

## 가열된 고체표면에 부착된 단일 액적의 증발냉각

유갑종<sup>†</sup> · 방창훈\* · 김정수\*\*  
 (2000년 10월 24일 접수, 2001년 4월 4일 심사완료)

### Evaporation Cooling of Single Droplet on a Heated Solid Surface

Kap-Jong Riu, Chang-Hoon Bang and Jung-Soo Kim

**Key Words:** Evaporation Cooling(증발냉각), Single Droplet(단일액적), Low-Energy Surface(저에너지 표면), Time-Averaged Heat Flux(시간평균열유속)

#### Abstract

The characteristics of evaporation cooling of single droplet on a heated surface were studied experimentally. The two kinds of heater modules were tested to measure cooling characteristics of metal surface (high conductivity) and Teflon surface (low-energy surface, low conductivity). The results showed that time averaged heat flux during droplet evaporation increased exponentially with initial surface temperatures of brass, copper and steel. The heat flux and evaporation time did not varied with metal conductivities. However, the temperature drop after the deposition of droplet was larger on Teflon than on the metals. Thus, the correlation of interface temperature between liquid droplet and metal surface was proposed as a function of the initial surface temperature of heating materials, which could be applied to both metal and non-metal ones.

#### 기호설명

- $C_p$  : 비열 [J/kg °C]
- $d$  : 직경 [mm]
- $q$  : 시간평균 열유속 [kW/m<sup>2</sup>]
- $r$  : 반경 [mm]
- $T$  : 온도 [°C]
- $t$  : 시간 [sec]
- $k$  : 비열비 [-]
- $\rho$  : 밀도 [kg/m<sup>3</sup>]

#### 하첨자

- $l$  : 액적
- $l/s$  : 고체표면과 액적의 간섭면
- $o$  : 초기값
- $s$  : 고체표면
- $t$  : 총 증발기간

#### 1. 서론

오늘날 도시화로 인하여 건축물의 대형화와 밀집화가 진행되고 있다. 이에 따라 화재의 발생건수도 계속적으로 증가하고, 화재로 인한 인명 및 재산의 피해 규모도 매년 증가하고 있다.<sup>(1)</sup>

소화제로서의 경제성과 편리성 때문에 물을 가장 많이 사용하고 있는 실정이다. 물을 사용한 소화방법에서 최소량의 물로 화재를 억제하기 위해서는 저온 영역의 가연물에 대한 증발 냉각 특성을 연구하는 것이 필수적이다.<sup>(1)</sup>

Table 1은 이러한 분야에 대한 대표적인 연구 결과를 나타내고 있다.

DiMarzo 등<sup>(2)</sup>은 액적 체적이 0.1~0.5 $\mu$ l이고, 표면온도가 75~100°C일 때, 물을 증발유체로 하여 표면온도에 따른 증발시간, 증발체적, 국소 열유속 등을 실험적 및 수치해석적 연구를 수행하였다. Klassen 등<sup>(3)</sup>은 액적 체적이 10~50 $\mu$ l이고, 표면온도가 100~165°C일 때, Marco(볼투명 유리와 비슷한 물질)표면에 놓인 단일 물 액적의 증발냉

<sup>†</sup> 책임저자, 회원, 경북대학교 기계공학부  
 E-mail : kjriu@knu.ac.kr  
 TEL : (053)950-5571 FAX : (053)957-4994

\* 회원, 경북전문대학, 소방안전과

\*\* 경북대학교 대학원

Table 1 Parameter ranges of droplet experiment

Reference	Fluid	Surface	Temperature range	Droplet volume	Method
DiMarzo <sup>(2)</sup>	water	metal	75~100°C	0.1~0.5 $\mu\text{l}$	numerical
Klassen <sup>(3)</sup>	water	marco	100~165°C	10~50 $\mu\text{l}$	experimental
DiMarzo et al. <sup>(4)</sup>	water	marco	90~180°C	10~50 $\mu\text{l}$	numerical
Abu-Zaid <sup>(6)</sup>	water	ceramic	75~200°C	10~51 $\mu\text{l}$	experimental

각 특성을 열화상 처리장치를 이용하여 실험적으로 연구하였다. DiMarzo 등<sup>(4)</sup>은 액적 체적이 10~50  $\mu\text{l}$ 이고, 표면온도가 90~180°C일 때, Marco표면에 놓인 단일 물액적이 복사장에 노출될 경우에 대한 증발냉각을 열화상 처리장치를 이용하여 실험적으로 연구하였다. 그리고 이들의 결과는 선행된 Klassen 등<sup>(3)</sup>의 결과와 비교되었다.

Tartarini 등<sup>(5)</sup>은 고체 표면에 부착된 액적의 증발냉각을 수치해석적으로 연구하였으며, Abu-Zaid 등<sup>(6)</sup>은 액적 체적이 10~51  $\mu\text{l}$ 이고, 표면온도가 75~200°C일 때, 다공질 및 비 다공 세라믹 표면에 놓인 단일 물 액적의 증발 냉각을 실험적으로 연구하였다. 실험결과로부터 액적의 증발시간은 비 다공질 고체가 다공질 고체의 경우보다 길게 나타났다. 반면 액적이 영향을 미치는 영역은 다공질 고체가 더욱 크다는 것을 밝혔다.

상기의 연구들에서는 저온 영역에서 순수 물 액적의 증발냉각에 대하여 가열 고체의 재질, 액적의 접촉각 등에 관하여 연구하였으나, 현대 생활에서 가장 많이 사용되고 있는 고분자 물질표면에서의 증발 냉각 특성에 대한 실험적 연구는 거의 이루어지지 않았다.

본 연구에서는 화재시 연소가 일어나지 않은 저온영역에서 가열고체로 작용하는 금속인 동, 황동, 탄소강을 선택하였으며, 고분자 물질로는 실생활에서 많이 쓰이는 테프론을 사용하여 실험하였다. 또한 물 액적이 고체 표면에 떨어지는 순간부터 증발이 완료될 때까지 고속 사진촬영에 의하여 액적의 증발현상을 조사하고, 고체의 내부온도를 측정하여 열전달 특성을 고찰하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

Fig. 1은 액적의 증발냉각을 위한 실험장치들을 개략적으로 나타낸 그림이다. 크게 전원공급부①, 데이터처리부②, 유량공급부③, 냉각수 제어부④,

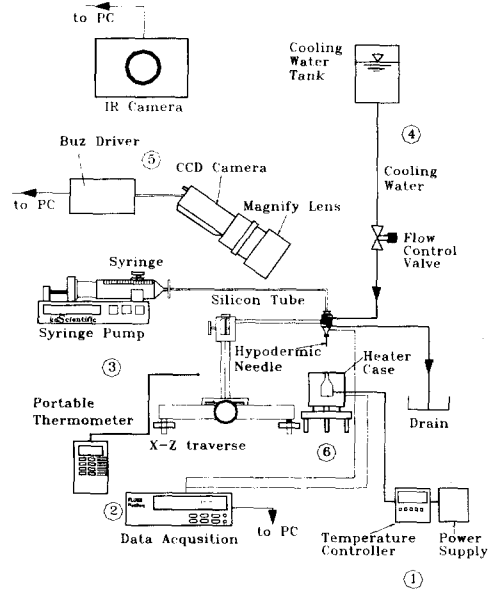


Fig. 1 Schematic diagram of over-all apparatus of droplet experiment

영상처리부⑤, 가열블록 케이스⑥으로 구성되어 있다.

전원공급부①은 온도제어기(Fuji, pxw-9)와 이 제어기로부터 출력되는 전류에 의해 구동되는 전원공급기가 있다. 한편, 데이터처리부②는 가열모듈과 액적 발생기에 부착된 K형 열전대( $\phi=0.1$  mm)의 데이터를 처리하기 위한 데이터 처리장치(Fluke, 2640A)로 구성되어 있다.

유량공급부③은 액적의 속도 및 크기를 조절하기 위한 정유량 조절기(KD scientific model 100)와 일정 온도의 액적을 발생시키는 액적 발생기 및 액적의 직경을 조절하기 위한 주사 바늘, 액적의 부착 위치를 정확하게 유지시키기 위한 위치 조절용 소형 X-Z Traverse로 구성되어 있다.

냉각수 제어부④는 액적 발생기의 온도를 제어하기 위한 냉각수 탱크와 유량 조절 밸브, 액적 발생기의 냉각용 열교환기로 구성되어 있다.

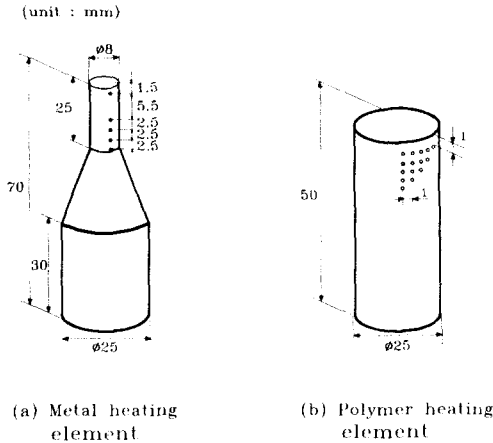


Fig. 2 Schematic diagram of metal and Teflon heating elements

영상 및 열 화상 처리부⑤는 영상처리를 위해 서 고해상도 CCD카메라와 영상처리장치(Omega)로 구성되고, 표면온도분포를 측정하기 위한 열 화상 처리장치(NEC, thermal tracer, TH3104MR)와 PC에서 처리하기 위한 영상처리 보드로 구성되어 있다. 영상처리용 CCD카메라에는 영상 확대 렌즈가 부착되었다.

가열 블록 케이스⑥은 외부 치수가 140×140×100mm이고, 이를 지탱해 주는 스탠드 위에 붙어 있다. 이 스탠드는 가열 블록 케이스를 수평으로 유지시키고 액적의 부착위치를 조정할 수 있게 설계되었다.

Fig. 2는 가열 고체의 형상과 열전대의 위치를 나타낸 그림이다. 사용된 재질에 따라 형상을 달리 만들었으며, Fig. 2(a)에서 금속의 경우 1차원적인 열전달 해석이 가능하므로 전체 길이를 70 mm로 목부분 직경이 8mm, 하부 직경이 25mm인 원통형으로 제작하였다. 열전대는 가열 고체가 금속일 때, 표면으로부터 깊이 1.5mm, 7mm, 9.5mm, 12 mm 그리고 14.5mm에 각각 5개 부착하였으며, 온도 제어용 열전대는 깊이 68mm에 1개 설치하였다.

가열 고체가 테프론일 때는 열전도도가 떨어지기 때문에 액적 아래 영역이 등온이 될 수 없다. 따라서 축대칭의 2차원 열전도를 고려하여 Fig. 2(b)과 같이 전체 길이를 50mm이고 직경을 25mm인 원통형으로 하였다. 열전대는 중심축에서 깊이 방향으로 1mm간격으로 5개를 심고, 중심축에서 반경 방향으로 1mm씩 떨어진 곳에서 깊이 방향으로 1개씩 덜 심어 총 15개를 심었다.

Table 2 Parameters and experimental ranges for droplet experiments

Surrounding & initial droplet temperature	Surrounding : 25 °C Initial droplet : 25 °C
Surface temperature	Metal : 70 ~ 116 °C Teflon : 67 ~ 108 °C
Surface material	Brass, Copper, Steel Teflon
Droplet diameter	2.4 ~ 3.0 mm

가열 고체를 가열하기 위한 히터는 240 V, 200 W인 밴드형(MBIA1AN4-B12)을 사용하였고, 히터와 가열 고체 사이의 열전도도를 증가시키고 산화를 방지하기 위하여 와트러브(Watlube, heater release and heat transfer agent)를 사용하였다. 금속의 표면은 #2000 사포로 연마한 후에 10µm의 크롬을 도금하였으나 테프론의 경우는 #2000 사포로만 연마하였다.

2.2 실험 방법 및 실험 범위

액적에 대한 단계별 실험 순서는 먼저 온도제어기의 온도를 설정하고 가열 고체의 온도가 설정온도가 될 때까지 약 1시간 전원을 공급한다. 전체 실험장치가 설치된 밀폐공간내의 온도는 25.5°C로 유지하였고, 액적의 온도도 25.5°C로 하였다. 시간에 따른 온도 변화는 열전대로 측정하고, 액적 형상변화는 CCD카메라를 이용하여 기록하였다. 액적의 직경은 표면에 떨어질 때를 촬영하여 측정하고, 이를 보정하기 위하여 각각 50방울 및 100방울을 모아 질량을 측정하였는데 ± 3% 이내의 오차를 나타냈다.

액적의 열 물성치는 Cengel<sup>(10)</sup>의 자료를 이용하였고, 실험에 사용한 물은 증류수를 100°C까지 가열하여 용존가스를 제거한 후 사용하였다.

본 실험에서 측정된 온도의 불확실도는 ± 0.25 °C이고, 제어되는 히터의 온도는 ± 0.2°C이다. 길이의 측정에 대한 불확실도는 ± 0.025mm정도이고, 질량의 불확실도는 ± 0.1mg이다. 시간의 불확실도는 1/30s이고, 최대오차는 0.17%로 나타났다. 화상 데이터의 불확실도는 ± 7µm로 나타났다. 또한 온도와 증발시부터 계산된 증발 열유속은 최대 ± 9%로 나타났다.

Table 2에 액적 실험의 변수와 범위를 요약하여 나타내었다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 표면재질에 따른 증발냉각 특성

Photo. 1은 가열 고체의 재질이 황동일 때, 가열 고체표면의 초기온도에 따른 액적의 증발 양상을 시간에 따라 촬영한 사진중의 일부이다.

사진은 각각의 가열 고체표면의 초기온도에서 액적이 부착되는 순간으로부터 증발이 완료되는 시점까지 4단계로 나누어 나타내었으며, 각 사진의 하부에는 액적의 증발단계를 나타내는 시간을 표시하였다. 즉 가열 고체표면의 초기온도가 75℃일 때 증발 완료시간은 153.6초, 93.7℃일 때 증발 완료시간은 61.3초, 103℃일 때 증발 완료시간은 39.3초이다.

가열 고체표면의 초기온도가 증가함에 따라 증발시간이 짧아짐을 알 수 있으며, 표면온도가 103℃에서 액적 접촉 후 8.7초의 사진에서 미세한 비등이 일어남을 관찰할 수 있었다.

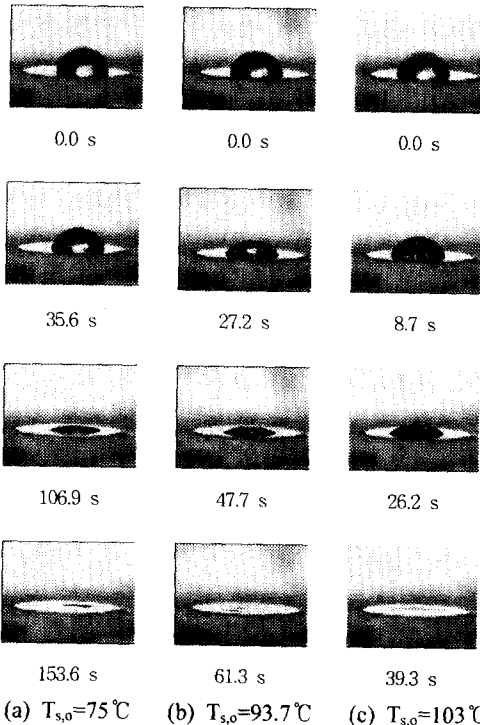


Photo. 1 Evaporation of droplets of water on brass at the initial surface temperatures (a) 75℃, (b) 93.7℃, (d) 103℃

Fig. 3은 액적 직경이 3.0mm, 가열 고체의 재질이 황동일 때, 액적 부착 후 시간에 따른 온도 변화를 나타낸 그림이다. 온도 측정 위치는 접촉면에서 깊이 방향으로 고체 표면의 중심점에서 1.5mm, 7mm, 9.5mm, 12mm, 14.5mm이다.

증발기간은 액적이 부착된 후 액적이 완전히 증발하여 고체표면에서 물의 흔적이 완전히 없어지는 상태까지 측정된 시간으로 정의하고 있으며, 이후 고체표면의 온도가 다시 최초상태로 돌아오는 시간을 회복기간으로 정의하였다.<sup>(2,8,9)</sup> 그림에서 표시된 증발기간과 회복기간은 사진촬영으로 판독한 값이다.

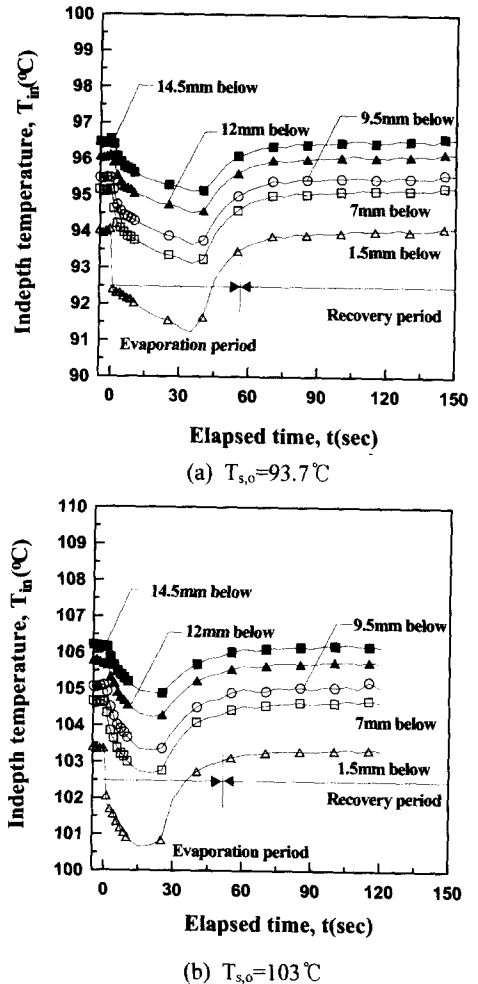


Fig. 3 In-depth temperature variation of brass versus elapsed time for a 3.0mm water droplet [(a)  $T_{s,o}=75^\circ\text{C}$ , (b)  $T_{s,o}=103^\circ\text{C}$ ]

Fig. 3(a)는 가열 고체표면의 초기온도가 93.7 °C일 때의 온도변화를 나타낸 그림이다.

고체 내부의 온도는 액적 부착시 급격히 하락한 후, 서서히 감소하여 최소값에 도달한 후 증가하여 가열 고체표면의 초기상태로 회복되고 있다. 초기 급격한 온도감소가 발생하는 것은 액적이 부착된 후 고체표면이 액적에 의하여 냉각되어 나타나는 현상이며, 이후 액적의 증발에 의하여 고체표면은 지속적으로 냉각되어 최소값을 나타낸다. 다시 온도가 상승하는 현상은 액적의 증발이 거의 완료되어 액적에 의한 냉각효과가 없어지고 고체 주변 영역으로부터의 전도열전달로 인하여 표면온도가 상승하기 때문이다.

고체 표면에서부터 내부로 깊어질수록 온도 변화는 거의 비슷한 성향을 나타내고 있으나, 온도 변화의 폭은 다소 작게 나타났다.

Fig. 3(b)는 가열 고체표면의 초기온도가 103 °C일 때를 나타낸 그림이다.

전체적인 성향은 Fig. 3(a)와 유사하나, 초기 표면의 온도가 증가함에 따라 고체 내부의 온도는 조금 더 감소하며 액적의 증발시간도 짧아지고 있다. 이는 액적의 온도와 고체의 표면온도 차이가 커져서 열전달이 더욱 증가하기 때문이다.

Fig. 4는 액적 직경이 3.0mm, 가열 고체의 재질이 테프론일 때, 액적 부착 후 시간에 따른 표면에서 깊이 방향 온도 변화를 나타낸 그림이다.

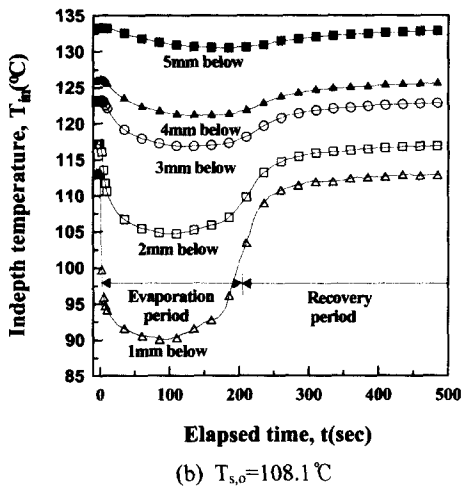
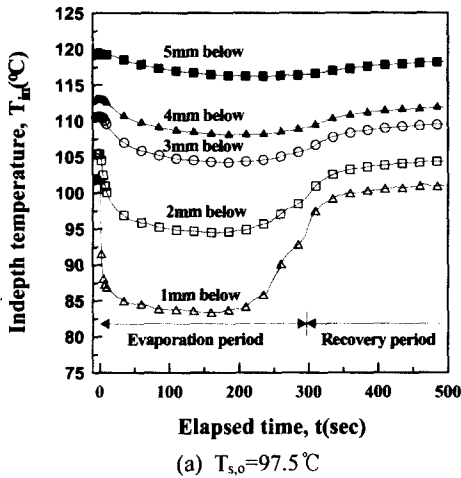


Fig. 4 In-depth temperature variation of Teflon versus elapsed time for a 3.0mm water droplet [(a)  $T_{s,o}=97.5^{\circ}\text{C}$ , (b)  $T_{s,o}=108.1^{\circ}\text{C}$ ]

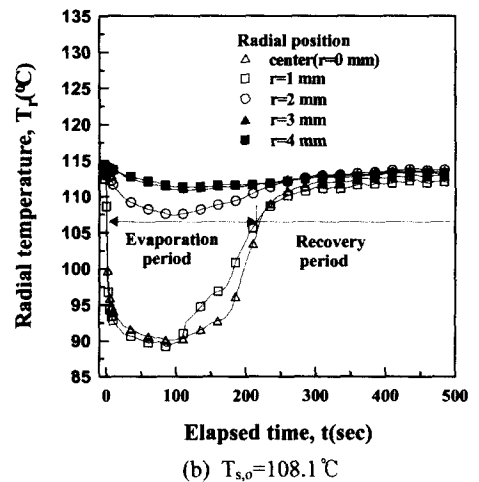
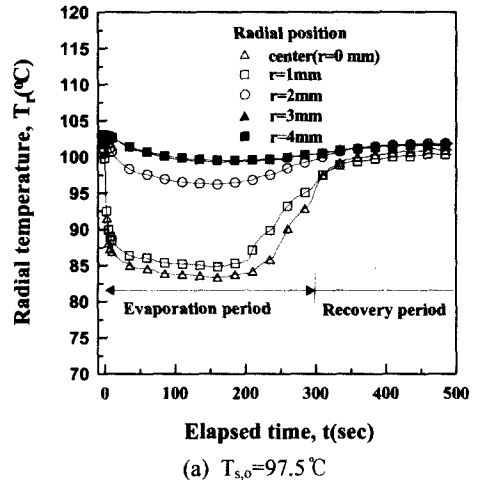


Fig. 5 Radial temperature variation of Teflon versus elapsed time for a 3.0mm water droplet, [(a)  $T_{s,o}=97.5^{\circ}\text{C}$ , (b)  $T_{s,o}=108.1^{\circ}\text{C}$ ]

온도 측정위치는 깊이 방향으로 액적이 부착된 고체표면의 중심점에서 1.0mm, 2.0mm, 3.0mm, 4.0mm 그리고 5.0mm 떨어진 지점들이다.

액적이 부착된 후 고체 내부의 온도는 급격히 하강한 후 서서히 낮아져서 최소값에 도달한 후 증가하여 초기온도로 회복되고 있다. 액적 부착 초기의 온도 하강 폭은 금속의 경우보다 크게 나타나며, 고체표면과 내부의 온도차 또한 크게 나타난다. 이는 테프론의 열전도도가 금속에 비해 상당히 작기 때문에 나타나는 현상이다.

한편, Fig. 5는 Fig. 4와 동일한 실험조건에서 가열 고체인 테프론 접촉면의 깊이 1.0mm에서 측정된 시간에 따른 반경방향 온도변화를 나타낸 그림이다. 온도 측정위치는 액적이 부착된 고체 표면의 중심점에서 반경방향으로 0mm, 1.0mm, 2.0mm, 3.0mm, 4.0mm이 떨어진 지점들이다.

액적 접촉면의 깊이 1.0mm에서 반경 방향온도는 액적이 부착된 후 급격히 하강한 후 서서히 감소하여 최소값을 나타낸 후 서서히 증가하여 초기 온도로 회복된다. 반경방향의 온도변화 경향은 깊이방향의 온도변화와 유사성이 있다. 그러나  $r=3.0\text{mm}$ 이후는 약간의 온도감소가 있으나 거의 액적의 영향을 받지 않고 있다. 즉, 액적 반경의 약 1.5배까지는 액적의 영향이 상당히 크게 나타나지만 이후에는 액적의 영향이 거의 없는 것으로 생각된다.

Fig. 6은 테프론의 무차원 표면온도를 무차원 반경에 대하여 시간대별로 나타낸 그림이다. 무차원 표면온도는 적외선 열 화상처리장치(Infrared thermography)를 이용하여 액적이 부착된 테프론 표면의 온도를 측정하여 초기 표면온도에 대한 비로 결정하였고, 무차원 반경은 측정반경을 물 액적의 반경으로 나눈 값이다.

액적 부착 초기 20초에서의 고체표면의 온도는 액적을 중심으로 하여 대칭적으로 급강하며, 시간의 경과에 따라 액적이 증발하여 온도분포가 주변과 차이가 없어지고 초기의 온도로 회복한다. 이는 액적 부착 초기에 액적으로 인한 고체 표면의 냉각이 급격히 일어남을 알 수 있다.

Fig. 7은 가열 고체 표면의 초기온도에 대하여 가열 고체와 액적의 계면온도( $T_{is}$ )의 변화를 가열 고체의 재질에 따라 나타낸 그림이다.

그림에서 이론적인 접촉면 온도<sup>(11)</sup>는 식 (1)로 구한 것이고, 실험에서 구한 접촉면 온도는 증발

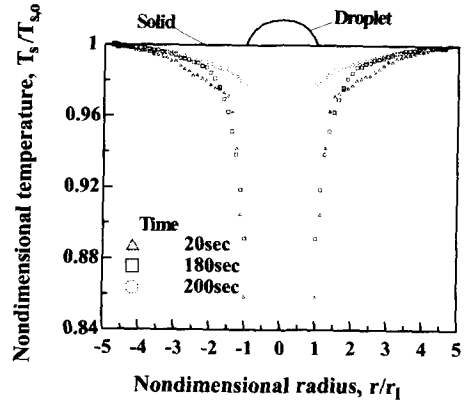


Fig. 6 Surface temperature distribution at 20s, 180s and 200s after deposition of 3.0mm water droplet on Teflon at  $T_{s,0}=108.1^\circ\text{C}$

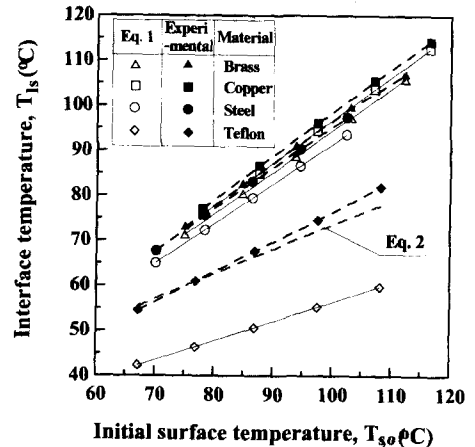


Fig. 7 Interface temperature with initial surface temperature for various heating materials for a 3.0mm water droplet

기간 동안의 액적과 가열고체와의 계면온도를 평균한 값을 사용하였다. 식 (1)에 필요한 물성치는 Cengel 등<sup>(10)</sup>의 자료를 사용하였다.

$$T_{is} = \frac{(k\rho C_p)_s^{0.5} T_{s,0} + (k\rho C_p)_l^{0.5} T_{l,0}}{(k\rho C_p)_s^{0.5} + (k\rho C_p)_l^{0.5}} \quad (1)$$

본 연구의 금속면에 대한 실험치는 참고문헌 (11)에서 제시한 식 (1)로 계산한 값과 최대  $3^\circ\text{C}$  이내에서 일치하고 있다. 그러나 열전도도가 작은 테프론의 경우는 최대  $20^\circ\text{C}$  이상 편차를 나타내고 있다. 따라서 실험치로부터 테프론에 대한 수정식 (2)를 구하였다. 이 수정식 (2)는 최대  $2^\circ\text{C}$

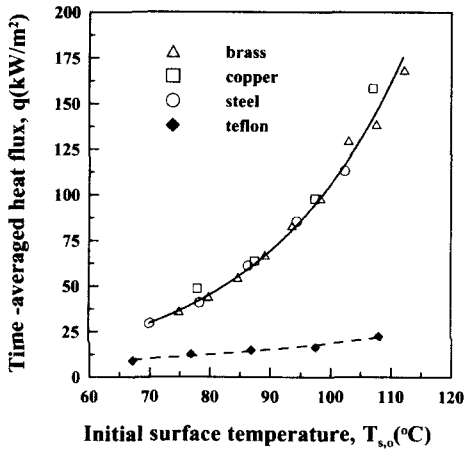


Fig. 8 Time-averaged heat flux with initial surface temperature for various heating materials for a 3.0mm water droplet

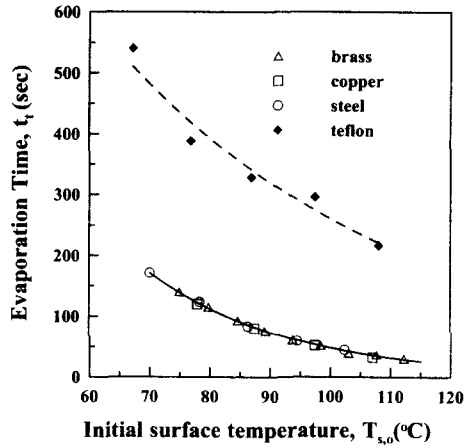


Fig. 9 Evaporation time versus initial surface temperature for various heating materials

이내에서 실험치와 거의 일치하고 있다.

$$T_{i,s} = \frac{(k_i/k_s)(k\rho C_p)_s^{0.5} T_{s,o} + (k\rho C_p)_i^{0.5} T_{i,o}}{(k\rho C_p)_s^{0.5} + (k\rho C_p)_i^{0.5}} \quad (2)$$

### 3.2 열전달 특성

Fig. 8은 액적 직경이 3.0mm일 때, 가열 고체의 재질에 따른 증발기간 동안의 시간 평균 열유속 (q)을 가열 고체 표면의 초기온도( $T_{s,0}$ )에 따라 나타낸 그림이다.

시간 평균 열유속(q)<sup>(12)</sup>은 증발기간동안 고체와 액적의 경계면에서 고체로부터 액적으로 전달된 평균 열유속으로 식(3)과 같이 구하였다.

$$q = (2 d_i \rho_l \lambda') / (3 t_i) \quad (3)$$

$$\lambda' = \lambda + C_p (T_l - T_\infty)$$

여기서  $\lambda'$ 는 유효증발잠열이고,  $\lambda$ 는 액적의 증발잠열과 비열 그리고 액적의 시간 평균 온도 ( $T_l$ )<sup>(12)</sup>과 외기온도( $T_\infty$ )와의 차이로 결정하였다.

가열 고체표면의 초기온도 110°C 이하의 전도와 대류 열전달 영역에서는 가열 고체표면의 초기온도 증가에 따라 평균 열유속은 증가하고 있으며, 금속의 경우 재질간의 차이가 거의 없다. 그러나 비금속인 테프론과는 상당한 차이를 보인다.

가열 고체표면의 초기온도가 증가함에 따라 금속의 경우 평균 열유속은 지수적으로 상승하며,

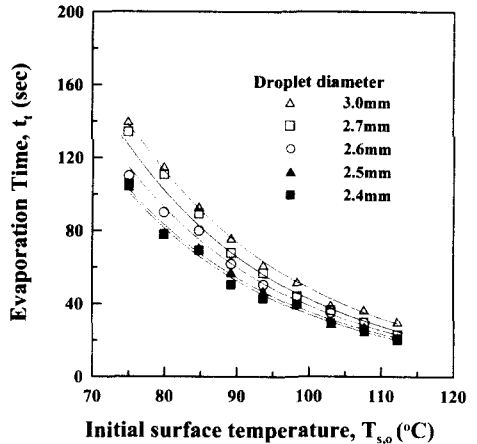


Fig. 10 Evaporation time with initial surface temperature on brass for various initial droplet diameters

테프론의 경우에는 금속과 비교하여 평균 열유속의 상승폭이 매우 작게 나타난다. 이는 테프론의 열전도도가 금속의 열전도도보다 상당히 작기 때문에 나타나는 현상으로 생각된다.

Fig. 9는 액적 직경이 3.0mm일 때, 가열 고체 재질에 따른 증발시간을 가열 고체표면의 초기온도에 따라 나타낸 그림이다. 그림에서 비증발생기간은 사진촬영에 의하여 판독한 값이다.

가열 고체표면의 초기온도의 상승에 따라 액적의 증발기간은 감소하고, 금속의 경우 가열고체의 재질에 따른 증발시간의 차이는 거의 없다. 하지만 테프론의 경우 가열표면의 초기온도 상승

에 따라 증발시간이 금속보다 큰 폭으로 단축됨을 보였다.

Fig. 10은 가열 고체의 재질이 황동일 때, 액적의 직경에 따른 액적의 증발시간을 가열 고체 표면의 초기온도에 따라 나타낸 그림이다.

가열 고체표면의 초기온도가 증가함에 따라 증발시간이 감소하고 있으며, 가열 고체표면의 동일한 초기온도에서는 액적의 직경이 작아짐에 따라 증발시간이 감소하고 있다.

#### 4. 결 론

저온영역에서 액적이 동, 황동, 탄소강 및 고분자 물질인 테프론 표면에 부착되어 증발하는 경우에 대한 증발현상을 조사하고, 고체의 내부온도를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 가열고체가 금속일 경우, 초기 표면온도의 상승에 따라 평균 열유속은 증가하며 전도도에 따른 차이는 거의 나타나지 않았다.

(2) 가열고체가 테프론일 때, 액적 부착 초기의 온도 하강폭은 금속의 경우보다 크게 나타나며 고체 표면과 내부의 온도차 또한 크게 나타난다.

(3) 가열고체가 테프론일 때, 액적반경의 약 1.5배까지 액적의 영향이 나타났다.

(4) 가열고체의 초기 표면온도가 증가함에 따라 금속의 경우 평균 열유속은 지속적으로 상승하며, 테프론의 경우에는 금속과 비교하여 상승폭이 작게 나타난다.

#### 참고문헌

- (1) 화재·소방기술, 한국화재소방학회 편, 선신기획, 1997.
- (2) DiMarzo, M. and Evans, D. D., 1989, "Evaporation of a Water Droplet Deposited on

a Hot High Thermal Conductivity Surface," *J. of Heat Transfer*, Vol. 111, pp. 210~213.

- (3) Klassen, M. and DiMarzo, M., 1990, "Transient Cooling of a Hot Surface by Droplets Evaporation," NIST-GCR 90-575.
- (4) DiMarzo, M., Kidder, C. H. and Tartarini, P., 1992, "Infrared Thermography of Dropwise Evaporative Cooling of a Semi-Infinite Solid Subjected to Radiant Heat Input," *Experimental Heat Transfer*, Vol. 5, pp. 101~114.
- (5) Tartarini, P. and DiMarzo, M., 1994, "Dropwise Evaporative Cooling in Radiative Field", *Sparse Water Sprays in Fire Protection*, NIST-GCR-96-687, pp. 102~108.
- (6) Abu-Zaid, M. and Atreya, A., 1994, "Transient Cooling of Hot Porous and Nonporous Ceramic Solids by Droplet Evaporation," *J. of Heat Transfer*, Vol. 116, pp. 694~701.
- (7) Rizza, J., 1981, "A Numerical Solution to Dropwise Evaporation," *J. of Heat Transfer*, Vol. 103, pp. 501~507.
- (8) Bonacina, C., DelGiudice, S. and Comini, G., 1979, "Dropwise Evaporation," *J. of Heat Transfer*, Vol. 101, pp. 441~446.
- (9) Michiyoshi, I. and Makino, K., 1978, "Heat Transfer Characteristics of Evaporation of a Liquid Droplet on the Heated Surfaces," *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 21, pp. 605~613.
- (10) Cengel, Y. A. and Boles, M. A., 1994, *Thermodynamics*, McGraw-Hill, Int.
- (11) Mills, A. F., 1992, "Heat Transfer", IRWIN, ISBN 0-256-07642-1.
- (12) Bonacina C., DelGiudice S. and Comini G., 1979, "Dropwise Evaporation," *J. of Heat Transfer*, Vol. 101, pp. 441~446.