에 응축되는 것을 방지하기 위하여 파이프는 히터 및 단열재로 보온처리를 하였다.

3. 실험결과 및 검토

본 연구는 고체고분자연료전지의 전극 표면의 물 현상의 분석 및 막형 가습기의 설계를 위한 물의 증발특성 파악이 목적이므로 복잡한 이론적인 검토는 피하여 정량적 관계를 규명하는 데에 중점을 두었다.

실험은 표 1에 주어진 조건에 따라 실행하였으며 얻어진 결과는 회귀계산에 의하여 식(1) 과 같은 간단한 실험식을 얻을 수 있었다. 식(1)에 있어서 T, V, P, H는 각각 온도, 유량, 압력 및 습도이며 a - e는 회귀계산에서 얻어지는 계수이고, 식(1)의 신뢰도를 표시하는 multiple correlation coefficient는 0.985로 변수가 다섯 항목이 있다는 점을 고려하면 상당히 좋은 결과로 판단할 수 있다.

$$V = a \cdot T^b \cdot V^c \cdot P^d \cdot H^e \quad (1)$$

4. PEMFC시스템에 대한 응용

위에서 언급한 바와 같이 본 연구의 목적은 두가지이다. 하나는 가습기의 설계이며, 다른 한가지는 전극 표면에 있어서의 물 현상에 대한 분석이다.

4.1 가습기 설계

PEMFC시스템에 있어서 자기가습형 막을 사용하지 않는 한, 내부 혹은 외부형식의 가습기를 장착할 필요가 있다. 증기압을 이용하는 가열식은 전기소모가 엄청나게 크므로 사실상 사용이 불가능하다. 시스템의 작동 압력

과 온도가 결정되어 있으므로 가습량의 조절을 위해서 변화가 가능한 변수는 기/액 접촉 면적 뿐이다. 가능한 넓은 면적의 기/액 접촉 면적을 마련하여 짧은 시간 내에서 많은 물을 증발시켜 기체를 가습하는 방향이 유리할 것이다. 이러한 배경에서 막과 같은 재료들이 기/액 접촉 면을 제공하는 재료로 사용될 수 있다. 물의 투과성이 좋은 막이 가습기에 사용될 경우 기체 쪽과 접촉한 막 표면에는 물의 막이 덮여져 있다고 생각할 수 있다. 그러므로 기체 가습에 필요한 물의 증발량 혹은 면적을 식(1)에 의하여 계산할 수 있다.

4.2 전극 표면의 물 분석

여기서 전극이란 공기극을 말한다. 공기극에서 생성되는 물은 네 가지 형태로 존재할 수 있음을 생각할 수 있다. 1. 농도차로 인한 연료극 방향으로의 침투; 2. 증발; 3. 유체에 휩쓸려 액체 상태로 유출; 4. 전극 표면에 축적. 마지막 경우인 전극 표면에 물의 응축이 많을 경우 전극반응에 필요한 3상 계면이 감소됨으로 전지 성능이 저하되므로 물이 전극표면에서 평형이 되는 조건을 파악할 필요가 있다. 이상의 4 항목 중 항목 1은 아주 작은 양이라고 생각되며, 항목 3은 아주 많은 양의 물이 누적되었을 때에만 일어난다고 생각되므로 항목 4의 파악은 항목 2에 영향을 받는다고 생각할 수 있다.

5. 결론

PEMFC시스템의 가습기 설계 및 전극 표면의 물 현상의 정량적 파악을 목적으로 한 실험을 통해 물의 증발속도를 구하는 실험식을 얻었다. 실험은 PEMFC가 작동하는 범위에서 실시하였으며, 얻어진 실험식은 가습기의 설계 및 전극 표면에서 물의 현상을 정량적으로 해석하는데 응용이 가능하다.

참고문헌

- [1] 井上宇市, 空氣調和・衛生工學, 水面よりの水の蒸發量, 36-1(1962), 144-145.
- [2] J.R.ホールマン,(平田 賢監譯), 傳熱工學(下), ブレイン圖書出版, (1985), 481-483.
- [3] 佐久間俊雄, ソーラポンドの集熱及び採熱方法に関する研究, 電力中央研研究報告, (No. 28081), (1986), 11-13.
- [4] 上田政文: 強制對流による水の蒸發速度, 應用物理, 29-7, pp.443-451(1960)
- [5] 上田政文: 回轉円板からの水の蒸發速度, 應用物理, 31-6, pp.492-493(1962)