

# 물방울로 김을 서리게 할 수 있을까?

2009-10997 허진우

2009-10996 한범순

2009-10995 최지수

# 목차

## I . 서론

동기

김서림의 정의와 조건

## II . 본론 실험설계

실험설명

실험가정

실험1

실험2

## III . 결론

현실성 판단

# 동기

- 셔틀 버스 창 밖에 물방울이 묻어 있었다.  
하차 시 물방울이 있는 부분의  
유리창 안 쪽에 김이 서렸다.
- 과연 창 밖의 물방울이 김을 서리게 한 것일까?

# 김서림의 정의와 조건

- 김서림의 정의

- 수증기가 찬 기운을 받아서 엉긴 아주 작은 물방울의 집합체

- 김서림의 조건

1. 내부의 습도 증가
2. 유리창의 온도 감소



물방울의 증발

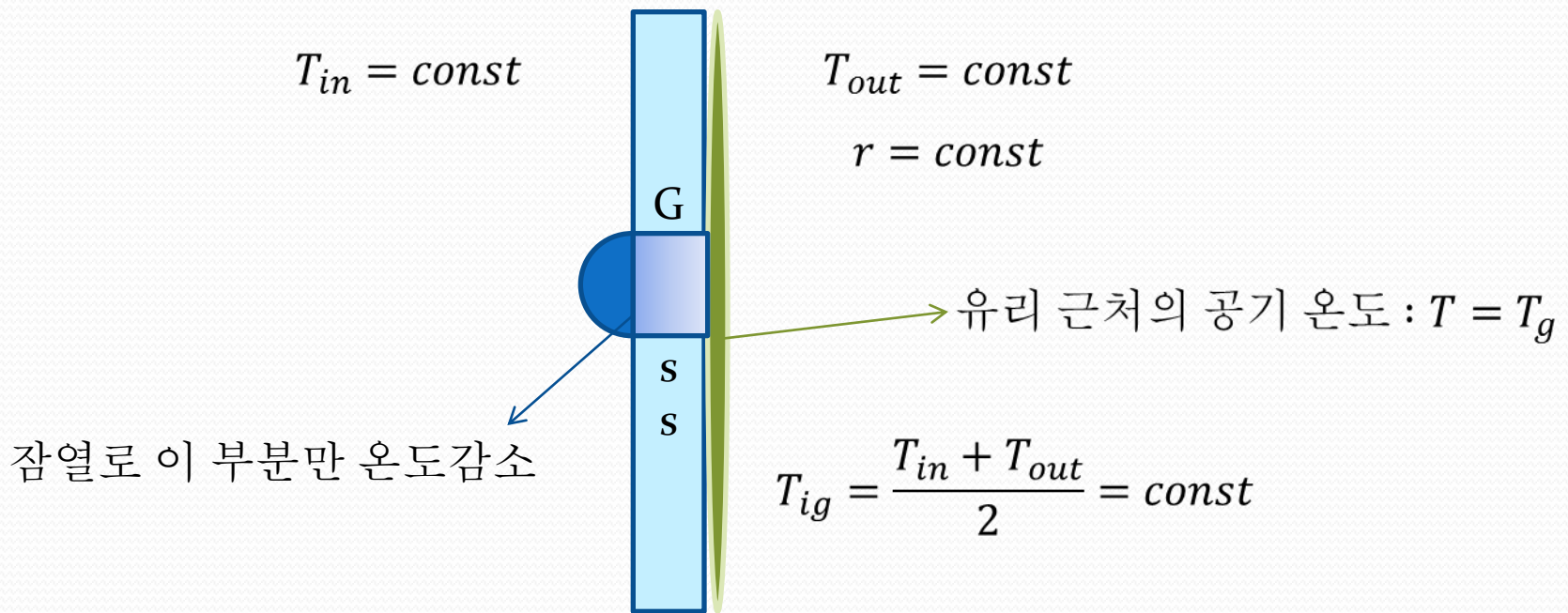
# 실험 설명

유리 밖의 물방울이 증발하면 유리창내부  
근처의 온도를 감소시켜 유리 안쪽에 김이 서  
리는데

이것을 여태까지 배운 대기열 지식을 이용해  
알아볼 것이다.

# 실험 가정

5. 물방울이 맺히는 위치는 유리의 중심을 통과하는 수직선의 위치와 일치한다.  
 는 곳은 물방울이 있는 곳 밑의 유리 뿐이다.



# 실험 1

- 이상적인 과정을 생각해서 증발에 걸리는 시간이 0이라고 해보자.

$$Q = m_w l_v$$

$$Q = m_g C_g \Delta T_g$$

$$\Delta T_g = \frac{Q}{m_g C_g} = \frac{m_w l_v}{m_g C_g}$$

$$T_{fg} = T_{ig} - \Delta T_g$$

$$e_{sw}(T_{fg}) = 6.11 * \exp \left( 19.83 - \frac{5417}{T_{fg}} \right)$$

$$r = \frac{e_{in}}{e_{sw}}$$

$$e_{sw}(T_{in}) = 6.11 * \exp \left( 19.83 - \frac{5417}{T_{in}} \right)$$

$$e_{in} = e_{sw}(T_{in}) * r = 6.11 * \exp \left( 19.83 - \frac{5417}{T_{in}} \right) * r$$

$$T_{fg} = T_{ig} - \Delta T_g = T_{ig} - \frac{m_g C_g}{m_w l_v}$$

$$T_{fg} \leq \frac{1}{\frac{1}{T_{in}} - \frac{\ln r}{5417}} = \alpha \quad \frac{(T_{ig} - \alpha)}{l_v} * m_g C_g \leq m_w$$



# 실험1 - 계산

- $T_{in} = 290K$     $l_v = 2.47 * 10^6 \text{ Jkg}^{-1}$
- $T_{out} = 280K$     $r = 70\%$
- $R$  - 물방울의 반지름 / 유리의 두께  $L = 0.5 \text{ cm}$
- 유리의 밀도  $\rho_g = 2580 \text{ kg m}^{-3}$
- 유리의 비열  $c_g = 840 \text{ Jkg}^{-1}K^{-1}$
- $m_g = \rho_g L \pi R^2$     $m_w = \frac{2}{3} \pi R^3 \rho_w$
- $R = \frac{2}{3} \left( \frac{T_{ig}^{-\alpha}}{l_v} \right) L \frac{\rho_g}{\rho_w} c_g = 3 \text{ mm} * 10^{-3}$

## 실험 2 - 물방울이 천천히 증발한다고 가정

증발하는 양은 일정  
하다고 가정하면  $\frac{-dm_w}{dt} = b$       빼앗기는 열은  $bl_v = \frac{-dl_v * m_w}{dt} = \frac{dQ_{out}}{dt}$

안으로부터 전도로 전달되는 열은  $\frac{dQ_{in}}{dt} = \frac{kA(T_{in} - T_g)}{L}$  L=유리창의 두께  
A=유리창 면적  
k=유리창 전도 상수

총 열 출입은  $\frac{dQ}{dt} = \frac{dQ_{in}}{dt} - \frac{dQ_{out}}{dt} = \frac{kA(T_{in} - T_g)}{L} - bl_v$

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{dQ}{dT} * \frac{dT}{dt} = \frac{kA(T_{in} - T_g)}{L} - bl_v \quad dQ = m_g c_g dT, \quad \frac{dQ}{dT} = m_g c_g$$

$$m_g c_g * \frac{dT}{dt} = \frac{kA(T_{in} - T_g)}{L} - bl_v \quad \frac{dT}{dt} = \frac{\frac{kA(T_{in} - T_g)}{L} - bl_v}{m_g c_g}$$

$$\frac{m_g c_g dT}{\frac{kA(T_{in} - T_g)}{L} - bl_v} = dt \qquad \int_{T_{ig}}^{T_{fg}} \frac{m_g c_g dT}{\frac{kA(T_{in} - T_g)}{L} - bl_v} = \int_0^t dt$$

$$m_g c_g * \left(-\frac{L}{KA}\right) * \ln\left(\frac{kA(T_{in} - T_{fg})}{L} - bl_v\right) / \left(\frac{kA(T_{in} - T_{ig})}{L} - bl_v\right) = t \qquad t = \frac{m_w}{b}$$

$$T_{fg} = \left(\frac{KA(T_{in} - T_{ig})}{L} - bl_v\right) * \exp(-KAt/(Lm_g c_g)) + bl_v / \frac{-KA}{L} + T_{in}$$

$$T_{fg} \leq \frac{1}{\frac{1}{T_{in}} - \frac{\ln r}{5417}} = \alpha \qquad m_w \geq -\frac{Lm_g c_g b}{KA} * \ln \frac{\frac{KA(\alpha - T_{in})}{-L} - bl_v}{\frac{KA(T_{in} - T_{ig})}{L} - bl_v}$$

- 근사식 : 유리창의 온도변화가 크지 않으므로 외부로부터 전달되는 열량이 일정하다고 가정하고 풀면  $\frac{dQ_{in}}{dt} = \frac{kA(T_{in} - T_{ig})}{L} = a$

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{dQ_{in}}{dt} - \frac{dQ_{out}}{dt} = \frac{kA(T_{in} - T_{ig})}{L} - bl_v = a - bl_v$$

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{dQ}{dT} * \frac{dT}{dt} = m_g c_g * \frac{dT}{dt} = a - bl_v$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{a - bl_v}{m_g c_g} \quad \frac{m_g c_g dT}{a - bl_v} = dt$$

$$\int_{T_{ig}}^{T_{fg}} \frac{m_g c_g dT}{a - bl_v} = \int_0^t dt \quad t = \frac{m_w}{b}$$

$$T_{fg} = T_{ig} + \frac{t(a - bl_v)}{m_g c_g} \quad m_w \geq \frac{bm_g c_g (\alpha - T_{ig})}{a - bl_v}$$

# 실험2 - 계산

- $T_{in} = 290K$     $l_v = 2.47 * 10^6 \text{ Jkg}^{-1}$
- $T_{out} = 280K$     $r = 70\%$
- $R$  - 물방울의 반지름 / 유리의 두께  $L = 0.5 \text{ cm}$
- $m_g = L\pi R^2 \rho_g$    유리의 밀도  $\rho_g = 2580 \text{ kg m}^{-3}$
- 유리의 비열  $c_g = 840 \text{ Jkg}^{-1}K^{-1}$
- $m_g = \rho_g L\pi R^2$     $m_w = \frac{2}{3}\pi R^3 \rho_w$     $b = 10^{-8} \text{ kgs}^{-1}$   
 $K = 0.817 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{-1} K^{-1}$

# 실험2 - 계산

$$\bullet \frac{3}{2} \frac{k\pi}{L} \rho_w R^3 - \frac{2}{3} R b \rho_w l_v - b \rho_g c_g L (\alpha - T_{ig}) = 0$$

$$R = 3\text{mm}$$

# 현실성판단- 결과분석

- 실험1에 따르면  
물방울의 반지름이  $3\mu\text{m}$ 라면  
충분히 유리 안쪽에 김이 서릴 수 있다.
- 실험2에 따르면  
물방울의 반지름이  $3\text{mm}$ 라면  
충분히 유리 안쪽에 김이 서릴 수 있다.

# 현실성판단- 가정이 결과에 미치는 오차

- 실험 2에서 증발 속도가 일정하다
- 증발 속도는 바람에 비례하고 물방울의 표면적에 비례한다. 또한 습도도 영향을 미친다.

➡ 처음의 증발 속도가 나중의 증발 속도보다 빠르다.



# 현실성판단- 가정이 결과에 미치는 오차

- 가정 5에 따르면

물방울이 잠열을 뺏어 유리창에서 온도가 내려가는 곳은 물방울이 있는 곳 밑의 유리 뿐이다.

-실제로는 물방울 밑의 유리 뿐만 아니라 물방울 근처 유리에서 잠열을 얻는다. 그래서 실제는 가정한 것보다 유리의 온도가 조금 떨어진다.

➡ 원하는 온도가 되기 위해서는 물방울이 더 커져야 한다.

# 현실성판단- 가정이 결과에 미치는 오차

- 가정 6에 따르면  
물증발에 필요한 열은 물과 접촉한 유리에서만 얻는다.
- 물이 증발 할 때 유리뿐만 아니라 외부의 공기에서도 열을 얻으므로 모든 물의 잠열은 유리의 온도를 낮추는데 쓰이지 않는다.

➡ 물방울이 실험결과의 반지름보다 더욱 큰 반지름을 가져야 한다.

# Epilogue

참고문헌

- <http://www.ambrsoft.com/trigx.html>
- 대기열역학 교재