



적외선 열화상 기술을 이용한 마이크로 채널 열교환기의 진단 감시 현황

이준수, 김지훈, 이영준, 김주형*
(인하대학교)

1. 머리말

첨단 기술의 발달로 MEMS 기술은 산업 분야의 큰 성장을 이끌어 왔고 NEMS 등을 거치며 최근까지도 많은 분야에서 사용되고 있다. 이러한 소형가공기술은 다양한 분야에 적용이 가능하며 그 중에서 1 mm 이하의 핀을 가지는 소형 마이크로 채널 열 교환기의 가공 및 개발에 적용되어, 소형 가전제품 및 냉열제어 기계류에서 중요한 역할을 한다. 하지만 소형 열 교환기의 성능을 측정하는 것은 소형 측정 장치를 사용해야하는 어려움을 동반한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 적외선 열화상 기법은 소형 열 교환기의 성능과 마이크로 채널 안에서 흐르는 액/기체 냉매의 열적 특성을 수치화하여 시뮬레이션 결과와 비교를 통해 소형 장치의 신뢰성을 이해하는 것에 유용하다. 따라서 다양한 분야에서 사용되고 있는 소형재료가공품 및 소형기계의 열적 특성 연구는 적외선 열화상 기법을 적용하여 비접촉식, 비관입식과 같은 다양한 측정방법을 제시할 수 있으며 이 글에서는 적외선 열화상 기술을 이용한 마이크로 채널 열교환기의 진단 감시 현황에 대해 소개하고자 한다.

2. 적외선 열화상 기술을 이용한 열교환기의 진단 감시 현황

그림 1은 1 mm 이하의 핀을 가지는 마이크로

채널 증발기 안에서 냉매의 열적 특성을 적외선 열화상 기법을 통하여 얻은 값과 시뮬레이션 값을 비교하고 두 값을 수치화하였다⁽¹⁾. 이 그래프를 통해 아래의 시뮬레이션 이미지와 위의 적외선 열화상 기법으로 촬영한 이미지가 $\pm 5\%$ 의 오차를 보이고 있어 실제 두 데이터는 매우 흡사하다.

적외선 열화상 기법은 카메라를 통해 보는 이미지 안에서 원하는 정보를 쉽게 얻을 수 있다. 미국의 Hanfei의 실험(그림 2, 왼쪽)에서처럼 작동유체가 흐르고 있는 소형 장치에서 원하는 각각의 튜브 #8과 #12의 열적 특징을 실시간으로 정확하게 측정이 가능하다⁽²⁾. 그리고 그림 2(오른쪽)처럼 적외선 열화상 카메라의 전면 렌즈를 교체함으로써 유체의 흐름 또한 측정이 가능하다⁽³⁾.

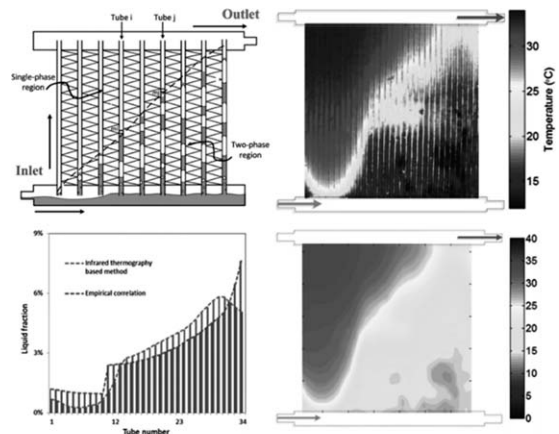


그림 1 적외선 열화상 기법(위)과 시뮬레이션(아래) 이미지⁽¹⁾

* E-mail : joohyung.kim@inha.ac.kr

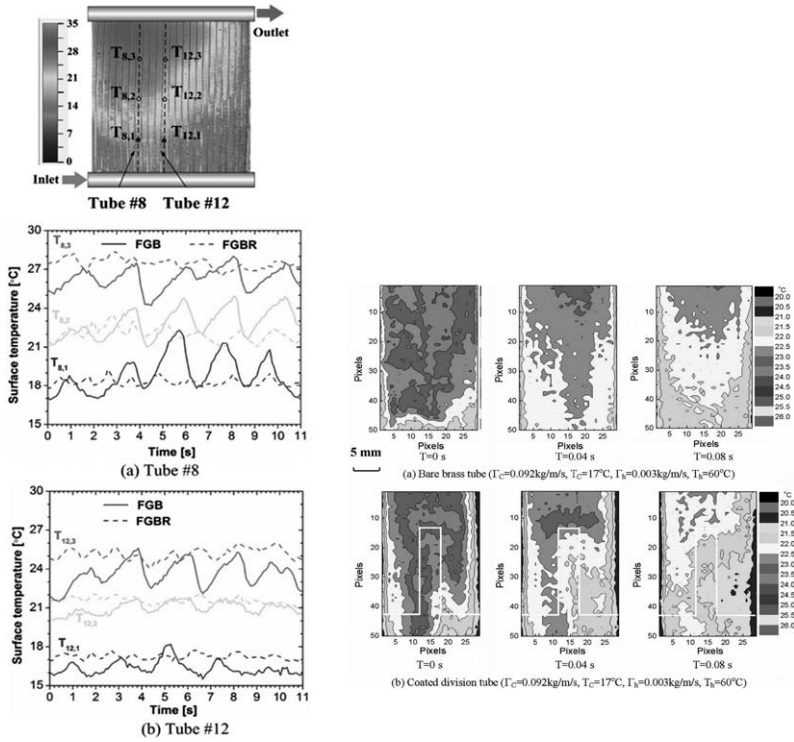


그림 2 작동 중인 소형 장치의 열적 특성^(2,3)

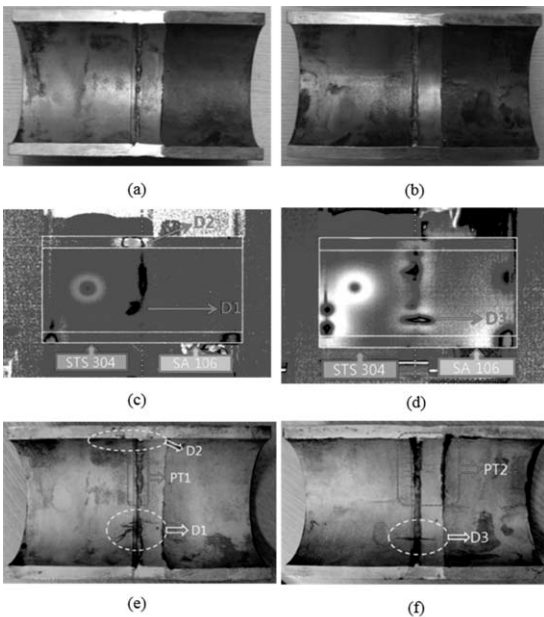


그림 3 파이프 내부의 결함 단면 이미지⁽⁴⁾

적외선 열화상 기법은 파이프 내부에 눈에 보이지 않는 마이크로 사이즈의 결함을 찾을 수 있다. 더욱이 내부에서 생성되는 결함과 누설 부분

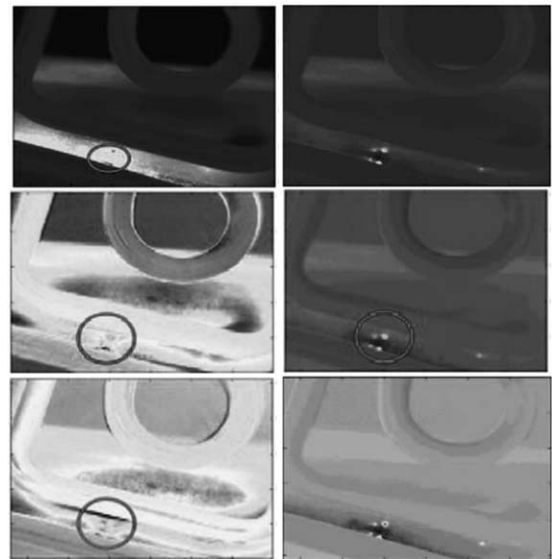


그림 4 온도 범위 조절을 이용한 결함 확인⁽⁵⁾

은 눈으로 확인하는 것이 어렵고 빠른 속도와 높은 압력이 파이프 내부에 존재한다면 정확히 확인하기 어려워진다. 마이크로 크기의 결함 문제는 그림 3과 같이 모의 테스트를 통해 확인이 가

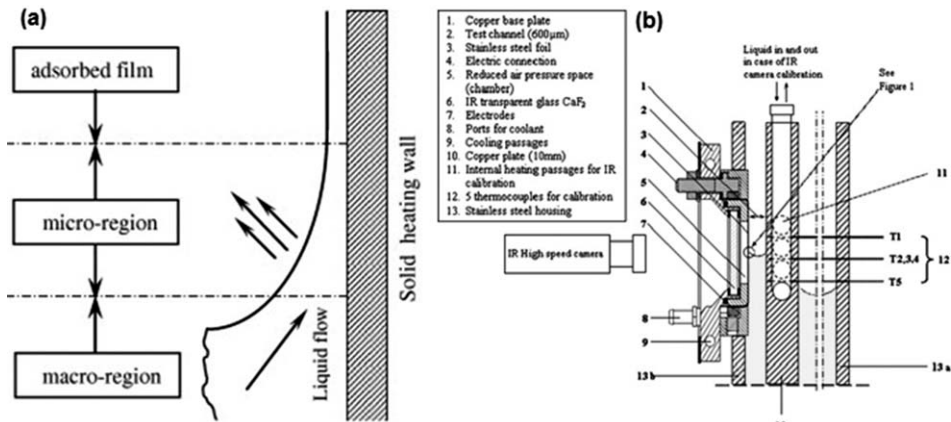


그림 5 3상 열전달특성 평가를 위한 채널과 메니스커스의 구성

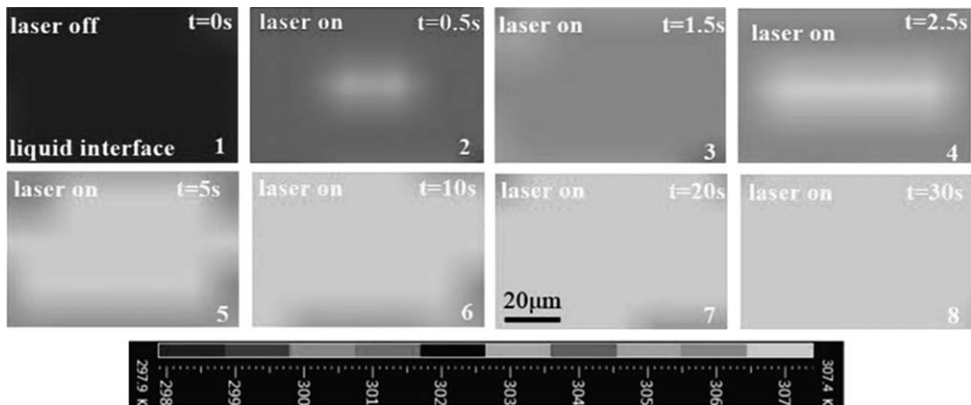


그림 6 IR 레이저 가열 시간에 따른 온도 변화 이미지

능하다. 상단 이미지처럼 눈으로 마이크로 결함을 확인하는 것은 쉽지 않지만 적외선 열화상 기법을 적용하면 중앙 이미지와 같이 내부의 결함을 쉽게 확인할 수 있다⁽⁴⁾.

그리고 그림 4와 같이 온도 범위를 조절하여 붙어있는 두 개의 배관이나 곡선으로 휘어진 파이프 내외부에 생기는 점모양의 결함을 확인할 수 있다⁽⁵⁾. 또한 외부에 설치된 열 교환 장비에서 작은 파이프의 결함과 태양열 열에너지 장치의 오작동도 확인할 수 있다.

대부분의 마이크로 채널 열교환기 구조는 일반적으로 히트펌프에 사용 된다. 마이크로 채널 열교환기의 감소된 채널의 크기와 열 유속의 밀도 증가로 인해 발생하는 역방향 흐름과 비등현상은 마이크로 열 교환기에서 매우 중요한 문제로 대두되고 있다. 이러한 현상을 줄이기 위해 마이

크로 채널 열교환기의 성능에 대한 잠재적 영향의 모니터링이 요구되어 진다.

일반적으로 마이크로 채널 열교환기의 유체의 역방향 흐름과 불안정한 보일링 현상은 마이크로 채널 열교환기의 성능을 저하시킨다. 이러한 마이크로 채널의 유동의 패턴과 열전달 특성을 조사하기 위해 주로 비디오 습득장치와 열전대가 사용되어 온도 데이터를 측정하였다. 이는 열적 손실을 초래하거나 실험분석에 다소 제한을 받을 수 있다.

독일의 P. Stephan은 마이크로 스케일의 열과 질량의 유동현상을 이해하기 위해 적외선 열화상 카메라를 사용하였다⁽⁶⁾.

검사체는 두개의 평행하는 10 µm 두께의 스테인레스 스틸의 히팅호일을 사용하여 폭 60 µm의 수직 채널을 만들었다.

액체-기체 2상의 매니스커스는 모세관력으로 인해 플레이트 사이에서 형성되었으며, 정상상태에서 채널 안에서 유체가 증발되었다. 이 때 히팅호일 뒷면을 열화상 카메라로 관찰하였고 히팅으로 증발하는 매니스커스의 국부적인 열 흐름은 열화상 카메라의 각 픽셀 요소에 에너지 방정식을 사용하여 측정된 값으로 계산되었다. 이렇게 열화상 카메라의 측정값에 여러 수식을 적용하여 쉽게 측정하지 못하는 결과도 적외선 열화상 기술을 이용하면 분석이 가능하다.

중국의 Rong Chen 역시 매니스커스 증발의 특성을 이해하기 위해 적외선 열화상 기술을 사용하였다⁷⁾.

T형상 모양의 마이크로 채널은 끝 부분이 개방되도록 PDMS로 만들어졌으며 두 개의 PDMS의 레이어로 구성되었다. 마이크로 채널의 끝 부분에서 1550 nm의 적외선 레이저 광열효과에 의한 매니스커스의 증발을 화상처리기법으로 측정하였고 표면의 온도는 적외선 열화상 카메라로 측정하였다. 이 결과로 온도 변화와 분포, 증발률까지 관찰할 수 있다.

3. 맺음말

현재 흔히 사용되고 있는 측정 평가 기술에는 새로운 평가 방법들이 필요하다. 기존의 측정 방식들은 접촉형 방식이 대부분이라 열적 손실을 가져올 뿐만 아니라 측정 및 분석에 어려움을 가져올 수 있다. 하지만 적외선 열화상 기술을 이용하면 시스템의 성능에 영향을 미치지 않고 측정 평가가 가능하다.

또한 최근에 대두되는 안전사고를 방지하기 위해 사전안전검사는 매우 중요하다. 만약 위험을 사전에 확인할 수 있다면, 산업분야에서의 불량 감소와 인명 피해 감소 등의 많은 혜택을 가져올 것으로 기대된다. **KSNVE**

참 고 문 헌

(1) Bowers, C. D., Wujek, S. S. and Hrnjak, P. S.,

2010, Quantification of Liquid Refrigerant Distribution and Effectiveness in Microchannel Heat Exchangers Using Infrared Thermography, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 78, pp. 410~418.

- (2) Tuo, H. and Hrnjak, P., 2014, Effect of Venting the Periodic Reverse Vapor Flow on the Performance of a Microchannel Evaporator in Air-conditioning Systems, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 69, pp. 66~76.
- (3) Wang, Q., Ma, X., Lan, Z., Chen, J. and Bai, T., 2012, Experimental Study on Mixing Effect of Falling Film on Coated Division Tube by Thermal Tracing Technique, *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 38, pp. 165~170.
- (4) Park, H., Choi, M., Park, J. and Kim, W., 2014, A Study on Detection of Micro-cracks in the Dissimilar Metal Weld Through Ultrasound Infrared Thermography, *Infrared Physics & Technology*, Vol. 62, pp. 124~131.
- (5) Gao, B., Bai, L., Woo, W. L., Tian, G. Y., Cheng, Y., et al., 2014, Automatic Defect Identification of Eddy Current Pulsed Thermography Using Single Channel Blind Source Separation, *Instrumentation and Measurement*, Vol. 63, No. 4, pp. 913~922.
- (6) Ibrahim, K., Abd Rabbo, M. F., Gambaryan-Roisman, T. and Stephan, P., 2010, Experimental Investigation of Evaporative Heat Transfer Characteristics at the 3-phase Contact Line, *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 34, No. 8, pp. 1036~1041.
- (7) Xu, Q., Chen, R., Wang, H., Zhu, X., Liao, Q. and He, X., 2015, IR Laser Induced Meniscus Evaporation from a Microchannel, *Chemical Engineering Science*, Vol. 130, pp. 31~40.