

뉴로 퍼지 모델을 이용한 편향요크의 RGB색 일치에 대한 제어

정 병 목*, 임 윤 규*, 정 창 옥**

Control of Convergence for Deflection Yoke Using Neuro-Fuzzy Model

Byeong-Mook Chung*, Yoon-Kyu Lim*, and Chang-Ook Jung**

ABSTRACT

Color Display Tube(CDT) used in computer monitors, consists of many components. Deflection Yoke(DY) among them supplies the vertical and horizontal magnetic fields so that the spatial trajectories of electron beams are deflected according to the synchronization signals. If the magnetic fields are not correctly formed, there will be color blurring or blooming by a mis-convergence of each beam and the color image on screen may not be clear. Therefore, in the manufacture of DY, its quality is strictly examined to get the desired convergence and the occurred mis-convergence can be cured by sticking ferrite sheets on the inner part of DY. However, because it needs expert's knowledge and experience to find the proper position of the sheet, this article introduces an intelligent controller that the knowledge-base represented by a neuro-fuzzy model is used to find the optimal position of the ferrite sheet for the convergence.

Key Words : DY(Deflection Yoke:편향요크), CDT(Color Display Tube), Convergence(컨버전스:RGB색의 일치), Neuro-fuzzy model(뉴로퍼지 모델)

1. 서 론

컬러 모니터용 전자관(CDT : Color Display Tube)은 Fig. 1 에서 보는 바와 같이 일반적으로 세 개의 전자총과 섀도우 마스크(shadow mask), 형광스크린(phosphor screen), 유리벌브(glass bulb), CPM (Convergence and Purity Magnet) 링과 편향요크(DY : Deflection Yoke) 등으로 구성되어 있다. 이 중에서 DY

는 동기신호에 따라 전자빔의 궤적을 편향시키기 위해 수직과 수평의 자장을 형성시킨다. 그리고 전자관의 조립은 ITC(Integrated Tube Components) 조정이라는 공정을 통하여 이루어지는데, 이 공정에서는 초점(focus), 기울어짐(tilt), 밝기(brightness), 색 순도(color purity) 그리고 세 가지 색(R:Red, G:Green, B:Blue) 전자빔의 색을 일치시키는 컨버전스(convergence) 등을 조정한다. 이러한 ITC의 조정 작업은 컬러 모니터의 생산에

* 영남대학교 기계공학부
** LG전자 LG생산기술원

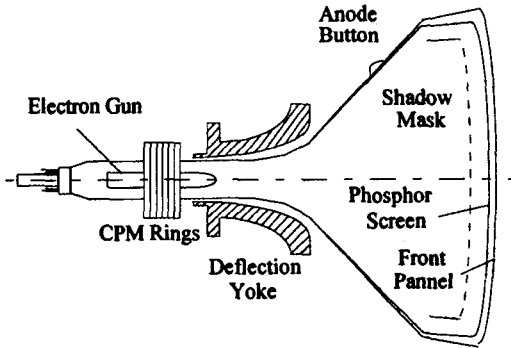


Fig. 1 Structure of Color Display Tube

서 생산성과 직결되는 중요한 작업으로서 이것을 자동화하기 위한 연구가 일본과 국내의 기업에서 많이 행해져 왔다⁽¹⁻⁵⁾. 여기서 조정하게 되는 여러 항목들 가운데 컨버전스라는 것은 전자빔의 색이 일치하는지의 여부를 나타내는 것이지만 궁극적으로는 기하학적으로 떨어져 있는 세 개의 전자총에서 동시에 발생한 전자빔이 컬러 모니터의 전화면에 걸쳐 동일한 위치에 부딪히고 있는지를 검사하는 것이다. 이것은 화면상의 모든 점이 임의의 색상으로 자유롭게 표현될 수 있는지를 알아보고자 하는 것으로 이 검사를 위해서는 임의의 위치에 흰색 점이나 선을 그리고 나서, 그 부분이 하나의 합쳐진 흰색으로 나타나는지 아니면 빛의 삼원색인 R, G, B로 분리되어 나타나는지를 조사하는 것이다. 컨버전스를 조사하기 위해서는 ITC 조정 공정과 같이 모니터가 어느 정도 조립된 상태에서 가능하지만 ITC조정 공정에서는 CPM링을 이용하여 수직과 수평 중심 축에 대한 컨버전스의 전체적인 균형을 조정하는 것 뿐이다^(5,6). 따라서 만일 코너 부분과 같이 특정 부분에서 R, G, B의 색이 불일치하는 경우에는 이를 ITC 조정 공정에서는 개선시키기 어려우므로 조립 작업이 더 이상 진행될 수 없게 된다. 이러한 문제는 DY의 품질이 불량하기 때문에 발생하는 것으로서 ITC 조정 공정에 앞서 DY의 품질을 먼저 완벽하게 한 다음 ITC조립 작업을 진행해야 한다. 품질 검사를 통과한 DY에 대해서도 조립 시에 코너부에서 약간의 컨버전스 불량이 추가적으로 나타나는 경우가 있는데, 이런 경우는 DY의 불량으로 처리하지 않고 ITC조정 공정에서 간단히 보정하기도 한다⁽⁵⁾. 작업 중에 DY의 품질은 주로 코일을 어떻게 감느냐에 따라 결정되지만 약간의 불일치량(misconvergence)에 대해서는 Fig. 2에서 보여 주는 바와 같이 DY의 안쪽에 대략 8×16mm 크기의 페라이트 박판(ferrite

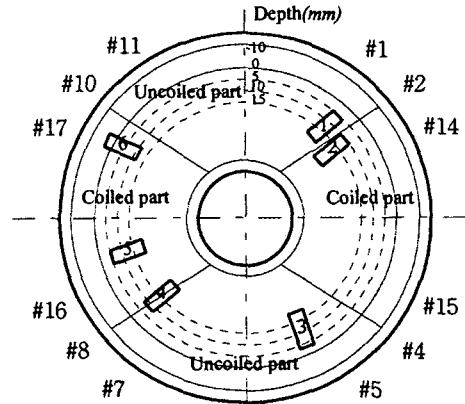


Fig. 2 Example of corner's sheet compensation (the position of the sheet is indicated as no. 1~6)

sheet)을 반경 방향으로 나란히 붙임으로써 컨버전스를 보정할 수 있다⁽⁷⁾. 그리고 DY를 대량생산하는 공장에서는 표준 전자관에 대해 DY만을 바꾸어 가면서 가 조립 상태에서 DY의 품질을 측정하는데, 이때 품질이 나쁘게 되면 페라이트 보정을 통하여 품질을 개선하면서 측정과 보정을 반복한다. 여기서 DY의 품질에 대한 측정은 전자관을 가 조립한 상태에서 가능하므로 가 조립을 위한 ITC 자동 조정 공정이 필요하고 보정에서는 숙련된 경험 지식이 필요하므로 컨버전스의 보정을 위해서만 약 6개월 간의 교육과 훈련이 필요하다.

이처럼 DY의 품질을 측정하거나 전자관의 조립 공정에서는 컨버전스를 측정하는 것이 아주 중요하다. 만일 모니터의 해상도가 640×480이면서 256컬러라면 화면상에 640×480개의 점을 찍을 수 있고 각각의 점은 256가지의 색으로 표현할 수 있다. 그리고 하나의 점은 10여 개의 R, G, B 화소(phosphor)들로 구성되어 있으므로 R, G, B 세 개의 전자총에서 발생한 전자빔이 세도우 마스크의 구멍을 통과하여 형광 스크린상에 부딪히면 해당하는 화소가 빛을 발하게 된다. 이때 전자총의 충돌 속도에 따라 빛의 밝기가 다르기 때문에 각각의 점에서 R, G, B의 밝기를 조정하면 256가지의 다양한 색상을 표현할 수 있다. 그러나 이러한 색상이 제대로 표현되려면 기하학적으로 떨어져 있는 세 개의 전자총에서 발생한 전자가 동일한 세도우 마스크의 구멍을 통과해야만 한다. 그렇지 않은 경우에는 Fig. 3과 같이 흰색의 가로줄과 세로줄을 표현하고자 했는데도 한 줄의 흰색으로 보이지 않고 R, G, B로 각각 분리된 3개의 선으로 나타내게 되어 R, G,

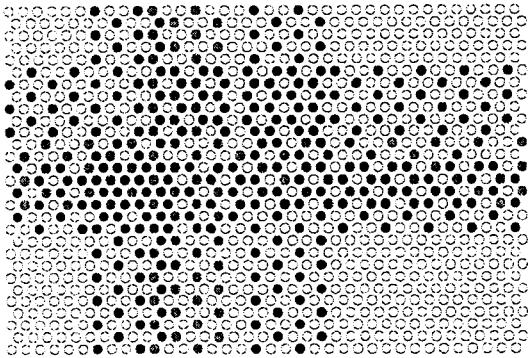


Fig. 3 Camera image of R,G,B beams in a white cross pattern

B가 조합되는 어떠한 색상도 제대로 표현할 수가 없게 된다. 따라서 전체의 화면에 대해 분리된 3개의 선이 얼마나 떨어져 있는지를 알아내는 것이 컨버전스의 계측이고 이를 하나의 선으로 합치는 것이 컨버전스의 보정이다. 일반적으로 중심에서 보다는 가장자리에서 컨버전스의 불일치가 크므로 17" CDT의 경우에 화면의 중심에서는 R, G, B 간의 밝기 중심의 거리가 거의 일치하도록(20 μ m 이내) 맞추고 축 방향에 대해서는 200 μ m 이내로 또 코너 부위에서는 300 μ m 이내로 관리한다. 먼저 컨버전스의 계측을 자동화하기 위해서는 비전 시스템을 이용하는데 일반적인 이미지 측정용 카메라는 R, G, B의 3가지 색을 구분하는 1차원 센서(line-scan sensor)나 2차원 센서(area sensor)를 많이 사용하기도 하지만, 최근에는 흑백 카메라를 이용하면서도, 각각의 색상이 밝기가 서로 다른 점을 이용하여 R, G, B의 색상을 분리해내고 컨버전스를 계측해내는 방법도 활용 중에 있다⁶⁾. 다음으로 보정 작업의 원리는 패라이트 박판을 사용하여 그 부위의 자장에 변화를 줌으로써 전자총에서 나오는 전자빔이 특정 방향으로 더 휘거나 덜 휘도록 하여 컨버전스를 조정할 수 있다는 것이다. 이때 일반적으로 축 방향의 조정은 코너 방향에 큰 영향을 주지만 코너 방향의 조정은 축 방향에 별로 영향을 주지 않으므로 축 방향의 컨버전스를 먼저 조정하고 나서 코너 방향의 컨버전스를 조정한다. 그런데 DY의 품질이 나쁜 경우에는 부착하는 패라이트 박판의 수가 적게는 3, 4매에서 많게는 10여 매나 되고(Fig. 2에서는 6매를 붙인 경우임) 또 특정 지점의 보상이 인근의 자기장에 까지 영향을 주므로 전문가가 하더라도 한 번 만에 보상을 완료하기는 어렵다. 실제 작업자는 인근에 영향이 큰 축 방향부터 보정 작업을 2, 3회에 걸쳐 순차적으로 하는데 그때 마다 측정을 위한 ITC조정

공정이 추가되어 보정 작업이 여러 번 반복된다면 이로 인한 DY의 생산성은 현저히 떨어지게 된다. 그 뿐만 아니라 이러한 보정 작업을 수행할 수 있는 전문가가 되기 위해서는 적어도 6 개월 이상의 기간이 소요되므로 DY를 검사 조정하는 작업에는 측정 결과에 따라 DY의 컨버전스 보정 작업을 지시할 수 있는 기능이 필요하였다(7). 이와 관련하여 LG전자에서는 수 년 전에 DY의 컨버전스 보정 장치를 일본에서 구입한 적이 있었으나 국산 DY의 불량 종류가 일제보다는 다양하고 복잡한 관계로 보정 지시가 제대로 이루어 지지 않아서 적용에 실패한 경험이었다. 이러한 DY 품질 검사기는 DY 자체의 품질이 대등한 상황에서 적용 가능한 것이지 장비의 도입만으로 해결되지는 않는다는 중요한 교훈을 남겨준 바 있다. 실제로 일본의 DY 생산 업체에서는 불량이 나타나면 DY에 코일을 감는 권선기 공정으로 피드백하여 불량률의 원인을 제거하도록 노력하고 있으나, 우리의 경우는 같은 권선기에서 감겨 나온 DY 조차도 불량률이 제각각인 까닭에 페라이트에 의한 보정 공정이 DY 생산에서 핵심 공정으로 되어 있는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 우리의 숙련 작업자가 처리하고 있는 DY 보정 작업에 대한 경험 지식을 지식베이스(Knowledge-base)로 구축하고 이것의 추론법을 제안함으로써 초보자라 할 지라도 전문가 수준으로 컨버전스의 보정 작업을 할 수 있는 보정 지원 시스템을 제안하고자 한다.

2. 컨버전스의 측정

CDT의 동작 원리는 Fig. 1에서 보여주는 바와 같이 R, G, B의 전자총에서 방출된 전자빔이 DY에 의해 편향되어 세도우 마스크 구멍을 통과하여 형광 스크린에 부딪히면 해당하는 형광 화소가 발광한다. 만일 전자빔이 형광 스크린상의 R, G, B 형광 화소의 중심에 정확히 부딪힌다면 순수한 빛이 발생되지만 그렇지 않고 R, G 형광 화소의 중간이나 G, B 형광 화소의 중간에 부딪히면 원래의 색이 발생할 수 없다. 색 순도란 이러한 R, G, B 빔이 해당하는 형광 화소의 중심에 정확하게 착지되었는가를 나타내며 이러한 색 순도는 2극, 4극, 6극의 연구자석으로 이루어진 CPM링으로 먼저 조정한다⁶⁾. 색 순도를 잘 맞춘 다음, 컨버전스를 측정하는데 이를 측정하기 위해서는 R, G, B 빔이 일치하는 흰색의 교차선을 주사한 후 Fig. 4에서 보는 바와 같이 R, G, B 각각의 선을 분리해 내고 이에 대해 밝기의 중심선을 구한다. 실제로

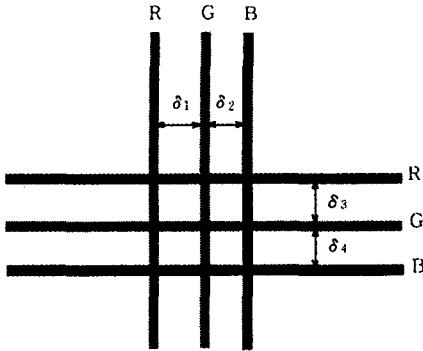


Fig. 4 Convergence of R, G, and B beams in the white cross pattern

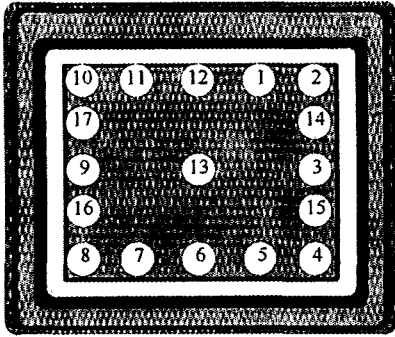


Fig. 5 Convergence measuring points on Screen

각각의 색깔에 해당하는 선의 폭은 대략 너댓 개의 화소들로 구성되어 이에 대한 밝기의 중심을 추정하기란 전문가라 하더라도 쉽지 않다. 먼저 R, G, B의 색상을 구분하기 위해 흑백 카메라를 사용한다면, 각각의 색상에 따른 격자 점들의 위치가 일정하므로 스크린 상에서 R, G, B 빔을 차례로 켜면서 각 격자 점의 위치를 기억해 두거나 빛의 밝기가 서로 다른 점을 이용하여 흰색으로부터 동시에 각각의 색을 분리할 수도 있다. 다음으로 각각의 R, G, B의 중심선은 대응하는 격자 점들의 밝기에 대한 무게중심을 구함으로써 Fig. 4와 같이 나타낼 수 있다. 마지막으로 이렇게 구해진 밝기의 중심을 이용하여 G에 대한 R과 B의 거리를 계산한 다음, G 빔이 R 빔과 B 빔의 중간에 존재하는 지와 R 빔과 B 빔간의 거리가 제한된 값 이내에 들어 있는지를 조사한다⁽⁶⁾. 컨버전스는 STC(static convergence)와 DYC(dynamic convergence)로 나누는데 Fig. 5에서 보는 바와 같이 17 지점에 대해서 계측을 행하는 경우, STC는 중심에서의 컨버

전스를 의미하고 13번 위치의 카메라로 측정한다. DYC는 스크린의 가장자리부에서의 컨버전스를 말하며 13번 지점을 제외한 모든 측정값이 이에 해당된다. STC는 R, G, B 각각의 전자빔이 화면의 중앙에서 일치하는지 여부를 측정하는 것으로써 화면의 중앙에서 전기장의 세기가 상하 좌우로 균형을 이루어야 만이 DYC측정 시에 가장 자리에서 각 전자빔의 왜곡을 정확하게 측정할 수 있으므로 중요하다. 그리고 이러한 STC의 오차는 색 순도 조정에서와 같이 CPM링을 사용하여 각 전자빔의 궤적을 수정함으로써 줄일 수 있다. 따라서 정확한 컨버전스를 계산하기 위해서는 색 순도를 먼저 잘 맞추고 다음으로 STC값을 측정해서 STC의 불일치량을 제거한 후, 그 다음에 DYC를 측정해야 만이 외곽 부분에서의 R, G, B의 불일치량을 정확히 측정할 수 있다.

3. 자기장의 보상기 모델

DY는 구조적으로 x축과 y축에 대하여 축 대칭이고 페라이트를 부착함에 따라 R, G, B빔의 밝기의 중심이 x, y 방향으로 이동한다. DY에서 페라이트 보정이란 이러한 원리를 이용하여 모든 측정 점의 DYC가 원하는 규격 안에 들어가도록 조정하는 작업이다. 일반적으로 수직이나 수평 방향에 대한 컨버전스의 불일치를 보상하기 위하여 수직 방향이나 수평 방향으로 페라이트 박판을 붙이게 되면 코너부에도 영향을 주게 되지만, 코너 부분의 페라이트 보상은 축 방향에 거의 영향을 주지 않는다⁽⁷⁾. 따라서 보정 작업을 잘하는 전문가들도 축 방향의 보상을 먼저 하고 난 다음 코너부를 보상한다. 그러나 이러한 보정 작업이 한 번 만에 완료되지 않고 여러 번 반복된다면 DY의 컨버전스 보정과 계측을 위하여 DY를 착탈할 때마다 매번 색 순도와 STC 등을 맞추는 ITC조정 작업이 수반되므로 보정 작업을 한 번 만에 완료하도록 하는 것이 더욱 중요하다. 따라서 본 논문에서 사용한 DY 보정을 위한 제어 알고리즘은 각 측정점의 오차를 동시에 보정하는 페라이트의 개수와 위치를 계산하고자 한다. 이를 위해서는 상호간에 주는 영향을 최소화 하기 위해 축 방향을 먼저 보상하지만 실제로는 축 방향에 페라이트를 붙이지 않고 그에 따른 컨버전스의 변화량을 코너 부분의 측정값에 추가적으로 고려한 다음 코너 부분의 불일치량에 대한 보상을 하도록 한다. 이러한 일련의 과정을 한 번의 계측으로 끝낼 수 있다면 컨버전스의 보정이 한 번만에 완료될 수 있다. 그러나 이를 위해서는 페라이트 부착에 따른 각

측정점의 컨버전스가 어떻게 변하는지에 대한 모델이 꼭 필요하다.

페라이트의 부착에 따른 DY의 자기장 변화를 모델링하기 위해서는 컨버전스의 변화량을 실험적으로 구할 수 밖에 없다. 실제로 DY 보정을 위해 부착하는 페라이트 판은 DY의 안쪽 모서리를 기준으로 -15 mm에서 최대 20 mm 깊이까지 가능하므로 5 mm 간격으로 실험 데이터를 구했다. 종축에 대한 보상을 위해서는 6시와 12시 방향으로 페라이트 판을 부착하며 이에 따른 컨버전스의 변화량을 Table 1에 나타내었다. 횡축에 대해서는 3시와 9시 방향으로 페라이트 판을 수직하게 부착하며 이에 따른 컨버전스의 변화량을 Table 2에 나타내었다. Table 1과 2에서 보는 바와 같이 축 방향의 보정은 x 방향의 불일치에 대해서만 조정이 가능하고 y 방향에 대해서는 어떠한 영향도 주지 않음을 알 수 있다. 또한 코너부에 대한 영향은 자기 자신에 대한 영향보다 훨씬 크며 각각의 조정량에서 x값은 4부분에서 모두 같은 방향으로 이동되나 y값은 축 대칭에 따라 부호가 바뀔 수 있다. 다음으로 페라이트 박판을 코너부에 부착했을 때의 효과를 살펴보기 위해서는 부착 위치를 반경 방향과 원주 방향에 따라 옮겨가면서 각각의 컨버전스가 어떻게 변화하는지에 대한 샘플 데이터를 구했다. 이때 DY의 대칭성을 고려하면 1 사분면의 1번, 2번, 14번 위치의 변화량만을 계측하면 되므로 이러한 계측의 결과를 Fig. 6에서 보여주는 뉴로

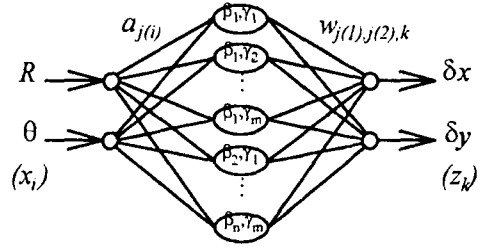


Fig. 6 Back-propagation learning of neuro-fuzzy rules

퍼지 규칙으로 모델링 하였다. 이 모델에 샘플 데이터를 훈련시키면 샘플 데이터에서는 제공되지 않았던 임의의 다른 위치에 페라이트 판을 붙인 경우에 대해서도 그에 따른 컨버전스의 영향을 알려 준다. 이 모델에서 입력 변수는 반경 R과 각도 θ 이고 출력은 컨버전스의 x값 변화량 δx 와 y값 변화량 δy 이다. 따라서 입력 변수를 x_i ($i=1,2$)라고 하고 입력 변수 x_i 에 대한 퍼지 멤버십 함수를 f_{1h} ($h=1,2,\dots,n$), x_2 에 대한 퍼지 멤버십 함수를 f_{2l} ($l=1,2,\dots,m$)라고 할 때, 출력 변수 z_k ($k=1,2$)는 다음과 같이 추론할 수 있다^(8,9).

$$z_k = \frac{\sum_{h=1}^n \sum_{l=1}^m w_{hk} f_{1h}(x_1) f_{2l}(x_2)}{\sum_{h=1}^n \sum_{l=1}^m f_{1h}(x_1) f_{2l}(x_2)} \quad (1)$$

여기서 n 은 입력 변수 x_1 에 대한 멤버십 함수의 개수이고, m 은 입력 변수 x_2 에 대한 멤버십 함수의 개수이다. 그리고 w_{hk} 은 입력 변수 x_i 이 멤버십 함수 f_{1h} 에 대응되고 입력 변수 x_2 가 멤버십 함수 f_{2l} 에 대응될 때에 k 번째 출력 변수에서 추론되는 값이다. 이때 멤버십 함수로 가우스 함수를 사용하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$f_{ij}(x_i) = e^{-a_{ij}(x_i - b_{ij})^2} \quad (2)$$

여기서 $a_{ij} = \alpha_{j(i)}$ 는 분산의 역수이고 Fig. 6에서 보는 바와 같이 입력층과 은닉층을 연결하는 가중치이다. 그리고 $b_{ij} = \beta_{j(i)}, \gamma_{j(i)}$ 는 뉴런의 역치(threshold)로 퍼지 멤버십 함수에서는 중심 값을 나타낸다. 이와 같은 뉴로 퍼지 규칙을 모델링하기 위해서 다음과 같이 실험적으로 구한 계측치와 모델의 출력치 간의 차이를 비용 함수로 정의하였다.

$$T = \sum_{k=1}^2 \frac{1}{2} (y_k - z_k)^2 \quad (3)$$

Table 1. Compensation of the vertical axis (#6,12)

Depth Position		-15	0	5	10	15	20
#12, 6	Δx	0	20	30	40	50	60
	Δy	0	0	0	0	0	0
#2, 8	Δx	0	-10	-20	-30	-40	-40
	Δy	0	0	10	25	65	80
#4, 10	Δx	0	-10	-20	-30	-40	-40
	Δy	0	0	-10	-25	-65	-80

Unit : Depth (mm), $\Delta x(\mu m)$, $\Delta y(\mu m)$

Table 2. Compensation of the horizontal axis (#3, 9)

Depth Position		-15	0	5	10	15	20
#3, 9	Δx	0	-80	-100	-120	-160	-180
	Δy	0	0	0	0	0	0
#2, 8	Δx	0	20	30	40	-20	-100
	Δy	0	50	80	110	190	220
#4, 10	Δx	0	20	30	40	-20	-100
	Δy	0	-50	-80	-110	-190	-220

Unit : Depth (mm), $\Delta x(\mu m)$, $\Delta y(\mu m)$

여기서 실 계측치 y_k 는 모델의 출력치 z_k 의 목표 값이다. 따라서 비용 함수 T 를 최소화하기 위해서는 모델의 변수 값에 대해 그 비용 함수의 기울기(gradient)를 구한 다음 기울기가 감소하는 방향으로 모델의 변수 값을 수정해 나가는 것이다. 그러므로 규칙의 후건부 값을 나타내는 가중치 변수 w_{hk} 에 대해서는 다음과 같이 수정할 수 있다.

$$w_{hk(new)} = w_{hk(old)} - k_w \frac{\partial T}{\partial w_{hk}} \propto w_{hk(old)} + k_w \epsilon_k \frac{\partial z_k}{\partial w_{hk}} \propto w_{hk(old)} + k_w \epsilon_k \frac{f_{1h} f_{2l}}{\sum_{h=1}^n \sum_{l=1}^m f_{1h} f_{2l}} \quad (4)$$

또한 ϵ_k 는 $(y_k - z_k)$ 이고 k_w 는 후건부의 값에 대한 학습을 나타내는 상수이다. 다음으로 평균과 분산으로 이루어진 퍼지 집합에 대해서도 비용 함수를 최소로 하는 최적의 멤버쉽 함수는 다음과 같이 기울기법을 적용하여 수정해 나갈 수 있다. 먼저 첫 번째 입력 변수에 대한 퍼지 집합을 구하기 위해서는 다음과 같이 조정한다^(8,9).

$$a_{1h(new)} = a_{1h(old)} - k_a \frac{\partial T}{\partial a_{1h}} \propto a_{1h(old)} + k_a \sum_{k=1}^2 \epsilon_k \frac{\partial z_k}{\partial a_{1h}} \quad (5)$$

$$b_{1h(new)} = b_{1h(old)} - k_b \frac{\partial T}{\partial b_{1h}} \propto b_{1h(old)} + k_b \sum_{k=1}^2 \epsilon_k \frac{\partial z_k}{\partial b_{1h}} \quad (6)$$

출력의 편미분 값 $\frac{\partial z_k}{\partial a_{1h}}$ 과 $\frac{\partial z_k}{\partial b_{1h}}$ 은 식 (1)로부터 구할 수 있고 계산 결과는 다음과 같다.

$$\frac{\partial z_k}{\partial a_{1h}} = -(x_1 - b_{1h})^2 e^{-a_{1h}(x_1 - b_{1h})^2} A \quad (7)$$

$$\frac{\partial z_k}{\partial b_{1h}} = 2a_{1h}(x_1 - b_{1h})e^{-a_{1h}(x_1 - b_{1h})^2} A \quad (8)$$

그리고 $A = \frac{\sum_{l=1}^m (w_{hkl} - z_k) e^{-a_{1h}(x_1 - b_{1h})^2}}{\sum_{h=1}^n \sum_{l=1}^m e^{-a_{1h}(x_1 - b_{1h})^2} e^{-a_{2l}(x_2 - b_{2l})^2}}$ 이다.

마찬가지의 방법으로 두 번째 입력 변수에 대한 퍼지 집합도 조정할 수 있고 이렇게 함으로써 페라이트 박판의 부착에 따른 자기장의 변화를 뉴로 퍼지 모델로 모델링할 수 있다.

4. 보상기 모델을 이용한 최적 제어기

실제 작업자가 DY의 컨버전스에 대한 보정을 행하는 순서는 다음과 같다. 먼저 축 방향의 색 일치를 측정하여 이에 대한 불일치량에 대해서 보정판을 붙이고 다시 컨버전스를 재측한다. 이때 축 방향의 보정이 잘 되었으면 축 방향의 불일치량은 거의 없어지므로 코너부의 불일치량을 보정하게 된다. 그러나 코너부의 보정에서는 여러 측정 지점을 동시에 고려해야 되는데 경우의 수가 다양하기 때문에 작업자가 전문가라면 경험적으로 보정판을 어느 위치에 붙여야 각 부분의 컨버전스가 동시에 좋아질 것인지를 쉽게 예측할 수 있지만 초보자라면 이를 제대로 찾아내기 어렵고 더구나 네 부분의 코너에 대해 동시에 처리하여 한 번 만에 보정 작업을 끝내는 것은 전문가라 할지라도 거의 불가능하다. 또한 어떤 경우에는 한 부분의 코너에 대해서도 한 장의 페라이트로는 보정이 곤란하여 2장이나 3장의 페라이트를 붙여야 되는 경우도 있다. 따라서 여기서는 페라이트의 부착에 따른 DY의 자기장 변화를 모델링한 뉴로 퍼지 모델을 사용하여 한번의 추론으로 보정 작업을 마칠 수 있는 최적 제어기를 제안하고자 한다. 각각의 컨버전스에 대한 불일치량을 보정하기 위해 필요한 보정판의 위치는 Fig. 7에서 나타난 바와 같이 최적의 위치를 찾기 위한 제어기와 DY에 대한 모델로써 구성된다. 여기서는 페라이트 박판에 의한 보정이 실제로 이루어 지는 것이 아니라 모델을 사용해 컴퓨터 시뮬레이션을 수행함으로써 직접 붙여 보지 않아도 컨버전스의 불일치를 보상하는 보정 위치를 찾아낼 수 있다.

본 논문에서 사용한 제어 알고리즘의 동작 원리는 다음과 같다. 제어기는 먼저 축 방향에서의 불일치량이 주어진 오차의 한계치보다 크면 이를 보상하는 페라이트 판의

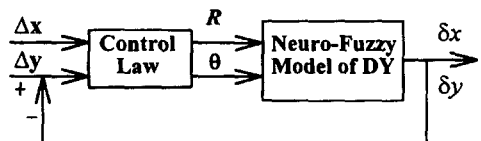


Fig. 7 Block Diagram of Optimal Controller

측 방향 위치를 결정하고 이로 인해 발생하는 코너 방향의 영향을 기억해 둔다. 이것은 하나의 입출력에 대한 관계를 찾는 것이므로 테이블 참조(Look-up table) 방법으로 간단히 해결할 수 있다. 다음으로는 코너 방향에서 계측된 컨버전스의 값들과 측 방향의 보상이 있었다면 그에 따른 그 부분의 컨버전스 영향을 더하고 이로 인해 예상되는 각 부분의 불일치량 Δx , Δy 중에서 어느 하나라도 오차의 한계치를 벗어 났다면 이 값들을 줄이기 위한 코너부의 보상을 시작한다. 여기서 Δx , Δy 를 벡터로 표현한 것은 Fig. 5와 같이 스크린 상의 계측점이 17점인 경우에는 각각의 코너부마다 세 지점에서의 컨버전스를 조사해야 되므로 $\mathbf{x} = \{x_1, x_2, x_3\}$ 와 $\mathbf{y} = \{y_1, y_2, y_3\}$ 를 의미한다. 세 지점의 불일치량을 동시에 줄이기 위한 보정판의 위치 R 과 θ 는 다음과 같이 결정한다. 임의의 초기위치 R_0 과 θ_0 에 보정판을 붙였다고 가정하고 이에 따라 예상되는 각 부분의 컨버전스 변화량 $\delta x, \delta y$ 를 각각의 퍼지 모델로부터 예측한 다음, 현재의 위치로부터 코너부의 오차를 동시에 줄이기 위한 위치의 미소 이동량 $\delta R, \delta \theta$ 를 계산한다. 그 다음에는 이동된 위치에서 컨버전스의 변화량 $\delta x, \delta y$ 를 다시 계산하여 모든 컨버전스가 각각의 오차 범위 안에 들어왔는지를 조사하고 오차 범위 안에 들어 올 때까지 보정판의 위치 찾기를 계속해서 반복한다. 이때 미리 정해놓은 반복 횟수 내에 작업이 종료되지 않으면 보정판의 개수를 하나씩 늘려가면서 보정 위치를 찾고 또 특정 부분의 오차가 너무 커서 한 장의 페라이트로는 보정이 도저히 불가능하다고 판단될 때에는 처음부터 두 장으로 시작함으로써 보다 더 효율적으로 추론하도록 한다. 만일 코너부에서 계측하는 점의 수가 N 개 일 때 DY의 퍼지모델로부터 각 점의 색 일치를 맞추기 위한 보정판의 최적의 위치는 목적함수 J 를 다음과 같이 각 점의 x, y 성분의 제곱의 합으로 정의하고 이것을 최소화함으로써 구할 수 있다.

$$J = \sum_{p=1}^N \frac{1}{2} (\varepsilon_{xp}^2 + \varepsilon_{yp}^2) \quad (9)$$

부착한 페라이트 판의 개수가 L 개 일 때 각 지점에서의 보정 효과는 각각의 보정판에 의한 효과의 합이므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\varepsilon_{xp} = \Delta x_p - \delta x_p = \Delta x_p - \sum_{q=1}^L \delta x_p(R_q, \theta_q), \quad (10)$$

$$\varepsilon_{yp} = \Delta y_p - \delta y_p = \Delta y_p - \sum_{q=1}^L \delta y_p(R_q, \theta_q) \quad (11)$$

그리고 $\delta x_p, \delta y_p$ 는 p 번째 위치에서 q 번째 보정판에 의한 보정 효과를 나타내며 식 (1)에 의해 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\delta x_p(R_q, \theta_q) = \frac{\sum_{h=1}^n \sum_{l=1}^m w_{hl1p} f_{1hp}(R_q) f_{2lp}(\theta_q)}{\sum_{h=1}^n \sum_{l=1}^m f_{1hp}(R_q) f_{2lp}(\theta_q)} \quad (12)$$

$$\delta y_p(R_q, \theta_q) = \frac{\sum_{h=1}^n \sum_{l=1}^m w_{hl2p} f_{1hp}(R_q) f_{2lp}(\theta_q)}{\sum_{h=1}^n \sum_{l=1}^m f_{1hp}(R_q) f_{2lp}(\theta_q)} \quad (13)$$

따라서 각각의 계측점에서 보정판에 의해 색 일치 오차를 줄이려면 식 (14)와 (15)에서 보여 주는 바와 같이 목적함수 J 를 반경과 각도에 대하여 편미분함으로써 q 번째 보정판이 옮겨야 할 방향을 찾을 수 있다.

$$\Delta R_q \propto -\frac{\partial J}{\partial R_q} \quad (14)$$

$$\Delta \theta_q \propto -\frac{\partial J}{\partial \theta_q} \quad (15)$$

그리고 학습을 η 를 사용하여 q 번째 보정판이 옮겨질 위치의 이동량을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \Delta R_q \\ \Delta \theta_q \end{bmatrix} = \eta \sum_{p=1}^N \left\{ M_p^T \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_{xp} \\ \varepsilon_{yp} \end{bmatrix} \right\} \quad (16)$$

여기서 $M_p = \begin{bmatrix} \frac{\partial \delta x_p(R_q, \theta_q)}{\partial R_q} & \frac{\partial \delta x_p(R_q, \theta_q)}{\partial \theta_q} \\ \frac{\partial \delta y_p(R_q, \theta_q)}{\partial R_q} & \frac{\partial \delta y_p(R_q, \theta_q)}{\partial \theta_q} \end{bmatrix}$ 이며, 자코

비안 행렬(Jacobian matrix)이다

이때, 자코비안 행렬은 지속적으로 계산되어야 하나 학습을 η 가 충분히 작고 행렬의 각 요소의 부호가 변하지 않는다면 실제 자코비안 행렬을 대표하는 임의의 상수 행렬을 사용해도 학습이 수렴한다는 것이 알려져 있다⁽¹⁰⁾.

5. 실험

제안된 알고리즘은 DY의 색 일치 보상을 위하여 실제

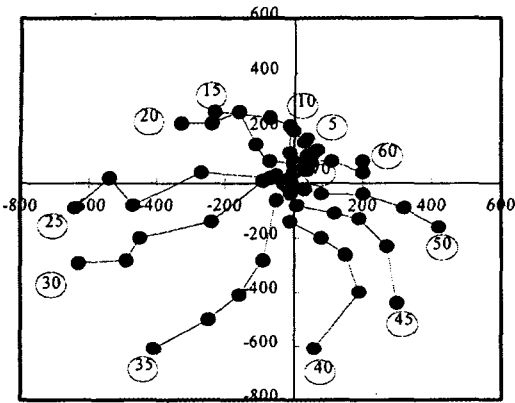


Fig. 8 Measured Data from Real Plant
(Camera #2 according to Degree & Depth)

DY 제조 시스템에 적용하였다. 시스템은 Fig. 5에서 보여주는 바와 같이 스크린 상의 17개 지점에 대해 카메라를 각각 설치하여 컨버전스를 측정하였는데, 13번 카메라는 STC를 맞추기 위한 것이고, 12번과 6번은 종축 방향의 DYC를 3번과 9번은 횡축 방향의 DYC를 측정하게 된다. 따라서 축 방향의 보정에 대해서는 종축과 횡축의 컨버전스를 별도의 모델 없이 Table 1,2만을 사용하여 조정할 수 있고, 또한 코너 부분 네 부분에 대해서는 구조적인 대칭성에 의해 우측 상단의 코너부에 대한 모델만을 구했다. 제안한 뉴로 퍼지 모델을 학습시키기 위한 샘플 데이터는 깊이 방향으로는 DY의 턱을 기준으로 -10mm에서 15mm까지 5mm 간격으로 이동했고 각도 방향으로는 5°에서 80°까지를 5° 내지는 10° 간격으로 옮기면서 페라이트 판을 붙였을 때에 코너부 1번, 2번, 14번의 컨버전스가 어떻게 변화하는지를 관찰하였고 그 결과 Fig. 8은 2번 카메라에서 관측된 판의 위치에 따른 컨버전스의 보정량 $\delta x, \delta y$ 를 보여 준다. 여기서 볼 때 여러 가지 측정 오차로 인하여 데이터가 들쭉날쭉하긴 하지만 부착하는 깊이에 따라 보정 효과가 커진다는 사실과 부착 각도에 따라서는 보정량 $\delta x, \delta y$ 의 부호가 다양하게 바뀐다는 사실을 알 수 있었다. 이렇게 측정된 샘플 데이터를 사용하여 뉴로 퍼지 모델을 구성한 결과 모델에서 관찰한 보정량은 Fig. 9에서 보여주는 것과 같이 구해졌고 서로 비교해 보기 위해 실제로 측정한 보정량과 모델에서 추론한 보정량을 대비시켰다. 일반적으로 모델링은 낮은 주파수만 통과하는(Low-pass) 필터의 역할을 하므로 모델에서는 실제 측측에서 나타난 잡음(noise)이 제거된 깔끔한

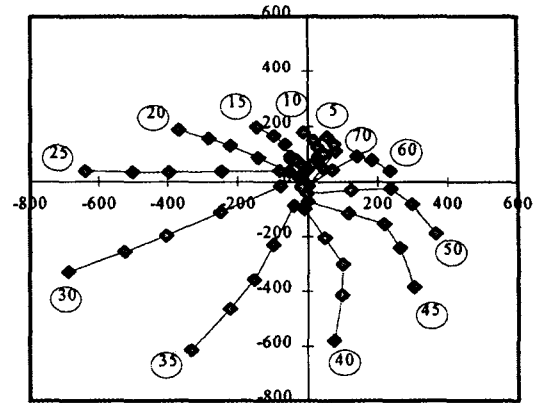


Fig. 9 Neuro-Fuzzy Model after Training
(Camera #2 according to Degree & Depth)

형태의 결과가 얻어졌다.

이렇게 구한 모델을 Fig. 7에서 보여주는 최적 제어기의 플랜트 모델로 사용하였고, 제안한 알고리즘은 각 지점에서의 컨버전스 보정을 위한 보정판의 위치와 개수를 다음과 같이 찾아낼 수 있었다. 먼저 Fig. 5에서와 같이 스크린 상의 각 지점에 대한 컨버전스를 측정한 다음 축 방향의 불일치량이 나타나면 축 방향의 보정을 위한 페라이트를 붙이고 이로 인한 코너부의 컨버전스 영향을 고려한다. 다음으로 코너부에 대해서는 실측한 컨버전스 값에 축 방향의 보정이 있었다면 이에 따른 영향을 코너부에 더한 값이 오차의 한계치를 벗어났을 때에만 코너부의 컨버전스를 보정한다. 그리고 대부분의 보정이 38°를 중심으로 이루어지므로 각도 38°에 깊이 0mm의 지점을 초기 위치로 두고 언급한 기술기법을 이용하여 적절한 보정 위치를 찾아낸다. 그리고 컨버전스의 불일치량이 너무 커서 하나의 보정판으로 보상이 불가능한 경우에는 처음부터 두 개의 보정판을 사용하는데, 이때에 초기 위치를 동일하게 주면 2개의 보정판이 같이 움직이므로 겹쳐서 붙여야 하는 문제가 발생된다. 이러한 문제를 방지하기 위해서는 초기의 위치를 다르게 준다(예를 들면 33°와 43°). 또 최적의 위치를 찾기 위한 작업을 20회 가량 반복해서도 오차의 보정이 이루어지지 않으면 보정판의 개수를 증가시킨 다음 처음부터 보정판의 위치를 다시 찾게 한다. 이때 추가되는 페라이트를 R_2, θ_2 와 R_3, θ_3 등으로 두고 이로 인해 기대되는 보정량 $\delta x_2, \delta y_2$ 나 $\delta x_3, \delta y_3$ 를 목적함수에 더 고려함으로써 추가되는 페라이트의 위치도 동시에 찾아낼 수 있었다.

6. 결 론

DY의 품질 검사와 보정을 위해서는, 작업자가 눈으로 모니터상의 패턴 이미지를 읽고 컨버전스를 측정할 다음 이에 대한 보정 작업을 할 능력이 있어야 한다. 그러나 숙련 작업자라 하더라도 장 시간 측정을 하는 경우에 눈의 피로로 인해 측정 오차가 생길 수 있으므로 비전 시스템을 도입하여 측정을 자동화 하였다. 따라서 비숙련 초보자도 컨버전스를 측정하는 것이 가능하게 되었지만 측정 후에 나타나게 되는 R, G, B 색의 불일치량을 보정해 줄 수 있는 노하우(Know-how)가 없으므로 숙련 작업자의 도움이 없이는 여전히 컨버전스의 보정이 불가능하였다. 본 논문에서는 초보자라도 손쉽게 DY의 컨버전스를 보정할 수 있도록 보정판의 효과에 대한 전문가의 경험적 지식을 실험을 통해 습득하였고 이를 뉴로 퍼지규칙으로 모델링하였다. 그리고 계측과 보정의 작업이 순차적으로 계속 반복되어야 하는 과정에 대해서는 이러한 보정 모델을 활용한 최적 제어기의 사용을 제안함으로써 전영역에 대해 한번의 계측만으로 모든 불일치량에 대한 보정판의 위치와 개수를 찾아 내는 DY의 컨버전스 보정 지시 시스템을 제안하였다. 이렇게 함으로써 컨버전스의 계측 때마다 발생하는 ITC 조정작업을 여러 번 거치지 않고 한두 번만의 조정으로 보정 작업을 완료할 수 있었다. 제안한 보정 지시 시스템은 페라이트 판의 개수와 부착 위치를 Fig. 2에서와 같이 그림으로 보여주므로 초보자도 쉽게 사용할 수 있었고 비전 시스템과 결합된 DY 품질 검사기는 1년 이상 숙련된 전문가 보다도 2배 이상의 뛰어난 작업 생산성을 보여주었다. 이 장비와 관련하여 최근에는 보정 지시기의 추론 결과에 따라 페라이트 판을 자동으로 부착하는 장비의 개발에 대한 요구도 있었다. 그러나 그러한 장비의 개발보다는 오히려 페라이트 판을 부착하지 않고도 컨버전스를 조정할 수 있는, 보다 더 획기적인 DY의 생산 방법이 개발되어야 한다고 본다.

참 고 문 헌

1. T.Hibra and M. Hayashi, "Automatic adjustment for color display monitor," *Proceedings of IECON '86*, pp. 164-169, 1986.
2. A. Nakamura, T. Hibara, N. Yamada, and S. Hori, "Display monitor intelligent adjust-

- ment system : DIAS," *Proceedings of IECON '89*, pp. 715-720, 1989.
3. Z. Bien, S. Kim, D. Han, J. W. Lee and M. Kim, "Development of an automatic adjustment system for ITC(Integrated Tube Component)s," *Proc. IEEE Rob. and Auto. Conf.*, pp. 933-998, 1992.
4. Z. Bien, D. Han, J. Park, J. W. Lee, and C. Oh, "Real time color purity and convergence measurement algorithms for automatic ITC adjustment system," *IEEE Workshop on Applications of Computer Vision*, pp. 274-281, 1992.
5. S. Kim, "A study on modelling and control algorithm for automation of color picture tube adjustment," *Ph.D. Thesis, Department of Electrical Engineering, KAIST*, June, 1993.
6. B. M. Chung, C. O. Jung, and J. S. Yun, "Quality control system for deflection yoke of CDT," *Proceedings of IECON '95*, pp. 1543-1548, 1995.
7. B. M. Chung, C. K. Hong, C. O. Jung, and C.H. Park, "Intelligent adjustment for magnetic field of deflection yoke," *Fourth IEEE International Conf. on Fuzzy Systems*, vol. 3, pp. 1555-1560, 1995.
8. B. M. Chung and J. H. Oh, "Autotuning method of membership function in a fuzzy learning controller," *Journal of Intelligent and Fuzzy systems*, vol. 1, pp. 335-349, 1993.
9. B. M. Chung and J. H. Oh, "Tuning method of linguistic membership functions," *Third IEEE International Conf. on Fuzzy Systems*, vol. 1, pp. 706-711, 1994.
10. B. M. Chung, "Control of nonlinear multi-variable systems using direct fuzzy learning method," *Journal of Intelligent and Fuzzy systems*, vol. 5, no. 3, pp.297-310, 1998.