

## 압력, 풍속 및 습구온도계의 크기가 건습구습도계를 이용한 상대습도 측정에 미치는 영향

The Effects of Pressure, Wind Velocity, and Diameter of Wet Element on the Measurement of Relative Humidity by a Psychrometer

지 대 성\*, 김 승 태\*, 박 찬 복\*  
D. S. Chi, S. T. Kim, C. B. Park

### ABSTRACT

When the relative humidity is measured with an aspirated psychrometer, three factors, which affect the measurement of relative humidity, are atmospheric pressure, the size of wet element and the wind velocity. This paper investigated the effects of the above three factors, and the computer code was developed in order to enhance the accuracy of the relative humidity measurement. As results, it is found that the relative humidity decreases by 6%RH with increasing atmospheric pressure from 650 mbar to 1100 mbar. It is found that the relative humidity drops down when the size of the wet element increases, though the effect of the size of the wet element is not significant. Finally, relative humidity increases with the increasing wind velocity. The difference between the psychrometric table in the present KS and the present results is about 2%RH maximum. As a conclusion, the three factors mentioned above should be considered in order to secure accurate measurement of relative humidity.

### 1. 서 론

최근 과학기술의 급격한 발달과 함께 습도 측정에 대한 관심이 각 분야에 걸쳐 급격히 높아지고 있다. 습도를 측정하는 방법은 여러가지가 있지만 지금까지도 많이 이용되고 있는 방법으로 건구온도(dry bulb temperature)와 습구온도(wet bulb temperature)를 측정하여 상대습도(relative humidity)를 구하는 건습구습도계(psychrometer)를 꼽을 수 있다.

건습구습도계는 일반적으로 간이건습구습도계와 통풍건습구습도계(Aspirated psychro-

meter)로 분류할 수 있다. 통풍건습구습도계는 상온에서 높은 정밀도, 신뢰도 및 내구성을 가지며, 모발습도계, 간이건습구습도계 및 전기저항식 습도계보다 성능면에서 우수하다. 그러나 이 통풍건습구습도계는 사용 및 상대습도 측정에 많은 주의를 기울여야 보다 정밀한 측정을 할 수 있다. 통풍건습구습도계를 사용하여 상대습도를 측정하고자 할 때 영향을 미치는 요소로는 습구온도계 주위를 흐르는 공기의 풍속, 피측정 습공기의 압력 및 젖은 형질으로 둘러싸인 습구온도계의 직경 등이다. 공기의 풍속, 압력 및 습구온도계의 직경 등

\* 한국표준연구소 습도연구실

은 습구온도 측정에 직접적인 영향을 미치며, 습구온도의 정확한 측정은 상대습도의 결정에 큰 영향을 미친다는 것은 주지의 사실이다. 현재 많은 회사에서 통풍건습구습도계를 생산하고 있으며, 통풍건습구습도계의 사용자들은 회사에서 제공하거나 또는 한국공업규격상에 나와 있는 건습구습도표<sup>1)</sup>, 여러 문헌에 나와 있는 건습구습도 chart를 사용하고 있다. 그러나 위에서 밝힌 표나 chart는 압력은 표준상태의 1기압, 일정한 풍속, 일정한 크기의 습구온도계 등의 조건을 이용하여 계산한 것이며, 또는 통풍건습구습도계를 사용하면서 도표는 간이건습구습도계용을 사용하는 경우를 볼 수 있었다. 따라서 본 논문에서는 위에서 언급한 3가지 요소(기압, 풍속 및 습구온도계의 크기)가 통풍건습구습도계를 이용하여 상대습도를 측정할 때 미치는 영향에 대하여 살펴보고 어떠한 조건에서도 사용할 수 있는 건습구습도표를 만들 수 있는 전산 program을 작성하여 건습구습도계를 이용한 습도측정보다 더 정확성을 기하고자 한다.

2. 이론적인 배경

습구온도는 물의 증발에 필요한 열량과 주위 환경으로부터 공급되는 열량이 같은 정상상태에서의 온도로 보고 습구온도계 주위를 수면의 정상상태로 가정하여 습구온도를 구한다.<sup>2)</sup> 물이 수면에서 증발하고 증발에 의한 수증기는 확산되어 이동하므로 이 현상을 Fick의 확산법칙을 적용할 수 있다.

$$m'' = -D \frac{d\rho}{dx} = -DC \frac{dp_w}{dx} \dots\dots\dots (1)$$

여기서,  $m''$ 은 단위시간, 단위면적에서 증발하는 수증기의 질량,  $D$ 는 확산계수,  $p_w$ 는 공기중 수증기의 분압,  $\rho$ 는 수증기의 밀도,  $x$ 는 수면에 대한 수직방향의 축,  $C$ 는 conversion factor(전환계수)를 가리킨다.

식 (1)에서 확산계수는 온도와 공기의 압력 및 공기 이외의 기체일 때는 기체의 종류에 따라 달라지고, 수증기 밀도와 수증기분압은  $x$ 의 함수이다. 수면 근처에서는 확산만 일어난

다고 가정하고 확산층의 두께를  $\delta$ ,  $x = 0$ 인 수면에 접한 부분의 수증기 분압을  $p_{ws}$ 라 하면 정상상태에서는 식 (2)로 표시할 수 있다.

$$\frac{dp_w}{dx} = \frac{p_w - p_{ws}}{\delta} \dots\dots\dots (2)$$

여기서,  $p_{ws}$ 는 습구온도에서의 포화수증기압과 같다. 식 (2)를 식 (1)에 대입하면,

$$m'' = DC \frac{p_{ws} - p_w}{\delta} \dots\dots\dots (3)$$

로 표시되고 수면 근처의 확산층에서는 주위에서 공급되는 열이 전도와 복사에만 의한다면, 단위시간, 단위면적당 전도에 의하여 받는 열량은 아래와 같다.

$$h_c = -k \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots (4)$$

여기서,  $h_c$ 는 전도열,  $k$ 는 열전도도,  $T$ 는 위치  $x$ 에서의 온도이고, 정상상태에서는 아래와 같다.

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T - T_w}{\delta} \dots\dots\dots (5)$$

여기서,  $T_w$ 는 습구온도,  $T$ 는 건구온도를 말한다.

복사에 의하여 습구온도계에 공급되는 열량은 건구와 습구온도차  $T - T_w$ 에 비례하므로, 단위시간, 단위면적당 복사에 의해 받는 열량은 식 (6)과 같이 표시할 수 있다.

$$h_R = \gamma(T - T_w) \dots\dots\dots (6)$$

여기서,  $h_R$ 은 복사열,  $\gamma$ 는 수면의 복사율이다. 따라서 정상상태에서 단위시간, 단위면적당 습구온도계에 공급되는 총열량  $h$ 는,

$$h = h_c + h_R \dots\dots\dots (7)$$

이다. 정상상태에서 기화열은 공급되는 열량과 같으므로,

$$m'' L = h = h_c + h_R \dots\dots\dots (8)$$

여기서,  $L$ : 기화열이다. 즉,

$$DC L \frac{p_{ws} - p_w}{\delta} = k \frac{T - T_w}{\delta} + \gamma(T - T_w) = \left( \frac{k}{\delta} + \gamma \right) (T - T_w) \dots\dots\dots (9)$$

식 (9)는 아래의 식과 같이 표시할 수 있다.

$$p_w = p_{ws} - \frac{\delta}{DCL} \left( \frac{k}{\delta} + \gamma \right) (T - T_w) \dots\dots\dots (10)$$

$$= p_{ws} - A(T - T_w) \dots\dots\dots (10)$$

여기서,

$$A = \frac{\delta}{DCL} \left( \frac{k}{\delta} + \gamma \right) \dots\dots\dots (11)$$

식 (10)은 건습구습도계 공식이고, A는 실험적으로 정해지는 건습구습도계 정수이다. A를 결정하는 변수 D, L, k, γ는 건구온도, 기압 및 습구온도계의 크기에 따라 변하며, 확산층의 두께 δ는 건습구습도계의 풍속에 따라 크게 달라지므로 A는 풍속이 작을수록 현저하게 영향을 받는다. 따라서 결론적으로 건습구습도계 정수 A는 압력, 습구온도계의 크기 및 풍속의 영향을 받는다고 말할 수 있다.

호주 국립측정연구소(NML: National Metrological Laboratory)의 Wylie와 Lalas<sup>3)</sup>는 건습구습도계 정수 A를 대류 건습구습도계 계수 A<sub>c</sub>, 복사인자 F<sub>R</sub> 및 증발인자 F<sub>a</sub>의 조합으로 보고 이들 세 계수 및 인자에 대한 식들을 실험적으로 구하였다. 이 식은 세계기상기구(WMO, World Meteorological Organization)에서 채택된 식으로 이의 정확도는 ±0.4%RH이다. 아래에 이 식들이 나타나 있다.

$$A = A_c F_R F_a \dots\dots\dots (12)$$

$$A_c = (1 - x_w) [5.864 \times 10^{-4} + 4.67 \times 10^{-7} (T - 273.15)] \dots\dots\dots (13)$$

$$F_R = 1 + [4.77 \times 10^{-8} T_m^3 d^{0.539} (Pv)^{-0.461}] \dots\dots\dots (14)$$

$$F_a = 1 + [0.0209 T_w^{1/2} v^{0.461} (Pd)^{-0.539} (1 - x_w)^{-1}] \dots\dots\dots (15)$$

여기서, x<sub>w</sub>는 습구온도에서 포화상태에서의 수증기 mole분율, T<sub>m</sub>은 건구온도와 습구온도의 평균치, v는 풍속, d는 습구온도계의 직경을 가리킨다. 한가지 주의하여야 할 점은 순수한 물(포화)의 수증기압과 공기에 혼합되어 있는 (포화)수증기압은 상당히 작은 양이지만 차이가 있으며 이 차이는 부가계수(enhancement factor) f에 의해 다음과 같이 정의된다.

$$f = \frac{P x_w}{e_w} \dots\dots\dots (16)$$

여기서, P는 대기압, e<sub>w</sub>는 습구온도에서 순수한 물의 포화수증기압을 가리킨다.

위의 식들을 이용하여 압력, 풍속, 습구온도계의 크기가 건습구습도계를 이용한 상대습도 측정에 어떠한 영향을 미치는가를 계산할 수 있다. 이를 위한 computer program에 대한 설명은 다음 장에 있다.

### 3. 건습구습도계를 위한 computer program

상대습도를 구하려면 상대습도의 정의에 따라서 먼저 수증기압을 구하여야 한다. 수증기압은 식 (10)으로부터 구할 수 있다. 먼저 건습구습도계 정수 A와 습구온도에서의 포화수증기압을 A의 계산식과 포화수증기압을 구하는 공식으로부터 구한 다음 식 (10)을 이용하여 수증기압을 계산한다. 이 때 포화수증기압을 구하는 공식은 세계기상기구(WMO, World Meteorological Organization)에서 채택한 것인 A. Wexler<sup>4)</sup>의 공식을 사용하였다. 이 식이 식 (17)에 나타나 있다. 부가계수(enhancement factor)도 온도 및 압력의 함수이나 매

$$e_w = -0.60951748 \times 10^{-4} / T + 0.2116173595 \times 10^2 - 0.27222404 \times 10^{-1} T + 0.16840790 \times 10^{-4} T^2 + 2.4505058 \ln(T) \dots\dots\dots (17)$$

우 약한 함수이며, 보통 사용하는 범위에서는 값의 차이가 거의 없기 때문에 상수로 가정하여 사용하였다. 이 computer program을 사용할 수 있는 범위는 건구온도 0~50℃, 습구온도 0~35℃, 기압 650~1.150 mb, 풍속 3m/sec~6m/sec, 습구온도계의 직경은 3mm~6mm이다.

### 4. 결과 및 토의

Fig.1에서 보는 바와 같이 건구온도, 습구온도, 습구온도계의 직경 및 풍속이 20℃, 15℃, 4.5mm, 4.5m/sec일 때, 기압이 650mb

에서 1.100mb로 상승함에 따라 상대습도는 64%RH에서부터 58.5%RH까지 떨어짐을 알 수 있다. 이러한 경향을 보이는 이유로는 기압이 상승하면 그 만큼 공기의 절대적인 양이 많아지는 것이며 이에 따라 물의 증발하는 양이 많아지게 된다. 따라서 그 만큼 습구온도가 하강하게 되며 상대습도는 떨어지게 된다.

Fig.2는 상대습도에 대한 습구온도계 크기의 영향을 보여주고 있다. Fig.2에서 보는 바와 같이 건구온도, 습구온도, 기압 및 풍속이 20°C, 15°C, 1.000mbar, 4.5m/sec일 때, 습구온도계의 크기가 2mm에서 7mm로 커짐에 따라 상대습도는 59.91%RH에서 59.56%RH로 0.35%RH만큼 떨어지게 된다. 습구온도계 크기가 미치는 영향은 그다지 크지 않으나 그 이유를 살펴보면 습구온도계의 크기가 커지게 되면 그 만큼 수증기의 증발 면적이 넓어지게 되어 습구온도가 떨어지게 되고 따라서 상대습도는 감소하게 된다. 일반의 건습구습도계의 경우 습구온도계의 직경은 보통 4.5mm의 것을 사용한다.

Fig.3에서 건구온도, 습구온도, 기압, 습구온도계의 크기가 20°C, 15°C, 1.000mbar, 4.5mm일 때, 상대습도에 대한 풍속의 영향을 살펴 볼 수 있다. Fig.3에서 보는 바와 같이 상대습도는 풍속이 낮은 경우 많은 변화를 보이고 풍속이 높은 경우 변화가 그다지 많지 않은 것을 알 수 있다. 풍속의 영향은 대류에 의해 설명되어 질 수 있는데 풍속이 낮은 경우 많은 변화를 보이는 것은 식 (10)에서 설명한 바와 같이 풍속이 낮을 때 확산층의 두께  $\delta$ 가 많은 영향을 받고 풍속이 높을 때 확산층의 두께  $\delta$ 가 많은 영향을 받지 않기 때문이다. 또한 풍속이 증가할 때 상대습도가 증가하는 것은 바람에 의하여 많은 열이 주위에 습구온도계로 전달되어 습구온도에 영향을 미치는 것으로 생각된다. 보통 통풍건습구습도계의 경우 풍속은 3~5m/sec가 지배적이다.

서론에서 언급한 바와 같이 한국공업규격의 습도측정방법(KS A 0078)에서 사용하는 건습구습도표는 공기의 압력이 1기압일 경우(풍속 및 습구온도계의 크기는 언급되지 않았음) 습구 및 건구온도에 따른 상대습도를 표시하고

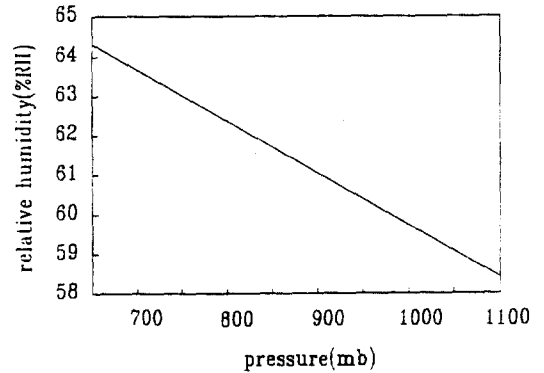


Fig.1 The pressure effect on the relative humidity ( $T_w=15^\circ\text{C}$ ,  $T=20^\circ\text{C}$ ,  $d=4.5\text{ mm}$ ,  $v=4.5\text{ m/sec}$ )

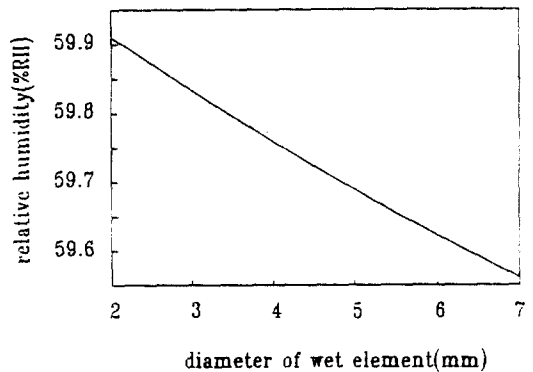


Fig.2 The effect of wet element on the relative humidity ( $T_w=15^\circ\text{C}$ ,  $p=1,000\text{ mbar}$ ,  $v=4.5\text{ m/sec}$ )

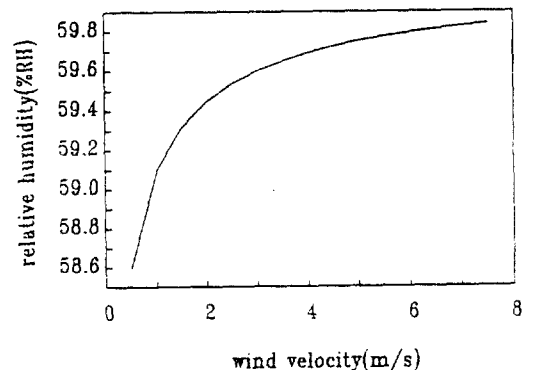


Fig.3 The effect of wind velocity on the relative humidity ( $T_w=15^\circ\text{C}$ ,  $T=20^\circ\text{C}$ ,  $p=1,000\text{ mbar}$ ,  $d=4.5\text{ mm}$ )

Table 1. The comparison of psychrometric values of KS and this paper (wind velocity=4.5 m/sec, p=1 atm, diameter of wet element=4.5 mm)

건구온도 (°C)	습구온도 (°C)	상대습도(KS) (%RH)	상대습도(계산) (%RH)	차 이 (%RH)	percentage (%)
20	18	83.0	82.92	+0.08	0.1
20	16	66.0	67.01	+1.01	1.5
20	14	51.0	52.31	+1.31	2.5
20	12	37.0	38.58	+1.58	4.1
20	10	24.0	25.78	+1.78	6.9
25	23	84.0	84.74	+0.74	0.9
25	21	70.0	70.60	+0.60	0.8
25	19	57.0	57.50	+0.50	0.9
25	17	44.0	45.35	+1.35	3.0
25	15	33.0	34.05	+1.05	3.1
25	13	22.0	23.55	+1.55	6.6
25	11	12.0	13.77	+1.77	12.9

있다. Table 1에서는 한국공업규격에 실려 있는 건습구습도표와 본 논문에서 소개한 computer program을 이용하여 만든 건습구습도표를 대표적인 경우에 한하여 비교하여 보았다. 이 표에서 보는 바와 같이 건구온도와 습구온도의 차이가 많이 나지 않을 때는 상대습도의 차이가 1%RH 또는 그 미만이나 온도 차이가 많이 날 때는 1%RH에서 2%RH 정도의 차이가 나는 것을 알 수 있다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 건습구습도계를 이용하여 상대습도를 측정할 때 습구온도계의 크기 풍속 및 압력이 미치는 영향에 대하여 알아 보았다. 그 결과 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

- 1) 압력이 650mbar에서 1.100mbar로 증가할 때, 상대습도는 6%RH 감소하였다.
- 2) 풍속이 3m/sec에서 6m/sec로 증가할 때 상대습도는 0.2%RH 증가하였다.

3) 습구온도계의 직경이 3mm에서 6mm로 증가할 경우 상대습도는 약 0.3%RH 감소하였다.

4) KS상의 건습구습도표와 본 논문에서 계산한 건습구습도표를 비교하였을 때 그 차이가 최대 1.8%RH 정도 되었다.

### 참 고 문 헌

1. 한국공업규격, “습도측정방법”(KS A 0078), 1976.
2. 芝龜吉, 濕度と水分, コロナ社, 日本, 東京, 1958.
3. R. G. Wylie, and T. L alas, “The WMO Psychrometer”, Division of Applied Physics Technical Paper No.3, 1981.
4. A. Wexler, Journal of Research, NBS, Vol.80A, p.775, 1976.