

비전도성 유체의 풀 와이어 보일링 실험 연구

김영민*, 김정우*, 선현준*, 이권영*

*한동대학교 기계제어공학부

e-mail: kylee@handong.edu

Experimental Study on Pool Wire Boiling of Non-conductive Fluid

Youngmin Kim*, Jungwoo Kim*, Hyunjun Sun*, Kwon-Yeong Lee*

*School of Mechanical and Control Engineering, Handong Global University

요약

비전도성 유체를 사용해 열을 냉각시키는 액침 냉각은 데이터 센터의 냉각이나 전기차 냉각 등 전자기기 냉각에 쓰이고 있다. 풀 보일링 실험은 유체의 물성치를 비교하는 실험으로 가열면의 온도를 큰 폭으로 상승시키지 않으면서 많은 열을 가할 수 있다는 장점이 있다. 본 연구는 그중 히트 와이어를 사용하는 풀 와이어 보일링을 채택해 Novec 7100과 DI water를 비교하였다. 포화 비등과 과냉각 비등 영역에서 DI water와 비전도성 유체 Novec 7100의 기포 거동을 관찰하기 위해 실험조건을 설정하였다. 실험 결과 Novec 7100의 경우 낮은 subcooled 조건에서도 비등이 활발하게 발생하는 것을 확인하였다.

1. 서론

냉각 기술은 열효율을 향상시키는 주요한 방법 중 하나이다. 효율적 냉각을 통한 열효율 향상은 에너지 사용량과 비용의 감소로 이어진다. 에너지 사용량의 감소는 전세계적인 친환경 정책 중에서도 중요한 사항이다. 최근, 전자기기를 비전도성 유체를 통해 냉각시키는 액침 냉각 기술이 주목받고 있다. 특히 데이터 센터와 같이 높은 발열량으로 인한 열관리를 요구하는 산업에서 비전도성 유체를 사용하는 액침 냉각이 연구되고 있다. 이는 비전도성 유체가 전자기기에 물리적, 화학적 손상을 주지 않으면서도 상변화를 활용함으로써 효과적인 냉각을 제공하기 때문이다. 하지만 비전도성 유체를 액침 냉각에 적용하기 위해선 특성 분석 및 호환성을 평가하는 단계가 선행되어야 한다.

풀 보일링 실험은 이러한 분석에 있어 중요한 실험 방법 중 하나이다. 실험은 특정 온도로 유지된 수조 안에서 유체가 가열면과 접촉할 때 발생하는 비등 현상과 기포 거동을 관찰함으로써, 유체의 물성치를 확인할 수 있게 한다. 가열면의 온도를 큰 폭으로 상승시키지 않아도 많은 열을 전달할 수 있다는 점에서, 풀 보일링 실험은 열전달 효율성을 평가하는 데에 탁

월한 방법이다[1]. 이러한 장점으로 인해, 나노 유체 연구, 비이온성 계면활성제의 효과 검증 등 다양한 과학적 연구에 활용되어 왔다[2-3]. 이는 해당 실험의 정확성 및 신뢰성이 검증되었음을 의미한다. 본 실험은 그중 히트 와이어를 열원으로 사용하는 풀 와이어 보일링을 채택하였다. 열원을 히트 와이어로 사용하는 경우, 열원의 형태 및 면적을 조절하기 쉽고 전기 저항을 이용하여 온도제어에 용이하다. 따라서 실험 시간단축하고도 섬세하게 제어할 수 있다는 장점을 가진다. 또한 열원의 면적이 매우 작기에 가열면과 그 근처에서 일어나는 기포거동과 대류의 관찰이 쉽고 가시적 결과를 바탕으로 현상에 대한 높은 이해를 얻을 수 있다는 장점이 있다[4].

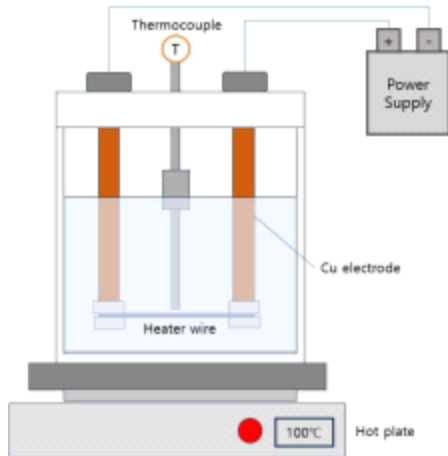
본 연구에서는 히트 와이어 근처에서 일어나는 Novec 7100과 DI water의 비등 현상을 비교 및 분석하였다. 이를 통해 비전도성 유체를 활용한 액침 냉각에 대한 Novec 7100의 사용가능 여부를 판단하고자 한다.

2. 실험 장치

본 연구의 실험 장치는 그림 1과 같이 수조, 전극, 온도계, 와이어 히터, 전력공급장치와 핫 플레이트로 구성된다. 본 실험에서 내열유리 소재의 수조를 사용하였으며, 온도 측정장치로는 K-타입 열전대를 사용하였다. 전극으로는 구리봉 2개가 사용되었으며, 두 전극 사이에는 히터 역할을 하는 니크롬

와이어가 연결되었다. 두 전극은 전원공급장치에 연결되어 와이어 히터에 파워를 공급하여 열을 발생시킨다. 실험의 관찰은 고속카메라를 통해 이뤄지며 반사판을 수조 뒤에 위치시킨 뒤 정면에서는 고속카메라용 조명을 작동시킨 뒤 고속카메라로 정면을 바라보는 형태로 배치해 관찰한다.

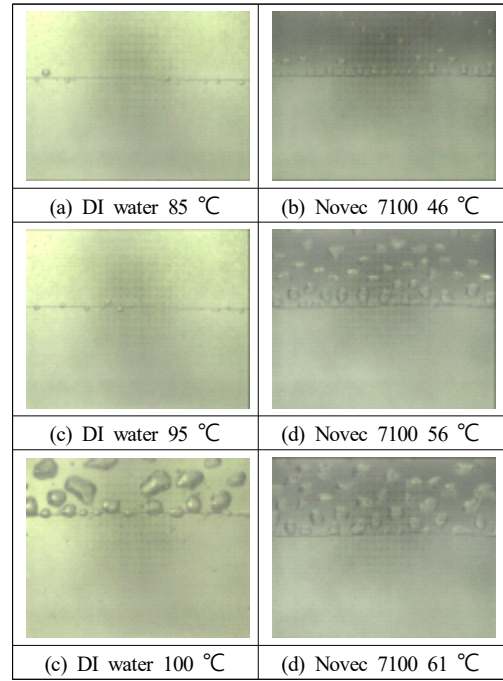
실험은 DI water에 대해 먼저 진행한 후, 이에 맞춰서 Novec 7100에 대해 진행하였다. 먼저 유체 속 용존산소를 제거하기 위해 수조의 덮개를 개봉한 상태에서 포화 온도까지 핫 플레이트로 가열한 뒤 포화 온도에 도달해 유체가 끓기 시작하면 약 40분간 온도를 유지시킨 후 덮개를 덮어 실험을 시작한다. 실험이 시작되면 포화 온도를 핫 플레이트로 유지시키면서 와이어에 전류를 가해 히터 와이어에 열을 발생시켜 그 주위의 기포거동을 고속카메라를 통해 관찰했다. 고속카메라로 관찰이 끝나면 작동유체를 5도, 15도씩 과냉시킨 후 전류를 공급하여 비등 현상의 변화를 촬영한다. 중요한 점은 DI water에 적용된 전류와 전압을 Novec 7100에도 동일하게 적용해야 한다는 것이다. Novec 7100의 경우 포화온도인 61도, 과냉 조건인 51도와 46도에서 비등을 관찰하였다.



[그림 1] 풀 와이어 보일링 실험의 기구 배치 형상

3. 결과분석 및 토의

그림 2는 앞서 언급한 포화온도 및 5도, 15도의 과냉조건에서 DI water와 비전도성 유체인 Novec 7100에 대해 풀 와이어 비등 실험 진행하면서 고속카메라를 통해 촬영한 결과이다.



[그림 2] 고속카메라를 통한 실험 결과 촬영 사진

실험 결과, DI water에서의 pool boiling 현상을 관찰하였을 때, 초기에는 소수의 미세 기포가 형성되며, 이후 전력 증가에 따라 기포의 수는 증가하나 크기 변화는 미미하였다. 그러나 포화 온도에 근접함에 따라 기포 크기가 급격히 증가하는 현상을 관찰하였고, 지속적인 전력 공급으로 인해 기포의 숫자는 증가하나 그 크기는 현저히 감소하는 경향을 확인하였다. Novec 7100 또한 DI water의 비등 순서와 같이 변화하는 것을 촬영할 수 있었다. 하지만 DI water와 Novec 7100의 pool boiling 현상에 대한 비교 분석에서, DI water는 초기에 형성되는 기포 수가 적으며 점차 증가하는 경향을 보였다. 이에 반해, Novec 7100은 46도의 과냉각 상태에서도 포화 도달 시 DI water에서 관찰된 기포의 크기에 상응하는 큰 기포를 형성하는 것이 확인되었다. 이러한 차이는 Novec 7100의 잠열이 DI water보다 작기 때문에, 과냉각 조건에서 발생한 기포가 와이어에서 분리되어 상승할 때 DI water에 비해 상대적으로 적게 응축되어 와이어의 상단부에서 더 크고 많은 기포들이 유지되는 현상을 유발한 것이다. 기포가 와이어를 떠나는 속도의 차이의 경우 Novec 7100이 더 빨랐으며 이는 Novec 7100이 잠열이 뿐만 아니라 DI water보다 표면장력이 0.0136N/m로 훨씬 더 작은 것이 원인으로 추정된다.

4. 결론

본 연구에서 비전도성 유체의 특성을 파악하기 위해 풀 와이어 보일링 실험을 진행하였고, 이를 통해 Novec 7100의 물성치를 확인하였다. 그 결과 Novec 7100은 DI water와 비교

하여 상대적으로 낮은 온도에서도 활발한 비등 현상을 나타내며, 이는 Novec 7100이 DI water보다 열적 성능이 떨어진다는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 Novec 7100이 전기를 전도하지 않는다는 점을 주목한다면 충분히 연구 및 사용 가치가 있다는 것을 알 수 있다.

이번 실험은 Novec 7100과 DI water 간의 명확한 차이점을 탐색하는 것에 초점을 맞췄으며, 그 과정에서 실험의 단순화로 인한 한계점을 인지하였다. 이러한 한계를 극복하고 보다 정밀한 분석을 위해, 추가 실험이 요구된다. 향후 연구 계획에는 기포 거동과 비전도성 유체의 임계열유속(Critical Heat Flux, CHF)에 대한 보다 상세한 조사가 포함될 예정이다.

참고문헌

- [1] 김재광, 송진호, 김신, 김상백, 김희동, “수직면에서 비등 열전달에 대한 실험적 연구”, 대한기계학회논문집, 제 25 권 9호, pp. 1237-1244, 1월, 2001년.
- [2] Peter Vassallo, Ranganathan Kumar, Stephen D’Amico “Pool boiling heat transfer experiments in silica - water nano-fluids”, International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 47, pp 407-411, Issue 2, January 2004.
- [3] Abdul Najim, Vasudha More, Aarti Thorat, Sahil Patil, Sanket Savale, “Enhancement of pool boiling heat transfer using innovative non-ionic surfactant on a wire heater”, Experimental Thermal and Fluid Science, Volume 82, pp 375-380, April, 2017.
- [4] Kenning, D. B. R., “POOL BOILING”, A-to-Z Guide to Thermodynamics, Heat & Mass Transfer, and Fluids Engineering, February, 2011.