

전기로에서 코일형 고온 과열증기 생산 장치의 공급 유량에 따른 전열 특성 분석

방유마*, 조종표**, 김정근**, 정용진**, 방형준**

*한양대학교 융합기계공학과

**한국에너지기술연구원

e-mail:ymbang@kier.re.kr

Analysis of heat transfer characteristics with flow rate of the coil-type high temperature steam generator in an electric furnace

You Ma Bang*, Chong Pyo Cho**, Jeong Geun Kim**, Yongjin Jung**, Hyung-joon Bang**

*Department of Mechanical Convergence Engineering, Hanyang University

**Korea Institute of Energy Research

요약

초고온 수전해 시스템이 요구하는 고온 (700 °C 이상)의 과열 증기를 생산하기 위한 코일형 고온 과열증기 생산장치에 대하여 상용 프로그램 ANSYS CFX를 이용하여 분석하였다. 과열증기 공급 유량은 5, 10, 20 kg/h이며, 배출하는 과열증기가 목표 온도인 700 °C에 도달할 수 있는 열량을 이론적으로 계산하여 적용하였다. 수치해석 결과에 따르면 코일형 과열기는 과열증기가 배출구로 나아갈수록 충분히 가열된 상태에서 배출된다. 이는 고온 과열증기 생산 장치의 코일이 적절한 길이로 설계 되었다는 것을 알 수 있다. 그리고 과열 증기 공급 유량이 증가할수록 필요 열량은 증가하지만, 유속 증가에 따라 열전달 계수가 증가하기 때문에 이론치 보다 열량이 적게 공급되어도 목표한 과열증기 온도를 얻을 수 있었다.

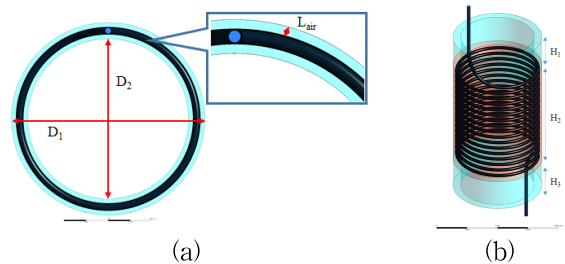
1. 서론

높은 에너지 밀도를 가지고 있는 수소를 활용하는 사회에 진입하면서 수소 생산 기술에 많은 관심이 높아지고 있다. 수소 생산 기술은 천연가스 등을 개질 (reforming)하여 생산하는 방식과 물 및 수증기를 전기분해하여 생산하는 수전해 기술, 플라스틱과 같은 폐자원을 열분해 가스화를 하여 생성하는 방법 등이 있다. 이 중 수전해 기술은 증기를 과열증기로 만들어 온도가 높아질수록 전기 분해 시 필요한 에너지 요구량이 감소하게 된다. 이는 수전해 시스템의 효율 향상에 기여하게 된다[1]. 본 연구는 수전해 장치에 접목되기 전 고온의 과열증기 (700 °C)를 생산하는 시스템을 전산해석 하고 스팀 유량에 따른 필요 열량 변화, 배출온도 변화를 수치해석 상용 프로그램인 ANSYS CFX를 이용하여 확인하고자 한다.

2. 수치해석 준비

과열증기 생산 시스템은 코일 열교환기를 이용한 시스템이며 가열 방법은 코일 내부와 외부에 전기히터가 있다고 가정하였다. 이를 구현하기 위해 코일 내외부에 10 mm 공기층을 두고, 내부 면과 외부 면에 가열열량을 입력하였다. [그림 1]

은 전산해석 모델링 3D 형상이며 [표 1]은 모델링의 자세한 치수를 나타내었다. 과열증기 유량은 이론적 계산을 통하여 150 °C, 3 bar의 과열증기가 700 °C에 도달할 수 있는 열량을 기준하여 적용하였다. 열량에 대한 것은 [표 2]에 나타내었다.



[그림 1] 수치해석 모델링 형상 (a) 수치해석 상면 모습 (b) 수치해석 대각 모습

[표 1] 수치해석 모델링 형상 세부 치수

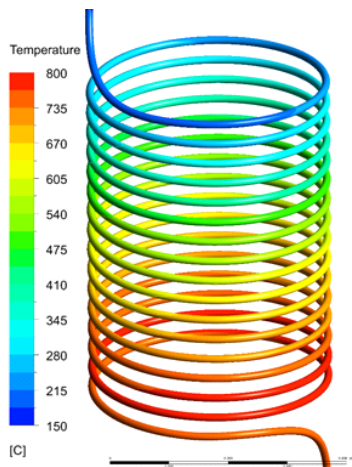
수치해석 형상 특성 [단위]	특성
코일 직경 [mm]	400
coil pipe 내경 [mm]	13.3
coil pipe 외경 [mm]	17.3
감은 수	16
coil 피치 [mm]	17.3
코일 외부 가열부 직경 D ₁ [mm]	437.3
코일 내부 가열부 직경 D ₂ [mm]	362.7
코일과 가열부 간의 길이 L _{air} [mm]	10
가열부 높이 H ₂ [mm]	576
공기층 높이 H ₁ , H ₃ [mm]	200

[표 2] 유량에 따른 가열부의 단위 면적당 공급 열량

과열증기 유량 [kg/h]	heat flux [W/m^2]				
5	1120	1244	1399	1493	1599
10	2239	2488	2799		
20	4000	4478	4974		

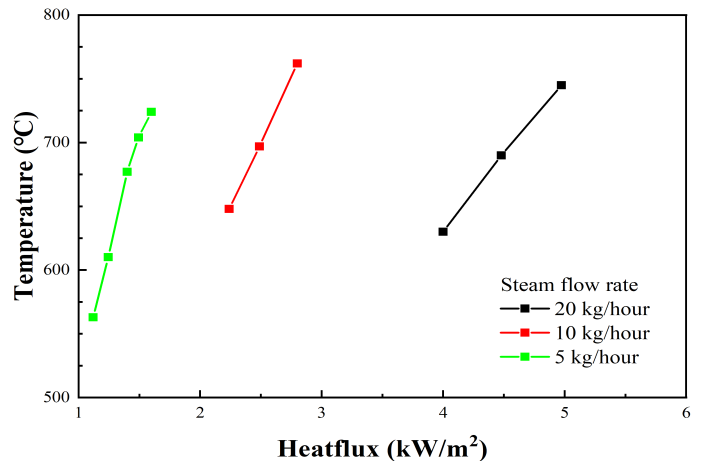
3. 수치해석 결과

증기는 코일 열교환기 상부에서 유입되어 열을 전달 받고 하부로 배출된다. 가열된 과열증기와 코일 열교환기와 인접한 부분의 온도 분포를 [그림 2]에 나타내었다. 그림 3에서 확인할 수 있듯이 과열증기는 가열부에서 발생하는 열을 전달 받기 때문에 하부로 갈수록 온도가 높아진다. 이후 가열부가 끝나는 지점으로부터 과열증기는 식어서 온도가 낮아진다. 이와 함께 본 과열기의 코일 길이가 과열 증기를 충분히 가열할 수 있는 것을 확인할 수 있다.



[그림 2] 코일 열교환기 벽면과 인접한 과열증기 온도분포 (유량 10 kg/h)

과열 증기의 유량을 5, 10, 20 kg/h로 각각 변경하였을 때 가열 열량 변화에 따른 과열 증기 배출 온도를 [그림 3]에 나타내었다. 과열증기의 유량이 높아질수록 높은 온도에 도달하기 위한 열량의 차이가 증가하는 것을 확인하였다. 증기의 유량이 증가 할수록 가열에 필요한 더 필요하다. 그리고 과열 증기 유량 증가로 인한 유속 증가는 열전달에 영향을 미치는 무차원수인 Nu (Nusselt number)과 Re (Reynolds number)를 증가시켜 열전달 성능이 향상되며, 그 결과 유량이 높아질수록 기존 이론 계산치보다 10% 적게 열량을 공급해도 무방하다.



[그림 3] 가열 열량에 따른 과열증기 배출 온도 변화

4. 결론

본 연구는 수전해 기술에 공급하기 위한 고온 과열 증기 용 코일 과열기 시스템을 상용 전산해석 프로그램인 ANSYS CFX로 성능 확인을 하였다. 전산해석 결과 설계된 코일의 길이는 과열 증기의 온도를 충분히 올려줄 정도로 적정하였다. 그리고 과열증기는 하부로 갈수록 그 주변에서 전달되는 열로 인해 목표 온도에 도달할 수 있다. 유량에 따라 목표 온도에 도달 할 수 있는 열량은 다르며 이는 유량의 증가에 따른 질량 변화, 그리고 유속 변화에 따라 영향을 받는다.

참고문헌

- [1] 김선동 ‘고온수전해 수소 제조 연구 동향’, E2M : Electrical & Electronic materials = 전기 전자와 첨단 소재 v.31 no.6, pp.8-15, 2018년