

# 資 料

## 濕空氣의 性質計算을 위한 컴퓨터 프로그램 A Computer Program for the Calculation of Psychrometric Properties of Air

琴 東 赫\*  
Keum Dong Hyuk

### 기호의 뜻

- h = 습공기의 엔탈피 (J/kg)
- $h_{f,s}$  = 포화온도에서의 물의 증발 잠열 (J/kg)
- $h'_{f,s}$  =  $T_{wb}$ 에서의 물의 증발 잠열 (J/kg)
- $h''_{f,s}$  =  $T_{dp}$ 에서의 물의 증발 잠열 (J/kg)
- $h_{g,s}$  = 얼음의 승화열 (J/kg)
- $h'_{g,s}$  =  $T_{wb}$ 에서의 얼음의 승화열 (J/kg)
- $h''_{g,s}$  =  $T_{dp}$ 에서의 얼음의 승화열 (J/kg)
- H = 절대습도 (kg수증기/kg건공기)
- $P_{atm}$  = 대기압 (Pa)
- $P_s$  = 온도 T에서의 포화 증기압 (Pa)
- $P_v$  = 수증기압 (Pa)
- rh = 상대습도 (소수)
- t = 건구온도 (°C)
- $t_{dp}$  = 노점온도 (°C)
- $t_{wb}$  = 습구온도 (°C)
- T = 건구온도 (K)
- $T_{dp}$  = 노점온도 (K)
- $T_{wb}$  = 습구온도 (K)
- $V_{sa}$  = 비체적 ( $m^3/kg$  건공기)

### 1. 서 언

穀物の 乾燥, 農産物の 저장, 空氣調和 등과 같은 많은 工學的인 應用에 濕空氣의 性質의 計算이 필수적으로 요구된다. 이러한 濕空氣의 性質은 보통 濕空氣線圖 및 表 혹은 半實驗的 數學 모델을 이용하여 계산한다. 線圖나 表로 주어진 자료는 사용하기 불편하기 때문에 半實驗的 數學 모델에 근거한 컴퓨터 프로그램을 利用하는 경우가 많다.

본 자료에서는 ASAE D 271.2에 근거하여 Ler-

ew<sup>(1)</sup>가 발표한 濕空氣性質計算을 위한 副프로그램 패키지 SYCHT에서 飽和溫度와 濕球溫度 計算方法만을 수정하여 소개한다.

이 프로그램은 乾球溫度, 濕球溫度, 露占溫度, 絕對濕度, 蒸氣壓, 潛熱, 엔탈피 및 比體積 등의 파라미터를 포함하고 있으며, 두개의 독립성질이 주어지면 다른 모든 濕空氣의 性質을 계산할 수 있다.

### 2. 濕空氣性質의 關係式

SYCHT에 使用된 습공기 성질의 수학적 관계식은 다음과 같다.

#### 가. 飽和蒸氣壓

$255.37 \leq T \leq 273.16$  일 때

$$\ln P_s = 31.9602 - \frac{6270.3605}{T} - 0.46057 \ln T \dots \dots \dots (1)$$

$273.16 \leq T \leq 533.16$  일 때

$$\ln(P_s/R) = \frac{A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4}{FT - GT^2} \dots \dots \dots (2)$$

여기서,  $R = 22,105,649.25$

$A = -27,405.526$

$B = 97.5413$

$C = -0.146244$

$D = 0.12558 \times 10^{-3}$

$E = -0.48502 \times 10^{-7}$

$F = 4.34903$

\*成均館大學校 農科大學 農業機械工學科

$$G = 0.39381 \times 10^{-2}$$

나) 飽和溫度

포화압력이 주어질 때 포화온도를 계산하기 위한 방법으로 (1)식과 (2)식으로부터 포화온도에 관한 해를 구하는 방법도 있으나(ASAE 표준방법) AS-HRAE에서는 통계역학적 개념을 사용하여 도출한 다음 식을 추천하고 있다.

$$t = AP_s^B + C \ln(P_s) + D \dots \dots \dots (3)$$

여기서 상수 A, B, C 및 D의 값은 다음과 같으며 t와 P<sub>s</sub>의 단위는 각각 °C와 kPa이다.

(a)  $0.00016 \leq P_s \leq 0.61074 \text{ kPa} (-73.3^\circ\text{C} \leq t \leq 0^\circ\text{C})$  일 때

$$\begin{aligned} A &= 82.44543 & B &= 0.1164067 \\ C &= 3.056448 & D &= -76.34573 \end{aligned}$$

(b)  $0.61074 \leq P_s \leq 101.34 \text{ kPa} (0^\circ\text{C} \leq t \leq 100^\circ\text{C})$  일 때

$$\begin{aligned} A &= 33.38269 & B &= 0.2226162 \\ C &= 7.156019 & D &= -26.39589 \end{aligned}$$

(c)  $101.34 \leq P_s \leq 4688.5 \text{ kPa} (100^\circ\text{C} \leq t \leq 260^\circ\text{C})$  일 때

$$\begin{aligned} A &= 13.85606 & B &= 0.2949901 \\ C &= 12.10512 & D &= -10.03128 \end{aligned}$$

다. 潛熱

$255.38 \leq T \leq 273.16$  일 때

$$h_{ig} = 2,839,683.144 - 212.56384 (T - 255.38) \dots \dots \dots (4)$$

$273.16 \leq T \leq 338.72$  일 때

$$h_{fg} = 2,502,535.259 - 2,385.76424 (T - 273.16) \dots \dots \dots (5)$$

$338.72 \leq T \leq 533.16$  일 때

$$h_{fg} = (7,329,155,978,000 - 15,995,964.08 T^2)^{1/2} \dots \dots \dots (6)$$

라. 濕球溫度

건구온도와 노점온도가 주어질 때 습구온도를 결정하는 방법으로 ASAE에서 제시한 방법은 ASAE 표준방정식이 7개가 필요할 뿐만 아니라 비선형방정식의 해를 구하기 위한 복잡한 계산과정이 요구된다.

Chau<sup>(1)</sup>는 건구온도와 노점온도로부터 습구온도를 구하기 위하여 습공기선도를 7개 구간으로 나누고 다음과 같은 양 함수의 식을 제시하였다.

$$t_{wb} = t_{dp} + [b_1(D_t)^3 + b_2(D_t)^2 + b_3(D_t)] \exp(b_4 D_t + b_5) \{(t_{dp})^{b_6}\} \dots \dots \dots (7)$$

여기서, 상수 b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, …, b<sub>6</sub>는 표 1과 같으며, D<sub>t</sub> = t - t<sub>dp</sub>이다.

표 1에서 b<sub>6</sub>는 다음 식으로 산출한다.

$$t_{db}^* = a t_{dp}^3 + b t_{dp}^2 + c t_{dp} + d \dots \dots \dots (8)$$

$$\text{여기서, } a = -0.38799 \times 10^{-3}$$

$$b = -0.26394 \times 10^{-1}$$

$$c = -0.76378$$

$$d = 0.28894 \times 10^{-3}$$

마. 絕對濕度

$$H = \frac{0.6219 P_v}{P_{atm} - P_v} \dots \dots \dots (9)$$

바. 比體積

$$V_{sa} = \frac{287 T}{P_{atm} - P_v} \dots \dots \dots (10)$$

사. 엔탈피

엔탈피 = 공기엔탈피 + 노점온도에서의 물(혹은 얼음)의 엔탈피 + 노점온도에서의 증발(혹은 승화) 잠열 + 증발 후에 수증기(과열증기)에 첨가되는 엔탈피.

$255.38 \leq T_{dp} \leq 273.16$  일 때

$$\begin{aligned} h &= 1006.92540 (T - 273.16) - \\ &H(333,432.1 + 2030.5980(273.16 - T_{dp})) + h_{ig}'' H + 1875.6864 H \\ &(T - T_{dp}) \dots \dots \dots (11) \end{aligned}$$

Table 1. Values of the coefficients in equation[7] for the 7 zones on the psychrometric chart (SI units)

Zone	1	2	3	4
	$-18 \leq t_{dp} < 0^{\circ}\text{C}$ $-18 \leq t_{db} < t_{db}^*$	$-18 \leq t_{dp} < 0^{\circ}\text{C}$ $t_{db}^* \leq t_{db} \leq 82^{\circ}\text{C}$	$-18 \leq t_{dp} < 0^{\circ}\text{C}$ $82 < t_{db} \leq 149^{\circ}\text{C}$	$-18 \leq t_{dp} < 0^{\circ}\text{C}$ $149 \leq t_{db} \leq 260^{\circ}\text{C}$
b <sub>1</sub>	$0.125896 \times 10^{-6}$	$0.118282 \times 10^{-4}$	$0.509257 \times 10^{-5}$	$0.192236 \times 10^{-5}$
b <sub>2</sub>	$-0.476257 \times 10^{-2}$	$-0.370293 \times 10^{-2}$	$-0.243035 \times 10^{-2}$	$-0.143934 \times 10^{-2}$
b <sub>3</sub>	0.463702	0.578023	0.519673	0.441919
b <sub>4</sub>	$0.679164 \times 10^{-3}$	$-0.325391 \times 10^{-4}$	$-0.388462 \times 10^{-4}$	$-0.215822 \times 10^{-4}$
b <sub>5</sub>	0.120197	$0.302971 \times 10^{-1}$	$0.287864 \times 10^{-1}$	$0.255032 \times 10^{-1}$
b <sub>6</sub>	0.547492	0.878100	0.897871	0.904967
Zone	5	6	7	
	$0 \leq t_{dp} \leq 40^{\circ}\text{C}$ $0 \leq t_{db} \leq 82^{\circ}\text{C}$	$0 \leq t_{dp} \leq 40^{\circ}\text{C}$ $82 < t_{db} \leq 149^{\circ}\text{C}$	$0 \leq t_{dp} \leq 40^{\circ}\text{C}$ $149 < t_{db} < 260^{\circ}\text{C}$	
b <sub>1</sub>	$0.157853 \times 10^{-4}$	$0.571141 \times 10^{-5}$	$0.200000 \times 10^{-5}$	
b <sub>2</sub>	$-0.413278 \times 10^{-2}$	$-0.257305 \times 10^{-2}$	$-0.146300 \times 10^{-2}$	
b <sub>3</sub>	0.587189	0.525065	0.441100	
b <sub>4</sub>	$0.560380 \times 10^{-4}$	$0.293342 \times 10^{-4}$	$0.146200 \times 10^{-4}$	
b <sub>5</sub>	$-0.197368 \times 10^{-1}$	$-0.165536 \times 10^{-1}$	$-0.137500 \times 10^{-1}$	
b <sub>6</sub>	$0.115724 \times 10^1$	$0.118502 \times 10^1$	$0.120600 \times 10^1$	

273.16 ≤ T<sub>dp</sub> ≤ 373.16 일 때

$$h = 1006.92540(T - 273.16) + 4186.8 H(T_{dp} - 273.16) + h''_{fg} H + 1875.6864 H(T - T_{dp}) \dots (12)$$

아. 相對濕度

$$rh = P_v/P_s \dots (13)$$

### 3. 컴퓨터 프로그램

습공기의 성질을 계산하기 위한 프로그램SYCHT는 13個의 函數副프로그램으로 구성되어 있으며 필

요한 濕空氣性質計算을 위한 主프로그램과 연결하여 사용해야 한다. SYCHT에 포함된 함수부프로그램의 뜻은 다음과 같다.

HADBRH : 乾球溫度와 相對濕度가 주어질 때 絕對濕度 결정

HADP : 露點溫度가 주어질 때 절대습도 결정

HAPV : 蒸氣壓이 주어질 때 절대습도 결정

RHDBHA : 건구온도와 절대습도가 주어질 때 상대습도 결정

PVDBWB : 건구온도와 濕球溫度가 주어질 때 증기압 결정

PVDBVS : 건구온도와 比體積이 주어질 때 증기압 결정

PVHA : 절대습도가 주어질 때 증기압 결정

DBPS : 포화수증기압이 주어질 때 건구온도 결정  
 WBDBDP : 건구온도와 노점온도가 주어질 때 습  
 구온도 결정  
 PSDB : 건구온도가 주어질 때 포화수증기압 결  
 정  
 HLDB : 건구온도가 주어질 때 潛熱 결정  
 VSDBHA : 건구온도와 절대습도가 주어질 때 비  
 채적 결정  
 ENDBDP : 건구온도와 노점온도가 주어질 때 엔  
 탈피 결정

두개의 독립적인 습공기의 성질이 주어지면 다른  
 모든 성질을 SYCHT 부프로그램 패키지를 이용  
 하여 계산할 수 있다.

다음의 프로그램은 건구온도가 30℃로 일정하게  
 주어지고 상대습도가 10%에서 90%까지 변할 때 절  
 대습도(HA), 포화수증기압(PS), 수증기압(PV),  
 노점온도(DP), 습구온도(WB), 잠열(HL), 엔탈피  
 (EN) 및 비채적(VS)을 계산하는 컴퓨터 프로그램  
 으로 초프로그램과 함수부프로그램 SYCHT로 구성  
 되어 있다.

#### 4. 計算例

```

PROGRAM SYCHT
OPEN(6, FILE='A:OUT.DAT', STATUS='NEW')
RH=0.0
DB=30.
WRITE (6,10)
10 FORMAT (6X, 'RESULTS OF CALCULATION')
WRITE (6,20)
20 FORMAT(3X, 'DB', 5X, 'RH', 8X, 'HA', 6X, 'PS', 8X, 'PV', 5X, 'DP', 5X, 'WB'
1      , 6X, 'HL', 7X, 'EN', 6X, 'VS')
DB=DB+273.16
DO 30 I=1,9
RH=RH+0.1
HA=HADBRH(DB, RH)
PS=PSDB(DB)
PV=PVHA(HA)
DP=DBPS(PV)
WB=WBDBDP(DB, DP)
HL=HLDB(DB)
VS=VSDBHA(DB, HA)
EN=ENDBDP(DB, DP)
WRITE (6,40) DB, RH, HA, PS, PV, DP, WB, HL, EN, VS
40 FORMAT(F6.1, 1X, F4.1, 1X, F10.5, 1X, F8.1, 1X, F8.1, 1X, F6.1, 1X, F6.1,
1      1X, F9.1, 1X, F9.1, 1X, F5.2)
30 CONTINUE
STOP
END
C *****
C
C SYCHT PACKAGE
C
FUNCTION HADBRH(DB, RH)
HADBRH=HAPV(RH*PSDB(DB))
RETURN
END
C

```

```

FUNCTION HADP(DP)
HADP=HAPV(PSDB(DP))
RETURN
END
C
FUNCTION HAPV(PV)
HADP=0.6219*PV/(101325.-PV)
RETURN
END

FUNCTION RHDBHA(D1,D2)
A=PSDB(D1)
B=PVHA(D2)
1 IF(B.GT.A) GO TO 2
RHDBHA=B/A
RETURN
2 RHDBHA=0.9999
RETURN
END
C
FUNCTION PVDBWB(DB,WB)
DATA PATM/101325./
A=PSDB(WB)
B=0.6219*HLDB(WB)*PATM
C=1006.9254*(A-PATM)*(WB-DB)
PVDBWB=(A*B-C*PATM)/(B+0.15577*C)
RETURN
END
C
FUNCTION PVDBVS(DB,VS)
DATA PATM/101325./
PVDBVS=PATM-287.*DB/VS
RETURN
END
C
FUNCTION PVHA(HA)
DATA PATM/101325./
PVHA=HA*PATM/(0.6219+HA)
RETURN
END
C
FUNCTION DBPS(PS)
PS=0.001*PS
IF(PS.GE.1.6E-4.AND.PS.LE.0.61074) THEN
  A=82.44543
  B=0.1164067
  C=3.056448
  D=-76.34573
ELSE
  A=33.38269

```

```

      B=0.2226162
      C=7.156019
      D=-26.39589
ENDIF
DBPS=A*PS**B+C*ALOG(PS)+D+273.16
PS=PS*1000.
RETURN
END

```

C

```

FUNCTION WBDBDP(DB,DP)
DATA A,B,C,D/-0.38799E-03,-0.026394,-0.76378,0.28894E-03/
DB=DB-273.16
DP=DP-273.16
TDB=A*DP**3+B*DP*DP+C*DP+D
IF(DP.GE.-18.0.AND.DP.LT.0.0) THEN
  IF(DB.GE.-18.0.AND.DB.LT.TDB) THEN
    B1=0.125896E-06
    B2=-0.476257E-02
    B3=0.463702
    B4=0.679164E-03
    B5=0.120197
    B6=0.547492
  ELSE
    IF(DB.GE.TDB.AND.DB.LE.82.0) THEN
      B1=0.118282E-04
      B2=-0.370293E-02
      B3=0.578023
      B4=-0.325391E-04
      B5=0.302971E-01
      B6=0.878100
    ELSE
      B1=0.509257E-05
      B2=-0.243035E-02
      B3=0.519673
      B4=-0.388462E-04
      B5=0.287864E-01
      B6=0.897871
    ENDIF
  ENDIF
ELSE
  IF(DB.GE.0.0.AND.DB.LE.82.0) THEN
    B1=0.157853E-04
    B2=-0.413278E-02
    B3=0.587189
    B4=0.560380E-04
    B5=-0.197368E-01
    B6=0.115724E+01
  ELSE
    B1=0.571141E-05

```

```
B2=-0.257305E-02
B3=0.525065
B4=0.293342E-04
B5=-0.165536E-01
B6=1.18502
ENDIF
```

```
ENDIF
DT=DB-DP
WB=DP+(B1*DT**3+B2*DT*DT+B3*DT)*EXP((B4*DT+B5)*ABS(DP)**B6)
WBDBDP=WB+273.16
DB=DB+273.16
DP=DP+273.16
RETURN
END
```

C

```
FUNCTION PSDB(DB)
DATA R,A,B,C,D,E,F1,G/22105649.25,-27405.526,97.5413,-0.146244,
10.12558E-03,-0.48502E-07,4.34903,0.39381E-02/
IF(DB-273.15) 1,2,2
1 PSDB=EXP(31.9602-6270.3605/DB-0.46057*ALOG(DB))
RETURN
2 PSDB=R*EXP((A+B*DB+C*DB**2+D*DB**3+E*DB**4)/(F1*DB-G*DB**2))
RETURN
END
```

C

```
FUNCTION HLDB(DB)
IF(DB-273.16) 1,1,2
1 HLDB=2839683.144-212.56384*(DB-255.38)
RETURN
2 IF(DB-338.72) 3,3,4
3 HLDB=2502535.259-2385.76424*(DB-273.16)
RETURN
4 HLDB=SQRT(7329155978.E+3-15995964.08*DB*DB)
RETURN
END
```

C

```
FUNCTION VSDBHA(DB,HA)
DATA PATM/101325./
VSDBHA=287.*DB*(0.6219+HA)/0.6219/PATM
RETURN
END
```

C

```
FUNCTION ENDBDP(DB,DP)
HA=HADP(DP)
T1=1006.9254*(DB-273.16)+HLDB(DP)*HA+1875.6864*HA*(DB-DP)
IF(DP-273.16) 1,2,2
1 ENDBDP=T1-HA*(333432.1+2030.598*(273.16-DP))
RETURN
2 ENDBDP=T1+4186.8*HA*(DP-273.16)
RETURN
END
```

C \*\*\*\*\*-97-\*\*\*\*\*

RESULTS OF CALCULATION

DB	RH	HA	PS	PV	DP	WB	HL	EN	VS
303.2	.1	.00261	4242.2	424.2	268.8	286.6	2430962.0	36945.0	.86
303.2	.2	.00525	4242.2	848.4	277.8	289.0	2430962.0	43662.9	.87
303.2	.3	.00791	4242.2	1272.7	283.7	291.2	2430962.0	50471.7	.87
303.2	.4	.01059	4242.2	1696.9	288.1	293.3	2430962.0	57330.0	.87
303.2	.5	.01330	4242.2	2121.1	291.6	295.2	2430962.0	64241.4	.88
303.2	.6	.01603	4242.2	2545.3	294.6	297.0	2430962.0	71208.3	.88
303.2	.7	.01878	4242.2	2969.6	297.1	298.7	2430962.0	78232.8	.88
303.2	.8	.02155	4242.2	3393.8	299.3	300.3	2430962.0	85316.2	.89
303.2	.9	.02435	4242.2	3818.0	301.3	301.7	2430962.0	92459.8	.89

참고문헌

1. ASAE Year Book 1980. ASAE D271.2 Psychrometric Data.
2. Lerew, L.W. 1972. A Fortran Psychrometric Model. M.S.Thesis, Michigan State

University.

3. Chau, K.V. 1980. Some New Empirical Equations for Properties of Moist Air. Trans. of ASAE pp.1266-1271.
4. ASHRAE, 1977. Handbook of Fundamentals.