

습공기선도 상에서 20 종류의 상태값 및 과정값의 표현

김 덕 진[†]

에너코스

Drawing of Twenty Kinds of State and Process Values on Psychrometric Chart

Deok-Jin Kim[†]

ABSTRACT: Psychrometric chart displays graphically the state and process values of moist air, therefore it is very conveniently used in the air-conditioning and refrigeration systems. In general psychrometric chart, there are dry bulb temperature, web bulb temperature, absolute humidity ratio, relative humidity, specific enthalpy, specific volume, sensible heat factor, and enthalpy-humidity difference ratio. However, various state and process values including above values can be plotted on psychrometric chart. In this study, we developed the computational chart drawing twenty kinds of lines including vapor pressure, mole fraction ratio of vapor, dew point temperature, degree of saturation, density, specific entropy, specific exergy, contact or bypass factor, discomfort index, discomposition index, predicted mean vote index, and predicted percent dissatisfied. We wish to this chart is a help to the design, analysis, and education in the air-conditioning and refrigeration field.

Key words: Moisture air(습공기), Psychrometric chart(습공기선도), Air-conditioning(공기조화), Refrigeration(냉동), Property(물성치), Quantity of state(상태량)

1. 서 론

습공기선도(Psychrometric chart)는 습공기의 열역학적 상태량을 시각적으로 표현하고 있어, 공기조화 및 냉동 분야 등에서 매우 편리하게 사용되고 있다.

일반적으로 습공기선도 상에는 상태값으로 건구온도, 습구온도, 절대습도, 상대습도, 비엔탈피, 비체적이 출력되어 있으며, 과정값으로 현열비와 열수분비가 출력되어 있다. 이 중 2가지의 상태값을 알면 대기압 환경하에서 나머지 값들을 습공기선도를 이용하여 쉽게 구할 수 있다.

대한설비공학회에서는 온도범위 -30℃부터 120℃까지 3가지 종류의 습공기선도를 현재 무료로 배포하고 있으며, ASHRAE의 웹사이트에서는 -40℃부터 400℃까지 19종류의 습공기선도를 현재 유료 판매하고 있다. 한편, 공기조화 시스템 해석 소프트웨어가 다양하게 개발되고 있으며, 인터넷 상에서 판매중인 소프트웨어로 ASHRAE의 Psychrometric analysis, Elite software사의 PsyChart, Akton사의 Psychrometrics, Hands down software사의 HDPsyChart, CYTSoft사의 Psychrometric chart 등이 있다.

습공기의 상태값은 차트 및 소프트웨어를 이용하여 구할 수 있을 뿐만 아니라, 수식으로부터 직접적으로 구할 수도 있다. 습공기를 완전기체로 그리고 비열을 상수로 가정하면 ASHRAE Fundamentals Handbook⁽¹⁾에서 제시된 수식으로

[†] Corresponding author

Tel.: +82-61-793-2730; fax: +82-61-794-2730

E-mail address: enecos@hotmail.com

부터 표준환경과 가까운 상태에 대해 비교적 정확한 결과를 얻을 수 있다. 만약, 극고온이나 극저온 또는 표준압력에서 벗어난 경우는 Hyland와 Wexler^(2,3)가 제안한 수식으로부터 온도 -10°C 부터 200°C , 절대습도 0 kg/kg' 부터 0.10 kg/kg' , 그리고 총압 5 MPa 까지 상당히 정확한 결과를 얻을 수 있고, Sauer⁽⁴⁾ 등과 Nelson⁽⁵⁾ 등이 제안한 수식으로부터 온도 200°C 부터 320°C , 절대습도 0 kg/kg' 부터 1.0 kg/kg' , 그리고 총압 5 MPa 까지 상당히 정확한 결과를 얻을 수 있다.

공조시스템 해석 및 설계에서 중요한 값들은 위에서 열거한 8가지이며, 이 값들이 기존의 습공기선도 상에 표현되어 있다. 그러나 수증기 분압, 수증기 몰비, 비교습도, 노점온도, 비엔트로피, 비엑서지, 밀도, 콘택트팩터, 부패지수, 불패지수, 예상평균온열감지수, 예상불만족률 등이 습공기선도 상에 새롭게 표현될 수 있다.

따라서 본 연구에서는 공조냉동의 기술교육 및 시스템 설계 등의 분야에서 습공기에 대한 이해를 보다 향상시키고 습공기선도가 보다 편리하게 사용될 수 있도록 습공기 선도상에 20 종류의 상태값 및 과정값을 작도하여 표현하고자 한다.

2. 상태값 및 과정값의 계산 수식

습공기의 상태값은 이상기체로 가정하여 유도된 수식⁽¹⁾으로부터 또는 실험을 기반으로 제안된 관계식⁽²⁻⁵⁾으로부터 계산될 수 있다. 습공기를 이상기체로 가정할 경우 그 수식은 매우 간결해 질 뿐만 아니라, 포화공기의 습도, 엔탈피, 그리고 비체적이 대기압 이하의 환경 -50°C 부터 50°C 까지 실제습공기와 오차가 0.7% 이하⁽⁶⁾임과 같이 비교적 정확한 결과를 얻을 수 있다. 따라서 본 연구에서는 습공기를 이상기체로 가정하여 그 상태값을 계산하고 선도상에 출력하였다.

차트 작도를 위해, 건공기의 분자량은 28.9645 kg/kmol , 수증기의 분자량은 18.01528 kg/kmol , 건공기의 정압비열은 $1.006\text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$, 수증기의 정압비열은 $1.86\text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$, 0°C 에서 수증기의 잠열은 2501 kJ/kg 이 적용되었으며, 이 값들은 사용자가 소프트웨어를 통하여 변경되어질 수 있다.

3. 습공기선도 상에서의 작도 및 검토

습공기의 열역학적 상태량 파악 및 공조계산 등에서 습공기선도는 상당히 편리하다. 이 습공기선도에는 건구온도와 절대습도를 직교축으로 하는 $t-W$ 선도, 비엔탈피와 절대습도를 사교축으로 하는 $h-W$ 선도, 그리고 건구온도와 비엔탈피를 직교축으로 하는 $t-h$ 선도가 있다. 과거에는 $t-W$ 선도가 많이 활용되었으며, 포화선상의 엔탈피를 구한 후, 그 엔탈피선을 습구온도와 평행하게 작도 하였다. 이러한 방식은 습구온도의 변화가 엔탈피에 포함되지 않은 것으로 Fig. 21에서 등습구온도선과 등엔탈피선과의 차이만큼 오차를 발생시킨다. 현재에는 $t-h$ 선도를 많이 적용하고 있으며, 이 선도에서는 등엔탈피선과 등습구온도선이 구분되어 작도되었다. 본 연구에서 개발한 습공기선도는 이해하기 편리한 $t-W$ 선도를 좌표축으로 하였으며, $h-W$ 선도와 계산상 같은 값을 갖는다.

Fig. 1~Fig. 20과 같이 습공기선도 상에 20 종류의 상태값 및 과정값을 작도하였으며, 각 선도의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

Fig. 1에는 등습구온도선이 출력되어 있으며, Fig. 22에서 확인할 수 있듯이 미세하게 곡선으로 표현된다.

Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4에는 수증기분압, 이슬점온도, 수증기의 몰비가 출력되어 있다. 수식으로부터 알 수 있듯이 이 값들은 건구온도에 독립적이며, 차트상으로도 확인할 수 있다.

Fig. 5에는 등엔탈피선이 출력되어 있다. 수증기의 엔탈피 $1.86t$ 값은 잠열량 2501 에 비해 매우 작으므로 이 값을 생략한다면 엔탈피는 $t-W$ 좌표계에서 직선이 된다. 그러나 Fig. 22에서 확인할 수 있듯이 등엔탈피선은 미세하게 곡선이며 그 오차는 상당히 작음을 알 수 있다.

Fig. 6에는 등비체적선이 출력되어 있고, Fig. 7에는 등비교습도선이 출력되어 있다. 여기서, 이 두 값의 차이는 크지 않음을 확인할 수 있다.

Fig. 8에는 밀도가 출력되어 있다. 비체적과 밀도의 기울기가 서로 다른 이유는 비체적은 건공기의 질량을 기준으로 하나 밀도는 습공기의 질량을 기준으로 하기 때문이다.

Fig. 9에는 등엔트로피선, Fig. 10에는 등엑서지선이 출력되어 있다. 여기서, 엑서지는 환경상태를 기준으로 계산되는 값이므로, 표준 차트상에 표현할 수 없으므로 사용자는 복잡한 수식으로

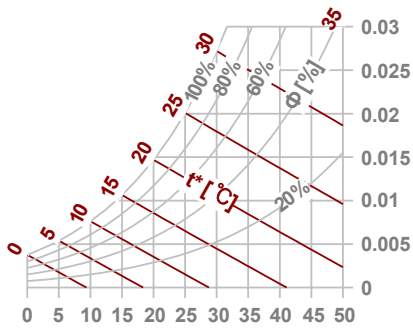


Fig. 1 Web bulb temperature.

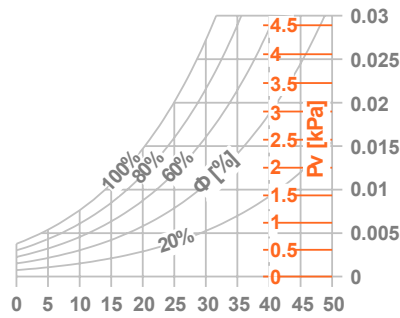


Fig. 2 Vapor pressure.

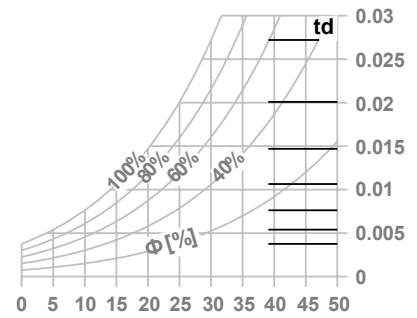


Fig. 3 Dew point temp.

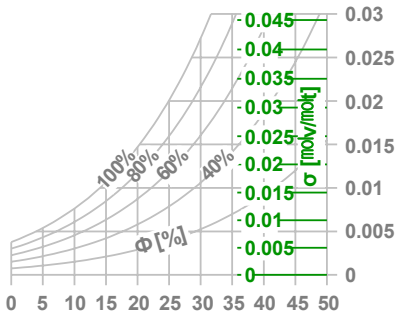


Fig. 4 Mole fraction ratio of vapor.

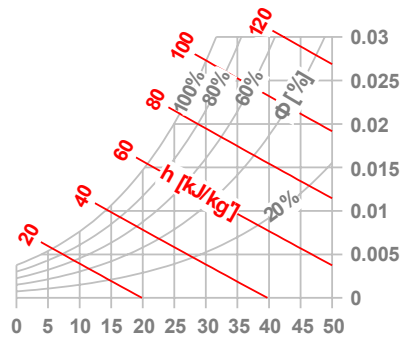


Fig. 5 Enthalpy.

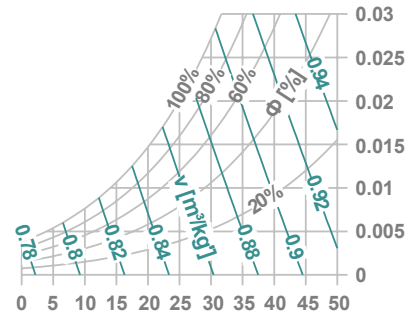


Fig. 6 Specific volume.

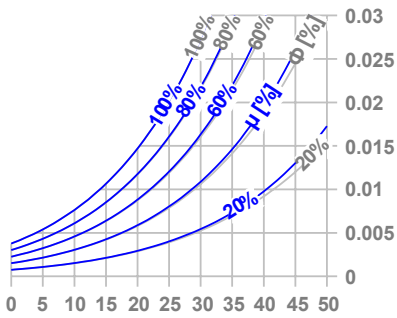


Fig. 7 Degree of saturation.

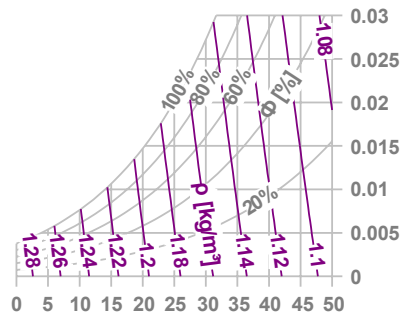


Fig. 8 Density.

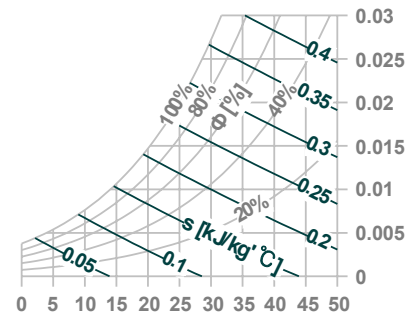


Fig. 9 Specific entropy.

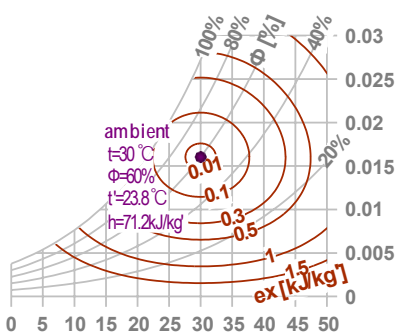


Fig. 10 Specific exergy.

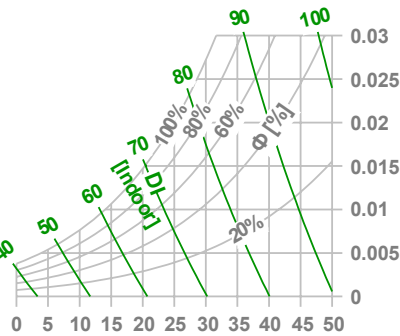


Fig. 11 Discomfort index.

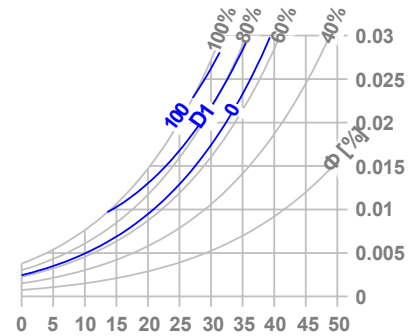


Fig. 12 Discomposition index.

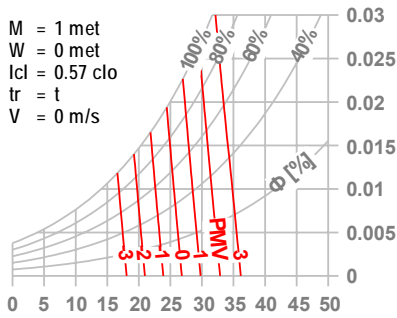


Fig. 13 Predicted mean vote index.

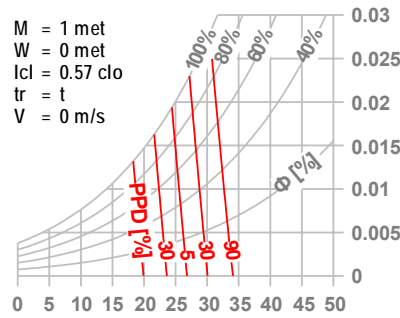


Fig. 14 Predicted percent dissatisfied.

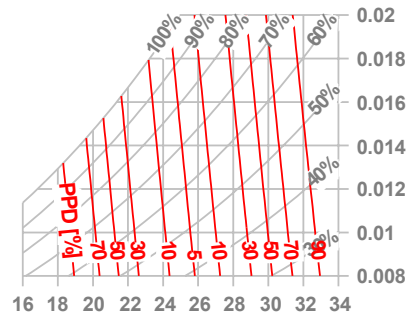


Fig. 15 Predicted percent dissatisfied.

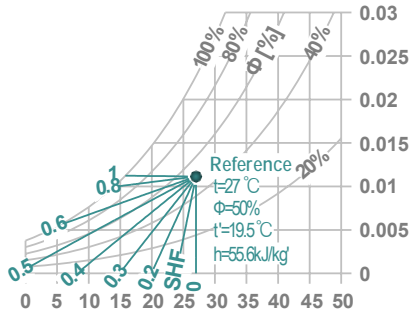


Fig. 16 Sensible heat factor.

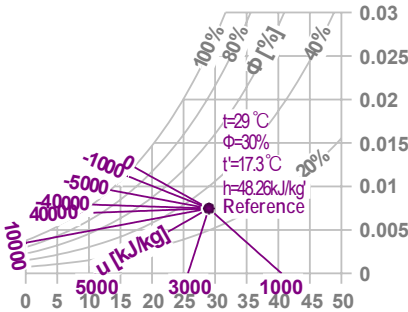


Fig. 17 Enthalpy-humidity difference ratio.

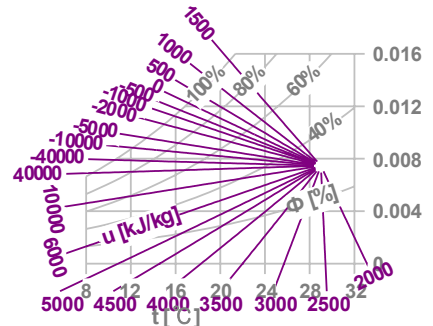


Fig. 18 Enthalpy-humidity difference ratio.

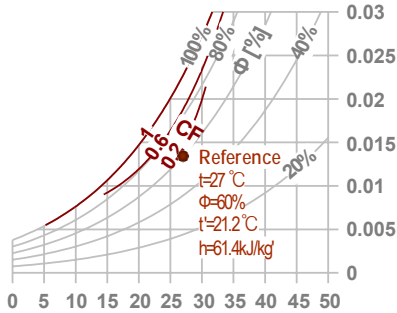


Fig. 19 Contact factor.

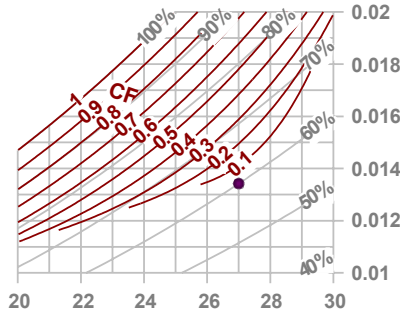


Fig. 20 Contact factor.

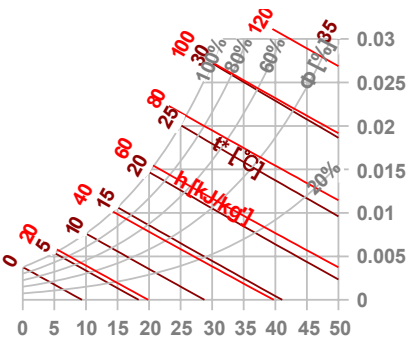


Fig. 21 Enthalpy and wet bulb temperature.

로부터 그 값을 직접 구해야 하는 불편함이 있다. 전산화된 차트는 사용자가 원하는 상태를 해석하므로 시간과 비용을 절약해 줄 수 있다.

Fig. 11에는 불쾌지수선, Fig. 12에는 부쾌지수선이 출력되어 있다. 불쾌지수에서는 건구온도와 상대습도 모두가 주요인자이며, 부쾌지수에서는 상대습도가 주요인자임을 차트상으로 확인할 수 있다. 특히 대략 상대습도 60% 이하의 구간에서의 부쾌지수는 0임을 인식할 수 있다.

Fig. 13에는 예상평균온열감지수, Fig. 14에는 예상불만족도가 출력되어 있다. 이 값들은 쾌적

열환경 설계 분야에서 상당히 중요하게 취급된다. 그러나 기류, 평균복사온도, 활동량, 착의량의 4가지 인자가 독립적으로 추가되므로, 이 역시 표준 차트상에서는 출력을 할 수 없는 값이다. 개발된 차트는 사용자의 입력조건에 따른 값들을 출력하므로 상당히 편리하다 할 수 있다. 한편 Fig. 14의 예상불만족도는 Fig. 11의 불쾌지수와 비교될 수 있으며, 이 두 값의 경향이 많이 다르다는 것을 확인할 수 있다. 이 이유에 대해 검토해 볼 필요성이 있을 것으로 여겨진다.

Fig. 16에는 현열비, Fig. 17에는 열수분비가

