

공기의 온도-엔트로피 선도 상에서 13 종류의 물성치 작도

김 덕 진[†], 김 덕 봉^{*}

에너코스, *광주과학기술원

Plotting of 13 Kinds of Properties on Temperature-Entropy Chart of Air

Deok-Jin Kim[†], Duck-Bong Kim^{*}

ABSTRACT: The T-s chart of air displays graphically the thermophysical properties, so it is very conveniently used in various thermal systems. In previous study, the software analyzing 31 kinds of values in water system and 32 kinds of values in air-conditioning system were developed. In this study, the software drawing 13 kinds of quantity of state on air properties as ideal gas and analyzing 25 kinds of values in any air system was developed. The 13 kinds of quantity of state on air properties are temperature, pressure, specific volume, specific internal energy, specific enthalpy, specific entropy, specific exergy, exergy ratio, density, isobaric specific heat, isochoric specific heat, ratio of specific heat, and velocity of sound, and the 25 kinds of values including 13 kinds are mass flow rate, volume flow rate, internal energy flow rate, enthalpy flow rate, entropy flow rate, exergy flow rate, heat flow rate, power output, power efficiency, reversible work, lost work, and relative humidity. The developed software can draw any range of chart and analysis any state or process on air system. Also, this supports various document-editing functions such as power point. We wish to this chart is a help to design, analysis, and education in air system field.

Key words: T-s chart(온도-엔트로피 선도), Air(공기), Property(물성치), Ideal gas(이상기체)

1. 서 론

공기는 물-증기와 더불어 가장 흔한 물질임과 동시에 가장 필요로 되는 물질이며, 열역학적 상태량 값이 가장 잘 파악되어 있다. 또한 T-s 차트를 이용하여, 공기의 특성을 그래픽적으로 이해할 수 있고, 열적 시스템의 운전상태를 차트상에 수작업으로 쉽게 표현할 수 있다.

그러나 각종 데이터가 전산화되고 있는 현 시점에서, 수작업으로 공기에 대한 열적 시스템 설계와 해석을 수행할 경우, 파악된 값의 정확도가

떨어지고, 장시간의 작업시간이 소요되며, 전산화의 미비로 인한 기술 신뢰성 하락 등의 전체적인 효율이 떨어지게 된다. 따라서 전문 소프트웨어를 사용하여 시스템 설계 및 해석에 대한 신뢰성과 경제성을 높여야 할 것이다.

선행연구에서 습공기(Moisture air)에 대한 20 종류의 상태값 및 과정값을 건구온도-절대습도 좌표계에 표현하고, 공기조화 시스템에서 32 종류의 값들을 해석할 수 있는 소프트웨어⁽¹⁾ 그리고 물-증기에 대한 19 종류의 상태량을 온도-엔트로피 차트에 표현하고, 31 종류의 값들을 해석할 수 있는 소프트웨어⁽²⁾를 개발한 바 있다.

현재, 전세계적으로 공기에 대한 T-s 선도를 자유롭게 작도할 수 있고, 시스템 해석을 수행하고 그 결과를 T-s 선도 상에 출력하는 소프트웨

[†] Corresponding author

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

E-mail address: enecos@hotmail.com

어는 아직 개발되지 않았다. 이에, 본 연구의 목적은 공기의 T-s 선도 상에 13 종류의 상태량을 그래픽적으로 전산화하고, 각 상태량의 특징을 수식과 선도 상으로 파악하는데 있다.

개발된 차트는 공기의 상태량을 모두 표현하고 있으며, 25 종류의 시스템 값을 열역학 제 1법칙과 제 2법칙적으로 해석할 수 있다. 또한 파워포인트와 같은 문서편집기능을 지원하고 있다. 이 전산화된 차트는 연구소, 산업계, 교육기관 등에서 편리하게 활용될 수 있을 것이다.

2. 상태량 계산 수식

본 수식에서 공기는 다양한 기체로 구성된 이상기체로 가정하였으며, 이러한 가정으로 비교적 정확한 공기의 상태량 값을 쉽게 구할 수 있다.

비체적 v 은 단위질량당 물체가 차지하는 부피이다. 본 차트에서는 공기를 이상기체로 가정하였으므로, 비체적은 이상기체 상태방정식으로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$v = RT/P \quad (1)$$

여기서 R 은 공기의 기체상수이다.

엔탈피 h 는 계의 내부 에너지와 계가 외부에 한 일에 해당하는 에너지 즉, 부피와 압력의 곱의 합으로 정의된다. 열적 시스템에서는 일반적으로 엔탈피가 많이 적용되며, 정압비열로부터 다음의 수식으로 구할 수 있다.

$$h = \frac{1}{M} \sum y_i \bar{h}_i = \frac{1}{M} \sum y_i \int_{T_{ref}}^T \bar{C}_{P,i} dT \quad (2)$$

여기서 M 은 공기의 분자량, y 는 몰비, 하첨자 i 는 공기를 구성하는 기체를 뜻한다.

내부에너지 u 는 계가 가지고 있는 미시적 에너지의 합으로 정의되며, 분자 구조와 분자 운동의 정도와 관계한다. 한편, 내부에너지는 엔탈피의 정의로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$u = h - Pv \quad (3)$$

엔트로피 s 는 열의 이동과 더불어 유효하게 이용할 수 있는 에너지의 감소 정도 또는 무효에너지

의 증가 정도를 나타내는 상태량이며 다음의 수식으로부터 구할 수 있다.

$$s = \frac{1}{M} \sum y_i \left[\int_{T_{ref}}^T \frac{\bar{C}_{P,i}}{T} dT - \bar{R} \ln \frac{P}{P_{ref}} - \bar{R} \ln y_i \right] \quad (4)$$

엑서지 e_x 는 어떤 에너지가 주어진 상태에서부터 환경상태로 변화하는 동안 얻을 수 있는 최대 유효일이다. 이 값은 물리적, 화학적, 운동, 위치 엑서지의 합이며, 일반적으로 열적 시스템에서 운동 및 위치 엑서지는 생략 가능하고, 공기에 대한 환경상태는 공기 그 자체이므로 화학적 엑서지 또한 수식에서 소거된다. 따라서 개방계일 경우 다음의 수식으로부터 공기에 대한 엑서지를 구할 수 있다.

$$e_x = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (5)$$

여기서, 하첨자 0은 환경상태를 뜻한다. 엑서지는 환경상태에 따라 그 값이 변하기 때문에 상태량이 아니다. 그러나 전산화된 차트 상에서는 환경상태에 따라 실시간 그 값을 표현하므로, 상태량화 할 수 있다.

엑서지율 ε 은 환경상태를 기준으로 주어진 에너지량과 얻을 수 있는 최대 유효일과의 비이며, 다음의 수식과 같다.

$$\varepsilon = \frac{e_x}{h - h_0} \quad (6)$$

밀도 ρ 는 단위부피당 물체가 차지하는 질량이며, 비체적과 역수관계이다.

$$\rho = 1/v \quad (7)$$

정압비열 C_p 은 압력이 일정하게 유지되면서 단위 질량당 물질의 온도를 1°C 올리는데 필요한 에너지로서, 직접 측정을 하거나 이상기체의 경우 분자의 통계적 거동으로부터 계산할 수 있다. 공기는 다양한 기체로 이루어진 이상기체로 취급되므로, 다음의 수식으로부터 정압비열을 구한다.

$$C_p = \frac{1}{M} \sum y_i \bar{C}_{P,i} \quad (8)$$

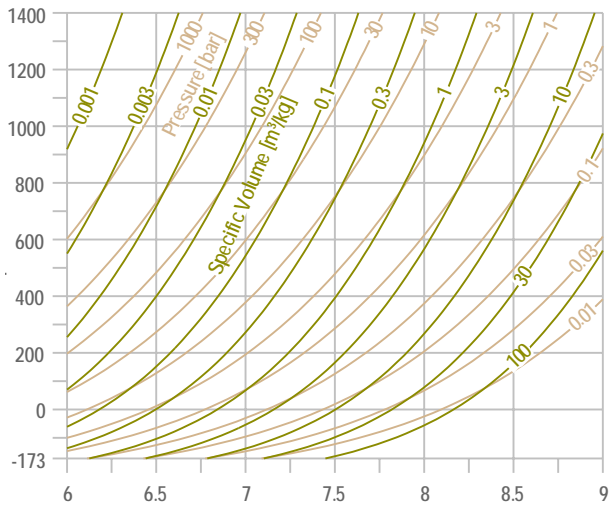


Fig. 1 Specific Volume.

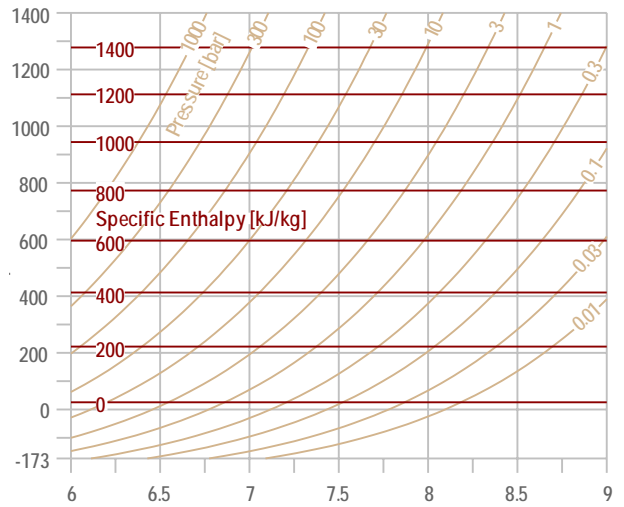


Fig. 2 Specific Enthalpy.

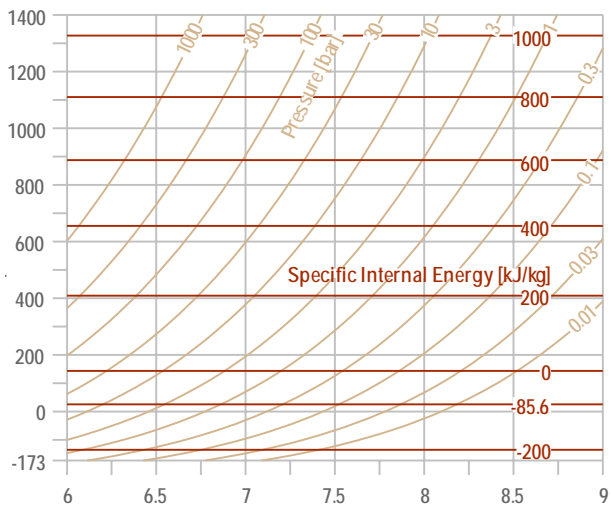


Fig. 3 Specific Internal Energy.

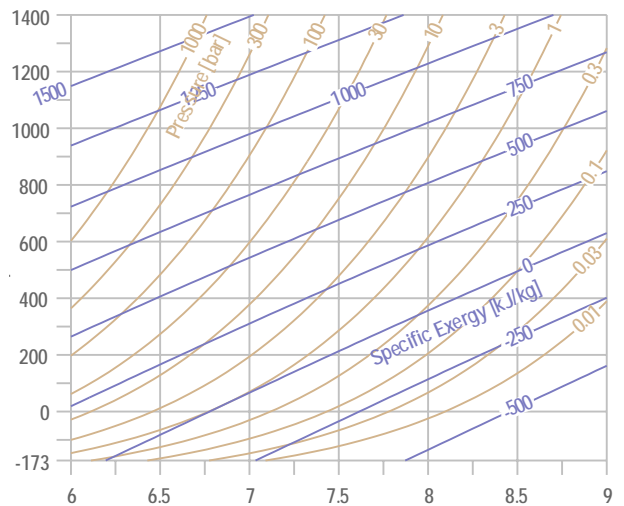


Fig. 4 Specific Exergy.

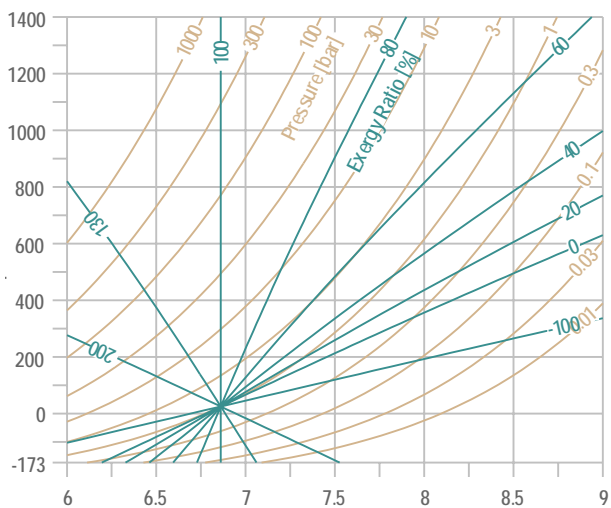


Fig. 5 Exergy Ratio.

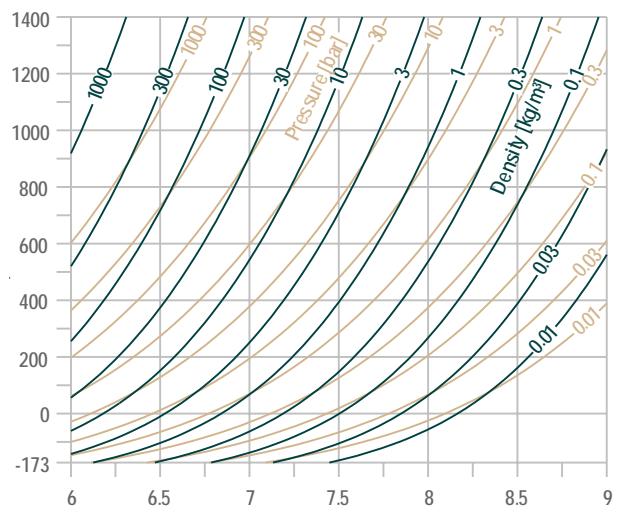


Fig. 6 Density

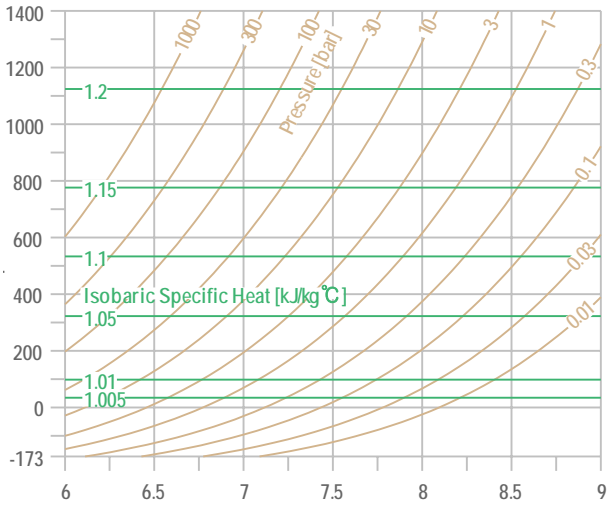


Fig. 7 Isobaric Specific Heat.

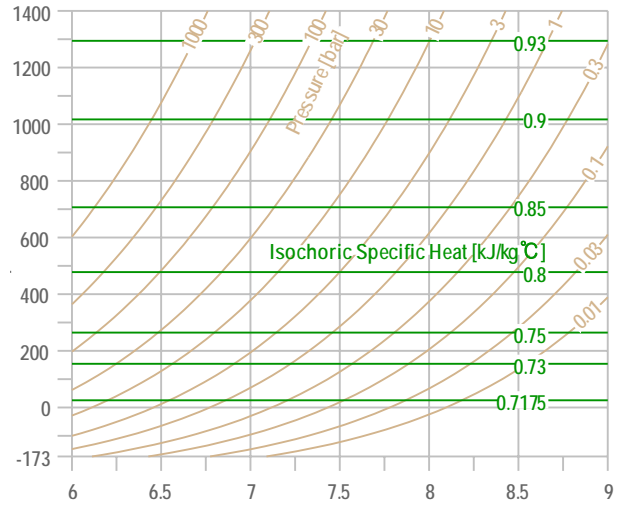


Fig. 8 Isochoric Specific Heat.

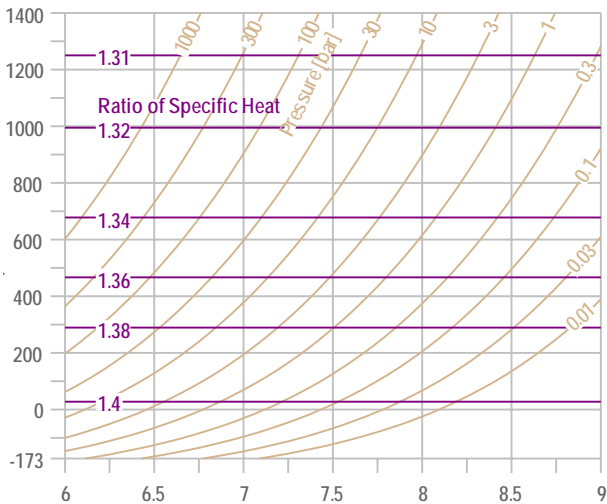


Fig. 9 Ratio of Specific Heat.

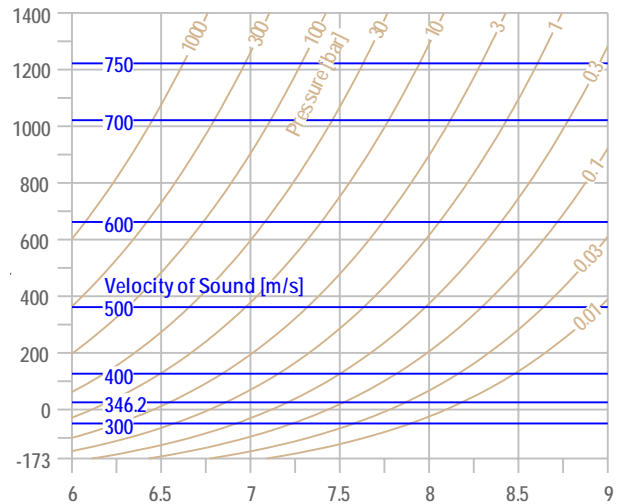


Fig. 10 Velocity of Sound.

정적비열 C_V 은 체적이 일정하게 유지되면서 단위 질량당 물질의 온도를 1°C 올리는데 필요한 에너지이며, 이상기체의 경우 다음과 같다.

$$C_V = C_P - R \quad (9)$$

비열비 k 는 정압비열과 정적비열과의 비이며, 다음과 같다.

$$k = C_P / C_V \quad (10)$$

음속 C 은 극히 미소한 압력차가 매질을 이동하는 속도이며, 이상기체일 경우 다음의 수식과 같이 온도만의 함수가 된다.

$$C = \sqrt{kRT} \quad (11)$$

3. T-s 선도 작도 및 검토

본 연구에서 개발된 차트는 이상기체에 대한 Propath Group⁽³⁾의 전산코드를 적용하였고, Fig. 1~Fig. 11의 차트는 질소 78.05%, 산소 20.99%, 아르곤 0.93%, 이산화탄소 0.03%로 이루어진 건 공기를 대상으로 하였다. 따라서 공기의 분자량은 28.837 kg/kmol 가스상수는 0.28834 kJ/kg°C이며, 기준 상태는 25°C, 1 bar이다.

식(1)~식(11)을 적용하여 Fig. 1~Fig. 10과 같이 T-s 선도 상에 13 종류의 상태량을 표현하였으며, 각 선도의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

Fig. 1에는 식(1)을 적용한 등비체적 선이 출력

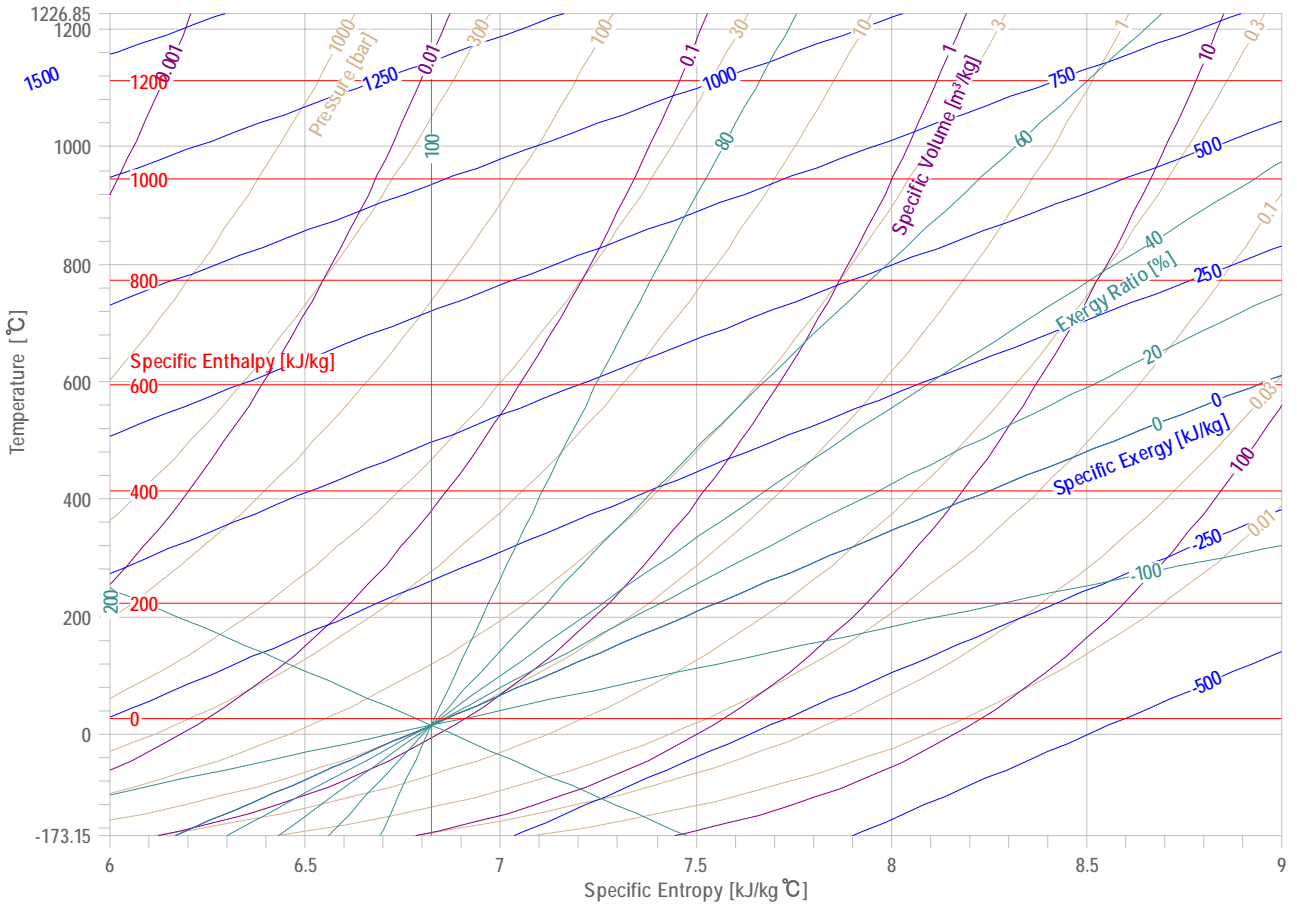


Fig. 11 Plotting of state values of air on T-s chart.

되어 있으며, 압력선도보다 그 기울기가 약간 더 크게 표현된다.

Fig. 2에는 식(2)를 적용한 등엔탈피 선이 출력되어 있다. 기준상태는 25°C이며, 정압비열을 1.0 kJ/kg°C과 같이 상수로 취급할 경우, 100°C에서는 1.3%, 500°C에서는 4.76%, 그리고 1000°C에서는 10.1%의 오차를 보인다.

Fig. 3에는 식(3)을 적용한 내부에너지 선이 출력되어 있다. 25°C에서 이 값은 -85.6 kJ/kg이다.

Fig. 4에는 식(5)를 적용한 등엑서지 선이 출력되어 있다. 주어진 상태에서 양의 값은 카르노 기관을 통해 최대 그 만큼의 일을 얻을 수 있다는 뜻이고, 음의 값은 최소 그 만큼의 일을 받아야 한다는 뜻이다.

Fig. 5에는 식(6)을 적용한 등엑서지율 선이 출력되어 있다. 이 값이 100%를 넘는 구간에서는 보유한 엔탈피 보다 더 많은 일을 카르노 기관을 통해 얻을 수 있다는 뜻이나, 이 상태를 만들기 위해서는 이전에 상당한 양의 전력 투입이 존재

함을 이해해야 하겠다. 엑서지와 엑서지율은 식(5)과 식(6)에서 볼 수 있듯이 T-s 선도상에서 직선으로 표현되며, 최적화 설계 분야에서 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

Fig. 6에는 식(7)을 적용한 밀도 선이 출력되어 있다. 이 값은 비체적 선과 정확히 일치한다.

Fig. 7에는 식(8)을 적용한 정압비열 선이 출력되어 있다. 25°C에서 1.005 kJ/kg°C이며, 온도가 증가할수록 정압비열 또한 증가한다.

Fig. 8에는 식(9)를 적용한 정적비열 선이 출력되어 있다. 25°C에서 0.7175 kJ/kg°C이며, 온도가 증가할수록 정적비열 또한 증가한다.

Fig. 9에는 식(10)을 적용한 비열비 선이 출력되어 있다. 25°C에서 비열비는 1.4이며, 온도가 증가할수록 비열비는 감소한다. 이 이유는 식(10)에서 온도가 증가할수록 정적비열은 증가하나 가스상수는 일정하기 때문이다.

Fig. 10에는 식(11)을 적용한 음속 선도가 출력되어 있다. 25°C에서 이 값은 346.2 m/s이며, 온

도가 증가할수록 음속 또한 증가하고 있다.

Fig. 11에는 T-s 선도 상에 압력, 비체적, 엔탈피, 엑서지, 엑서지율이 표현되어 있다. 이 차트를 이용하여 공기에 대한 열역학적 사이클을 이해하는데 도움이 될 수 있을 것이다.

4. 개발 소프트웨어의 특징

소프트웨어 개발을 위해 Visual C++ 툴을 이용하였다. 본 소프트웨어는 차트작도, 시스템해석, 그리고 편집기능으로 나눌 수 있다.

차트작도의 주된 기능으로는 4종류의 온도, 15종류의 압력, 11종류의 에너지, 5종류의 길이, 5종류의 질량, 3종류의 시간 단위를 자유로이 선택할 수 있고, 질소, 산소, 아르곤, 그리고 이산화탄소의 물분율에 따라 차트를 작도할 수 있고, 각종 상수, 차트의 범위, 선도의 종류, 색상, 글꼴 등을 사용자가 자유로이 선택할 수 있다.

시스템 해석의 주된 기능은 다음과 같다. 상태, 과정, 혼합, 연소 다이얼로그 박스로부터 25 종류 값들 중 임의의 3가지를 선택하면 나머지 값들이 자동으로 계산된다. 데이터는 값, 함수, 그리고 커브피팅을 위한 좌표값들 중 택일하여 입력될 수 있고, 차트상에서의 출력을 자유로이 사용자가 꾸밀 수 있다. 이러한 기능은 특정 과정을 해석하는 것이 아니라 어떠한 과정일 지라도 범용적으로 적용 가능하므로, 기존의 다양한 시스템 뿐만 아니라 기존의 형식에서 벗어난 시스템도 해석 가능하다.

차트의 편집은 파워포인트와 유사한 방식으로 이루어져 있다. 페이지 편집으로는 삽입, 축소, 확대, 복사, 붙여넣기, 삭제 기능 등이 있고, 직선, 곡선, 멀티-라인, 다각형, 화살표, 텍스트, 함수, 표 등의 다양한 도형을 삽입, 삭제, 복사, 붙여넣기, 클립보드 전송할 수 있고, 도형 및 객체에 대해 출력순서변경, 그룹묶기, 그룹해제, 되돌리기, 되살리기 등의 기능을 지원하고, 작성된 페이지 전체 혹은 부분 내용을 클립보드를 이용하여 타 프로그램에 붙여넣기, Emf, Wmf, Bmp, Gif, Jpeg, Jpg, Png, Tiff의 그림파일로 저장하기, 프린터로 인쇄하기, PDF 파일로 인쇄하기 등을 지원하고, 슬라이드 쇼를 통해 사용자가 직접 발표할 수도 있다.

5. 결론

공기에 대한 온도-엔트로피 선도 작도 소프트웨어는 전세계적으로 아직 개발되지 않았다. 이에 본 연구에서 13 종류의 상태값을 표현하고, 더 나아가 열역학 제 1법칙 그리고 제 2법칙적으로 12 종류의 시스템 값을 해석할 수 있는 전산화된 공기의 T-s 선도를 개발하였다.

전산화된 차트의 가장 큰 특징은 차트 작도 및 시스템 해석에 어떠한 제약 없이 사용자가 사용할 수 있다는 것이다. 즉 차트의 범위를 사용자가 결정할 수 있고, 시스템 해석을 위한 입력값으로는 25 종류의 값들 중에 3가지를 사용자가 선택하여 입력할 수 있다. 추가적으로, 파워포인트와 같은 문서편집 기능이 제공되어 사용자의 편의성 및 디자인 기능을 도모하였다.

개발된 차트의 작도에서 공기는 질소, 산소, 아르곤, 이산화탄소로 이루어진 그리고 시스템 해석에서는 수증기를 포함한 이상기체를 적용하였고, Propath Group ver.11.1의 물성치 코드를 적용하였다. 본 차트의 사용자에게는 공기의 특성을 이해하는 데 도움을 줄 수 있을 것으로 그리고 전산코드 개발자들에게는 개발된 전산코드의 신뢰성을 용이하게 파악할 수 있는 수단이 될 것으로 판단한다.

향후, 다양한 유체에 대해 물성치의 전산코드 및 시스템 해석을 전산화하여, 사용자에게 편의성을 제공하는 소프트웨어를 개발할 예정이다.

참고문헌

1. Kim, D. J., 2008, Drawing of twenty kinds of state and process on psychrometric chart, Proceedings of the SAREK Summer Annual Conference, pp. 1201-1206.
2. Kim, D. J., 2008, Program development for drawing of 26 properties and system analysis on T-s diagram of water or vapor. Proceedings of the SAREK Winter Annual Conference, pp. 157-164.
3. PROPATH Group, PROPATH: A program package for thermophysical properties of fluids, version 11.1.