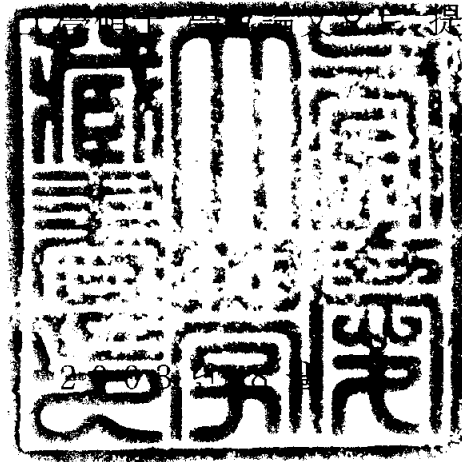


공학석사 학위논문

역전과 신경망을 이용한 계측기의 자동교정시스템에 관한 연구

지도교수 이 형 기

이 論文을 提出함



부경대학교 산업대학원

제어계측공학과

김 인 석

김인석의 공학석사 학위논문을 인준함

2003년 6월

주 심 공학박사 최 연 욱



위 원 공학박사 황 용 연



위 원 공학박사 이 형 기



목 차

표 목 차	i
그림목차	ii
요 약	iv
1. 서 론	01
2. 역전과 신경망의 학습 알고리즘	04
2.1. 역전과 신경망의 구성	04
2.2. 학습 알고리즘	07
3. 자동교정시스템	12
3.1. 시스템 개요	12
3.2. 시스템 구성	13
3.2.1. 구동 프로그램	13
3.2.2. 인터페이스	14
3.2.3. 사용언어	17
3.3. 교정 결과의 측정불확도의 산출	18
3.3.1. Multimeter의 20V range 교정	18
3.3.2. 측정의 수학적 모델	20
3.3.3. 측정불확도 산출 수식	20
3.3.4. 측정불확도 성분 분석	21
3.3.5. 합성표준불확도	23
3.3.6. 확장불확도	23

4. 실험 및 결과	25
4.1. 자동교정시스템 구성	25
4.2. 구동 프로그램 실행	26
4.2.1. 초기설정 및 역전과 신경망 학습	26
4.2.2. 교정작업	29
4.2.3. 교정성적서 인쇄 및 저장	32
4.3. 기존의 방법과 자동교정 방법의 결과 비교	33
4.3.1. 수동교정과 자동교정 비교	33
4.3.2. 교정에 대한 작업시간 비교	34
4.3.3. 교정결과의 정확도 비교	35
5. 결 론	36
참고문헌	37
감사의 글	38

표 목 차

표 3.1	DC 전압 규격명세	19
표 3.2	DC 전압 Range	19
표 3.3	확인 규격명세	19
표 3.4	측정결과	20
표 3.5	불확도 총괄표	24
표 4.1	교정 스텝	31
표 4.2	수동교정과 자동교정 비교	33
표 4.3	교정시간 비교	34
표 4.4	DC 전압 Range별 정확도 비교	35

그 립 목 차

그림 2.1	노드와 노드간의 연결	04
그림 2.2	역전파 신경망의 구조	05
그림 2.3	시그모이드 함수	06
그림 3.1	시스템 구성도	12
그림 3.2	구동프로그램 흐름도	13
그림 3.3	구동프로그램 예시	14
그림 3.4	병렬 전송방식과 직렬 전송방식의 구별	15
그림 3.5	커넥터 개관	16
그림 3.6	커넥터 접속방식	16
그림 3.7	커넥터의 접속예	17
그림 3.8	화면구성	18
그림 3.9	표준기와 대상장비의 연결도	19
그림 4.1	자동교정시스템(전면)	25
그림 4.2	자동교정시스템(후면)	25
그림 4.3	교정시작	26
그림 4.4	전원공급 및 장비예열	27
그림 4.5	GPIB Address 설정	27
그림 4.6	주소설정 방법	27
그림 4.7	일련번호 입력	28
그림 4.8	작업자 선택	28
그림 4.9	정확도(E _{max}) 설정	28

그림 4.10	교정 절차 선택	29
그림 4.11	DC 전압 교정 결선도	29
그림 4.12	자동교정 기본 화면	30
그림 4.13	PASS 화면	30
그림 4.14	FAIL 화면	31
그림 4.15	교정성적서 인쇄	32
그림 4.16	교정성적서 저장	32
그림 4.17	교정횟수에 대한 교정시간 비교	34
그림 4.18	DC 전압 Range별 측정 정확도	35

A Study on the Automatic Calibration System of the Measurement Equipment using Back-Propagation Neural Networks

In-Seok Kim

Department of Control & Instrumentation Engineering

Graduate School of Industry

Pukyong National University

Abstract

I study the development of automatic calibration system which can improve right decision of calibration and control operation through the self-learning as treating the value measured for examination of capability and decision of control of the measuring instrument with BP Neural Networks in this treatise.

The measuring instrument need to be calibrated regularly. If the value of measurement is out of accuracy after the calibration, we have to perform another control work. In this case, there are some weaknesses that we have to repeat the calibration performed before, after the control work and it takes a lot of time.

I make it handle the decision about calibration and control work by itself through the learning using BP Neural Networks which be widely applied in various fields for resolving these weaknesses. I construct program using the HP-VEE development tool which offers various measuring instrument driver and engineering function for easily making every measuring instrument's control and graph of a special quality without expertise to the program. And I drive the measuring instrument using GPIB interface.

In this treatise, I suggest some ways that can decide to calibration and control work of itself by automatic calibration system using BP Neural Networks and in this process, shorten the time of calibration and advance the accuracy of calibration.

1. 서 론

정밀도(Precision)라 함은 측정치간의 일치성 향상으로 비정밀한 것을 정밀화하는 기술로서 산업체의 필연적 과제가 되며, 정확도(Accuracy)라고 하면 정밀측정치가 국가표준과의 일치성 향상으로 부정확한 것을 정확하게 하는 기술로서 참값을 구하는 국가표준기관의 과제가 된다.

정밀측정기술의 중요성은 산업체의 공산품을 생산하는데서 비롯하여 과학기술개발, 국방 및 병기생산, 교통 등 많은 분야에서 요구되고 있다.

그리고 측정표준제도의 기술적 측정도구는 정밀측정계기이며 이 정밀측정계기의 생명은 바로 정밀측정 기술의 척도가 되는 정밀정확도인 것이다.

여기에서 정밀측정계기 또는 계측기라 하면 일상 생활이나 생산활동에 있어서 일률적으로 그리고 공통으로 쓰이는 많은 계기들을 말한다.

실 예를 든다면 전국적으로 똑같이 시간을 알려주는 표준시계, 전국 어느 시장이나 산업체에서 쓰이는 표준화 된 저울, 상품을 만들 때 측정도구로 쓰는 자, 마이크로메타 그리고 제철소, 기계, 전기, 전자공장, 정유공장, 화학공장 등과 원자력 연구소 내에 있는 수십만 개의 계기 하나 하나에 붙어 있는 이루 헤아릴 수 없이 많은 수의 계기들, 우주 항공무기에 활용되는 수많은 정밀·정확한 정밀측정계기의 이용을 들 수 있다.¹⁸⁾

정밀측정계기는 정밀·정확도가 생명이다. 그래서 오늘날 고도로 발달된 제품을 생산하는 산업체일수록 요구하는 정밀·정확도는 매우 높다.

오늘날과 같이 고도의 정밀측정기술이 요구되는 산업사회에서는, 과거에 사용되었던 저울이나 자 등 국제 수준에 미달하는 간단한 측정 대상치를 벗어나 전자저울, 레이저측장기, 속도계, 압력계 등 고정밀·정확한 전자 계측기를 사용하여야만 국가 경쟁력에서 승리할 수 있다.

이러한 시대적 흐름에 맞추어 산업현장에서는 반도체의 발달에 힘입어 기존의 아날로그에서 디지털로 계측기가 변화하면서 컴퓨터 제어에 의한 자동화 운용 시스템이 증가하였으

나, 이러한 장비들에 대하여 시스템에서 장비 개체별로 장탈하여 수동으로 교정을 수행하고 있는 실정이다.

또한, 자동화 운용 시스템 및 인터페이스 기능 장착 계측기의 수동교정으로 자동화 운용을 위한 인터페이스 카드의 기능점검 불가로 시스템 가동률 저하 및 수동교정 완료후 시스템 장착시 오동작 또는 에러등의 문제점이 발생되고 있다.

그리고, 교정작업중 측정치가 정확도를 벗어나면 별도의 조절작업을 수행해야 하며, 조절작업 후 이전 수행한 교정작업의 반복 수행으로 작업 회피 사례 발생 및 작업시간 과다 소요로 정비효율 감소 등의 많은 애로가 발생되고 있다.

수동 교정의 경우 발생하는 자동화 장비간 신호전달체계에서 일어나는 문제 점점 불가와 자동화 운용 시스템 장비들에 대한 원활한 교정지원과 제반 문제점 해결을 위해서는 자동교정시스템이 필수적이며, 산업현장에서 요구되는 자동화 계측기의 성능 보장을 충족시키기 위해 일반 컴퓨터에 자동교정프로그램과 인터페이스 카드를 장착하여 자동교정 시스템을 구성함으로써 시스템 가동률 증가와 사용중 일어 날 수 있는 제반 문제점을 해소할 수 있다.

또한, 계측기의 정기적인 교정 작업시 측정치가 정확도를 벗어나면 별도의 조절작업을 수행하며, 이 경우 조절작업을 마친 후 이전에 수행한 교정작업을 다시 반복적으로 해야 한다는 점과 많은 시간이 소요되는 단점을 해결하기 위한 많은 연구가 있어왔다. 이러한 여러 연구중에서도 아직 시도된 적이 없는 신경망 학습 알고리즘을 이용한 연구는 획기적이라 할 수 있으며, 또한 여러형태의 신경망 학습중 순방향 다층 신경망 학습에 효과적으로 적용할 수 있어서 다양한 분야에 보편적으로 활용되는 역전파 신경망 학습을 이용하였다.^[10]

이 역전파 신경망 학습 알고리즘에 대한 연구를 통해서 교정 및 조절작업에 대한 판단을 스스로 처리가 가능하게 되었다.

그리고, 프로그램의 전문지식이 없더라도 각종 계측기의 콘트롤 및 특성 그래

프 등을 구현하기 쉽게 다양한 계측기 드라이버와 공학용 함수가 지원되는 HP-VEE 개발 툴을 사용하여 프로그램을 구현하고 GPIB 인터페이스를 통해 계측기를 구동하였다.

이 논문에서는 계측기의 여러 대상 중 멀티미터에 대하여 설명하고자 하며, 역전과 신경망을 이용한 자동교정시스템을 통해 산업현장에서 요구하는 정확도를 충족시키고, 교정 및 조절 작업에 대한 판단을 스스로 처리하며, 이를 통해 계측기의 교정시간 단축과 인위적 오차 가능성 제거로 정확도 향상 및 품질 보증 신뢰도와 교정효율 증대를 기할 수 있는 방법을 제안한다. 그리고, 이 방법은 멀티미터 뿐만 아니라 인터페이스 기능이 내장된 다른 계측기에도 광범위하게 적용이 가능하다.

2. 역전파 신경망의 학습 알고리즘

2.1. 역전파 신경망의 구성

신경망은 사람 두뇌의 패턴 인식이나 학습 시 일어나는 연산 과정을 흉내내기 위해 고안된 것으로 여러 요소(element)를 상호 연결시켜 병렬 계산이 가능하게 하고 패턴 인식이나 학습 기능의 수행이 가능하게 해준다. 위의 요소(element)를 보통 노드(node)라 하고 이 노드를 연결하는 것을 연결 강도(weight)라고 하는데 이것을 나타낸 것이 그림 2.1 이다.

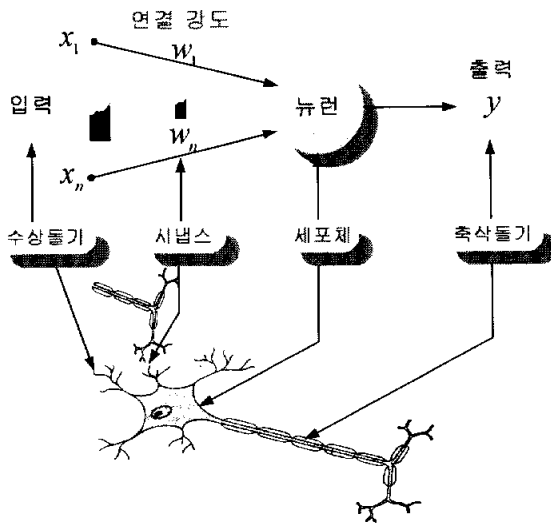


그림 2.1 노드와 노드간의 연결

노드 x , y 는 각각 신경망의 다른 노드로부터 입력값을 받고, 각 노드의 출력값은 그 노드가 받는 총 입력값을 인자로 하는 함수의 결과값인데, 보통 이 함수를 활성화 함수(activation function)라 하는데 이 활성화 함수로는 주로 선형 함수나 계단형(hard limiting)의 비선형 함수를 이용한다. 노드 x , y 사이의 연결 강도로 x, y 사이의 관계가 규명되는데, 노드 x 의 출력값이 노드 y 에 어느 정도 영향을 미치는가를 알 수 있다. 즉 연결강도가 크고 양수이면 x , y 가 서로 양의 상관관계를 가지게

되고, 반대이면 음의 상관관계를 가지게 된다.

여기서 신경망의 중요한 점은 신경망의 모든 노드가 입력값과 출력값의 계산에 있어서 병렬 계산이 가능하여 계산 시간의 단축이 가능하다는 것이다.

신경망의 상태는 노드간의 연결 강도와 출력 상태, 그리고 신경망의 구조에 의해서 정의되는데, Hopfield는 피드백이 가능한 신경망의 구조와 연결 매트릭스의 가정하에서는 신경망의 상태가 안정 상태에 수렴함을 제시하였다.^[4] 이것으로 인해 많은 분야에 적용 가능하게 되었다.

역전과 신경망은 하나의 조정층으로 구성되어 있는 다른 신경망과는 달리 입력층과 출력층 사이에 하나 이상의 중간층이 존재하기 때문에 다층 퍼셉트론으로 불리기도 한다. 이 때 입력층(input layer)과 출력층(output layer) 사이의 중간층을 은닉층(hidden layer)이라 부른다. 역전과 신경망은 입력층, 은닉층, 출력층 방향으로 연결되어 있으며, 각 층내의 연결과 입력층에서 출력층으로의 직접적인 연결은 존재하지 않는 전방향(feedforward) 신경망이다. 역전과 신경망의 일반적인 구조는 그림 2.2와 같다.

입력층 은닉층 출력층

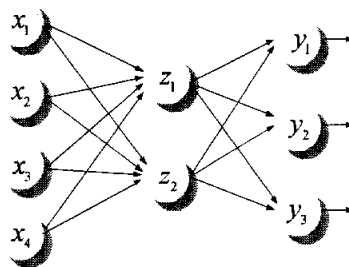


그림 2.2 역전과 신경망의 구조

입력층은 외부로부터 정보를 받아들이고, 신경망에 의해 계산된 값은 출력층을 통해 외부에 전달된다. 보통 입력층에 전달되는 정보들은 많은 noise와 다른 불필요한 정보를 포함하고 있는데, 효과적인 학습과 예측을 위해 정보를 가공하여 출력층에 전달하는 역할을 한다. 은닉층의 수가 증가할수록 신경망이 인식 가능

한 결정 구역의 특성이 증대되고 고급화된다.

각 노드의 출력값은 그 노드로의 입력값들의 합에 의해 결정된다. 이런 일종의 신호(signal)가 인접한 상위층으로만 전파되고 이 신호는 노드 사이의 연결 강도에 따라 조절이 된다.

일반적으로 역전파 신경망에서 이용하는 활성화 함수는 sigmoid 함수를 적용하는데 이 경우 결정 영역이 통상 완만한 곡선으로 경계 지워지므로 행위의 분석이 약간 복잡하지만 미분이 가능하고 용이하므로 오히려 은닉층을 학습시키는 역전파 학습 알고리즘을 용이하게 수행할 수 있다는 점 때문에 많이 사용되고 있다. 또한 비감소 함수이므로 두 노드간의 연결 강도의 값이 양수이면 두 노드가 서로 보완의 관계를 음수이면 서로 상충되는 관계를 띄게 되고, 그 값이 0 이면 두 노드는 서로 아무런 관련이 없음을 뜻한다. 이 함수를 수식으로 나타내면 식 (2.1)과 같은 형태를 나타내면 그림 3.3과 같다.^[10]

$$f(NET) = \frac{1}{1 + e^{-NET}} \quad (2.1)$$

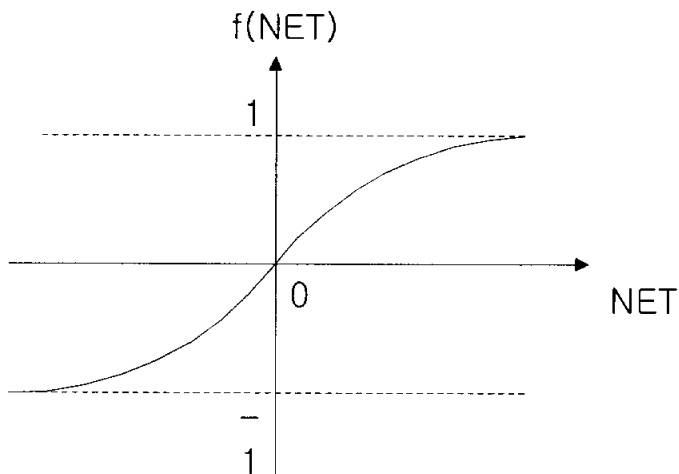


그림 2.3 시그모이드 함수

2.2. 학습 알고리즘

역전과 신경망이 층간으로 분리되어 층이 다른 노드 사이의 병렬 계산이 불가능하다는 단점을 감수하면서 까지 많이 이용되고 있는 이유는 학습이 가능하기 때문이다. 일반적인 역전과 신경망의 학습 방법은 다음과 같다. 입력층의 각 노드에 입력 데이터를 제시하면 이 신호는 각 노드에서 변환되어 중간층에 전달되고 최종적으로 출력층으로 나오게 된다. 이 출력값과 데이터의 실제 출력값을 비교하여 그 차이를 감소 시키는 방법으로 연결 강도를 조절하고, 상위층에서 역전과하여 하위층에서 이를 근거로 다시 자기층의 연결 강도를 조정하는 것이다.

역전과 신경망의 학습 알고리즘은 최소자승(least square) 알고리즘의 비선형적인 확장이다. 역전과 신경망의 학습 알고리즘은 미분의 반복 규칙(chain rule)을 여러 번 반복적으로 적용하여 확률 근사치 프레임 워크(stochastic- approximation framework)와 관련 지음으로써 유도해 낼 수 있다. 입력 및 원하는 출력(목표 출력)패턴이 제시되는 지도 학습(supervised learning)에서는 출력값이 목표 출력값과 일치하는 경우에는 학습이 일어나지 않지만, 그렇지 않을 경우에는 출력값과 목표 출력값의 차이를 감소시키는 방향으로 연결 강도를 조정한다. 따라서 신경망의 구조에서 은닉층이 없을 경우 오차 제공의 곡면에 대하여 최급 하강을 하는 델타 규칙과 동일하다.

델타 규칙에 의한 연결 강도의 변화는 연결 강도 공간상에 주어지는 오차제공을 높이로 하는 곡면에 대하여 최급하강을 한다. 즉, 오차 제공이 가장 많이 감소하는 방향으로 변화한다.

특정 학습패턴 p 에 대한 출력층 뉴런의 제공 오차는 식 (2.2)와 같다.

$$E = \frac{1}{2} \sum_j (y_i - o_j^n)^2 \quad (2.2)$$

은닉층이 없는 경우는 제곱 오차에 대한 곡면이 하나의 최소점을 갖는 포물선의 모양을 하고 있으므로 최급하강법(steepest gradient descent method)에 의해 오차의 제곱을 최소로 하는 값을 얻을 수 있으나, 일반적으로 은닉층이 있는 경우는 E의 미분을 구하는 것이 쉽지 않을 뿐 아니라 오차 제곱의 곡면도 복잡하여 최급하강법이 오차 제곱의 지역 최소값을 나타내는 연결 강도에 수렴할 가능성이 있다. 따라서 일반화된 델타 규칙(generalized delta rule)을 사용한다.

학습시의 연결 강도의 변화량을 구해 보면 식 (2.3)과 같이 표현한다.

$$\Delta w_{ij}^k = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{ij}^k} \quad (2.3)$$

여기서 η 는 이득(gain)항 이다.

우변을 미분을 반복 규칙을 적용하여 오차 입력의 총합에 관한 미분과 입력 총합의 연결 강도에 관한 미분으로 나누어 바꿔 쓰면 식 (2.4)와 같다.

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}^k} = \frac{\partial E}{\partial net_j^{k+1}} \frac{\partial net_j^{k+1}}{\partial w_{ij}^k} \quad (2.4)$$

$$\frac{\partial net_j^{k+1}}{\partial w_{ij}^k} = \frac{\partial}{\partial w_{ij}^k} [\sum_p w_{pj}^k o_p^k] = o_i^k \quad (2.5)$$

여기서, 출력층 뉴런 j에서 발생한 오차신호 δ_j^{k+1} 를 식 (2.6)과 같이 정의하면 식 (2.4)는 식 (2.7)로 쓸 수 있다.

$$\delta_j^{k+1} = \frac{-\partial E}{\partial net_j^{k+1}} \quad (2.6)$$

$$\frac{-\partial E}{\partial w_{ij}^k} = \delta_j^{k+1} o_i^k \quad (2.7)$$

따라서 연결강도의 변화량은 식 (2.8)에 의해 구할 수 있다.

$$\Delta w_{ij}^k = \eta \delta_j^{k+1} o_i^k \quad (2.8)$$

여기서 발생하는 문제점은 각각의 노드에 대하여 오차신호 δ_j^k 를 구하는 것인데, 재귀적인 방법으로 간단히 구하는 방법을 살펴 보자.

식 (2.6)을 합성 함수의 미분공식을 이용하여 오차의 출력에 관한 미분과 출력의 입력 총합에 관한 미분으로 바꿔 쓰면 식 (2.9)와 같다.

$$\delta_j^k = \frac{-\partial E}{\partial net_j^k} = \frac{-\partial E}{\partial o_j^k} \frac{\partial o_j^k}{\partial net_j^k} \quad (2.9)$$

$$\frac{\partial o_j^k}{\partial net_j^k} = f'(net_j^k) \quad (2.10)$$

첫 번째의 미분 계산은 경우에 따라 다르다. 먼저 출력층의 노드인 경우는 E의 정의로부터 통상의 델타 규칙의 경우와 같이 식 (2.11)가 되고, 출력층에 관한 δ_j^n 는 식 (2.12)과 같다.

$$\frac{\partial E}{\partial o_j^n} = -(y_i - o_j^n) \quad (2.11)$$

$$o_j^n = (y_i - o_j^n) f'(net_j^n) \quad (2.12)$$

다음에 노드가 출력층이 아닌 경우에는 합성 함수의 미분 공식을 사용하여 식 (2.13)를 얻을 수 있고 은닉층의 오차신호 δ_j^k 는 식 (2.15)와 같이 된다.

$$\begin{aligned} \sum_i \frac{\partial E}{\partial net_i^{k+1}} \frac{\partial net_i^{k+1}}{\partial o_j^k} &= \sum_i \frac{\partial E}{\partial net_i^{k+1}} \partial \sum_j \frac{w_{ji}^k o_j^k}{\partial o_j^k} \\ &= \sum_i \frac{\partial E}{\partial net_i^{k+1}} w_{ji}^k = - \sum_i \delta_i^{k+1} w_{ji}^k \end{aligned} \quad (2.13)$$

$$\delta_j^k = f'(net_j^k) \sum_i \delta_i^{k+1} w_{ji}^k \quad (2.14)$$

식 (2.14)의 i 는 k 번째 층의 i 번째 노드의 출력을 받는 $k+1$ 번째 층의 노드 전체를 뜻한다. 식 (2.12)과 식 (2.14)를 이용하면 모든 노드에 관한 δ_j^k 를 재귀적으로 구할 수 있다. 또한 식 (2.8)를 이용하면 전체 노드의 연결 강도의 변화량을 구할 수 있다.

일반화 델타 규칙에 의한 학습은 두개의 순서에 의해 이루어진다고 볼 수 있다. 첫째, 입력을 신경망에 제시하면 이것이 신경망의 전방향으로 전파되어 출력을 낸다. 이 출력을 목표 출력과의 차이에 미분계수를 곱하여 출력 노드에 대한 오차를 계산한다. 둘째, 오차 신호가 신경망의 역 방향으로 전파되어 가면서 각각 노드의 오차 신호가 계산되어, 이것을 바탕으로 연결강도를 수정한다.

본 연구에서 사용되는 연결 강도의 변화 Δw_{ij}^k 에 관한 수식은 식 (2.8)를 이용하여 식 (2.15)과 같이 변환 시킨다.

$$\Delta w_{ij}^k(n+1) = \eta \delta_j^{k+1} o_i^k + \alpha \Delta w_{ij}^k(n) \quad (2.15)$$

여기서 n 은 학습의 횟수, α 는 상수이며 $\alpha \Delta w_{ij}^k$ 는 이전 학습할 때의 연결강도의 변화량으로 오차 진동을 적게 하고 수렴 속도를 빨리 하기 위하여 첨가한 모멘텀 항(momentum term)이다.

이 역전파 신경망의 알고리즘은 지역 최소값(local optimum)에 빠지거나, 학습 과정이 수렴되기까지 아주 많은 양의 학습 데이터가 필요하다거나 기억된 패턴의 수정, 추가 학습 등이 불가능하다는 등의 단점이 있다. 그럼에도 불구하고 역전파 신경망은 구현이 쉽고 학습이 가능하다는 이유로 해서 현재 가장 많이 사용되고 있다. [11]

3. 자동교정시스템

기존의 수동 교정시스템은 작업자가 직접 표준기와 대상장비를 제어하여 작업을 하였으나, 자동교정시스템에서는 일반 컴퓨터와 구동프로그램 등으로 구성된 제어부에서 모든 작업에 대하여 자동으로 처리하게 하였으며, 교정 및 조절에 대한 학습을 위해 역전과 신경망 알고리즘을 사용 하였다.

3.1. 시스템 개요

자동교정시스템은 제어부와 표준기 및 대상장비로 구성되며, 시스템 구성도는 그림 3.1과 같다.

제어부는 일반적으로 사용하는 컴퓨터에 IEEE-488 인터페이스를 장착하고 내부에 역전과 신경망 학습 알고리즘을 이용한 교정/조절 프로그램을 구동시켜서 표준기와 대상장비를 제어하며, 표준기는 피교정장비를 교정하기위해 필요로 하며, 인터페이스 기능이 내장된 장비로서 구성된다. 또한 대상장비는 산업현장에서 사용하는 계측기로서 교정을 필요로 하는 피교정장비를 말한다.

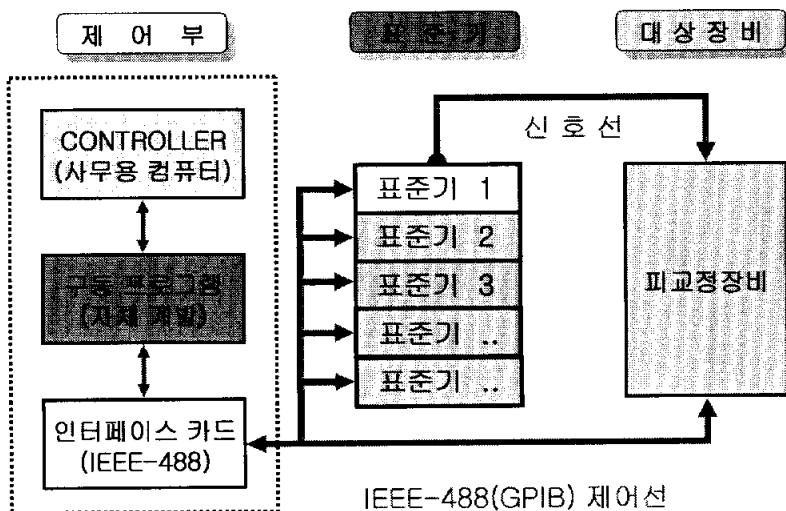


그림 3.1 시스템 구성도

3.2. 시스템 구성

3.2.1. 구동프로그램

구동 프로그램에 대한 흐름도는 그림 3.2와 같다.

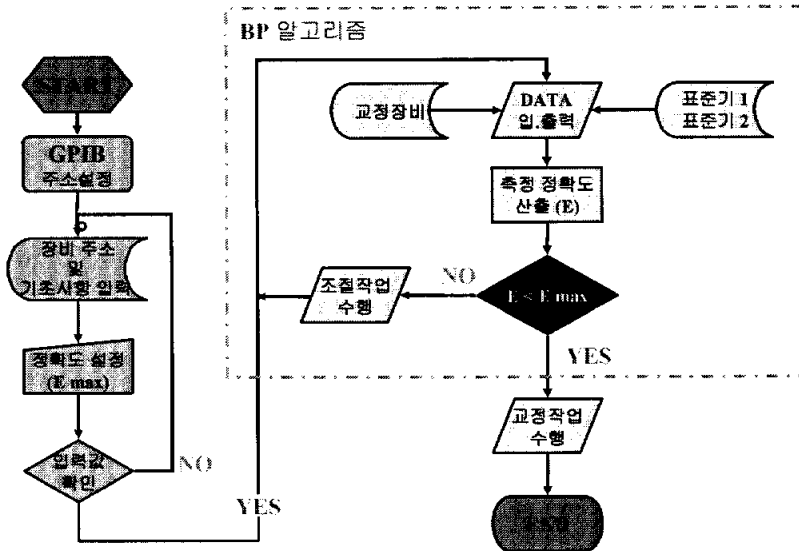


그림 3.2 구동 프로그램 흐름도

표준기와 대상장비를 제어부에 연결하여 구동프로그램을 실행한 후 GPIB 주소 설정 및 신경망 학습을 위한 정확도(E_{max})를 설정한다.

다음으로 기초자료가 입력되면 신경망 학습을 위한 초기 측정치를 자동으로 측정하여 이때의 측정정확도(E)를 역전과 신경망 입력으로 가한후 $E < E_{max}$ 를 만족하면 교정작업을 수행하고 그렇지 못하면 조절작업을 자동 수행하여 다시 역전과 신경망 입력단에 입력을 가하며, 신경망 학습을 통해 초기 설정된 정확도(E_{max})를 만족하면 교정작업을 수행한 후 작업을 종료하게 된다.

작성된 구동프로그램의 예시는 그림 3.3과 같다.

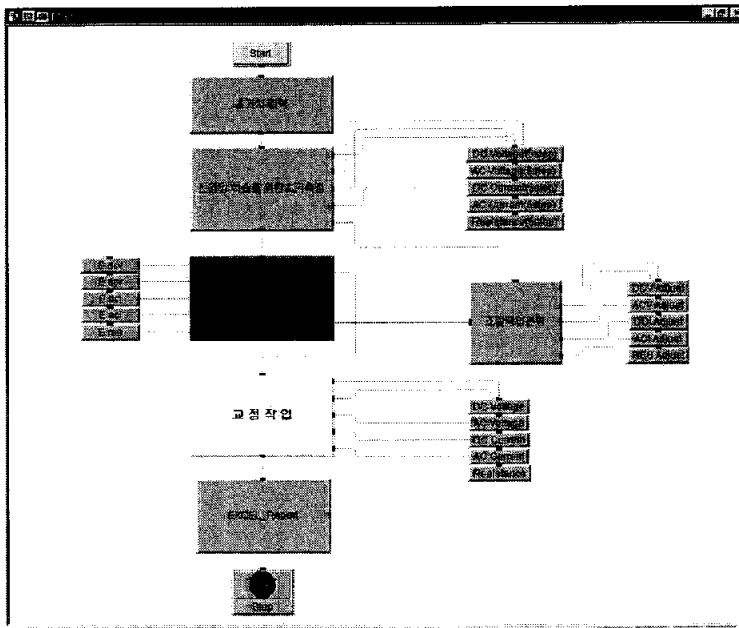


그림 3.3 구동 프로그램 예시

역전파와 신경망의 학습률은 0.45, 모멘텀 항은 0.90으로 초기 설정하였다.

또한, 입력층 5개, 은닉층 3개, 출력층 2개로 하여 총 5개의 역전파와 신경망 알고리즘으로 구성되어 있으며, 세부구성은 BP_DCV, BP_ACV, BP_DCI, BP_ACI, BP_RES로 되어 있다.

3.2.2. 인터페이스

컴퓨터와 각종 계측기를 접속하는 인터페이스에는 여러 종류가 있다. 인터페이스란 기기를 신호선으로 연결하여 통신을 처리할 때 그 송/수신정보가 정확히 상대방에게 전달되도록 하기 위한 전기적·기계적 취급방법이다. 신호선을 통합하여 버스(bus)라고 한다. 버스에는 데이터 신호선, 제어 신호선, 그라운드 신호선 등이 있다. 버스의 신호선수는 인터페이스에 따라 다르므로 일정하지는 않다.

계측기에 사용 빈도가 높은 인터페이스에는 RS-232, GPIB, 센트로닉스 가 있다. 이것들에도 장점 및 단점이 있기 때문에 사용하는 환경에 따라 가장 좋은 방법을 선택해야 한다. 시스템 엔지니어는 사용자가 형식에 근거하여 사용할 컴퓨터 인터페이스를 선택해야 하므로 그역량이 문제된다.

버스의 종류는 병렬(parallel) 과 직렬(serial) 로 크게 나눌수 있다. RS-232C 는 직렬전송, GP-IB 나 센트로닉스는 병렬 전송이다.

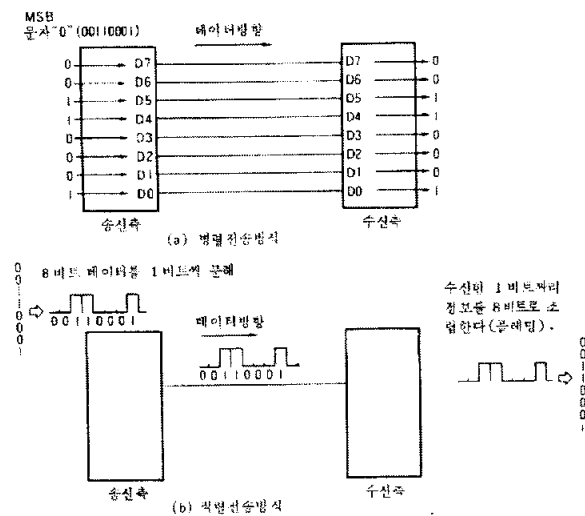


그림 3.4 병렬 전송방식과 직렬 전송방식의 구별

각각의 인터페이스에는 장단점이 있으므로 시스템에 가장 좋은 인터페이스를 선택하지 않으면 안된다. RS-232C는 신호선이 적어도 되고, 또한 케이블을 길게 할 수 있으므로 빌딩내의 통신에 적당하다.

GP-IB가 계측기 분야에 활용되고 있는 것은 기기의 증설이 쉽고, 커넥터 규격이 통일되어 있으며, 접속할 기기의 전송속도를 가리지 않고, 프로그램 작성에 필요한 명령어 체계가 통일되어 있다는 장점 때문이다. 그러나 단점으로는 총 케이블 길이가 20m 이내이어야 하고, 기기의 증설대수는 15대 까지 가능하며, 기기를 쉽게 증설할 수 있기 때문에 통신이 정상적으로 이루어지지 않을때 원인 규명이 곤란한점 등을 들 수 있다.

GP-IB의 커넥터는 플러그와 리셉터클을 접합시킨 모양을 하고 있다. 기기에 설치할 커넥터는 리셉터클을 이용하는 것이 일반적이므로 케이블의 플러그측에서 접속한다.

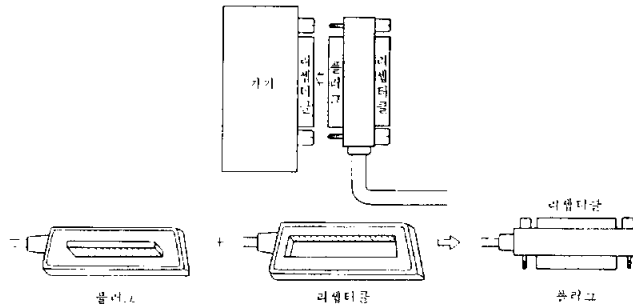


그림 3.5 커넥터 개관

또한 커넥터의 비어있는 리셉터클로 다시 다른 커넥터로 중계해도 상관없다.

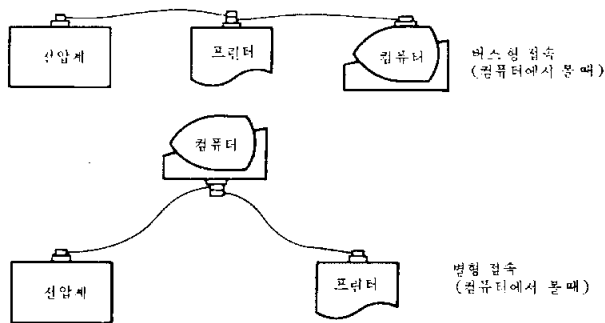


그림 3.6 커넥터 접속방식

이 플러그와 리셉터클을 이체화 시킨 커넥터에 의해 기기의 증설과 변경을 쉽게 하고 있다. 접속할 커넥터는 2개 이내, 총 케이블 길이는 20m 이내라는 제약이 있지만 컴퓨터와 그 주변의 측정기를 동작시키는 데는 충분한 거리이다.

접속방법은 다음과 같다.

- ① 1대의 기기에 접속하는 커넥터는 2개 이내
- ② 총 케이블 길이는 20m 이내

③ 배선은 루프(loop)가 되지 않도록 한다.

①과 ②는 신호의 감쇠, 찌그러짐, 잡음, 신호의 반사에서 보호하기 위해서이며, ③은 그라운드 루프를 피하기 위함이다.

컴퓨터와 계측기의 접속에는 그림 3.7와 같다.^[13]

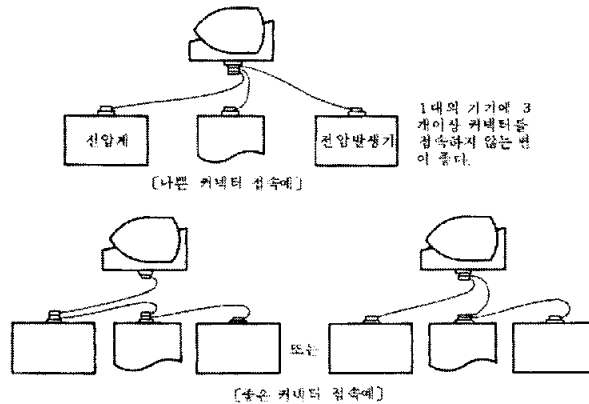


그림 3.7 커넥터의 접속예

3.2.3. 사용언어(개발 툴)

사용언어는 HP VEE 6.0 (Hewlett Packard Visual Engineering Environment)를 개발 툴로 활용하였으며, 이 툴의 장점은 다음과 같다.

- ① HP사 제품으로 실험 및 테스트 프로그램 작성을 위하여 별도의 프로그램 언어를 배울 필요가 없다
- ② 오브젝트를 구성하여 손쉽게 프로그램 할 수 있는 그래픽 형태의 툴이다.
- ③ 프로그램의 전문 지식이 없더라도 각종 계측기의 콘트롤 및 특성 그래프 등을 구현하기 쉽다.
- ④ 한글 사용에 문제가 없으며, 신속한 테스트 결과를 얻을 수 있다.
- ⑤ 교정 작업자가 직접 프로그램 할 수 있으며, 수정하기 쉽다.

HP VEE는 화면이 두가지로 나뉘어 진다. 첫번째, 상세화면은 기능을 수행하기 위한 오브젝트를 서로 연결하여 프로그램을 구성하는 화면으로써 이 상태에서 디

버그 및 실행을 할 수 있다. 두번째, 판넬화면은 프로그램 구성이 복잡해지는 경우 보고자 하는 부분 모듈만 볼수 있도록 별도로 화면 구성을 할 수 있다.

세부 구성은 그림 3.8과 같으며, 기능을 수행하기 위한 각각의 오브젝트를 서로 연결하여 프로그램을 구동하게 된다.

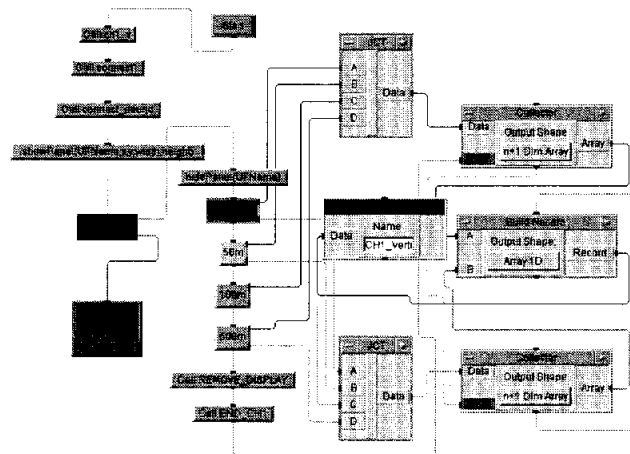


그림 3.8 화 면 구 성

3.3. 교정결과의 측정불확도 산출

3.3.1. 멀티미터의 20 V range 교정

멀티미터의 교정절차에 따라, 멀티미터의 20 V range의 정확도를 확인하기 위하여 그림 3.9와 같이 다기능 교정기(Multifunction calibrator)로부터 직류 10 V를 멀티미터에 인가한다.

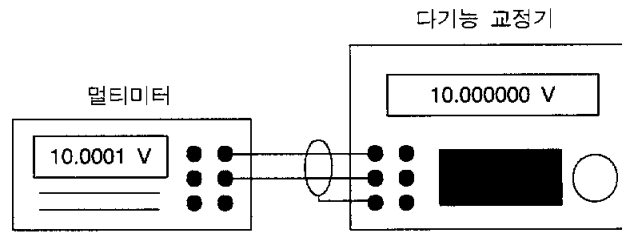


그림 3.9 표준기와 대상장비의 연결도

다기능 교정기의 교정주기는 90일이고, $(23 \pm 1) ^\circ\text{C}$ 에서 교정받았으며, 표3.1의 규격명세 내에 만족됨이 확인되었다.

표 3.1 DC 전압 규격명세

Range	Resolution	Uncertainty at 99 % level of confidence $\pm 5 ^\circ\text{C}$ from calibration temperature		
		24 hours	90 days	1 year
		$\pm (\text{ppm output} + \mu\text{V})$		
20 V	1 μV	4 + 3	5 + 4	8 + 5

멀티미터의 규격명세는 표 3.2와 같으며, Service manual에 의해 멀티미터의 20 V range를 확인하기 위해 DC 10 V를 사용하여 표 3.3과 같은 조건에 들어 오는지를 측정하였다.

표 3.2 DC 전압 Range

Range	Full Scale Display	Resolution	1 year uncertainty $\pm(\% \text{ of reading} + \% \text{ of range})$
20 V	19.9999 V	100 μV	0.0035 + 0.0025

표 3.3 확인 규격명세

Range	Input Voltage	Limits
20 V	10 V	$\pm 0.0007 \text{ V}$

측정한 결과 온도 $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ 에서 멀티미터가 표시하는 전압이 측정시간 동안에 전혀 변하지 않았기 때문에 표 3.4와 같이 단 한번의 측정값을 얻었다. 단, 부하효과 및 연결방법에 의한 오차는 무시 가능하다.

표 3.4 측정결과

Applied Voltage	Indicated Voltage
10.000 000 V	10.000 1 V

3.3.2. 측정의 수학적 모델

다기능 교정기와 멀티미터의 측정방법에 대한 수학적 모델은 식 (3.1)과 같이 정의할 수 있다

$$V_{\text{DMM}} = f(V) = V_{\text{STD}} + \Delta V_{\text{DMM}} \quad (3.1)$$

여기서,

V_{DMM} : multimeter가 표시하는 전압

V_{STD} : calibrator로부터 인가되는 전압

ΔV_{DMM} : multimeter의 오차

3.3.3. 측정불확도 산출 수식

입력량들 간의 상관관계가 없으므로 식 (3.2)에 의해

$$u_c^2(V) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial V_i} \right)^2 u^2(V_i) \quad (3.2)$$

교정기의 출력전압이 직접 멀티미터에 인가되었고, 부하효과 및 연결방법에 의한 오차가 무시되므로 다음 두 가지의 불확도 요인을 취급한다.

따라서 합성표준불확도는 식 (3.3)과 같다.

$$\begin{aligned}
u_c^2(V) &= \left(\frac{\partial V_{\text{DMM}}}{\partial V_{\text{STD}}} \right)^2 u_1^2(V) + \left(\frac{\partial V_{\text{DMM}}}{\partial \Delta V_{\text{DMM}}} \right)^2 u_2^2(V) \\
&= (c_1)^2 u_1^2(V) + (c_2)^2 u_2^2(V)
\end{aligned} \tag{3.3}$$

여기서,

$u_1(V)$: 다기능 교정기의 인가전압 표준불확도

$u_2(V)$: 멀티미터의 우연효과로 인한 표준불확도

감도계수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
c_1 &\equiv \frac{\partial V_{\text{DMM}}}{\partial \Delta V_{\text{STD}}} = 1 \\
c_2 &\equiv \frac{\partial V_{\text{DMM}}}{\partial \Delta V_{\text{DMM}}} = 1
\end{aligned}$$

그러므로 합성 불확도는 다음과 같이 정리된다.

$$\begin{aligned}
u_c^2(V) &= u_1^2(V) + u_2^2(V) \\
u_c(V) &= \sqrt{u_1^2(V) + u_2^2(V)}
\end{aligned} \tag{3.4}$$

3.3.4. 측정불확도의 성분 분석

측정불확도 성분의 평가는 구하는 방법에 따라 A형 평가와 B형 평가로 나눈다. A형 표준불확도는 반복 측정값의 빈도분포에 근거한 확률밀도함수에서 구하는 반면, B형 표준불확도는 기존의 정보 또는 문헌을 통해 측정값이 가질수 있는 확률 밀도함수를 가정하여 구한다. [2][14]

(1) A형 평가 (A형 표준불확도)

기준 표준기(reference standard)의 정확도가 피측정기기보다 훨씬 좋은 경우 멀티미터의 표시값이 전혀 변화되지 않거나 또는 멀티미터의 표시가 가끔 ± 1 count 가 깜빡거릴 뿐이므로 이 경우 A형 표준불확도는 무시할 수 있다.

따라서 반복성에 대한 불확도는 멀티미터의 분해능을 이용하여 B형 표준불확도로서 취급한다..

(2) B형 평가 (B형 표준불확도)

B형 표준불확도는 다기능 교정기와 멀티미터로 구분하여 평가한다.

먼저, 다기능 교정기의 측정불확도를 평가하면 규격명세로 부터 교정주기 90일에 해당되는 인가전압의 불확도는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} a_1 &= 5 \text{ ppm of output} + 4 \mu\text{V} \\ &= 5 \times 10^{-6} \times 10 \text{ V} + 4 \times 10^{-6} \text{ V} \\ &= 54 \times 10^{-6} \text{ V} \end{aligned} \quad (3.5)$$

규격명세에서 신뢰수준이 99 %로 주어졌고, 정상분포로 가정하면 포함인자 $k = 2.58$ 이 된다. 따라서 인가전압의 표준불확도는 다음과 같다.

$$u_1(V) = \frac{a_1}{2.58} = \frac{54 \times 10^{-6}}{2.58} = 20.9 \times 10^{-6} \text{ V} \quad (3.6)$$

$$\text{자유도: } \nu_1 = \infty$$

다음으로 멀티미터의 측정불확도를 평가하면 규격명세로 부터 20 V range의 분해능은 $100 \mu\text{V}$ (즉, 1 count)이다. 지시값이 변화되지 않기 때문에 limits가 $\frac{1}{2}$ count라고 생각할 수 있다.

$$a_2 = \frac{100 \mu\text{V}}{2} = 50 \times 10^{-6} \text{ V} \quad (3.7)$$

직각분포로 가정하면, multimeter의 분해능에 대한 표준불확도는 아래와 같다.

$$u_2(V) = \frac{a_2}{\sqrt{3}} = \frac{50 \times 10^{-6}}{\sqrt{3}} = 28.9 \times 10^{-6} \text{ V} \quad (3.8)$$

$$\text{자유도: } \nu_2 = \infty$$

3.3.5. 합성표준불확도 $u_c(V)$

측정결과가 여러 개의 다른 입력량으로부터 구해질때 이 측정결과의 표준불확도를 합성표준불확도라 하며, 이는 측정결과에 대한 추정표준편차이다. 합성표준불확도는 여러 입력량들의 분산과 공분산 성분으로부터 얻어지는 합성분산의 양의 제곱근으로서 불확도 전파법칙에 의해 구해진다.

$$\begin{aligned} u_c(V) &= \sqrt{u_1^2(V) + u_2^2(V)} \\ &= \sqrt{(20.9 \times 10^{-6})^2 + (28.9 \times 10^{-6})^2} \\ &= 35.7 \times 10^{-6} \text{ V} \end{aligned} \quad (3.9)$$

3.3.6. 확장불확도

확장불확도는 합성표준불확도에 포함인자를 곱하여 구하며, 불확도의 표기는 A형 표준불확도, B형 표준불확도, 합성표준불확도 등 표준불확도는 소문자 u로 표기하며, 확장불확도는 대문자 U로 표기한다.

확장불확도를 구하기 위한 포함인자의 값은 그 구간에 대해 요구되는 포함확률 또는 신뢰수준에 따라 정해지는데, 이를 위해서는 유효자유도(effective degree of freedom) 정의식에 따라 다음과 같이 구한다. [2][14]

$$\begin{aligned} \nu_{\text{eff}} &= \frac{u_c^4(V)}{\frac{[c_1 \mu_1(V)]^4}{\nu_1} + \frac{[c_2 u_2(V)]^4}{\nu_2}} \\ &= \frac{(3.57 \times 10^{-6})^4}{\frac{(1 \times 20.9 \times 10^{-6})^4}{\infty} + \frac{(1 \times 28.9 \times 10^{-6})^4}{\infty}} \\ &= \infty \end{aligned} \quad (3.10)$$

유효자유도 $\nu_{\text{eff}} = \infty$, 신뢰수준 95 %에 대한 포함인자를 t-분포표에서 찾으면 $k = 1.96$ 이다. 따라서 확장불확도는 아래와 같다.

$$\begin{aligned}
 U &= k u_c(V) \\
 &= 1.96 \times 35.7 \times 10^{-6} \\
 &= 70 \mu V
 \end{aligned}
 \tag{3.11}$$

각각 구하여진 불확도를 표 3.5과 같이 불확도 총괄표로서 나타내었다.

표 3.5 불확도 총괄표

불확도 요인	type	u_i	표준불확도 (μV)	감도 계수	확률 분포	적용 인자	자유도
Calibrator	B형	$u_1(V)$	20.9	1	정규	2.58	∞
분해능	B형	$u_2(V)$	28.9	1	직각	$\sqrt{3}$	∞
Multimeter	합성	$u_c(V)$	35.7	-	t	-	∞
Multimeter	확장	U	70.0	-	t	1.96	∞

마지막으로 측정결과를 보고할 때 포함인자와 신뢰수준에 대한 내용을 포함하여 다음과 같이 나타낸다.

$$V_{DMM} = 10.0001 \text{ V} \pm 70 \mu V \text{ (} k=1.96, \text{ 신뢰수준 } 95 \text{ \%)}$$

4. 실험 및 결과

4.1. 자동교정시스템

역전과 신경망을 이용한 자동교정시스템은 그림 4.1과 그림 4.2에 나타났다.

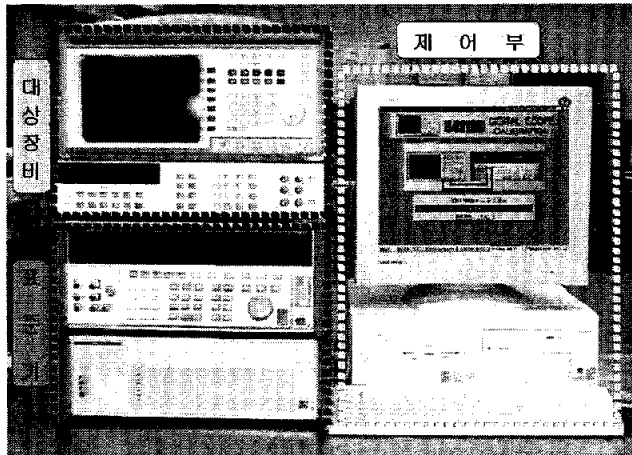


그림 4.1 자동교정시스템 (전면)

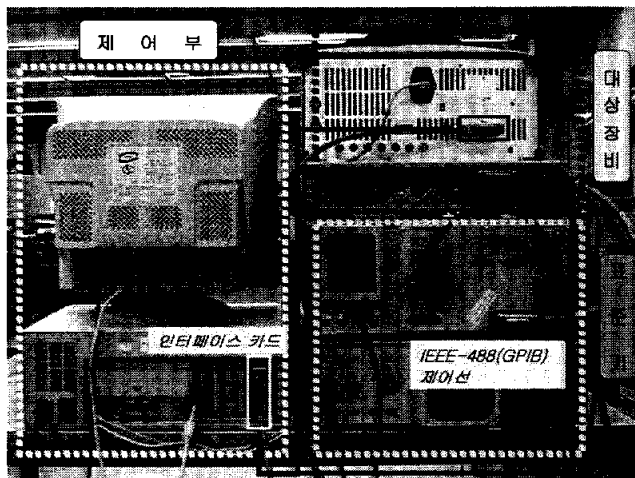


그림 4.2 자동교정시스템 (후면)

제어부는 일반용 컴퓨터와 Agilent사의 82350A GPIB 인터페이스카드로서 하드웨어를 구성하였고, GPIB 인터페이스 통신을 위해 HP-VEE 틀을 이용하였으며,

교정작업 및 조절작업의 판단을 위해 역전과 신경망 알고리즘을 사용 구동프로그램을 개발하였다.

표준기로는 FLUKE사의 5700A, 5725A Calibrator를 사용하였으며, 대상장비로는 자동조절이 가능한 WAVETEK사의 1271 Digital Multimeter를 선정하여 시스템을 구성하였다.

그리고, 각 구성부는 GPIB 인터페이스 방식을 채택하였으며 GPIB 케이블을 연결함으로써 자동교정이 가능하게 하였다.

4.2. 구동 프로그램 실행

4.2.1. 초기설정 및 역전과 신경망 학습

초기설정은 시스템 구성도를 참고하여 시험장비와 표준기에 GPIB 케이블을 연결한 후 프로그램을 구동하여 교정시작 버튼을 누름으로써 시작된다.

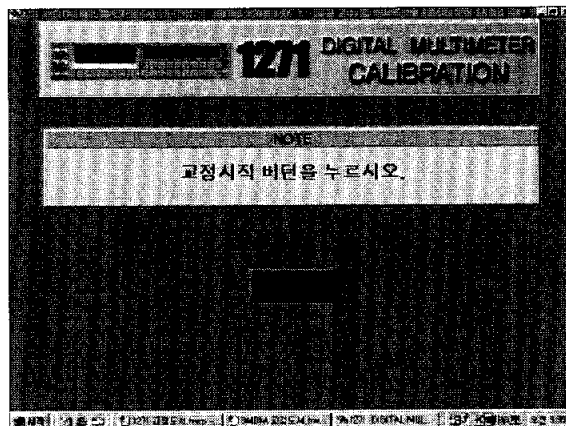


그림 4.3 교정 시작

먼저 측정의 정확도를 위해서는 표준기와 대상장비에 전원을 공급하여 30분 정도의 예열시간이 필요하며(그림 4.4), GPIB 인터페이스를 통한 자동측정을 위해 각 장비의 GPIB Address를 설정하거나 이를 확인 한다.(그림 4.5)

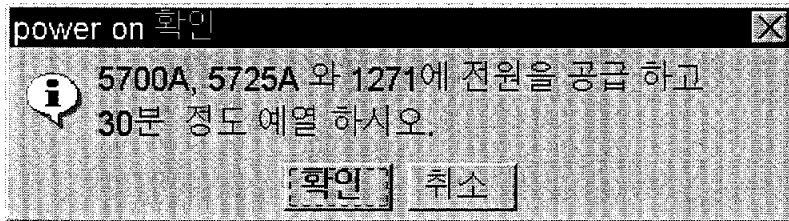


그림 4.4 전원 공급 및 장비 예열

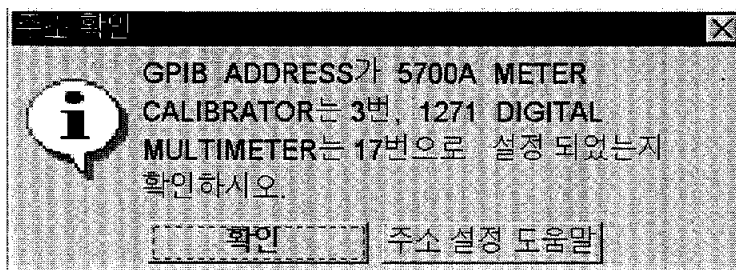


그림 4.5 GPIB Address 설정

표준기와 대상장비의 GPIB 주소 설정은 컴퓨터 화면을 참고하여 설정한다.

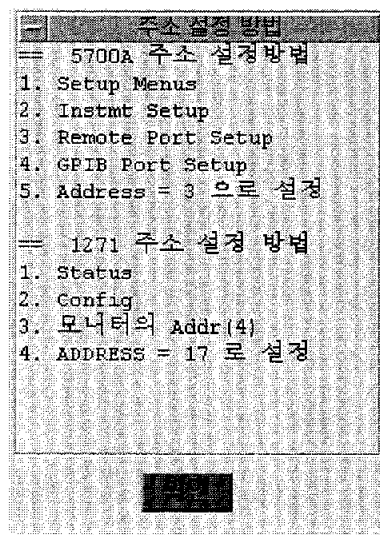


그림 4.6 주소 설정 방법

다음은 교정성적서 출력 및 자료 저장에 필요한 대상장비의 일련번호, 작업자 등 기초 정보를 입력한다.

그림 4.7 일련번호 입력

그림 4.8 작업자 선택

역전과 신경망 학습을 위해 학습률은 0.45, 모멘텀 항은 0.8로 설정하였고, 입력층 5개, 은닉층 3개, 출력층 2개 이며, 세부구성은 BP_DCV, BP_ACV, BP_DCI, BP_ACI, BP_RES 등 총 5개의 역전과 신경망 알고리즘으로 구성되어 있다.

프로그램 구동은 교정 및 조절작업에 대한 판단을 위한 정확도(E_{max})를 설정 하여(그림 4.9) 초기 측정치를 자동으로 측정한다.

그림 4.9 정확도(E_{max}) 설정

초기 측정치의 정확도(E)를 역전파 신경망 입력으로 가한후 $E < E_{max}$ 를 만족

하면 교정작업을 수행하고 그렇지 못하면 조절작업을 자동 수행하여 다시 역전과 신경망 입력단에 입력을 가하여 설정된 정확도(Emax)를 만족하면 교정작업을 수행하게 된다.

4.2.2. 교정 작업

초기설정 및 역전과 신경망 학습을 통한 조절작업이 완료되거나 필요치 않으면 교정작업 절차가 수행되며, 이때 멀티미터의 각 기능에 대한 교정절차를 선택하여 작업을 수행한다.

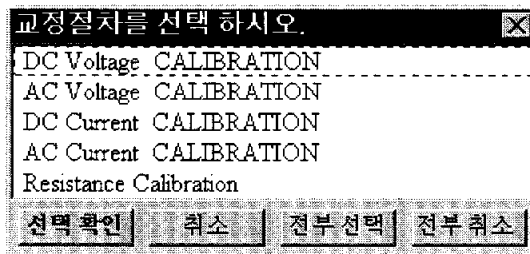


그림 4.10 교정 절차 선택

각 기능에 대한 세부 내용은 동일하며, 여기서는 DC 전압 교정작업에 대하여 간단히 나타내었다. 먼저 초보 작업자라고 실수 없이 장비 연결을 할 수 있도록 화면상에 연결도를 구현하였다.

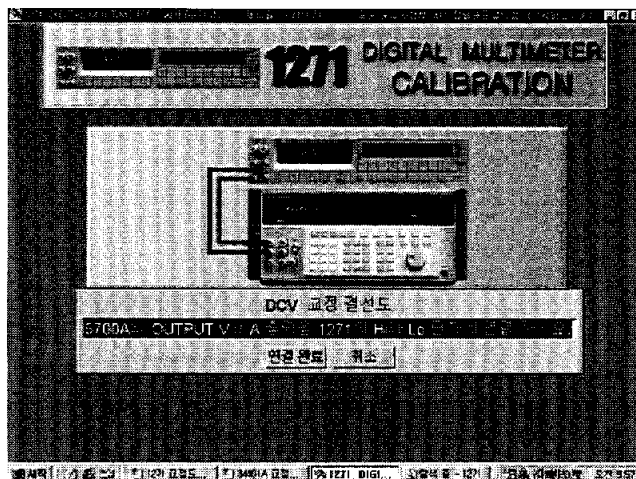


그림 4.11 DC 전압 교정 연결도

그림 4.12는 교정 절차의 기본 화면으로서 화면 설명은 다음과 같다.

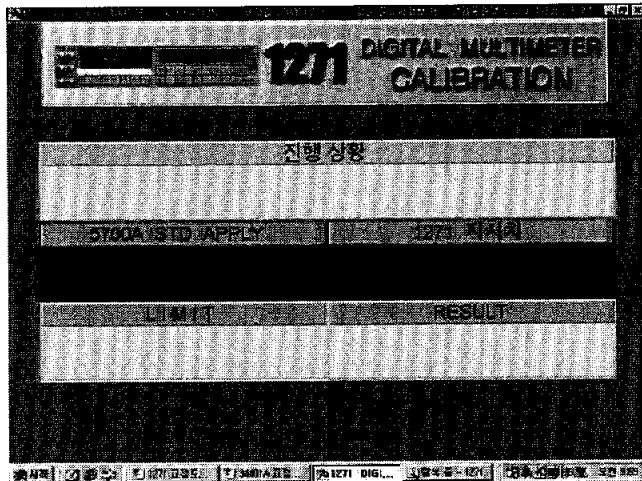


그림 4.12 자동 교정 기본 화면

- ① 진행 상황: 현재 교정이 진행 중인 시험 장비의 범위를 표시한다.
- ② 5700A STD APPLY: 표준기의 출력을 표시한다.
- ③ 1271 지시치 : 시험장비의 측정치를 표시한다.
- ④ LIMIT: 시험 장비의 허용오차를 표시한다.
- ⑤ RESULT: 교정결과를 "PASS"와 "FAIL"로 표시한다.

그림 4.13은 교정중인 장비가 허용오차의 범위를 벗어나지 않았음을 나타내며, 그림 4.14는 교정중인 장비가 허용오차의 범위를 벗어났음을 나타낸다.

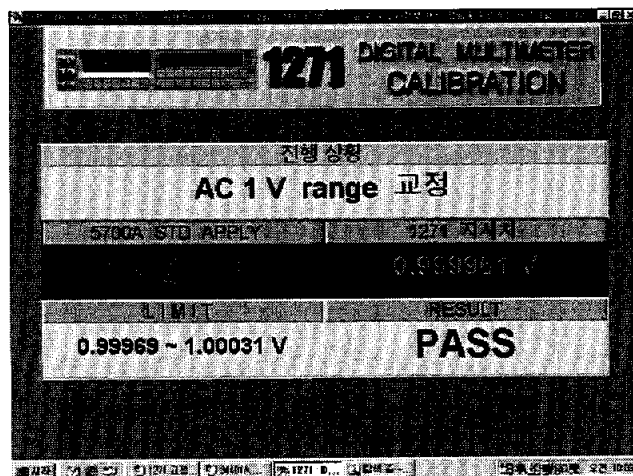


그림 4.13 PASS 화면

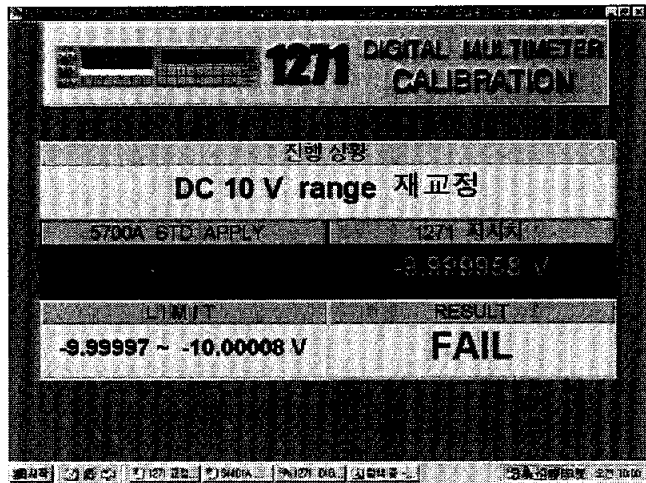


그림 4.14 FAIL 화면

DC 전압 교정은 표 4.1의 절차를 자동으로 수행하며, 측정된 값은 엑셀 파일에 자동 저장된다.

표 4.1 교정 스텝

Range	Applied	Limits
100 mV	100 mV	99.9985 ~ 100.0015 mV
	-100 mV	-99.9985 ~ -100.0015 mV
1 V	1 V	0.9999895 ~ 1.0000105 V
	-1 V	-0.9999895 ~ -1.0000105 V
10 V	10 V	9.99997 ~ 10.00008 V
	-10 V	-9.99997 ~ -10.00008 V
100 V	100 V	99.99875 ~ 100.00845 V
	-100 V	-99.99875 ~ -100.00845 V
1000 V	1000 V	999.9855 ~ 1000.0145 V
	-1000 V	-999.9855 ~ -1000.0145 V

4.2.3. 교정성적서 인쇄 및 저장

교정작업이 종료되면 측정결과에 대한 교정성적서를 인쇄하고(그림 4.15), 엑셀 파일의 형태로 컴퓨터에 자동 저장된다.(그림 4.16)

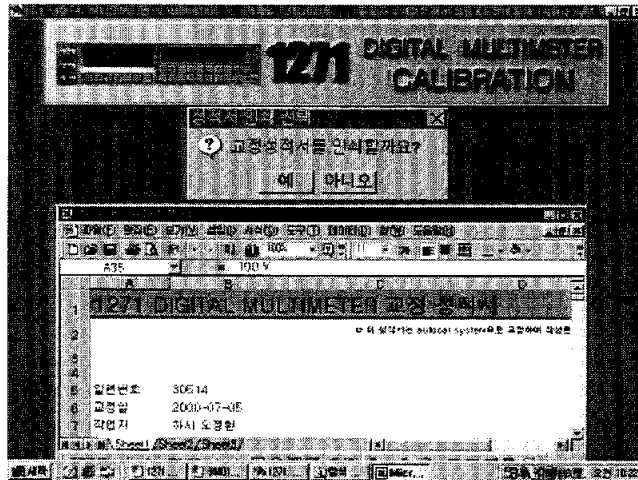


그림 4.15 교정성적서 인쇄

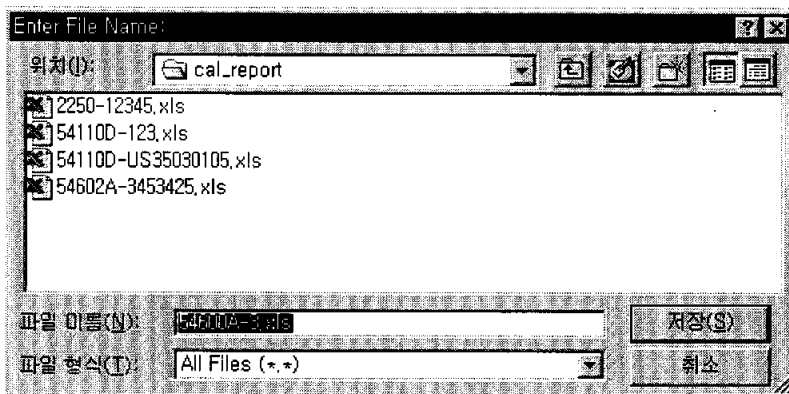


그림 4.16 교정성적서 저장

멀티미터의 교정결과에 대하여 자동 저장된 파일은 이력관리 및 기술분석자료로 활용 가능하다.

4.3. 기존의 방법과 자동교정 방법의 결과 비교

4.3.1. 수동교정과 자동교정 비교

표 4.2 수동교정과 자동교정 비교

구 분 항 목	수 동 교 정	자 동 교 정
조 절 작 업	- 수동 조절 작업 - 기능작업 도중에 조절 후 다음 절차 수행	- 자동 조절 작업 수행 - 교정 완료후 조절작업 수행
작 업 시 간	기능별 구성(set-up), 모든 조작의 수동으로 장시간 소요	수동 작업시간의 30 ~ 60 % 정도 소요
측 정 정 확 도	- 각 기능별 구성(set-up)시 오류발생 가능(인지불가) - 수회 확인 - 매회 측정시마다 개인 오차, 시스템 오차 등으로 결과 산출의 에러 폭이 넓다.	- 초도 구성으로 만족 - 잘못 구성되었을 경우 에러 메시지에 의해 인지 가능 - 한번의 확인으로 가능 - 초도 구성으로 수회 반복 측정 가능으로, 개인 오차 및 시스템 오차 제거
자 동 화 기 능 점 검	- ATE장비 점검 불가 - 시스템 가동률 저하 - 시스템 장착시 결함발생	- ATE장비 점검 가능 - 불량시 에러메세지 표시 - ATE장비의 연동성 보장
교 정 성 적 서 작성	- 교정완료후 측정불확도 작업자 직접 계산 - 장시간 소요 - 측정불확도 계산시 에러 유발	- 교정완료시 자동으로 교정 성적서 출력 - 입·출력자료 자동제어/저장 - 측정불확도 자동 계산으로 에러 방지
작업의 능률 및 신뢰도	자동화 장비의 수동교정으로 작업의 능률 및 신뢰도 저하	자동화 교정시스템에 의한 자동교정으로 작업의 능률과 신뢰도 향상
경 제 성	시스템 도입시 예산 과다소요 및 외화 낭비	자체 개발에 따른 예산 절감 및 경제적 군운영 기여
향 후 발 전	불 가	- 추가 개발 및 업그레이드 가능 - 기술 확산/보급시 일반업체에서 개발 및 기 개발 시스템 수정 가능

4.3.2. 교정에 대한 작업시간 비교

기존의 수동 방법을 이용한 교정과 자동교정시스템을 이용한 교정에서의 작업 시간을 비교하였으며, 1271 DMM를 교정한 결과 수동방법은 평균 9.0시간, 자동교정시스템 방법은 3.5시간이 소요 되었다. 동일장비에 대하여 여러번 반복적으로 교정한 결과 수동방법 보다 30~60%의 작업인시 절감효과가 나타났다. 이 결과는 그림 4.17 및 표 4.3에 나타내었다.

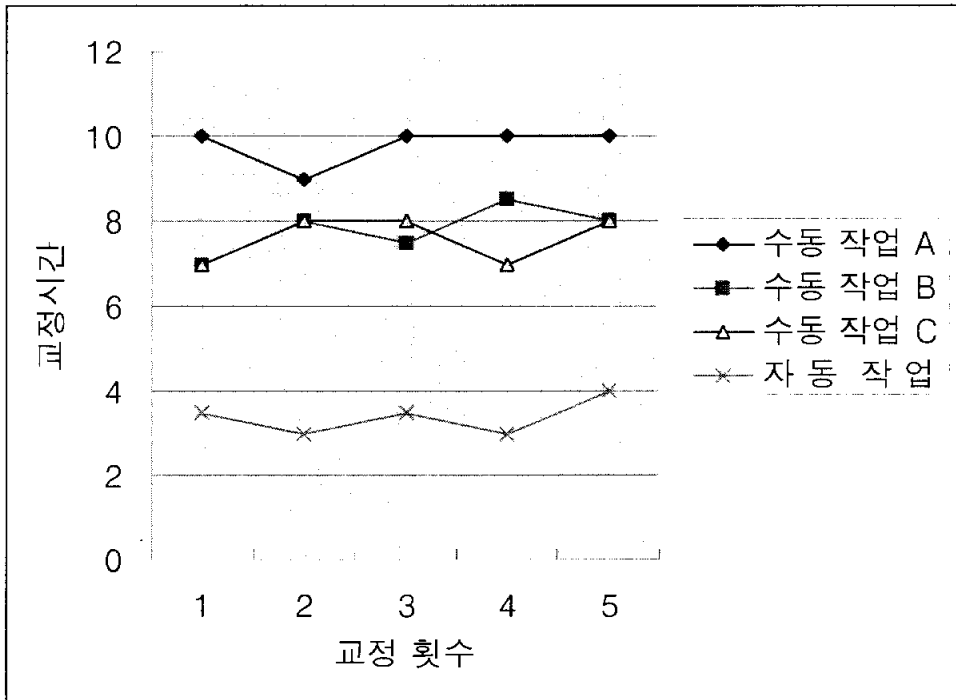


그림 4.17 교정횟수에 대한 교정시간 비교

표 4.3 교정시간 비교

구 분		교정시간	비 고
수동교정	작업자 A	9.8	5회 교정작업에 대한 평균시간
	작업자 B	7.8	"
	작업자 C	7.6	"
자 동 교 정		3.4	"

4.3.3. 교정결과와의 정확도 비교

기존의 수동 방법을 이용한 교정과 자동교정시스템을 이용한 교정결과와의 정확도를 비교하였다.

DC 10 V 전압에 대한 정확도를 비교해 보면 수동방법은 평균 3.5 ppm(part per million) , 자동교정시스템 방법은 0.5 ppm 으로 나타났으며, 여러 가지를 비교해 볼 때 역전과 신경망 학습을 통하여 자동으로 교정/조절작업을 수행하는 자동교정시스템 방법이 월등히 우수하다는 것을 알 수 있다.

그리고, 멀티미터의 DC 전압에 대한 결과는 그림 4.18, 표 4.4 에 나타내었다.

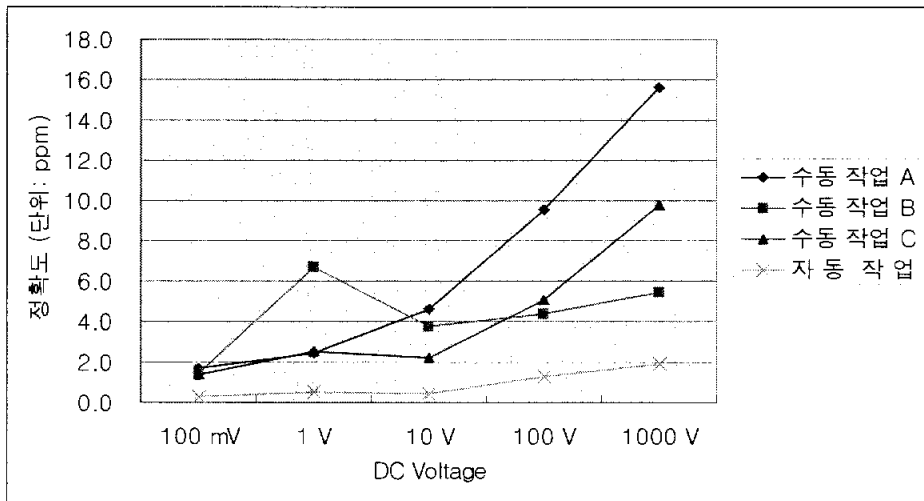


그림 4.18 DC 전압 Range별 측정 정확도

[단위 : ppm]

표 4.4 DC Voltage Range별 정확도 비교

구 분		100 mV	1 V	10 V	100 V	1000 V
수동교정	작업자 A	1.7	2.5	4.6	9.5	15.6
	작업자 B	1.5	6.7	3.8	4.4	5.5
	작업자 C	1.4	2.5	2.2	5.1	9.8
자 동 교 정		0.3	0.5	0.5	1.3	1.9

5. 결론

IEEE 488또는 GPIB기능을 가진 현대화 장비는 컴퓨터 제어에 의한 자동화(시스템)운용이 이루어짐으로써 ATE(Automatic Test Equipment : 자동화 운용 시스템)가 주종으로 널리 보급되어있다. 지금까지 국가교정기관에서는 이러한 장비들에 대하여 시스템에서 장비개체별로 분리하여 수동교정을 수행해 왔다. ATE를 운용하는 모든 산업현장에서는 시스템 내 각각의 장비를 개별 적용 교정주기에 따라 분리하여 교정지원을 받는 관계로 시스템운용 중단사례가 발생하거나, 국가교정기관에서 교정상 아무런 이상 없는 장비가 시스템에 장착하여 작동결과 이상 발생된 사례도 종종 발생하고 있다.

이러한 ATE 및 인터페이스 기능 장착 계측기의 수동교정시 발생하는 제반 문제점은 자동교정을 통해 해결할 수 있었고, 역전과 신경망 학습을 통한 조절작업의 자동 수행으로 산업현장에서 요구하는 정확도를 충족시킬 수 있었다.

또한, 향후 전기/전자장비 뿐만 아니라 모든 기계적 장비도 자동화로 운영됨에 따라 자동화 대상장비가 증가하는 추세이다.

이러한 추세를 비추어 볼 때 역전과 신경망을 이용한 자동교정시스템은 계측기의 자동화 운용 시스템에 많은 발전을 가져올 수 있으리라 보며, 이를 통해 계측기의 교정시간 단축과 인위적 오차 가능성 제거로 정확도 및 품질보증 신뢰도 향상, 연간 작업인시(M/H) 절감, 자동교정시스템의 자체개발에 따른 예산 절감 및 무형적 효과의 극대화를 가져올 것으로 기대된다. 그러나, 지금까지의 연구는 신경망을 이용한 교정 및 조절작업에 대한 기초적인 학습이며, 향후 계측기의 고장여부 및 수리발생 부분을 판단할 수 있는 보다더 지능적인 신경망 학습 알고리즘에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] CIPM, BIPM Proc-Varb. com. Int. Poids at Measures 1981.
- [2] ISO, Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, 1993.
- [3] James A. Freeman, David M. Skapura, Neural Networks : Algorithms, Applications and Programing Techniques, (Reading, Mass., Addison-Wesley Publishing Company, 1990)
- [4] John J. Hopfield, "Neurons with graded response have collective computation properetes like those of two states neurons," Proceedings of the National Academy of Sciences USA 1981, pp.3088-3092, May 1984.
- [5] John J. Hopfield, "Computing with Neural Circuits," Sciences, Vol. 233, pp.625-633, 1986.
- [6] Murray, A., Application of Neural Networks, Kluwer Academic Pub., 1995.
- [7] 강주식 외, "최고측정능력평가", 한국표준과학연구원, 대전, 1998.
- [8] 김동진 외, "국가표준정책 포럼집 II", 한국표준과학연구원, 대전, 2000.
- [9] 송양섭 외, "국제단위계", 제7개정판, 한국표준과학연구원, 대전, 1998.
- [10] 오창석, "뉴로 컴퓨터", 내하출판사, 서울, 2000.
- [11] 오창석, "뉴로 컴퓨터 개론", 내하출판사, 서울, 2000.
- [12] 윤병수 외, "불확도 전문교육", 한국계량측정협회, 서울, 2002.
- [13] 이병식, "GP-IB 인터페이스의 사용법", 세운출판사, 서울, 1993.
- [14] 정명세, "측정불확도 표현 지침", 신광사, 대전, 1999.

감사의 글

2년 반이라는 짧지 않은 대학원 생활을 통해 늘 깊은 관심과 격려를 아끼지 않으신 이형기 교수님의 애정 어린 지도의 결과로 부족한 제가 석사학위를 취득하게 되었습니다. 늘 부족했던 학생이었지만 끝까지 격려해 주신 은혜에 감사드립니다. 논문이 보다 값진 결과를 실을 수 있도록 지도해주신 최연욱 교수님과 황용연 교수님께도 감사의 인사를 올립니다. 그리고, 학문적 지식과 함께 삶의 지혜를 가르쳐 주신 변기식 교수님, 김남호 교수님, 김만고 교수님, 안영주 교수님께도 감사의 인사를 드립니다.

학위를 마치기까지 큰 도움을 주신 공군 9341부대의 이동철 창장님, 박장순 과장님을 비롯한 여러분들과 기술인으로서 올바른 길을 갈수 있도록 도와주신 김종만 주사님께도 또한 감사의 마음을 전합니다.

그리고, 저를 낳아 주시고 한없는 사랑으로 보살펴 주신 아버지, 어머니와 저에게 소중한 아내를 선사해 주시고 한결같은 애정으로 지켜봐 주시는 장인, 장모님께도 고개 숙여 감사드립니다.

끝으로 학위 과정 동안 내내 뒷바라지에 자신을 희생한 아내 희숙씨와 너무나 사랑스러운 천사 민서에게 이 논문을 바칩니다.

2003년 6월

김인석