

유동고온공기에 의해 유인되는 수평평판 액막류의 열전달에 관한 실험적 연구

박재현* , 박상균* , 윤석훈** , 오 철** , 김명환**

An Experimental study on Heat Transfer Characteristics of Horizontal Liquid Film Driven by Hot Wind

J.H. Park, S.K Park, S.H. Yoon, C. Oh, M.H. Kim

*한국해양대학교 대학원 기관시스템공학부

** 한국해양대학교 기관시스템공학부

Abstract : This study is to provide the experimental information and basic data on heat transfer characteristics of horizontal liquid film driven by hot wind. Heat transfer characteristics of the liquid film in the rectangular duct was observed and the change of film temperature was measured. The experiments were carried out for a variety of parameter, such as feed water rate and velocity and temperature of feed air. From the observation and the measurement the general understanding of heat transfer characteristics for liquid film driven by hot wind was provided.

Keywords : Desuperheater, Horizontal Liquid Film, Heat Transfer Coefficient, Rectangular Duct, Hot Wind

1. 서론

고온 고압의 과열증기를 가열용으로 사용할 경우 포화증기에 비하여 열전달 효과가 극히 나쁘기 때문에 과열증기를 소정의 온도로 감열시켜서 포화증기로 전환시킨 다음, 응축되면서 발생하는 상변화 에너지를 일반적으로 이용한다. 이때 가열 목적의 유용성에 부합하도록 과열증기를 포화증기로 변환시키는 장치를 감열기(Desuperheater)라 한다. 감열기는 석유화학 시설 및 스팀 동력원이 필요로 하는 많은 플랜트에서 잉여의 과열증기를 가열 목적으로 사용하기 위하여 빈

도 있게 채택되고 있다. 그러나 그 유동과정 및 열·물질전달에 대한 체계적인 연구는 부족한 실정으로 고효율을 요구하는 최근의 감열기 설계에 많은 어려움이 있어 왔다. 특히, 수요의 증가에도 불구하고 국내에서 감열기와 관련하여 연구가 수행된 사례를 찾기 어렵다.

이러한 감열기를 효과적으로 설계하고 제작하기 위해서는 감열기 내의 유동특성과 열·물질전달 메카니즘의 파악이 최우선적으로 요구된다. 따라서, 본 연구에 앞서 관내 분무액적의 유동특성에 관한 실험적 연구가 수행되어 아래와 같은 감열기 내의 액적 유

동 메카니즘을 규명하고 있다.

Fig. 1은 선행 연구를 통해 확인된 유동특성을 바탕으로 하여 감열기 내의 액적의 유동 및 과열증기와와의 열전달 현상을 예측하여 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 유동영역은 크게 이상류역(Tow phase flow) 및 단상류역(One phase flow)으로 구분된다. 세부적으로는 노즐전단에 해당하는 과열 증기 단상류역, 노즐에서 분무되는 액적과 과열증기가 혼합되어 흐르는 분무혼합역, 분무된 액적의 일부가 벽면에 부착하여 액적군과 함께 유동하는 환상 분무류역, 벽면의 액막류가 소멸된 후 액적군 유동만이 존재하는 분무류역, 액적의 증발이 완료된 후의 흐름인 포화증기 또는 낮은 과열도의 단상류역으로 나누어진다. 아울러 열전달 영역은 노즐에서 분무된 액적을 포화온도까지 가열하는 현열교환 영역과 그 후 액적이 증발하는 잠열교환 영역으로 나눌 수 있다. 그러나, 현열교환은 직경이 대단히 작은 분무액적(50~200 μ m)의 표면만을 포화온도로 가열하는데 작용하며, 대부분의 급수는 노즐에서 분무되기 전에 포화온도로 가열시키는 경우가 많으므로 현열교환 영역은 노즐 후단의 매우 짧은 구역으로 한정될 것으로 사료된다. 노즐에서 분무된 직경이 작은 분무액적들은 과열증기와 혼합되어 흐르면서 과열증기는 포화증기로 감열된다. 이와 같은 액적 유동과 열전달 양식으로 부터 감열기에서는 액적의 증발현상 및 액적의 벽면 부착에 따른 제반 거동이 대단히 중요하게 작용할 것으로 평가된다.

여기에서 액적 벽면부착에 의한 액막류의 형성은 분무된 액적의 재결합 즉 액적 외표면적(전열면적)의 급격한 감소를 초래한다. 그러나 감열기의 유동특성상 액막류의 흐름은 존재하게 되며 액적으로의 열전달과 아울러 액막류로의 열전달은 감열기의 중요한 열이동을 구성하게 된다.

이러한 감열기를 효과적으로 설계하고 제작하기 위해서는 감열기내 열이동의 중요한 구성요소인 액막류 열전달에 관한 자료가 요구되나 이를 지원하는 국내외의 자료는 부족한 실정이다. 따라서, 본 연구는 감열기의 개발과 설계기술의 확립에 있어서 요구되는 감열기 내의 액막류 열전달 특성에 대한 기초 자료를 확보하기 위하여 유동고온공기에 의해 유인되는 수평평판 액막류의 열전달특성과 열전달계수에 미치는 액막유량, 급기 온도 및 유속의 영향을 실험적으로 검토하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

Fig. 2.1과 Fig. 2.2에 본 시험장치의 계통도와 전경을 나타내고 있다. 그림에 나타난 바와 같이 실험장치는 덕트의 하부면에 수평 액막류를 형성하고 급기와 액막류 간의 열전달특성을 관찰하고 측정하는 시험부, 급기 유속과 온도를 조절하는 가열송풍기부, 시험부에 공급되는 급수의 유량과 온도를 조절하는 항온조, 팽창탱크 및 유량계로 구성되어

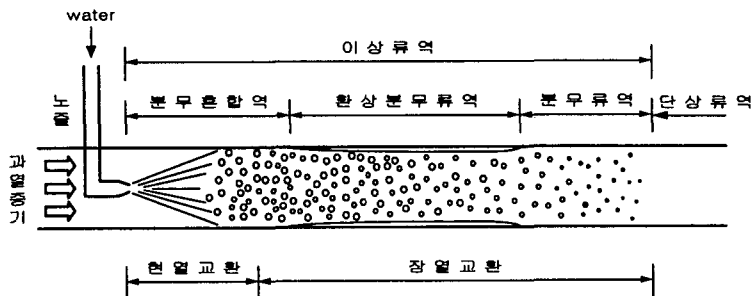


Fig. 1 Characteristic of flow and heat transfer in the desuperheater

있다. 시험부는 유동현상을 관찰할 수 있도록 투명 아크릴로 제작된 정사각모양의 덕트(0.07m x 0.07m x 1m)이며, 유량계를 통과한 일정조건외 급수는 덕트 입구의 하부에서 공급되고 유동 공기에 동반되어 하류로 액막류를 형성하며 흐른다. 덕트의 하부표면에는 액막류의 온도를 측정하기 위한 C-A열전대가 5cm 간격으로 부착되어 있으며 상부에도 유동공기 온도 측정을 위한 C-A열전대가

20cm 간격으로 부착되어 있다. 또한 덕트의 하부에는 친수성이 강한 얇은 종이를 도포하여 균일한 액막류를 형성하도록 하였다. 급기 유속과 온도를 조절하는 가열송풍기부는 송풍기와 가열기로 구성되어 있다. 본 실험에서는 가능한 물질전달량을 억제하기 위하여 덕트 입구 급수의 온도를 급기 노점과 같도록 항온조의 온도를 조절하였다. 그리고 급수량을 일정히 유지하기 위하여 팽창탱크를 설치하여 수두압 조절로 급수량을 제어하고 유량계로 확인하였다.

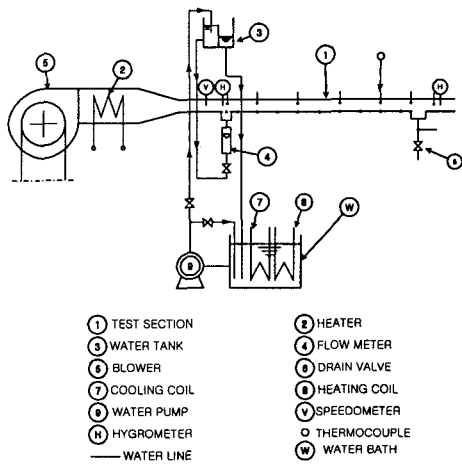


Fig. 2.1 Schematic diagram of experimental apparatus

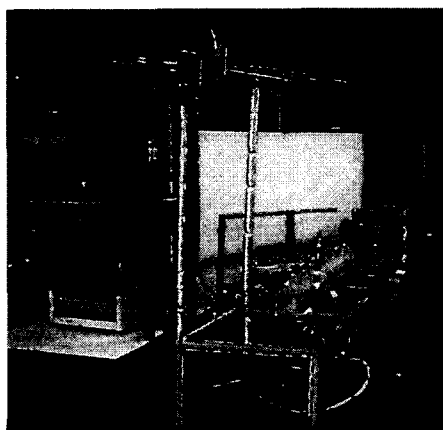


Fig. 2.2 Experiment apparatus

2.2 실험 방법 및 범위

먼저, 송풍기를 운전하여 급기의 유속과 온도를 조절한 후 소정의 온도와 유량으로 조절된 급수를 송수하여 시험부로부터 정상적인 액막류 형성의 여부를 확인한다. 본 실험에서는 덕트 하부 전면을 일정한 두께로 완전 도포하는 정상 액막류를 대상으로 하였으며, 간헐적이고 부분적인 액막류 형성에 고려는 제외하였다. 주어진 조건에서 정상적인 액막류의 형성과 액온과 풍온이 정상적인 상태임을 확인한 후 수회에 걸쳐 액·풍온, 입·출구조건을 측정하였다. 본 실험의 범위를 표 2.1에 나타내고 있다. 본 실험의 국소 열전달계수는 아래의 식으로 산출하였다. 단, 계산에 사용한 액막류의 온도로서는 측정된 온도로부터 그린 가장 근접하는 추세선의 값으로 대신하였다.

Table. 2.1 Experimental Condition

CONDITION	RANGE		
Velocity of Air (m/sec)	6	15	25
Flow Meter (L/min)	0.3	0.6	0.9
Temperature of Air (°C)	40	60	80

유동고온공기에 의해 유인되는 수평평판 액막류의 열전달에 관한 실험적 연구

그것은 유동 고온공기에 의하여 유인되는 액막류가 파상적인 형태를 취하므로써 발생하는 액온의 부분적인 변동을 보상하기 위해서이다.

$$h = \frac{Q \cdot \rho \cdot \Delta T_1 \cdot C_p}{A \cdot \Delta T_2}$$

- A = 구간별 면적(m²)
- C_p = 급수비열(J/kg · °C)
- h = 국소열전달계수(W/m² · °C)
- Q = 급수의 체적유량(m³/s)
- ρ = 급수 밀도(kg/m³)
- ΔT₁ = 액막 온도차(°C)
- ΔT₂ = 공기와 액막의 온도차(°C)

3. 실험결과 및 고찰

3.1 수평 평판 액막류 열전달의 특성

Fig. 3.1은 풍속 25 m/sec, 급수량 0.6 l/min, 풍온 80°C에 대한 액막류 열전달 특성을 나타낸 것이다. 그림에서 실험구간을 통하여 풍온의 변화는 거의 없는 반면, 액온은 입구영역에서 크게 증가하다가 곧

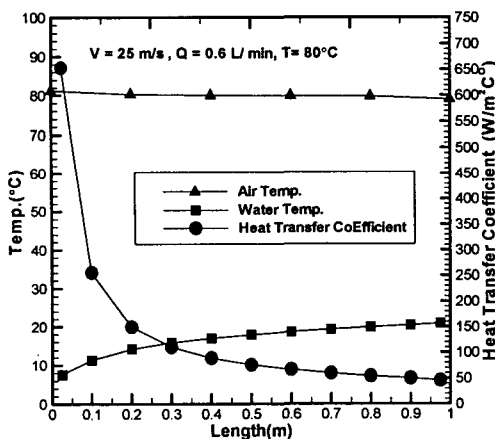


Fig. 3.1 Heat Transfer Characteristic

완전히 상승하는 경향을 보이고 있다. 따라서, 열전달계수는 초기구간에서 비교적 큰 값을 나타내며 그 이후 급격히 감소하다가 완만하게 줄어드는 특성을 보이게 된다. 액막류의 초기구간에서 액온 상승 및 열전달계수가 크게 나타나는 것은 액막류와 유동공기 사이에서의 상대 속도가 하류보다 초기구간에서 크게 되기 때문으로 생각된다

3.2 액막유량의 영향

Fig. 3.2는 액막류 열전달계수에 미치는 액막 유량의 영향을 나타낸 것으로 열전달 계수의 변화 경향은 전술한 바와 같이 초기에 급격히 강하 후 완만히 감소하는 추세를 보여준다. 그림으로부터 액막류 열전달계수는 액막 유량의 증가와 함께 다소 증가하는 경향을 보이고 있으나 그 영향은 그다지 크지 않은 것으로 판단된다.

3.3 급기 온도의 영향

Fig. 3.3은 액막유량 0.9 l/min, 풍속 25 m/sec에서 급기 온도가 액막류 열전달계수에 미치는 영향을 나타낸 것으로 풍온의

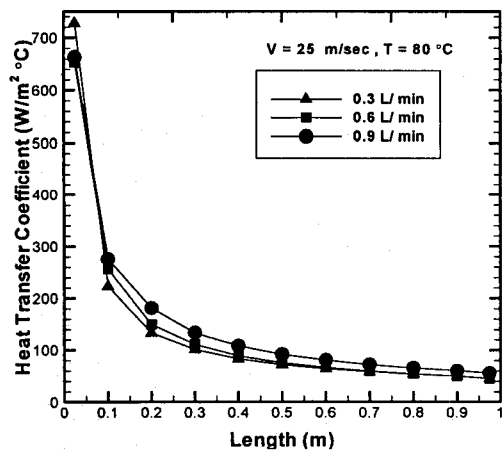


Fig. 3.2 Effect of feed water rate on heat transfer coefficient

영향은 그다지 크게 작용하지 않는 것으로 보인다.

3.4 급기 유속의 영향

Fig. 3.4는 급기 유속이 액막류 열전달계수에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 그림으로부터 급기 유속의 증가와 함께 액막류 열전달계수의 변화가 전술의 경우에 비해 현저하게 구

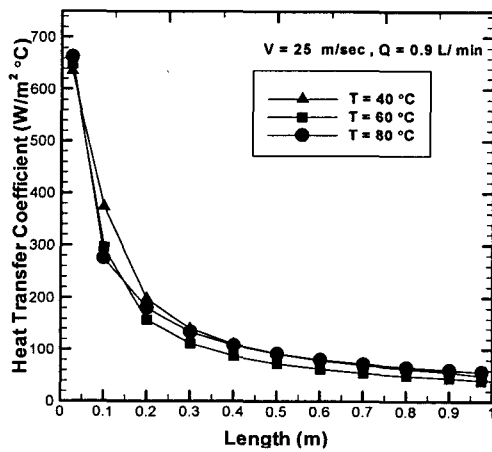


Fig. 3.3 Effect of air temperature on heat transfer coefficient

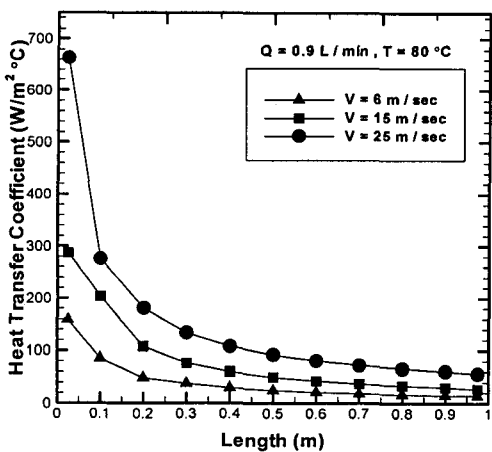


Fig. 3.4 Effect of air velocity on heat transfer coefficient

별되며 또한 그 값의 증가를 볼 수 있다. 이것은 급기 유속의 증가와 함께 액막류와의 사이에서 발생하는 상대적인 속도차가 증가하여 열전달을 촉진시키기 때문으로 사료된다.

4. 결론

유동 고온공기에 의해 유인되는 수평평판 액막류의 열전달에 관한 실험적 연구를 통하여 액막류 열전달의 특성을 규명하고 급기 온도, 액막 유량, 급기 유속이 액막류 열전달계수에 미치는 영향을 검토하였다. 그 결과 본 연구의 실험범위 안에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 급기와 액막류간의 상대속도가 큰 초기 구간에서 액온은 크게 증가하다가 곧 완만히 상승하는 경향을 보이며 아울러 열전달계수도 초기구간의 비교적 큰 값에서부터 급격히 감소하다가 완만하게 줄어드는 특성을 나타낸다.
- (2) 액막 유량의 증가와 함께 액막류 열전달계수도 증가하나 그 영향은 크지 않다.
- (3) 액막류 열전달계수에 미치는 공기온도의 영향은 적으나 공기유속의 영향은 지대하게 나타난다.
- (4) 공기유속의 증가와 함께 액막류 열전달계수는 크게 증가한다.

후 기

본 연구는 산업기반기술개발사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) 박대식, 최혁준, 박상균, 김명환, 오철, 윤석훈, “관내 분무액적의 유동 특성에 관한 실험적 연구”, 한국박용기관학회 춘계학술대회, 2002. 5
- (2) 金武煥, 金秉宙, 李相龍 共著, “二相流動

- 熱傳達”, 大英社, 1993.
- (3) M. Necati Ozisik, “열전달”, 보성출판사, 1996
- (4) Yunus A. Cengel, “Heat Transfer - A Practical Approach” McGraw-Hill (김유의 5명 번역, 교보문고, 1999.
- (5) 이광원, 김무환, 장순홍, “원자력공학에서 2상유동의 연구현황”, 대한기계학회 논문지 제30권 제4호, pp. 341~357, 1990.
- (6) 김병주, “이상유동의 해석적 모델링”, 대한기계학회 논문지 제30권 제4호, p. 322~339, 1990.
- (7) 강희찬, 김무환, “막응축 열전달에서 공기-수증기 혼합기체의 속도 및 온도 분포”, 대한기계학회 논문지 제18권 제10호, pp. 2675~2685, 1994.
- (8) 이상용 “2상 유동의 연구개요”, 대한기계학회지. 제 30권 제4호 p.310~321, 1990.
- (9) 전문헌, 백주석, 박종률 “An Experimental Investigation of the Effect of the Entrance Shape of Sudden Contraction on Single and Two-Phase Pressure Drop in Horizontal Air-Water Flow”. Journal of the Korean Nuclear Society volume 21. Nimbery, June, 1989.
- (9) 한창섭 “대체 냉매용 자동차 에어컨에서 고성능 용축기의 성능특성” 대한기계학회지. 제33권 제 11호, 1993년.
- (10) 김창년, 박영석 “Investigation of Vapor - Liquid Equilibrium of HFC-32/143a and HFD-143a/134a Sstems” 공기조화·냉동공학 논문집 제 11권 제 1호 pp.91-99, 1999.
- (11) 김창년, 송준석, 이은호, 박영무, 유재석, 김기현 “Investigation of Vapor-Liquid Equilibrium and Miscibility for R-140a/poe Oil Mixtures” 설비공학 논문집 제12권 제6호 pp.589-598, 2000
- (12) Collier, J. G., 1980, “Convective Boiling and Condensation”, 2nd. Edition, McGraw - Hill International Book Company.
- (13) 植田振洋(Ueda Tatsuhiko) “氣液二相流 養賢堂, 1981.