

물의 과열증기 모델링에 대한 신경회로망과 스플라인법 비교

이태환* · 박진현* · 김봉환*

*진주산업대학교

Comparison of the neural networks with spline interpolation in modelling superheated water

Tae-hwan Lee* · Jin-hyun Park* · Bong-hwan Kim*

*Jinju National University

E-mail : thlee@jinju.ac.kr

요 약

상변화 물질을 취급하는 수치해석에서는 온도, 압력, 체적, 엔탈피, 엔트로피 등의 열역학적 성질들의 수치값이 필요하다. 그러나 열역학적 성질들은 증기표나 선도 등의 형태로 주어지기 때문에 그대로 이용할 수는 없고 모델링하여 사용하여야 한다. 본 연구에서는 2차 스플라인 보간법과 비교함으로써, 과열증기의 모델링에 신경회로망의 적용 가능성을 검토하였다.

신경회로망은 온도와 압력, 2개의 입력에 대하여 비체적, 엔탈피 및 엔트로피, 3개의 출력을 얻을 수 있도록 입력층, 은닉층 및 출력층으로 구성되었다. 스플라인 보간법은 2차 다항식을 사용하였으며, 주어진 압력에 대한 소구간의 온도에 적용하였다.

신경회로망 모델링은 많은 출력 범위에서 2차 스플라인 보간법보다 우수한 백분율 오차를 보였으며, 이 결과로부터 과열증기 모델링에 신경회로망이 아주 강력한 방법임을 확인하였다.

ABSTRACT

In numerical analysis for phase change material, numerical values of thermodynamic properties such as temperature, pressure, specific volume, enthalpy and entropy are required. But the steam table or diagram itself cannot be used without modelling. In this study applicability of neural networks in modelling superheated vapor region of water was examined by comparing with the quadratic spline.

neural network consists of an input layer with 2 nodes, two hidden layers and an output layer with 3 nodes. Quadratic spline interpolation method was also applied for comparison.

Neural network model revealed smaller percentage error to quadratic spline interpolation. From these results, it is confirmed that the neural networks could be powerful method in modelling the superheated range of the steam table.

키워드

증기표(Steam table), 과열증기(Superheated vapor), 신경회로망(Neural network), 스플라인 보간법(Spline interpolation)

1. 서 론

많은 양의 에너지 교환이 일어나는 열교환기(heat exchanger) 등의 장치를 효과적으로 설계하기 위하여는 열성능(thermal performance)에 대한 예측이 반드시 필요하다.[1] 상변화(phase change)를 이용하는 열교환기에서는 이러한 점이 더욱 더 강조된다.

열성능을 예측하기 위한 수치해석[2]에서는 주로 반복법(iteration method)이 사용된다. 반복의 각 단계에서는 온도(temperature) T , 압력(pressure) P , 비체적(specific volume) v , 엔탈피(enthalpy) h , 엔트로

피(entropy) s , 건도(dryness fraction) x 등의 열역학적 성질(thermodynamic property)들의 수치값이 요구된다. 이러한 열역학적 성질들의 수치값은 증기표(steam table)나 그림 1과 같은 선도로 주어지게 된다.

그러나 증기표[3]는 이산점(discrete point)에서의 값을 주기 때문에 필요한 점(point)에서의 성질들은 얻을 수 없다. 그림 1과 같은 선도는 연속적인 데이터를 제공하지만 읽기 오차가 발생한다. 이러한 이유로 증기표나 선도를 수치해석에 직접적으로 사용하는 것은 불가능하며, 적절한 모델링을 통하여 사용이 가능한 데이터로 바꾸어야 한다.

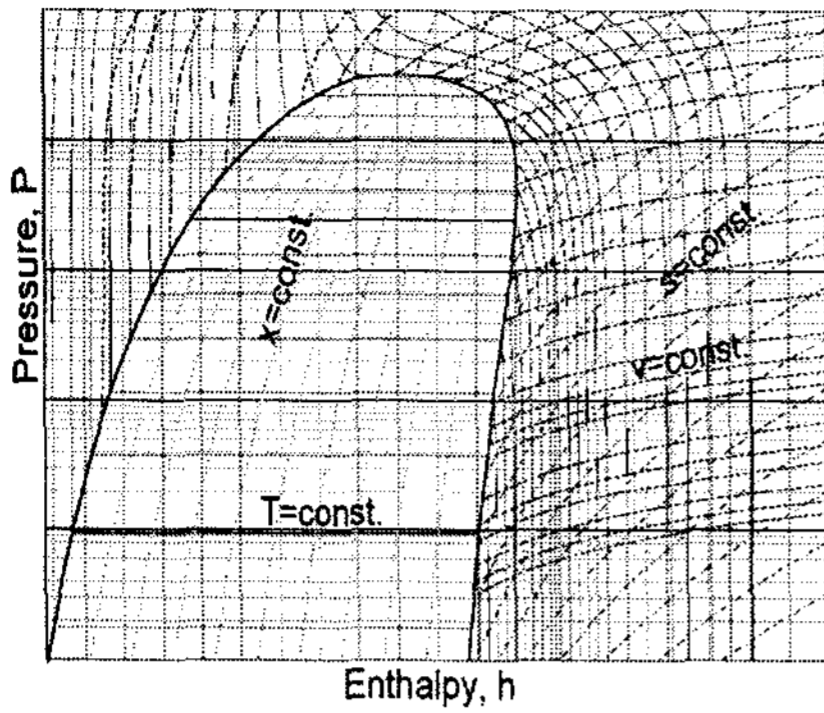


그림 1 몰리에 차트

그러나 열역학적 성질들이 서로 복잡한 함수 관계를 형성하고 있다는 점이 모델링에 큰 장애가 된다. 따라서 적절한 근사함수(approximation function)를 찾아내는 것이 모델링에서 가장 중요한 작업이 된다. 그러나 이러한 근사함수의 선택은 함수의 종류, 개인별, 모델링 범위 등에 따라 큰 영향을 받기 때문에 경험이 크게 좌우할 수 있다.

그림 1에서 알 수 있듯이 상변화 물질은 크게 3개의 영역으로 구분된다. 본 연구는 반타원형 곡선의 우측 영역인 과열영역(superheated region)을 연구 대상으로 하였다. 이 영역은 반타원형 곡선의 안쪽 영역인 포화영역(saturated region)과는 달리 2개의 입력을 필요로 한다.

본 연구에서는 물(water)의 과열영역의 모델링에 신경회로망(neural network)[4-5]을 적용하고, 결과를 스플라인 보간법(spline interpolation) 결과와 비교하였다.[6-8]

II. 본 론

2.1 신경회로망

물의 과열증기에 대한 열역학적 성질들을 모델링하기 위하여 그림 2와 같은 다층신경회로망을 구성하였다.

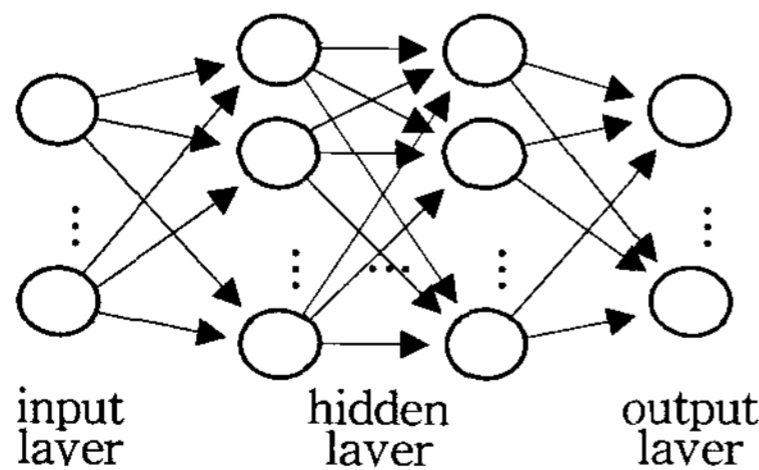


그림 2 다층신경회로망

구성된 다층신경회로망은 표 1과 같이 2개의 노드(node)로 이루어진 입력층(input layer), 2개의 은닉층(hidden layer), 3개의 출력층(output layer)으로 구성되

어 있다.

표 1. 신경회로망의 구조

layer	node	
input layer	2 nodes	
hidden layer	first layer	15 nodes
	second layer	25 nodes
output layer	3 nodes	
activation function	hyperbolic tangent function	

표 2는 표 1에 나타난 신경회로망에 사용된 입출력을 나타낸다.

표 2. 입출력 성질

	specification
fluid	water
state	superheated state
input data	temperature (T) pressure (P)
output data	specific volume (v) specific enthalpy (h) specific entropy (s)

2.2 스플라인 보간법

전체의 데이터를 곡선적합할 수 있는 근사함수를 찾기 어려울 경우, 흔히 여러 개의 소구간으로 나누어 모델링한다. 그러나 이러한 방법의 가장 큰 단점은 두 소구간의 경계에서 발생하는 불연속성이다. 스플라인(spline) 보간법은 소구간의 경계에서 발생하는 이러한 단점을 극복할 수 있는 보간법으로 알려져 있다.

본 연구에서는 신경회로망의 결과와 비교하기 위하여 스플라인 보간법으로도 해석하였다. 스플라인 보간법에서는 다항식의 선택에 따라 연속성과 소구간에서의 미분 가능성이 결정된다. 본 연구에서는 끝점에서 다양한 미분 조건을 적용할 수는 없는 단점은 있지만, 연속성과 미분 가능성을 동시에 제공하는 2차 스플라인(quadratic spline)을 적용하였다. 따라서 i 번째의 소구간에 적용한 스플라인은 식 (1)과 같다.

$$f_i(x) = ax^2 + bx + c \quad (1)$$

2차 다항식을 사용한 스플라인 보간법에서는 끝점에서 하나의 경계조건을 요구한다. 본 연구에서는 자율 경계조건(free boundary condition)을 적용하였다.

2.3 입력 데이터

본 연구에서 대상으로 한 것은 과열증기이다. 과열증기에 대한 열역학적 성질들을 모델링하기 위하여는 온도와 압력을 입력으로 주어야 한다.

그러나 신경회로망은 2개의 입력을 동시에 주고 해석이 가능하지만, 스플라인 보간법은 2개의 데이터가 정방형으로 배열되어 있어야 한다. 그러나 과열증기 영역에서는 압력마다 포화온도가 다르기 때문에 기본적으로 정방형의 데이터를 가질 수 없다.

따라서 본 연구에서는 신경회로망의 경우는 주어진 온도와 압력을 모두 입력으로 사용하였고, 스플라인 보간법에서는 주어진 압력에 대하여 온도만을 입력으로 하였다.

사용된 데이터는 각각 15개의 온도를 가지는 34종류의 압력을 사용하였다. 신경회로망과 스플라인 보간법을 비교하기 위하여 각각의 압력에 대하여 8개의 온도만을 입력으로 사용하였다. 실질적인 결과 비교는 나머지 7개의 점에서 이루어졌다.

III. 결과 및 고찰

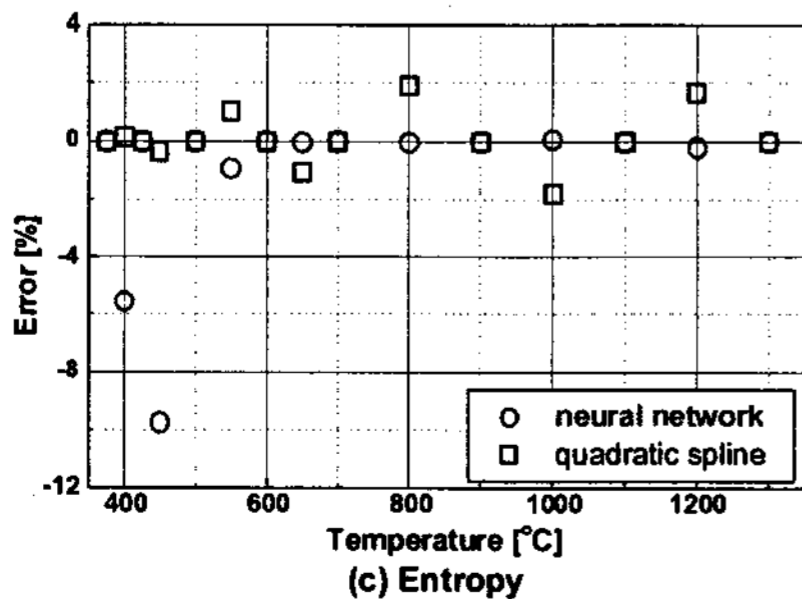
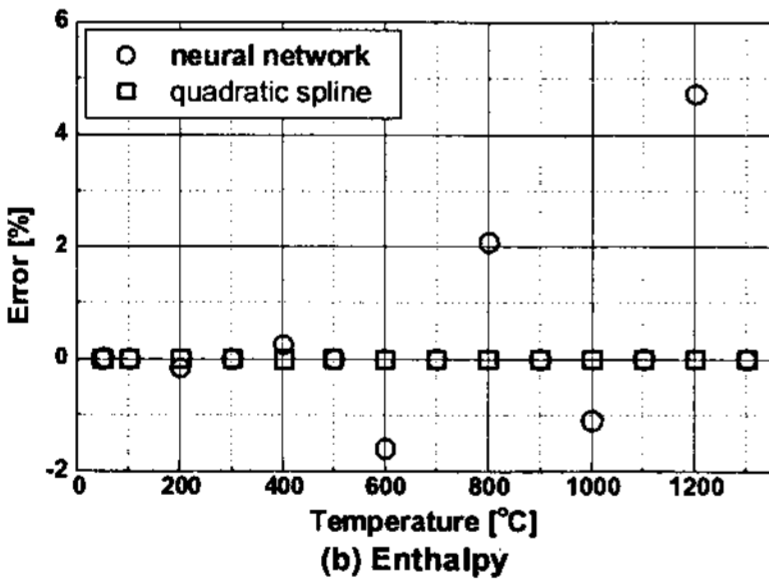
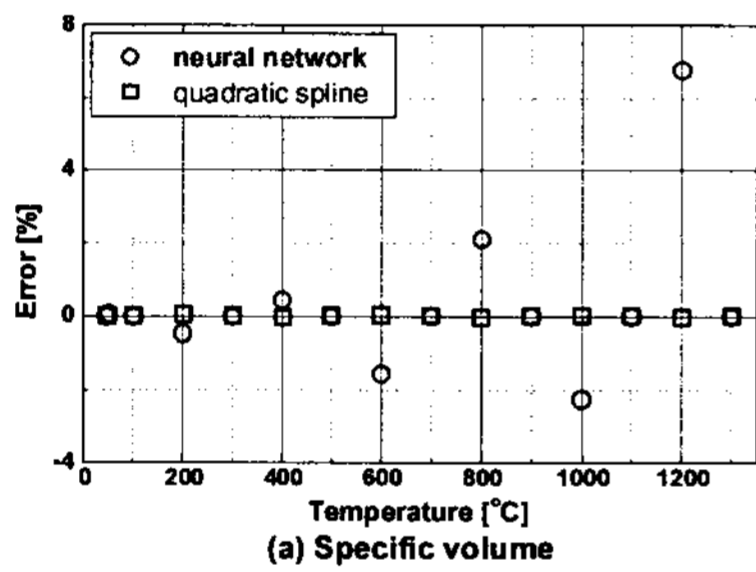


그림 3 백분율 오차($P=0.01$ MPa)

본 연구에서는 0.01 MPa에서 60 MPa까지 34개의 압력이 사용되었다. 온도는 0.01 MPa의 압력에서 포화온도에 해당하는 45.81°C에서 1300°C까지이며 15개의 온도가 사용되었다. 그러나 압력에 따라 포화온도는 달라지기 때문에 각 압력에 따라 온도 구간도 달라진다. 또한 일정한 압력에 대한 15개의 온도 중에서 비교를 위하여 홀수 번째의 온도만 해석에 사용하였다.

신경회로망과 스플라인 보간법의 결과를 식 (2)와 같이 정의된 백분율 오차(percentage error)로 비교하였으며, 그림 3에서 그림 5는 그 결과이다.

$$\text{error (\%)} = \frac{X_{\text{model}} - X_{\text{true}}}{X_{\text{true}}} \times 100 \quad (2)$$

그림 3은 해석에 사용된 가장 낮은 압력에서의 백분율 오차를 나타낸다.

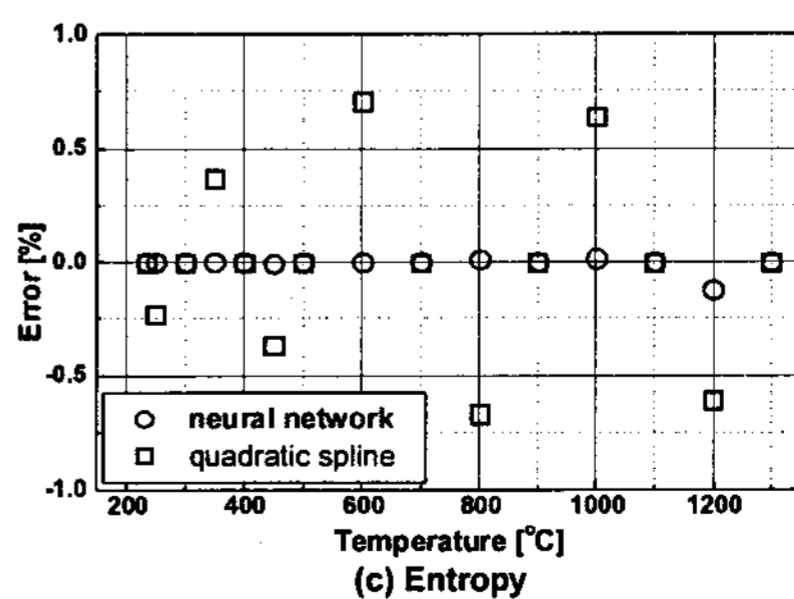
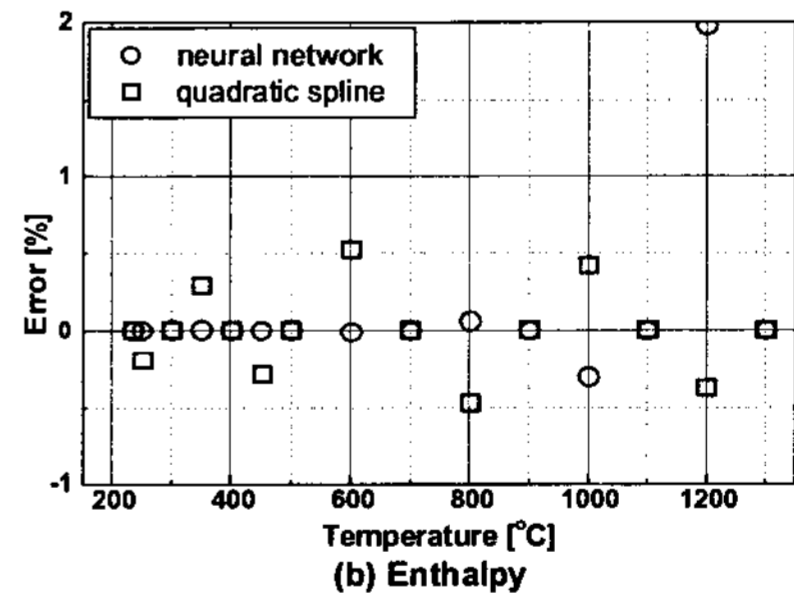
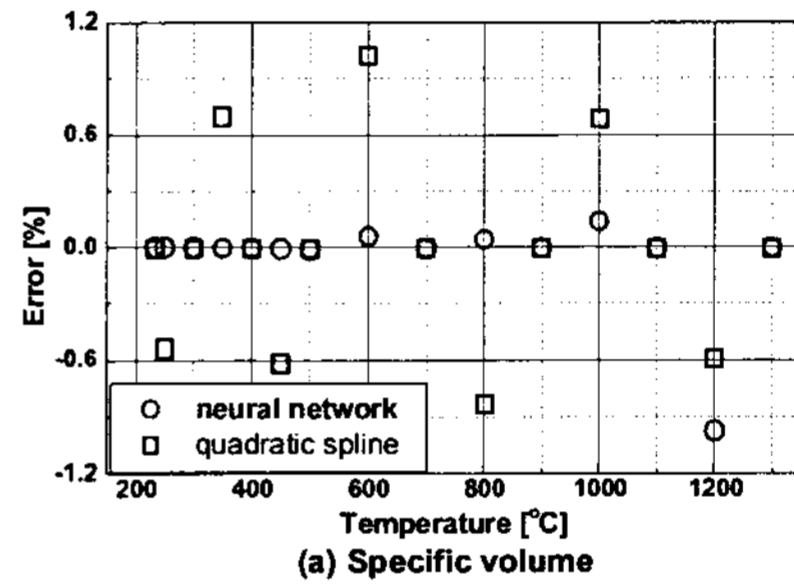


그림 4 백분율 오차($P=3$ MPa)

홀수 번째의 데이터는 해석에서 사용된 데이터이며, 짝수 번째의 데이터는 신경회로망의 결과와 스플라인 보간법의 결과를 비교하기 위한 데이터이다. 비체적, 엔탈피, 엔트로피 모두에 대해서 스플라인 보간법이 신경회로망보다 나은 결과를 보여준다.

스플라인 보간법은 해석에 사용된 점에서는 정확한 값을 가지므로 백분율 오차는 0이 된다. 그러나 신경회로망에 사용된 데이터는 모델링된 후 정확한 값을 주지 못하고 어느 정도의 백분율 오차를 가지게 된다. 그림 상에서는 구별할 수 없으나 신경회로망에 사용된 데이터는 약간의 백분율 오차를 가지고 있다. 그러나 대부분의 해석 데이터가 오차를 무시할 정도로 작음을 확인하였다.

그림 4는 3 MPa에서의 결과이다. 이 결과는 전반적으로 신경회로망이 스플라인보다 더 작은 백분율 오차를 가짐을 보여준다.

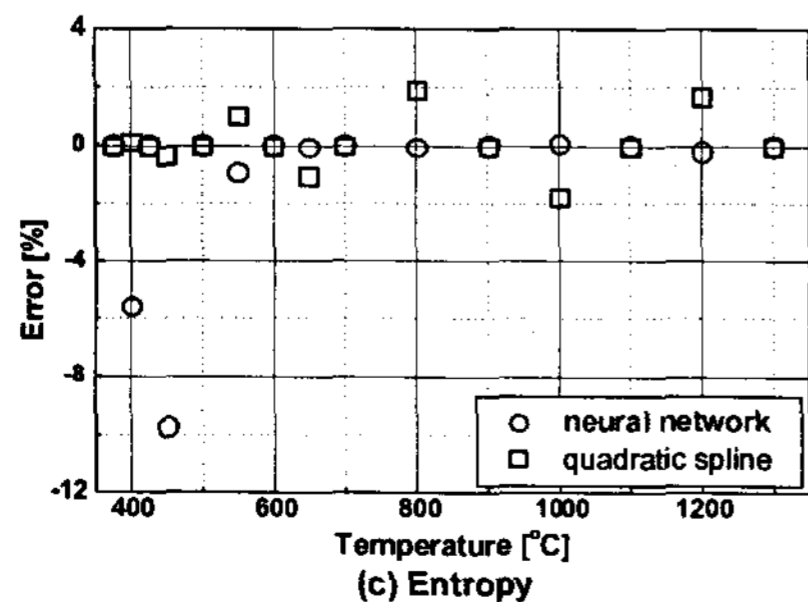
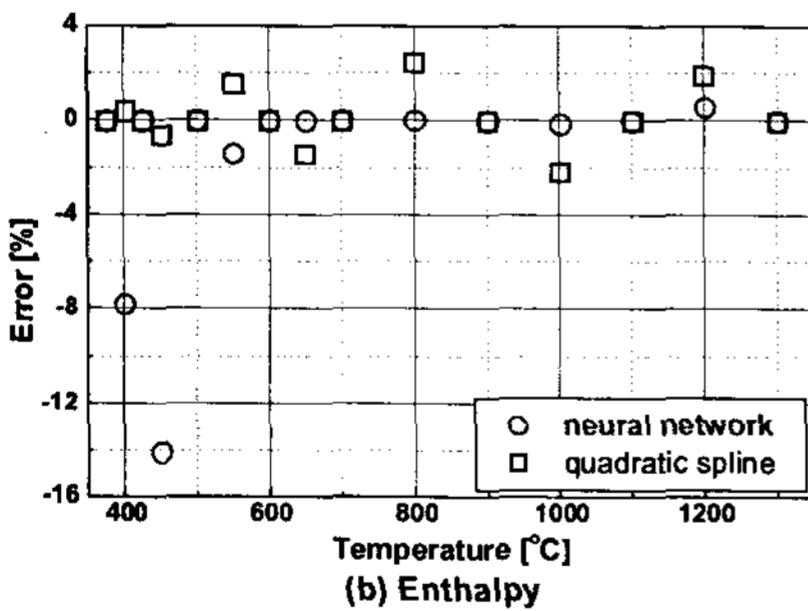
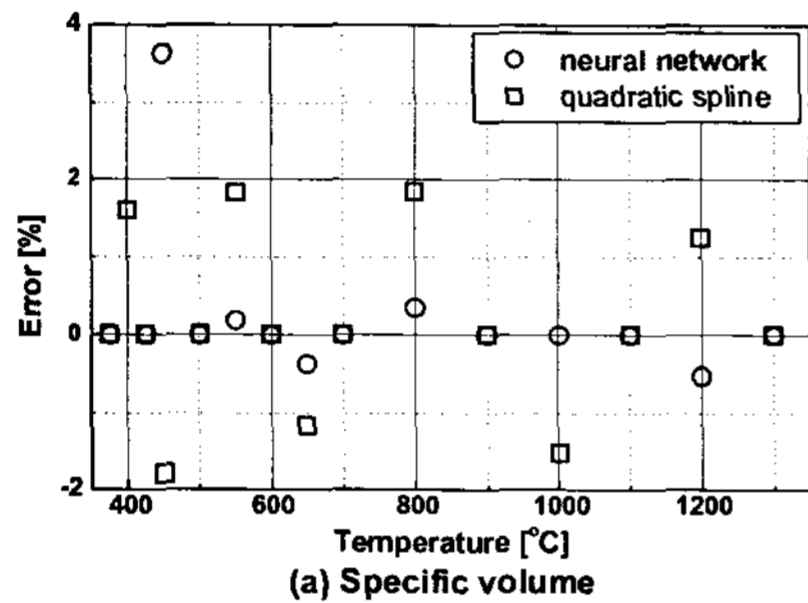


그림 5 백분율 오차($P=60$ MPa)

이러한 경향은 전반적으로 나타나고 있으나, 비체적에 대하여는 1200°C 에서 큰 백분율 오차를 가지는 현상을 보이고 있다. 특히 엔탈피와 엔트로피에 대하여는 신경회로망을 결과가 스플라인 보간법의 결과보다 월등하게 좋은 결과를 보여주며, 이것은 신경회로망 모델링의 적용 가능성을 보여주는 것이다.

그림 5는 해석에 사용된 최고 압력인 60 MPa에서의 결과를 보여준다. 여기서는 비체적, 엔탈피, 엔트로피 등 모든 열역학적 성질들에 대해서 신경회로망을 결과가 스플라인 보간법의 결과보다 우수하다는 것을 보여준다. 다만 3 MPa의 비체적에 대한 결과와 유사하게, 1개 혹은 2개 정도의 데이터는 스플라인 보간법보다 훨씬 더 큰 백분율 오차를 가지고 있음을 알 수 있다.

IV. 결론

과열상태의 물의 열역학적 성질에 대하여 신경회로망으로 모델링한 결과와, 2차 다항식을 사용한 스플라인 보간법을 비교하였다.

스플라인 보간법이 소구간으로 나누어 모델링하는 방법임에도 불구하고 신경회로망이 더 많은 데이터에 대하여 작은 백분율 오차를 보였다는 사실로부터, 물의 과열증기에 대하여 신경회로망이 아주 강력한 모델링 방법이 될 수 있음을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] 박병규, 이태환, 제습공조용 핀-관형 증발기의 열 성능 모델링, 설비공학논문집, 제12권 제11호, pp. 1020-1030, 2000.
- [2] S. C. Chapra and R. P. Canale, Numerical Methods for Engineers, McGraw-Hill Book Company, 1990.
- [3] 박영무, 박경근, 장호명, 김영일, 열역학, 사이텍 미디어, 2000.
- [4] J. A. Freeman and D. M. Skapura, Neural Networks : Algorithms, Applications, and Programming Techniques, Addison-Wesley Publishing Company, 1991.
- [5] J. W. Hines, MATLAB Supplement to Fuzzy and Neural Approaches in Engineering, John Wiley and Sons, Inc, 1997.
- [6] 이태환, "신경회로망을 이용한 과열수증기의 모델링," 진주산업대학교 산업과학기술연구소 논문집, 제 12호, pp. 271-276, 2005.
- [7] 이태환, "신경회로망을 이용한 냉매의 물성 모델링," 진주산업대학교 산업과학기술연구소 논문집, 제 13호, pp. 287-293, 2006.
- [8] 이태환, 박진현, "신경회로망을 이용한 증기표의 함수근사", 한국해양정보통신학회논문지, 제10권, 제3호, pp.459-466, 2006.