

전자제품 생산의 조정공정을 위한 신경회로망 응용

An Application of Neural Network for the Adjustment Process during Electronics Production

° 장석호*, 정영기**, 구영모**, 감도영**, 우광방*

*연세대학교 전기공학과(Tel 361-2767, Fax 362-7611, E-mail jsh@auto.yonsei.ac.kr)

**삼성전자(주) 생산기술센터 자동화연구소(0331-200-2415, 0331-200-2420, sgpark@srtf.sec.samsung.co.kr)

Abstracts In this paper, a neural control algorithm is proposed on the automation of adjustment process. The adjustment processes in camcorder production line are modelled, and the processes are adjusted automatically by means of off-line supervisory trained multi-layer neural network. We have made many experiments on the several adjustment processes by using the control algorithm. There are many unexpected troubles to achieve the desirable adjust time in the practical application. To overcome those, some auxiliary algorithms are demanded. As a result, our proposed algorithm has some advantages - simple architecture, easy extraction of the training data without expertises, adaptability to the varying systems, and wide application for the other resemble processes.

Keywords Multi-layer Neural Network, Camcorder Production Line, Control Algorithm for the Adjustment Process

1. 서론

전자제품의 생산공정 자동화를 위하여 제조, 조립, 포장, 물류 등 여러 분야에서 상당한 연구개발이 진행되어오고 있다. 그 중에서 완제품의 검사조정공정에 있어서도 뒤늦게 시작되어 많은 부분들에 있어 자동화가 이룩되고 있다. 특히, DSP(Digital Signal Processing)를 통한 소형화, 고성능화, 다기능화로 인하여 검사조정공정에도 자동조정의 개념이 도입되어 가변소자들의 기구적 조작에 의한 검사조정 항목들이 대폭 축소되고 있다. 혹은 기존의 아날로그 소자에서 디지털 소자로의 대체로 인하여 기구적 조작과정에서 발생하는 여러 문제점들이 사라져 검사조정공정이 훨씬 용이해지고 있다. 이와 같은 발전에도 불구하고 특정 부분의 검사조정 항목들은 그 특수성 때문에 기존의 형태를 고수해야하는 경우도 있다. 따라서, 이와같은 모든 경우에 대하여 유연하게 대처할 수 있는 검사조정 알고리즘의 개발이 절실히 요구된다.

이와같은 검사조정 알고리즘에 지능성을 부여하기 위하여 신경회로망을 도입하고자 한다. 신경회로망은 학습기능, 적응기능, 분산기억기능, 병렬계산기능 등의 다양한 특징을 갖고 있기 때문에 복잡하고 비선형이 강한 시스템이나 기존의 시스템에 미지의 시스템을 연결하여 보다 복잡한 시스템을 형성할 경우 보다 효과적인 해결책이 될 수 있다.[1] 신경회로망을 이용한 제어기법으로는 교사학습제어(Supervised Control), 직접 역변환제어(Direct Inverse Control), 신경회로망 적응제어(Neural Adaptive Control), 시역전파제어(Back-propagation through Time), 적응강화 학습제어(Adaptive Critic Method) 등을 포함한다[2].

신경회로망을 이용하여 검사조정공정을 수행할 때 갖는 가장 큰 이점은, 대상 조정제품 및 조정항목에 대한 전문적이며 축적된 지식이 요구되지 않는다는 것이다. 신경회로망의 의한 조정 기법은 가변소자를 1회전 시키는 동안 간헐적으로 얻어낸 소량의

학습용 데이터에 의해 손쉽게 학습이 수행되고, 조정공정이 수행되는 동안 대상 조정제품의 변화에 따른 적응능력도 길러진다. 본 연구에서는 삼성전자에서 제작된 검사조정시스템에 신경회로망 검사조정알고리즘을 탑재하여 캠코더의 조정공정을 수행하였으며, 이에 대한 실험결과를 고찰하였다.

2. 검사조정시스템

현재 생산되고 있는 첨단 전자제품들은 고집적 및 고정밀에 의한 소형 및 경량화, 다기능 및 고성능화, life cycle 단축에 의한 다품종 소량 생산화, 신소재 및 신기술에 의한 단기간 개발 및 상품화 등의 경향으로 진행되고 있기 때문에 제품 경쟁력의 제고를 위하여는 자동화의 필요성이 절실히 요구된다. 이에 따라 생산공정 중 이미 많은 공정들이 자동화되어 있다. 그러나, 현재까지 생산공정 자동화는 조립공정에 치중되어 있기 때문에 생산 자동화의 완성을 위하여는 검사조정공정의 자동화를 위한 연구개발이 필수적으로 수행되어야 할 단계이다.

본 연구에서 다루는 검사조정공정이란 캠코더의 최종 생산 단계에서 캠코더를 구성하는 각 기관의 가변 소자들을 최적의 상태로 조율하는 공정을 말한다. 특히, 영상과 음성 신호를 출력하는 캠코더의 특성상 이 공정은 다양하고 미약한 소신호를 그 대상으로 한다. 모니터 화면을 조정하는 경우 색깔의 농도, 선명도, 명암, 그리고 밝기 조율이 서로 완전히 독립적이지 않은 것을 볼때, 이 신호의 특성은 또한 상호 간섭적인 특성을 지닐 수 있다는 것을 알 수 있다. 현장에서는 숙련된 작업자가 드라이버를 이용하여 각 조정점을 조정하여 측정점으로 부터 계측된 파형을 보면서 목표점에 준준하고 있다. 따라서, 자동 검사조정을 위한 시스템 구성은 측정점으로 부터 계측신호를 읽어 들여 필요한 정보를 전달할 수 있는 계측부, 전달된

정보를 받아들여 측정치와 목표치를 비교 판단하여 필요한 제어입력 즉, 드라이버 구동펄스값을 산출하는 제어부, 그리고 제어부로부터 만들어진 제어입력을 처리하여 실제 조절을 수행하는 드라이버 구동부 등으로 구성된다. 그림 1은 그 구성도를 나타내고 있다.

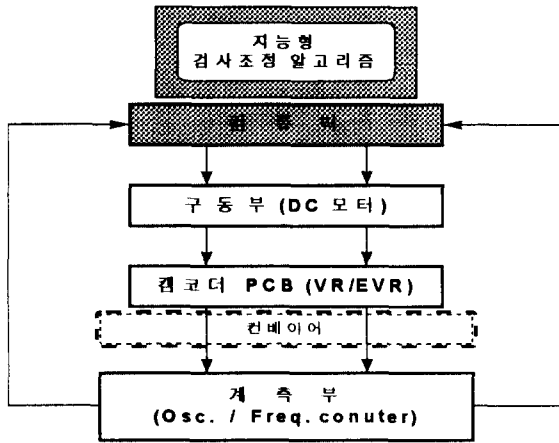


그림1. 검사조정시스템 구성도
Fig. 1. Organization of Test & Adjustment System

계측부 : 측정이란 검사나 조절을 위하여 대상물(Unit under test 또는 Device under test)로 부터 얻어진 아날로그나 디지털 신호를 인지할 수 값으로 만드는 것이다. 계측기로부터 컴퓨터로 넘겨지는 데이터의 형식은 디지털이다. 계측신호가 간단한 숫자일 수도 있으나 파형분석일 경우, FFT, DFT, Pattern matching, Pattern Recognition, Digital Filtering 등의 방법을 이용하여 검사결과를 판정하므로 디지털 신호처리 기술이 요구된다. 기본적인 제어 기준신호는 전압치(V_{p-p}) 또는 주파수이므로, 오실로스코프와 주파수카운터 등이 계측부의 기본 장치가 된다.

제어부 : 본 논문에서 개발된 검사조정 알고리즘에 의해 제어입력을 생성한다. 신경회로망기법이 이용되었는데, 신경회로망 알고리즘을 이용하는 이유로는 조정공정이 비선형성을 갖고 있기 때문이다. 즉, 신경회로망은 비선형적인 함수에 대하여 학습효과가 우수하다는 점과 복잡한 수학적인 전개 없이 현장 공정에 직접 적용할 수 있다는 점 등을 들 수 있다. 한편, 검사조정 대상소자는 아날로그 형(VR)과 디지털 형(EVR)의 두 가지가 있다. 이 각각에 대하여는 입출력 특성이 다소 차이가 있기 때문에 개별적으로 제어기를 구성한다. 그리하여 현재 이송된 PCB가 어떤 형태인지에 따라 선택적으로 제어기를 스위치하여 제어입력을 계산한다. 아날로그 형의 경우에는 드라이버 구동부에 의하여 소자(VR)를 기계적으로 동작시켜야 하기 때문에 여기서 백래쉬와 같은 여러가지 문제점들이 발생한다. 그러나, 디지털 형의 경우에는 소자(EVR)에 디지털 값을 입력하여 기억시켜주기만 하면 된다. 따라서, 아날로그 형에 비하여 제어하기가 용이하다.

구동부 : 소형직류모터와 실리콘 드라이버 칩으로 구성된 구동부는 조정대상(가변소자)에 안착되어 제어부의 출력을 구동신호로 변환하여 구동하게 된다. 모터는 1기판(board)에 8축이 장착되어 최대 8개의 조정대상을 동시조정할 수 있다. 이 과정에서 드라이버의 칩과 조정대상 사이에는 드라이버의 회

전방향이 반전될 때마다 필연적으로 백래쉬가 발생하게 된다. 이는 조정신호와 실제 조정결과에 상당한 오차를 발생시킴으로 이 부분에 대한 부가적인 고려가 요구된다.

3. 신경회로망 학습 알고리즘

본 연구의 비선형 공정에 대한 제어기 설계를 위하여 그림 2와 같은 오차역전파(Error Back- Propagation)학습 신경회로망을 이용하였다. 기본적으로 오차역전파 학습알고리즘을 사용하는 이유는 비선형 함수 특성의 입출력 데이터를 기본 패턴으로 삼아 함수식을 모방하는 특성(Learning Ability)과 이 결과로부터 유사한 다른 일반적인 입력에 대해서도 효과적으로 반응하는 특성(Generalization)을 이용하기 위해서이다[3]. 일반적으로 제어를 위하여 사용되는 오차역전파 신경회로망 구조는 1개의 중간층을 사용한다[3]. 본 연구에서도 신경회로망의 기본 구조는 각각 1개의 입력층, 중간층, 출력층으로 구성된다. 이때, 각 층은 신경 조직의 뉴런에 해당하는 노드로 구성되며 각 층 사이는 연결계층으로 서로 연결된다. 각 노드는 그 자체로 활성화 함수 또는 판단 함수(Actuation or Logistic Function)를 갖고 있으며, 시그모이드 형태의 함수로 정의된다. 이 함수는 들어오는 입력의 범위에 따라 0, 1 또는 0과 1사이의 값을 갖으며 이를 통해 입력패턴의 애매한 부분까지 논리적인 영역구분을 하면서 각 층 사이의 뉴런을 연결시켜 주는 하중벡터를 변화시켜 신경회로망의 학습과 적응을 유도한다.

일반적으로 신경 회로망을 학습시키는데 있어 초기 작업은 알고리즘을 형성하기 위한 파라미터 선정 문제인데 이에 대해서는 뚜렷한 규칙이 없으므로 경험적으로 얻어진 값들을 채택한다. 학습의 종료는 학습용 데이터를 바탕으로 식 (4)의 오차경사값을 최소화하는 시점과 함께, 학습된 신경회로망의 일반화 능력(Generalization)의 지표로서 학습 데이터 패턴 외의 부수적인 평가용 데이터를 가한 결과에 대해서도 좋은 성능을 나타내는지를 동시에 관찰하여 그 시점을 정한다[3].

학습 알고리즘

● 하중치 초기화(Weight Initialization)

가중치와 각 노드의 문턱치를 임의의 작은 값들로 정한다.

● 각 노드의 출력 계산(Calculation of Activation)

입력층의 출력(Activation level)은 학습패턴에 의해 주어지는 값이며, 중간층과 출력층의 출력 O_j 는 다음식으로 계산된다.

$$O_j = F(\sum W_{jk} - \theta_j) \quad (1)$$

여기서, W_{jk} 는 O_k 를 입력으로 할 때의 하중치, θ_j 는 노드 문턱치, F 는 시그모이드 함수이다.

$$F(a) = \frac{1}{1 + e^{-a}} \quad (2)$$

● 하중치 학습(Weight Training)

출력층으로부터 시작하여 역방향으로 하중치를 조정한다.

$$W_{jk}(t+1) = W_{jk}(t) + \eta \delta_j O_k + \alpha [W_{jk}(t) - W_{jk}(t-1)] \quad (3)$$

여기서, η 는 학습율($0 < \eta < 1$), δ_j 는 j 뉴런에서의 오차경사값(Error Gradient), α 는 모멘텀($0 < \alpha < 1$)이다.

오차경사값은 다음식에 의해 계산된다.

$$\begin{aligned} \text{- 출력층 : } \delta_j &= O_j(1 - O_j)(T_j - O_j) \\ \text{- 중간층 : } \delta_j &= O_j(1 - O_j) \sum_k \delta_k W_{kj} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, T_j 는 목표출력(Target)이다.

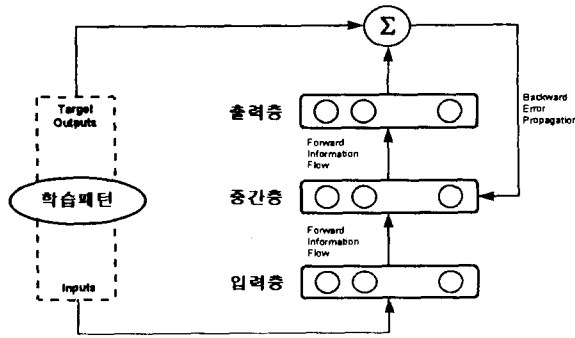


그림 2. 역전파 신경회로망

Fig. 2. The Backpropagation Neural Network

할 수 없는 경우에 대비하여 이를 판단하여 재학습할 수 있는 부가적 알고리즘도 요구된다.

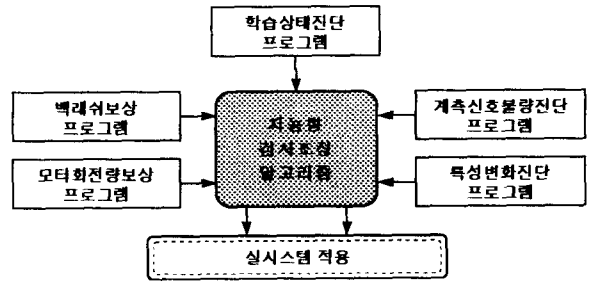


그림 3. 실시스템 적용 구조도

Fig. 3. Block diagram for real system application

4. 신경회로망 제어기의 실시스템 적용

신경회로망 조정알고리즘을 이용하여 S전자에서 제작한 시범플랜트용 검사조정시스템을 동작하여 캠코더의 검사조정공정들을 수행한 결과, 다음의 문제점들이 발생되었다.

백래쉬 - 가변소자의 팁(tip)과 이를 구동시키기 위해 안착되는 드라이버 사이의 구조적 공간으로 인하여 발생하는 문제로서, 드라이버의 회전방향이 반전될 때 미세한 회전양이긴 하지만 가변소자의 입장에서는 공회전하는 공간이 발생한다. 그러나, 이 미세한 양이 출력의 변화에는 상당한 영향을 미치게되므로 회전방향의 반전시 이를 보상해줄 수 있는 부가적 알고리즘이 요구된다.

DC 모터 정밀성의 결여 - 예를들어, 1000펄스 5회 회전량과 5000펄스 1회 회전량이 큰 차이를 나타낸다. 그리고, 현재 일정량의 회전을 하려고 할 때, 전단계에서 얼마큼 회전했느냐에 따라 그 결과가 달라진다. 이와 같은 문제는 모터와 드라이버 구동부 등이 갖는 구조적 문제점으로 인하여 발생하는 것으로, 이에 대한 적절한 보상 알고리즘이 요구된다.

계속신호 불량 - 신경회로망 제어기의 입력은 계측점으로부터 측정한 아날로그 신호(V_{p-p} 또는 Frequency)이다. 그런데 계측점의 접촉불량 등의 원인으로 계측신호가 불량하게 나타나는 경우가 있다. 이 경우에 대처할 수 있는 부가적 알고리즘이 요구된다.

검사조정소자 변동 - 본 연구에 이용되는 캠코더의 검사조정 대상 소자는 두 가지로서, 이를 VR과 EVR로 구분한다. VR은 일반적인 가변저항이지만, EVR은 디지털 신호처리를 위해 저항값을 디지털 값으로 기억하고 있어서, 제어기가 해야 할 일은 EVR에 그 적당한 저항치를 기록해주는 일이다. 따라서, 이 경우에는 백래쉬와 같은 기구적인 문제점들은 발생하지 않는다. 신경회로망 제어기는 두 가지 모두에 대하여 각각 학습이 되어있어서, 유입된 캠코더가 어떤 형태의 소자를 갖고 있는 지에 따라 적합한 신경회로망 제어기에 연결시켜 공정을 수행하도록 한다.

신경회로망 학습상태 진단 - 최초 신경회로망 학습을 위해 추출한 학습패턴 자료를 살펴보면, 이 자료 중에도 불량한 측정값과 소자의 조정영역 밖에서 얻어진 불필요한 값들이 내포되어 있다. 이에 대한 자료정리를 위한 부가적 알고리즘과 학습을 수행한 후, 학습상태가 불량하여 제어기의 성능을 보장

5. 실험 및 고찰

5.1 단일조정항목

검사조정 대상항목 :

- RF CARRIER FREQUENCY(VR type)
- 목표치 : 4.38 MHz
- 허용오차 : ± 0.015 MHz

표 1은 RF CARRIER FREQ. 조정항목에 대한 실험결과이다. 2.56초의 평균 조정시간을 나타내었다. 이는 기존의 조정방법에 비하여 우수한 결과이며, 숙련된 작업자에 의한 조정능력과 상응하는 결과이다. 한편, EVR 형태의 조정항목들은 백래쉬 등의 기구적 문제점들이 없기 때문에 훨씬 우수한 결과를 나타내었다.

표 1. RF CARRIER FREQ. 조정 결과

Table 1. The results of RF CARRIER FREQ. adjustment

조정시간	1-2초	2-3초	3-4초	4-5초	5-6초	계	평균
분포	14	31	10	1	2	58	2.56초

5.2 다중조정항목

검사조정 대상항목 :

- PB OUT LEVEL : VR202(계측점 TP1) & VR208(계측점 TP2)
- 목표치 : $2.5V_{p-p}$ (VR202) & $0.7V_{p-p}$ (VR208)
- 허용오차 : $\pm 0.05V_{p-p}$ (VR202) & $\pm 0.02V_{p-p}$ (VR208)

계측점 TP1, TP2에서의 측정파형은 그림 4와 같이 가변소자 VR202와 VR208가 변함에 따라 서로 영향을 주고받는 의존적인 관계에 있다. 따라서, 이를 조정하는 작업은 서로 간섭하는 다중 입력과 다중출력(MIMO)의 조정공정으로 볼 수 있다.

VR202와 VR208을 목표점을 중심으로 시계방향과 반시계방향으로 반회전($\pm 180^\circ$)만큼의 조합을 학습 데이터 표집 영역으로 삼는다. 각 VR의 반회전량을 6등분하여 한쪽이 그 한 섹터만큼 움직인 때마다 다른 쪽은 반 회전에 해당하는 6섹터 만큼을 모두 회전하도록 하는 식으로 6×6 개의 데이터 패턴을 구성한다. 이런 식으로 정회전과 역회전을 고려하면 총 $2 \times 6 \times 6$ 개의 데이터 패턴이 구성된다.

구성된 학습패턴 데이터를 가지고 4, 5, 6개의 중간층의 갯수와 파라미터를 바꿔가며 학습오차의 수렴을 관찰하고 이를 각각 공정에 적용하여 그 성능을 비교한 결과, 학습 수렴오차값은 중

간층의 노드수가 4개 일때 가장 적고, 5개 일때는 다른 경우보다 학습 수렴오차는 큰 반면 적용 성능은 평균조정횟수와 발산진동 횟수의 경우 상대적으로 낮게 나타났다. 이는 신경회로망이 학습 패턴의 모방성능이 아무리 우수하다 하더라도 일반화 능력에 있어 그 결과가 반드시 일치하는 것은 아니기 때문이다. 본 조정 공정에는 적용성능이 우수한 5개의 중간층 노드수를 채택하였다.

실제 공정에서 특정 입력 데이터나 조정점 부근에서 진동하거나 발산하는 것을 볼 수 있는데, 그 이유는 학습에 사용된 제한된 양의 데이터 외의 다른 입력값에 대하여 올바르게 반응하는 추상화능력을 전적으로 갖지 못하기 때문이다. 또한, 앞의 단일 출력력 공정에서와 같이 기구부의 구조적 결함이 존재하기 때문이다. 이를 보정하기 위해서, 조정점 부근에서의 좁은 영역에 대한 비교적 세밀한 학습용 데이터를 추출하여 이를 중심으로 새롭게 학습한 신경회로망 제어기(narrow region NNC : nNNC)를 구성하였다(그림 4). 신경회로망 제어기(NNC)의 조정결과 출력값이 목표값과 특정한 오차 범위 이내로 들어오면, nNNC가 목표점 근처에서의 미세조정을 담당하게 된다. 표 2는 NNC와 nNNC를 통한 조정 결과를 나타낸다. 실험결과, 임의의 입력전압에 대하여 NNC와 nNNC는 각각 평균 1.73회, 1.47회, 총 3.2회만 조정기 완료됨을 알 수 있다.

표 2. NNC에 의한 조정 결과

Table 2. The results of the adjustment using NNC

조정 예		NNC 조정			nNNC 조정		총 조정횟수 (회)
		조정 전 (V-P-P)	조정 후 (V-P-P)	조정 횟수 (회)	조정 후 (V-P-P)	조정 횟수 (회)	
1	TP1	2.200	2.605	1	2.515	1	2
	TP2	0.6300	0.7272		0.7056		
2	TP1	2.760	2.430	2	2.475	1	3
	TP2	0.8000	0.6812		0.6920		
3	TP1	2.660	2.765	3	2.525	5	8
	TP2	0.5600	0.7760		0.7112		
4	TP1	2.980	2.755	2	2.530	2	4
	TP2	0.9800	0.7964		0.7100		
5	TP1	3.200	2.330	1	2.495	2	3
	TP2	0.9600	0.6468		0.7008		
6	TP1	2.320	2.440	2	2.455	1	3
	TP2	0.7500	0.6744		0.6852		
7	TP1	1.840	2.515	2		0	2
	TP2	0.5400	0.7020				
8	TP1	2.680	2.320	2	2.470	1	3
	TP2	0.8296	0.6460		0.6892		
9	TP1	2.020	2.650	1	2.530	1	2
	TP2	0.5272	0.7540		0.7108		
10	TP1	2.320	2.545	2	2.515	1	3
	TP2	0.5704	0.7028		0.7028		
11	TP1	2.880	2.755	2	2.530	2	4
	TP2	0.8000	0.7964		0.7100		
12	TP1	2.430	2.610	1	2.520	1	2
	TP2	0.7500	0.7284		0.7068		
13	TP1	1.980	2.400	1	2.460	1	2
	TP2	0.5600	0.6680		0.6896		
14	TP1	1.780	2.470	1		0	1
	TP2	0.4408	0.6892				
15	TP1	3.180	2.445	3	2.475	3	6
	TP2	0.9108	0.6948		0.6948		
평균				1.73		1.47	3.2

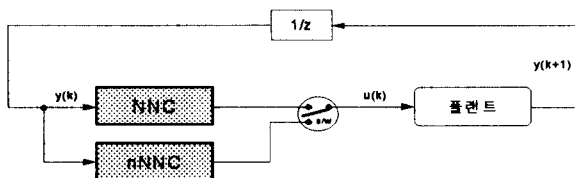


그림 4. 다중항목 조정을 위한 제어기 구성

Fig. 4. The Configuration of NNC and nNNC

6. 결론

본 논문에서는 전자회사의 캠코더 조립공정중 최종 PCB 레벨 상의 조율과정을 자동화하기 위하여 신경회로망 제어 알고리즘을 이용한 지능형 제어기법을 적용하였다. 이 조정공정들은 입력력 특성이 비선형적이고 특정 조정항목들은 조정점들 간의 상호 간섭현상이 나타나므로 다항목 동시조정이 쉽지 않다. 이와같은 특성을 극복할 수 있는 제어기법으로 신경회로망을 이용하는 것이 가장 적합하다고 판단하여, 이에 근거한 신경회로망의 학습과 제어기 설계 및 실시스템 운용시의 문제점들에 관하여 고려했다.

개발된 제어기는 그 구조가 간단하며, 전문적인 지식의 필요 없이 손쉽게 학습용 데이터를 확보할 수 있으며, 가변적인 제어 대상 시스템들에 대한 적응능력을 갖는다. 뿐만 아니라, 유사한 공정들에 대하여 광범위한 적용이 용이하다. 다항목 동시조정인 경우 상호의존적인 문제로 인한 NNC 출력오차를 최소화하기 위하여 목표점 근처의 좁은 영역에 대하여 충분한 학습을 수행한 결과 향상된 결과를 유도할 수 있었다.

현재 단일조정항목의 경우 조정시간단축 및 평균적인 조정시간의 산포도를 향상시키고 다중조정항목의 확대적용을 위한 연구가 추진되고있다.

7. 참고 문헌

- [1] K.S.Narendra and Parthasarathy, "Identification and Control of Dynamical Systems using Neural Networks," IEEE Trans. on Neural Networks, vol. 1, pp. 4-27, Mar., 1990.
- [2] Werbos, P.J.1989. Neural Networks for Control and System Identification. Proceedings of the 28th Conference on Decision and Control, Tampa, FL.
- [3] Laurene Fausett, "Fundamentals of Neural Networks - Architectures, Algorithms, and Applications," Prentice-Hall, Inc., 1994.
- [4] D.Popovic and Deng Xiaosong, "The Approach of On-Line Modeling of Dynamic Systems with Neural Network," Proceedings of the Asian Control Conference, pp.655-658, Tokyo, July 27-30, 1994.
- [5] Julio Tanomaru and Siegeru Omatu, "Process Control by On-Line Trained Neural Controllers," IEEE Trans. on Neural Networks, vol. 1, pp. 4-27, Mar., 1990.
- [6] Philip D. Wasserman, "Advanced Methods in Neural Computing," Van Nostrand Reinhold, pp. 120-146, 1993.
- [7] Marzuki Khalid, Sigeru Omatu, and Rubiyah Yusof, "MIMO Furnace Control with Neural Networks" IEEE Trans. on Control Systems Technology, vol. 1, No. 4, pp. 238-245, Dec., 1993.
- [8] Valluru B. Rao and Hayagriva V. Rao, "C++ Neural Networks and Fuzzy Logic," Management Information Source, Inc., 1993.
- [9] 김형철, 오학서, 김성권, "범용 검사조정 제어기 구현," '92 로보틱스 및 자동화 연구회 워크샵 논문집, pp. 56-59, 1992.
- [10] 구영모, "자동조정을 위한 지능형 신경회로망 제어구조에 관한 연구," 연세대학교 대학원, 박사학위논문, 1992.