

대기열역학 팀 프로젝트; 밥솥의 수증기압 추정

# 대기 열역학 팀 프로젝트

서울대학교 자연과학대학 지구환경과학부

2007-10913 양지웅

2007-10917 이상무

# 목차

1. 들어가면서
2. 몇 가지의 가정
3. (1) 수증기압을 구하는 방법 1  
(2) 수증기압을 구하는 방법 2
4. 터지는 밥솥
5. 결론

# 들어가면서

- 우리가 매일 먹는 밥, 그리고 그 밥을 만드는 밥솥, 저 둘 사이에서 벌어진 일은 무엇 일까요? 열역학적인 분석을 해봅시다
- 구체적으로는 밥솥 안의 수증기압에 대해 접근해 보겠습니다.

# 몇 가지의 가정

- 밥이 다 되기 전엔 김이 빠지지 않는다.
- 쌀 씻기와 불리기 과정에서 쌀에 흡수되는 물의 양은 20%.
- 밥이 다 되었을 때 밥솥의 온도는 115°C
- 물의 양은 쌀의 1.2배
- 밥솥안 건조 공기의 압력은 온도변화에 무관
- 쌀 1인분은 150ml

# 1. 밥솥 안 수증기압의 추정( I )

- 밥 짓는 동안 수증기가 배출되지 않는다는 가정 하에서

$$\text{밥솥} = V_o$$

건조공기 = $V_o - V_x$
쌀 + 물 = $V_x$

밥을 시작하기 전 상태

- 공기는 건조 공기( $w_i = 0$ )
- 내부 압력은 대기압( $P_d = 1 \text{ atm}$ )
- 최대취반용량 = 1.8 리터

물의 양 =  $V_w$ , 쌀의 양 =  $V_r$  라 하면

$$1.2 V_r = V_w, V_r = 0.833 V_w$$

따라서

$$0.833 V_w + V_w = V_x$$

$$1.833 V_w = V_x$$

$$\text{밥솥} = V_o$$

$$\text{습윤공기} = V_o - V_y$$

$$\text{밥} = V_y$$

처음 넣어준 물이 모두 증발한다면  
 물의 질량 = 수증기의 질량

$$\rho_v (V_o - V_y) = \rho_w V_x$$

$$V_{\text{vapor}} = V_o - V_y = \frac{\rho_w}{\rho_v} V_x$$

밥이 다 되었을 때 내부압력 =  $P_d + e$

$$w = \frac{m_v}{m_d} = \frac{\epsilon e}{p - e} = \frac{\epsilon e}{p_d} \quad \text{이므로}$$

$$w_f = \frac{m_v}{m_d} = \frac{\rho_v V_{\text{vapor}}}{m_d} = \frac{\rho_w V_x}{m_d} = \frac{\rho_w (1.833) V_w}{m_d}$$

$W_f$  값을 아래 식에 대입하면  $e$  를 얻는다

$$e = \frac{w_f}{\epsilon} p_d$$

실제 계산을 위해(4인분 기준) 다음 값들을 대입한다

$$\rho_w \approx 1000 \text{ kg m}^{-3} \quad V_r = (4 \times 150) \text{ ml}$$

$$\rho_d \approx 1.293 \text{ kg m}^{-3} \quad V_w = 1.2 V_r = (1.2 \times 4 \times 150) \text{ ml}$$

$$\epsilon = 0.622 \quad m_d = (V_0 - V_x) \rho_d = 0.00062 \text{ kg}$$

$$w_f = \frac{(1000 \text{ kg m}^{-3})(1.833)(0.00072 \text{ m}^3)}{0.00062 \text{ kg}} = 2128.65$$

$$w_f = \frac{(1000 \text{ kg m}^{-3})(1.833)(0.00072 \text{ m}^3)}{0.00062 \text{ kg}} = 2128.65$$

$$e = \frac{w_f}{\epsilon} p_d = \frac{2128.65}{0.622} (1 \text{ atm}) = 3422.26 \text{ atm}$$

$$e_{sw} = 6.11 \exp\left(53.49 - \frac{6808}{T} - 5.09 \ln T\right) = 1655.76 \text{ mbar}$$

e 가  $e_{sw}$  보다 월등히 크므로 비현실적이다. 여기서  
우린 밥 짓는 동안 수증기가 배출되지 않는다는 가정은 큰  
오류임을 알 수 있다. 또한 많은 양의 물이 밥솥 벽이나 뚜껑에  
액화되어 맺혀 있음을 알 수 있습니다. 이 물을 모아도 먹을 수  
있을 만큼의 물인데, 이것을 배제하고 생각해서 이러한 오류가  
나온 것 같습니다.



## 2. 밥솥 안 수증기압의 추정(II)

- 수분의 증발이 먼저 일어난 다음 가열된다고 가정할 때

$$l_v = \text{constant} \approx 2.26 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$$

Clausius – Clapeyron equation 에 의해

$$\frac{de_{sw}}{dT} \approx 0.03575 \text{ atm K}^{-1}$$

T<sub>i</sub> 는 상온이므로 25 °C , T<sub>f</sub> 는 가정에 의해 115 °C 이므로  
온도 변화는 90 °C 이다.

$$\Delta e_{sw} = 90 \times 0.03575 = 3.2175 \text{ atm}$$

$$\Delta e = r \times \Delta e_{sw}$$

이고,  $r = 1$  이라 가정하면  
(김을 빼기 전엔 습도가 매우 높으므로)

$$\Delta e = 3.2175 \text{ atm} = e_f - e_i$$

밥 짓기 전의 수증기압  $e_i = 0$  이라 볼 수 있으므로

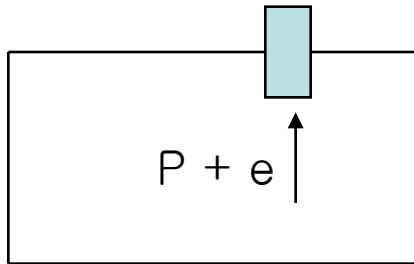
$$\Delta e = 3.2175 \text{ atm} = e$$

첫 번째 가정에 비해 훨씬 현실적인 값을 구할 수 있다. 실제로 밥솥의 뚜껑에 가해지는 압력은 (수증기압 + 대기압) 이므로 약 4.2175 기압이 될 것이다.

### 3. 가꿈씩 터지는 밥솥, 근데 왜?

- 밥솥의 과학적 구조

↓  $P = 1 \text{ atm}$  증기 배출구에는 기압경도력이 작용.

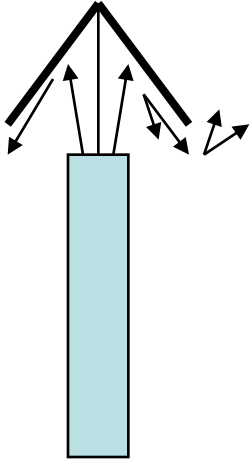


$$\frac{\Delta P}{\Delta z} = \frac{e}{L} \quad (L = \text{배출구의 길이})$$

Cf. 등압선 간격(4hPa) = 1 ~ 10 km

방법2의 기압을 대입해보면 기압경도는 약  $16587550 \text{ N/m}^3$  로 태풍과 비교해 봤을 때,  $0.5 \text{ N/m}^3$  과는 천문학적 차이를 보인다.

따라서, 기압차이는 매우 크고 간격은 매우 작으므로 증기 배출구 속의 공기는 엄청난 힘을 받게 됨을 알 수 있다. 이대로 배출된다면 고속의 뜨거운 증기는 매우 위험할 수 있다.



- 증기가 배출구를 빠져나오면 압력이 급격히 낮아짐
- 급격한 액화가 진행됨
- 앞에서의 수증기압의 오차 발생 실제와는 다를 듯
- 밥솥의 꼭다리가 수증기의 힘을 완충시키는 역할을 한다.

# 결론

1. 방법1로 구한 수증기압은 약 3000기압으로 현실성이 매우 떨어진 다. 이유는 latent heat의 값을 온도에 무관하다고 가정했고, 또한 밥 짓는동안 수증기의 배출이 없다고 가정했기 때문이다.
2. 방법2로 구한 수증기압은 약 3기압으로 현실성이 방법1보다는 가깝다.
3. 방법2의 경우에 배출되는 수증기를 pressure gradient에 적용해 보았을 경우, 안과 밖의 기압차이는 약 3기압차이가 나게되고, 기압 간의 거리는 약 2cm로 거리에 따른 기압차이 때문에 나타나는 pressure gradient는 매우 커져 현실과는 약간 다른 결론이 나온다.
4. 실제 압력 밥솥안의 압력은 1.5~2기압정도로, 오차가 방법1의 경우는 약 3000기압정도 발생하였고, 방법2의 경우는 2기압정도의 오차를 보였다.

# 참고한 자료

- 네이버 카페 “탑푸드뱅크”( <http://cafe.naver.com/topfoodbanks> )
- “밥짓기의 모든 것”( <http://oso.co.kr/bab/> )
- 쿠쿠 IH압력보온밥솥(SRP-H1053FI) 성능표지
- 대기열역학 강의 교재
- 박석규 , 고용덕 , 최옥자 , 손미예 , 서권일, 압력 취반 백미의 전기밥솥 보온중 노화도의 변화, 한국식품과학회지, Vol.29, No.4, Startpage 705, Endpage 709, Totalpage 5
- 전기천 , 강시환 , 이동영 , 박광순, 폭풍해일 예측을 위한 태풍 해면기압 및 해상풍 추정, 대기 (Atmosphere ), Vol.11, No.3, Startpage 532, Endpage 535, Totalpage 4

# 마치면서

감사합니다