

# 신경망을 이용한 비선형 색 변환에 관한 연구

김 석 철\* · 남 주 훈\*\* · 김 두 영\*\* · 안 석 출\*\*\*

\*동해전문대학 전자계산과

\*\* 동아대학교 전자공학과

\*\*\* 부경대학교 인쇄공학과

(1996년 12월 30일 받음, 1997년 3월 31일 최종 수정본 받음)

## A Study of Nonlinear Color Conversion by Neural Networks

*Suk Chul Kim\* · Ju Hun Nam\*\* · Do Young Kim\*\* · Suk Chul Ahn\*\*\**

\*Dept. of Computer Science, Dong Hae Junior College

\*\* Dept. of Electronics Engineering, Dong A University

\*\*\* Dept. of Graphic Arts Engineering, Pukyong National University

(Received 30 December 1996, in final form 31 March 1997)

### Abstract

We describes a method for realizing the color conversion from the tristimulus (X, Y, Z) values to the print ink signals (C, M, Y) by using neural networks.

The realized nonlinear color conversion system consists of two hidden layers those have seventeen nodes. We determined the C, M, Y values of the input control signals to compensate the printer nonlinearity of real systems.

Experimental results showed that the described method is useful and valid to realize the nonlinear color conversion.

### I. 서 론

색영상처리에 있어서 색좌표계의 변환은 매우 중요하다. 색좌표의 변환에 있어서는 여러 가지 표색계간의 좌표변환과 표색계와 시스템 좌표계간의 변환이 있다. CIE계 RGB와

XYZ의 좌표변환은 선형이지만, CIE계 RGB신호와 출력기의 3색잉크인 C, M, Y의 좌표변환은 선형이 아니므로 색좌표 변환이 용이하지 않다.

따라서 이와같은 비선형 좌표변환을 실현하기 위해서 사용되고 있는 방법이 LUT(Look Up Table)법이며, LUT법을 이용한 많은 연구가 보고된 바 있으며, 입력신호의 전체에 대한 테이블을 작성하기 위해서는 대량의 메모리가 필요하게 되고, 이러한 메모리 문제점을 해결하기 위하여 적은량의 LUT와 색공간의 3차원 보간법, 프리즘 보간법 등의 색변환에 관한 연구 보고서가 있으며, 시스템의 구조가 복잡하여 해석이 곤란한 경우, 시스템을 블랙박스로 보고, 입출력 테이블을 이용하여 입력해서 출력측의 사상관계를 모델로하여 실용화 하고 있다.<sup>(1),(2),(3)</sup>

LUT방법의 단점은 메모리의 문제이며, 메모리를 줄이게되면 그에 상응하는 만큼 색변환에 오차를 수반하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 신경회로망을 도입하여 칼라 프린트의 색재현에 관한 연구가 보고된 바 있으며,<sup>(5)(9)(10)</sup> 저자들은 칼라 프린트로 충실한 색재현을 위해서 신경망을 이용한 비선형 색변환에 대한 연구를 국내에서 보고한바 있다.<sup>(11)(12)(13)</sup>

본 연구에서는 비선형 색변환에서 발생하는 대량의 메모리 문제들을 해결하고, 출력기 특성에 적합한 색재현을 실현하기 위하여 신경회로망을 이용한 비선형 색변환 학습 및 변환 시스템을 구현하였고, 실험을 통해서 구현된 시스템의 유용성을 확인 하였다.

## II . 신경회로망

### 2.1. 신경회로망의 구조

신경회로망은 이론상 어떠한 형태로 구성할 수 있으나, Fig. 1과 같이 입력층, 은닉층 그리고 출력층으로 구성되어 있고, 입력층과 출력층의 신호는 최대값을 1로 정규화 되어 있다.

신경회로망의 노드(Node)는 사람의 뇌 신경세포에 해당하며, j층의 노드입력  $net_j$ 는 식 (1)과 같다.

$$net_j = \sum \omega_{ji}o_i \quad (1)$$

여기서  $\omega_{ji}$ 는 i층에서 j층으로의 가중치이며  $o_i$ 는 i층의 Node의 출력이고,  $net_j$ 는 j층에서의 활성화 함수관계를 표현한 수식을 의한다.

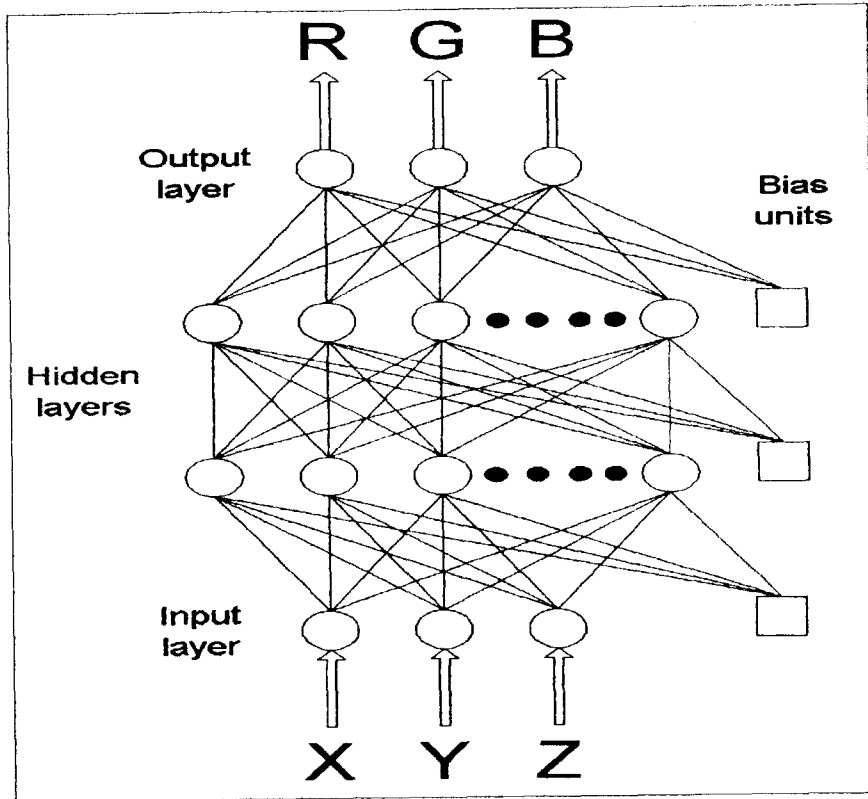


Fig. 1. Structural of Neural Networks

그리고,  $j$ 층 Node의 출력  $o_j$ 는 식 (2)와 같다.

$$o_j = f(\text{net}_j) \quad (2)$$

여기서  $f$ 는 활성화 함수(Activation function)이다.

식 (2)를 Sigmoid 활성화 함수로 나타내면 식 (3)과 같이 된다.

$$o_j = f(\text{net}_j) = \frac{1}{1 + e^{-(\text{net}_j + \theta_j)/\theta_0}} \quad (3)$$

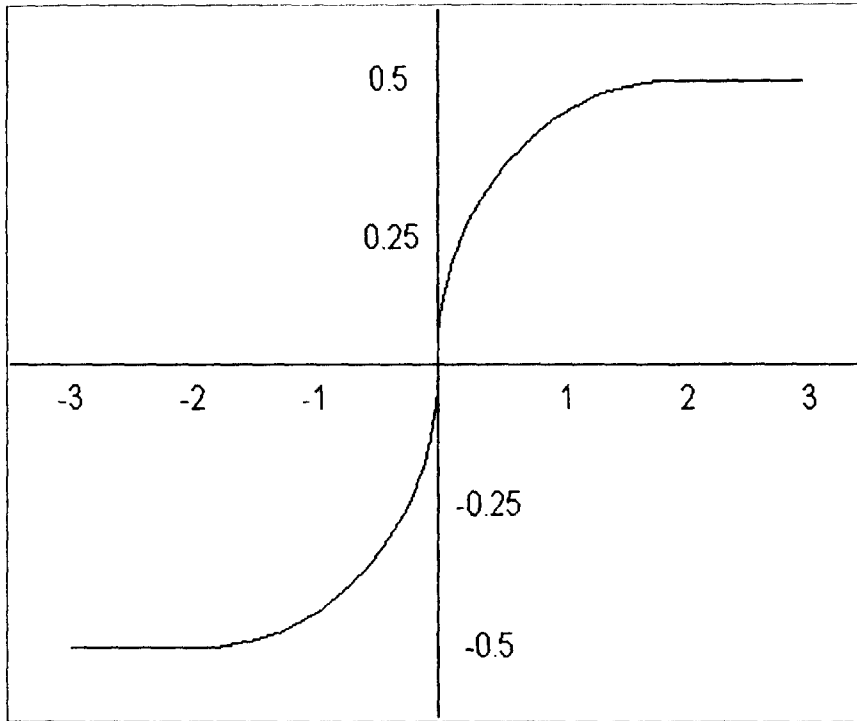


Fig. 2. The Sigmoidal Activation Function

여기서  $\theta_j$ 는 문턱값 또는 바이어스(Bias)이고, 수평축을 따라 활성화 함수를 이동시켜 주며  $\theta_0$ 의 값에 따라서 Sigmoid 형태가 변화한다.

한편 이러한 Sigmoid 함수의 형태는 Fig. 2와 같이 표현된다.

## 2.2. 역전파 학습 알고리즘

역전파 학습 알고리즘은 모든 연결 가중치를 초기화한 후 학습 패턴 집합에서 다음 학습 패턴을 선택하여 신경 회로망에 입력하여 실제 출력을 계산하는 것으로써 그 과정은 다음과 같다.

출력  $\{o_{pk}\}$ 는 목표값 또는 원하는 값  $\{t_{pk}\}$ 와 일치 하지 않으며, 이들간의 오차  $E_p$ 는 다음과 같다.

$$E_p = \frac{1}{2} \sum (t_{pk} - o_{pk})^2 \quad (4)$$

여기에서 첨자 p와 k는 신경회로망의 출력층과 입력층을 나타내고 있다. 각 층의 Node에 대한 평균 오차는 식 (5)와 같다.

$$E_p = \frac{1}{2p} \sum_p \sum_k (t_{pk} - o_{pk})^2 \quad (5)$$

또한 Weight의 변화량  $\Delta \omega_{kj}$ ,  $\Delta \omega_{ji}$ 는 다음과 같다.

$$\Delta \omega_{kj} = \eta \delta_k o_j = \eta (t_k - o_k) o_k (1 - o_k) o_j \quad (6)$$

$$\Delta \omega_{ji} = \eta \delta_j o_i = \eta o_j (1 - o_j) \sum_k \delta_k \omega_{kj} o_i \quad (7)$$

여기에서  $\eta$ 는 학습율이다.

그리고 반복 학습회수가 (t+1)회때의 Weight값은 다음과 같다.

$$\Delta \omega_{kj}(t+1) = \alpha \Delta \omega_{kj}(t) + \Delta \omega_{kj} \quad (8)$$

$$\Delta \omega_{ji}(t+1) = \alpha \Delta \omega_{ji}(t) + \Delta \omega_{ji} \quad (9)$$

여기서  $\alpha$ 는 모우멘트량 이다.

학습율  $\eta$ 는 실험으로 적당한 값을 선택하여야 하며 일반적으로 큰 값은 빠른 수렴 속도를 얻을 수 있으나 진동할 수 있고 작은 경우는 느린 수렴 속도를 가진다.

### Ⅲ. 표색계 변환

구현한 신경회로망을 색좌표 변환을 위한 비선형 변환기로 보고, Fig. 1과 같은 비선형 색변환 시스템을 구성하였다.

구성한 시스템의 출력기 출력물 영역과 모니터의 영역을 Fig. 3에서 서로 비교하여 보여주고 있다.

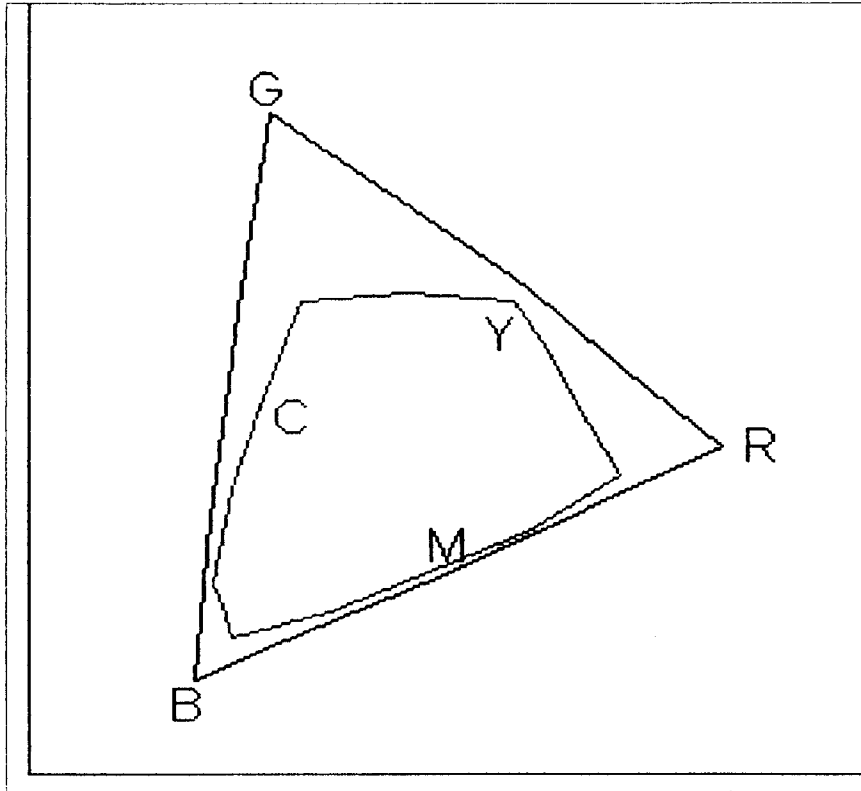


Fig. 3. The area of color coordinate for monitor and printer

안쪽의 오각형 출력기의 색표시 영역을 표시하고 바깥쪽의 삼각형은 모니터의 색표시 영역을 나타낸다.

실험대상의 출력기로 출력한 시험 인쇄물을 측색기로 측정한 3자극치 신경회로망의 입력패턴인  $i = [X, Y, Z]$  이고, 출력패턴은 디지털 이미지의 레벨값인 R, G, B의 직교좌표계로  $o = [R, G, B]$  이다.

3자극치  $[X, Y, Z]$ 로부터 CRT에 표시하는 레벨값으로 변환하는 변환 매트릭스는 NTSC 규정에서 상징하는 다음식과 같다.

$$[R \ G \ B]^T = [M] [X \ Y \ Z]^T \quad (10)$$

$$M = \begin{bmatrix} 1.910 & -0.532 & -0.288 \\ -0.985 & 2.000 & -0.028 \\ 0.058 & -0.118 & 0.898 \end{bmatrix} \quad (11)$$

식 (10)을 이용하여 8bit로 된 R, G, B의 레벨값으로 변환하여, 0에서 255까지 각각영역을 표현하는 색상값으로 나타낸다.

또한 CRT상에 표시된 8bit R, G, B값에서 3자극치 [X, Y, Z]로 변환 매트릭스는 다음식과 같이 표현된다.

$$[X \ Y \ Z]^T = [M] [R \ G \ B]^T \quad (12)$$

$$M = \begin{bmatrix} 0.607 & 0.174 & 0.200 \\ 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.000 & 0.066 & 1.116 \end{bmatrix} \quad (13)$$

## IV. 실험결과 및 고찰

본 실험에 사용한 시험용 칼라 patch는 4096개로 R, G, B에 대해서 각각의 레벨값을 최소 8에서 최대 248까지 16등분한 후, HP DeskJet 600K 프린터로 출력 하였다. 출력된 patch중 263개를 칼라 측정기로부터 색자극치 X Y Z를 측정하여 그 값을 신경회로망의 입력층의 데이터로 사용하였다. 그리고 신경회로망의 출력층의 데이터는 patch를 구성한 R G B의 레벨값을 사용하였다.

### 4.1. 최적 은닉층과 노드수의 결정

Fig. 1과 구성한 비선형 색변환 시스템에서 최적 은닉층수와 노드수의 결정을 시험한 결과, Fig. 4와 같이 은닉층은 2개로 되었고, 각 은닉층의 노드에 대한 개수는 Fig. 5와 같이 17개가 됨을 알았다.

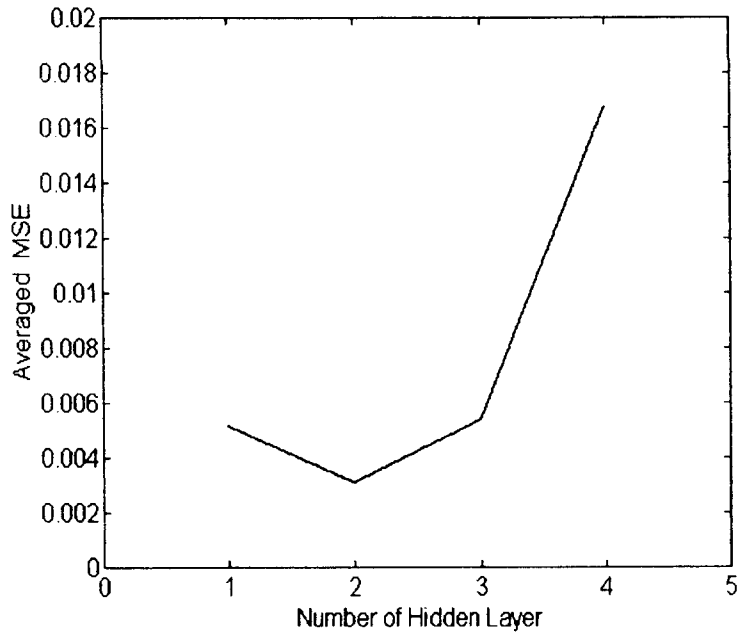


Fig. 4. Mean square error according to numbers of hidden layer

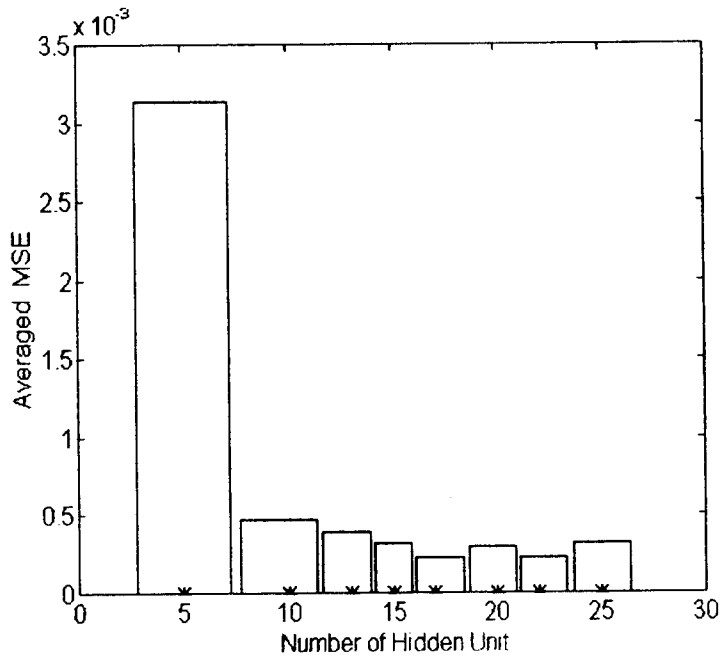
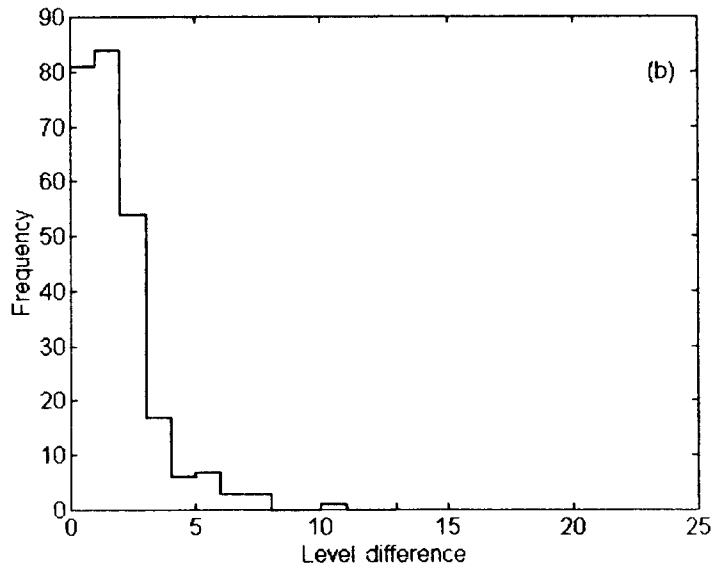
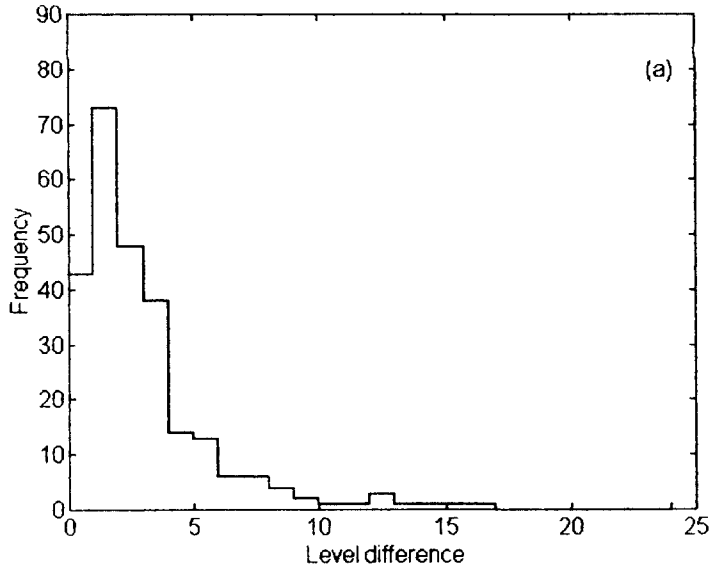


Fig. 5. Mean square error according to numbers of layer's node



4.2. 노드수에 따른 입출력 이미지의 레벨차

구현한 시스템에서 최적 노드수는 Fig. 5에서 17개로 결정되었으나, 최적 노드수 17개를 중심으로 노드수 10개와 20개에 대한 입력레벨과 합승후 출력레벨의 차이를 Fig. 6에 각각 나타내었다.



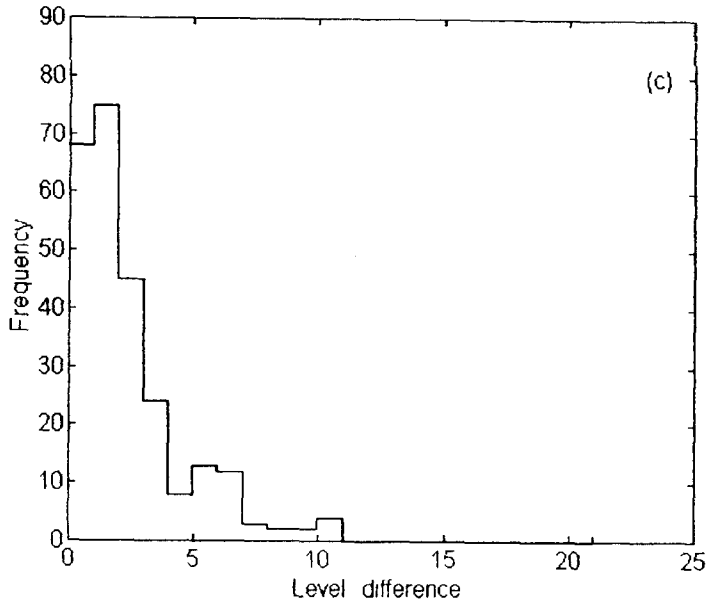


Fig. 6. Level difference between original image and transformed image

#### 4.3. 신경망학습 결과

지금까지 결정된 은닉층 2개와 은닉층 노드 17개를 가진 신경회로망에 출력된 patch의 색자극치 X Y Z를 입력으로 하고 patch의 R G B값을 목표값으로 설정하여 학습한 결과를 Table 1에 표시하였다. 또한 이러한 환경에서 학습후 각 노드간의 가중치값(weight)을 가지고 patch에 적용하여 디더링 기법으로 출력한 patch의 Lab값과 학습을 하지않은 patch에 디더링 기법으로 출력한 Lab값을 CRT에 있는 patch의 Lab값과 서로 비교하여 색차를 구한결과 Fig. 7에서 보여주고 있다. 이러한 결과를 통하여 신경망 학습을 통한 평균색차(1.453)가 신경망을 통하지 않은 경우의 평균색차(48.223)보다 작은 것을 확인하였다. 또한 이러한 학습 및 색변환 시스템을 LENA256 칼라 영상을 적용한 결과, 원영상과 학습을 하지 않고 출력한 영상과 제안된 신경망 학습 알고리즘에 의해 출력된 영상을 Fig. 8 (a), (b), (c)에서 비교하여 보여주고 있다.

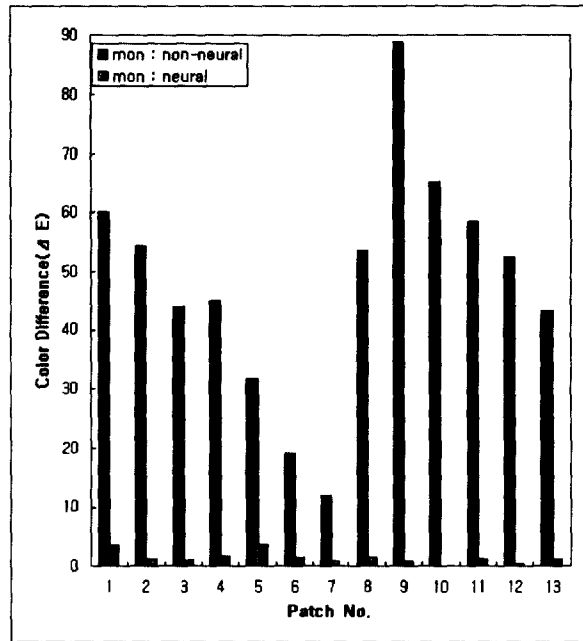


Fig. 7 The histogram of color difference



(a) Original image



(b) Printing image before train

(c) Printing image by nural networks

Fig. 8. Experimental result of the example of nonlinear color conversion

Table 1. Input and output data

Input Data			Output Data		
R	G	B	R	G	B
8	8	248	12	11	248
88	8	248	89	7	250
248	8	168	242	8	166
248	8	8	241	8	8
248	88	8	245	89	6
248	168	8	245	168	7
248	248	8	245	245	7
88	248	8	85	246	7
8	248	8	8	245	8
8	248	88	8	248	88
8	248	168	9	248	164
8	168	248	8	169	248
8	88	248	8	88	243

## V. 결 론

비선형 색변환에서 발생하는 대량의 메모리 문제들을 해결하고, 출력기 특성에 적합한 색재현을 실현하기 위하여 신경회로망을 이용한 비선형 색변환 학습 및 변환 시스템을 구현하여 실험한 결과 다음의 결론을 얻었다.

- 1) 학습 및 색변환 시스템의 은닉층의 수는 2개가 적합하였고, 각 은닉층의 노드 수는 17개가 가장 적합하였다.
- 2) 학습 후 출력물의 색상과 원 이미지의 색상간의 평균색차가 1.453으로 되었다.
- 3) 비선형계의 색변환은 신경회로망을 이용한 색변환이 유용함을 확인하였고, 구현한 시스템의 실용화를 위해서는 망점화 방법에 따른 비선형 색변환의 연구가 필요하리라 사료된다.

## 참고문헌

1. R.Ulichney, Digital Halftoning, The MIT Press. Combridge, Mass. (1987)
2. S.Kitaubo, Y.Hoshino, "Digital Halftoning Alogrithm Characterizes by the Merits of FM and AM Screening Method," Proceeding of IS&T's 11th International Conpress on Advances in Non-Impact Printing Technologies, pp.473-474, (1994)
3. G.Wiszecky, W.Stiles, Color Science : Concepts, Methodes, Quantitative Data and Formulae, John Wiley & Sons, (1982)
4. A.Berger-Shunn, Practical Color Measurments, John Wiley & Sons, (1994)
5. Y.H.Pao, Adaptive Pattern Recognition and Neural Networks, Addison Wesley Publishing Co., Inc., (1989)
6. R.Ulichney, "Halftone Characterization in the Frequency Domain," Proc. IS&T Conf., (1994)
7. W. K. Pratt, "Digital Image Processing," Wiley, New York, NY, (1991)
8. 池田光男, 色彩工學の基礎, 朝倉書店, (1980)
9. Y.Arai, Y.Nakano, T.Iga, "A Method of Transformation from CIE L\*a\*b\* to CMY value by Three-Layered Neural Network," IS & T and SID's Color Imaging Confress, (1993)
10. S. Tominaga, "A Neural Network Approach to Color Reproduction in Color

14 한국인쇄학회지 제 14 권 제 2 호 1996.

- Printers,” IS & T and SID’s Color Imaging Confress, pp.173-177, (1993)
11. S.C. Ahn, D. Y. Kim, S. C. Kim, S. C. Kim, Y. Miyake, “A study on the Moire’ Free Halftone Screen for Ultra-Fine Offset Printing,” The 5th Conference of The Korean Society for Imaging Science, pp.6-10, (1996)
  12. S. C. Kim, J. H. Na, D. Y. Kim, S. C. Ahn, “A study of Nonlinear Color Conversion by Neural Networks,” Proceeding of the Korean Printing Society Research Conference, Vol. 14, No. 2, pp.33-39, (1996)
  13. J. H. Nam, S. C. Kim, S. C. Ahn, D. Y. Kim, “Nonlinear Color Coodinate Transformation by a Nural Networks and Color Halftoning,” The Conference of the Korean Institute of Electronics Engineers and the Korean Institute of Communication Sciences(Pusan and Kyong Nam Section), Vol. 5, No. 2, pp.161-166, (1996)