

스트레인 게이지형 센서 신호조정기 자동교정 및 시뮬레이션 기법

Auto Calibration and Simulation Method for a Strain Gage Type Transducer/Signal Conditioner

유 제 택*
(Jae Taeg Yu)

Abstract : We introduce a new auto-calibration/simulation method for a strain gage type transducer/signal-conditioner which guarantees the output linearity and compensates the error automatically. We design a micro voltage supply which is able to interface either AC or DC type excitation voltage. A new strain gage simulator is also designed. We make linearity output of the signal conditioner and can compensate error automatically with this new auto calibration/simulation method. The experimental results show that the error between the real value and the expected one is less than 1%.

Keywords : auto-calibration, simulation, signal conditioner, linearity, strain gage transducer

I. 서론

현재 전기적 출력 계측의 핵심이 되고 있는 스트레인 게이지는 원래는 구조물의 기계류의 강도를 조사하는 것을 주목적으로 측정기술이 발전되어 왔다. 스트레인게이지의 우수한 특성이 인정되어 이것에 그치지 않고 오늘날에 와서는 높은 정밀도와 높은 안정성으로 일상생활에 필요한 곳에서부터 매우 정밀을 요하는 분야까지 다방면[1]으로 사용되고 있다. 특히, 기계 구조물의 변형률뿐만 아니라 가속도(Acceleration), 힘(Force), 압력(Pressure), 답력(Foot force), 토크(Torque) 등 물리적인 특성을 측정하고 분석하는데 필요한 센서에 응용되고 있다. 당 팀에서는 다양한 항목의 센서를 이용하여 비행체의 구조물특성 및 동특성의 상태를 실시간으로 계측하여 분석/처리하고 있다. 그러나 다년간 수행한 계측 항목 중 스트레인 게이지 센서를 이용한 변형률 측정이 온도영향오차, 휘스톤 브리지의 비선형성 오차, 측정 장비의 시스템 오차 및 데이터 케이블의 고주파 잡음 오차 등 다양한 오차로 인하여 데이터 획득에 많은 어려움이 야기되었다. 그러나 온도영향, 휘스톤 브리지의 비선형성 오차의 보정 방법은 많은 연구결과[1,2]가 정량적으로 제시되어 사용되고 있으나, 특히 측정 장비 시스템 오차 및 데이터 케이블 고주파 잡음 영향으로 기인한 오차는 정량적 도출이 어려워 측정 데이터의 오차에 계속적으로 영향을 미치고 있다. 측정 장비 시스템오차는 국가인증기관에서 정기적인 교정을 통하여 일부는 해결가능하다고 사료되나, 많은 시간과 비용의문제로 자주 실시하지 못하여 계속적으로 오차가 수반되고 있는 실정이다. 또한 케이블에 인입되는 고주파 잡음은 데이터 후처리(Post processing)과정의 소프트웨어 필터를 사용하여 제거하는 방법이 주로 많이 사용되어 왔다. 그러나 획득된 신호에 대한 검증과정에서 측정데이터

의 정확도에 많은 논란이 되어왔다. 따라서 신호의 획득이 전에 이러한 문제점을 해결하고자 본 연구가 수행되었다.

본 연구의 내용은 사용 중인 센서 및 신호조정기의 선형성 출력 특성을 검증하고, 오차 발생시 이를 보정하여 측정 데이터의 정확도 및 정밀도에 기여하고자 새로운 교정기법(Calibration) 및 시뮬레이션(Simulation) 기법을 제시하고자 연구가 수행되었다. 이러한 교정 및 시뮬레이션을 위하여 AC, DC형 여기전압과 모두 호환성 있는 미소전압 발생기 고안하였으며, 또한 새로운 스트레인 게이지 시뮬레이터를 설계하였고, 그리고 제시된 교정방법 및 시뮬레이션 방법으로 실험을 통하여 오차를 보정 가능함을 확인하였고, 다양한 시뮬레이션을 통하여 실험치의 예상 값을 도출하였다. 마지막으로 실제 시험시 사용될 데이터 케이블의 특성[5]도 정확히 파악 가능하여 시험 전에 예상되는 문제점을 제거하여 측정 데이터의 정밀도 향상에 기여함을 입증하였다.

II. 스트레인 게이지회로 특성

1. 브리지 구성과 출력 전압

스트레인 게이지에 의한 스트레인 측정은 매우 적은 저항의 변화를 측정해야 하므로 휘스톤 브리지를 사용시 미소저항 측정이 가능해져 스트레인 게이지 회로가 널리 사용되고 있다.

그림 1은 2선식(4wire)결선방식의 브리지회로이며, 이는 선 저항 및 기타 잡음 노이즈인한 오차가 많아서 스트레인 게이지 신호 측정에서는 현재에는 많이 사용하지 않는 회로이다. 그림 2는 케이블 길이지항의 대한 저항의 변화로 오차가 발생시 제거 가능한 방법으로 제시된 3선식(3wire) 결선 방법이다. 그림 2와 같이 Single active gage를 사용할 때 출력 전압과 그에 따른 스트레인(변형률)을 구하는 식은 많은 자료[1,3]에 제시되어 있다.

특히 그림 1에서 물리적인 힘을 가할 경우 센서에 공급되는 여기전압(Excitation voltage)이 센서 저항(R_i)과 선저항

* 책임저자(Corresponding Author)

논문집수 : 2003. 4. 25., 채택확정 : 2003. 8. 25.

유제택 : 국방과학연구소(yjtadd@add.re.kr)

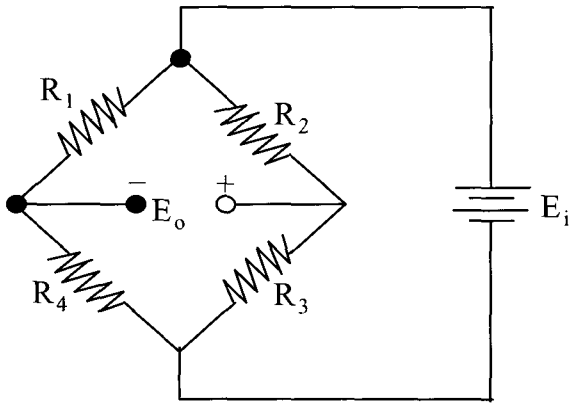


그림 1. 휘스톤 브리지회로.
Fig. 1. Wheatstone bridge circuit.

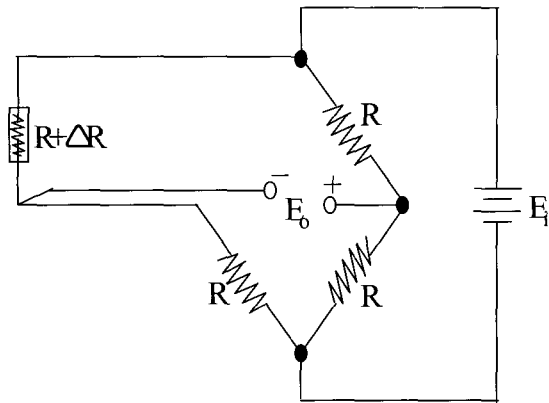


그림 2. 3선식 1게이지 브리지회로.
Fig. 2. Bridge circuit of 3 wire single active.

(R_L)에 의해 나뉘어져 출력전압이 감소하는 현상이 생긴다. 그러므로 이러한 현상을 보상하기 위하여 그림 2와 같이 선저항 보상도선을 적용하여 3선식(5wire)을 사용하면 많은 부분의 선저항의 영향을 최소화 할 수 있는 방법과 이론적인 근거[4]가 제시되어 있다.

2. 스트레인 게이지형 센서의 Power Supply의 특성

스트레인 게이지형 센서에는 AC 혹은 DC의 여기 전압을 사용할 수 있고, 여기 전압의 선택은 적용목적에 따라 결정된다. 당 팀에서 사용되는 스트레인형 센서 신호조정기인 Model DPM-12A형은 AC형의 여기전압을, CDV-21A형은 DC형 여기전압을 공급 가능하다. 특히 여기전압 소스원(Source) 선택은 신호계측 신뢰도에도 영향을 미치므로 적절한 선택이 필수적이다. 즉 여기전압의 변화는 센서의 전달함수 E_o/E_i (mV/V)의 변화로 인하여 시험결과에 직접적으로 영향을 미치기 때문에 필요한 만큼의 정확도로 전원을 정류시키든지, 아니면 오차만큼 보상이 필요하며, 표 1과 같이 시험 목적에 따라 적절한 선택이 필수적이다.

III. 자동 교정시스템 및 시뮬레이터 설계

본 연구에서 고안된 스트레인형 센서 자동 교정시스템 및 시뮬레이션 시스템으로 구분하여 개발 후 통합적용 하였다.

표 1. 여기전압 형태에 따른 특징.

Table 1. Characteristics of excitation voltage.

여기 전원 Type	AC 형	DC 형
장점	-저항변화 뿐만 아니라 Capacitive, Inductive 변화가 사용가능 -End-to-end Calibration 되어 있을경우 사용유리 -가격이 싸다	-주파수가 높을수록 잡음이생기지 않는다. -일반적인 용도에 가장 적합
단점	-Carrier 주파수를 상호 inductance결합 이용시 잡음증대 -주파수가 높을수록 잡음 증가	-저항 변화에만 반응 한다. -Thermocouple 효과로 인하여 오차가 생길 수 있다.

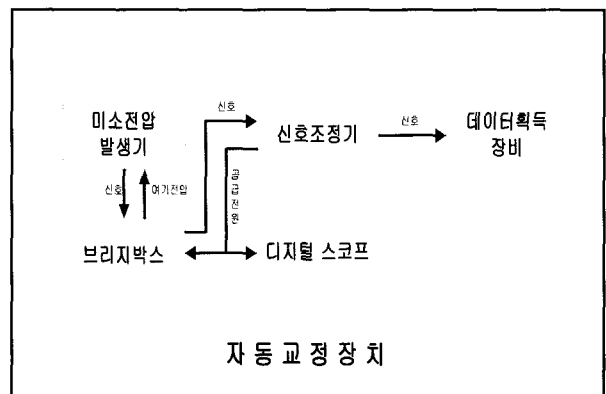


그림 3. 자동교정장치 구성도.
Fig. 3. The block diagram of autocalibration system.

1. 자동 교정시스템

자동교정시스템은 그림 3과 같이 미소전압발생기, 브리지 회로, 신호조정기, 신호획득장치, 디지털스코프로 구성되어 있다. 기존에는 스트레인 게이지형 센서를 측정시 센서 및 신호조정기의 생산업체에서 제공된 Catalog 및 기타자료를 기반으로 측정되었다. 그러나 우연한 기회에 신호조정기에서 센서에 공급되는 여기전압을 측정한 결과(교정된 장비로 측정) 5% ~ 10% (Catalog:2.0Vdc, 측정자료: 2.1~2.2Vdc)의 오차가 있음을 알게 되었고, 기 수행된 센서의 측정결과에 오차가 있음을 인지하게 되었다. 따라서 스트레인게이지형 센서를 사용시 적용되는 스트레인 신호조정기(Signal conditioner) 및 인디케이터(Indicator)에서 공급되는 여기전압의 정확한 측정이 필요하였고, 또한 신호조정기 출력신형성 교정을 위하여 미소전압발생기(정전압 발생기)와 같은 장치를 설계하였다. 데이터 획득 장비는 교정된 장비를 사용하였으며, 여기전압의 측정 자료와 신호조정기 출력신형성측정 자료를 자동교정 알고리즘을 적용하여 계측시스템의 오차를 보상하기 위한 시스템이다.

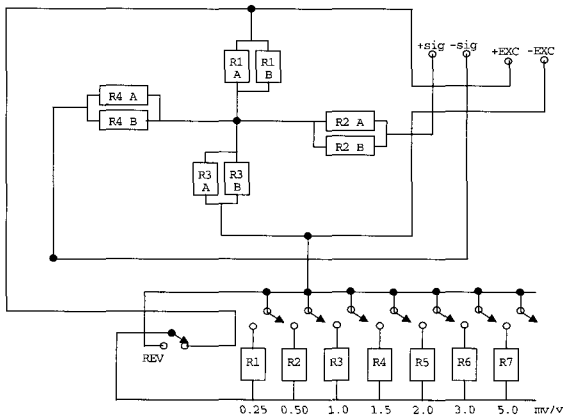


그림 4. 미소전압 발생기 회로도.
Fig. 4. Circuit of a micro voltage supply.

1.1 미소전압발생기

미소전압 발생기는 신호조정 시스템에서 센서 대응으로 사용되고 있으며, 신호조정기 에서 공급되는 여기전압에 대한 출력 (mV/V)의 비로써 출력되어 신호조정기의 비선형적인 오차를 교정 가능하도록 설계되어 있다. 또한, 신호조정기의 여기전압의 소스(AC/ DC)형태에 상관없이 서로 호환성이 있어 모든 신호조정기의 교정에 사용 가능하도록 설계되어 있다. 기존의 미소전압 발생기는 AC/DC Type의 여기전압의 형태에 따라 서로 분리되어 있어 불편한 점을 보완하였다. 미소전압 발생기의 구성은 그림 4와같이 각 브리지 회로에 350Ω±0.1% 저항을 병렬로 2개 연결하였으며, +10V DC~AC_{rms}의 여기전압을 공급받을 수 있다. 또한, 0.25, 0.50, 1, 1.5, 2.0, 3.0, 5.0 mV/V 출력의 비를 누름 스위치(Push button)를 이용하여 각 모드를 변경 가능하고, 정(Positive), 부(Negative) 모드 변환이 가능하여 신호조정기에 신호를 공급 가능하도록 설계되어 있으며, R1~R7까지는 349.73kΩ±0.1%~17.23kΩ±0.1% 저항을 사용하여 정밀한 출력이 도출되게 설계하였다.

1.2 신호조정기

본 연구에서 사용한 스트레인형 신호조정기는 KYOWA 사 MCC Series인 여기전압이 AC형의 DPM 12A와 DC형 CDV 21A형의 2가지 Type을 사용하여 교정하였다. 교정시스템 개발이전에는 신호조정기 자체 교정 기능을 이용하여 점검하였으나 출력값의 선형성을 검증할 방법이 미약하여 많은 문제점이 발생되었다. 위의 MCC Series 신호조정기를 스트레인 게이지형 센서인 변위계, 토오크, 가속도, 압력, Load cell 등 많은 항목의 계측시 공통적으로 사용되는 신호조정기이다. DPM인 경우 측정 주파수는 DC~5khz까지 가능하고 60~1000Ω범위의 게이지 저항을 사용 가능하다.

1.3 데이터 획득장비

데이터획득 장비는 아날로그신호의 전기적인 출력을 32채널을 동시에 differential로 계측 가능하도록 되어있다. 시스템 구성은 그림 5와 같이 MUX(Multiplexer)가 입력단에 있으며, 프로그램머블 Gain 증폭단을 지나, S/H(Sample and Hold)에서 각각 신호의 디지털 변환에 필요한 시간을 유지 후 A/D 변환기를 지나 디지털로 변환 후 처리한다. 본 데

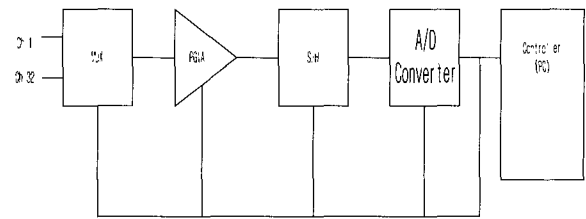


그림 5. 데이터 획득장비 구성도.
Fig. 5. Block diagram of data acquisition system.

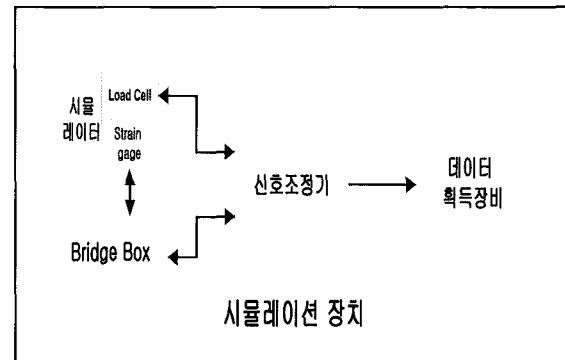


그림 6. 시뮬레이션장치 구성도.
Fig. 6. The block diagram of Simulation system.

이터 획득장비의 A/D의 분해능은 12bit이며, 신호의 입력 허용 범위가 ±10V이고, 최대 Sampling Rate는 500khz까지 가능하며, 각 채널당 Multi Sample도 가능하다. 또한 획득 신호의 입력의 오차 범위는 (1)과 같이 4.8mV 이내 존재한다.

$$\text{오차 범위} = \pm 10V / 2^n = 20V / 2^{12} = 4.8mV/bit \quad (1)$$

여기서, n은 A/D 변환기의 분해능을 나타낸다. 미소전압 발생기에 발생된 신호조정기의 출력과 여기전압을 비교 검토하여 오차분을 자동교정 프로그램을 운용 가능한 PC Controller에서 운용 가능하도록 설계되어 있다. DAQ board⁽⁷⁾는 National Instruments사의 AT-MIO-64E-3을 사용하였다.

2. 시뮬레이션 시스템 (Simulation System)

당 팀에서는 수많은 다양한 신호의 센서(진동, 변위, 압력, 스트레인, 온도, 유량, 거리, 속도 등등)를 사용하여 각종 비행체 및 구조물의 물리적인 특성을 계측하여 왔다. 그러나 다양한 신호의 계측에서 스트레인의신호가 가장 의 부조건에 민감하여 많은 어려움이 발생하였으며, 여러 번의 계측실패를 경험하여 기존의 방법을 보완하고 측정된 신호가 정상적으로 측정되었는지를 예측비교 가능한 시스템이 필요하여 그림 6과 같은 시스템을 설계하게 되었다.

스트레인 게이지센서의 시뮬레이터는 측정고자 하는 물질의 특성을 파악하여 실제 측정시 예상되는 스트레인 값을 도출 가능하고, 응력 해석을 가능하도록 그림 7과 같이 외팔보(캔틸레버 : Cantilever)형태의 시뮬레이터를 설계 제작하였다. 외팔보는 차량 및 비행체의 구조응력에 측정되는 알루미늄-스틸로 제작하여 사용하였고, 하중변형 모니터링

가능한 Load cell을 부착하여 구성하였다. 특히 원하는 위치에 스트레인 게이지를 1축, 2축, 3축 등 부착후 하중을 변형함으로써 스트레인의 변형을 시뮬레이션을 가능하도록 설계되어 있다. 시뮬레이션시 측정된 Load Cell과 스트레인 값은 자동 교정된 신호처리를 이용하여 데이터 획득 장비에서 획득후 스트레인값(변형률)을 이용하여 최종적인 응력 해석에 사용하였다.

IV. 자동교정 및 스트레인 시뮬레이션 기법

본 연구가 진행되기 이전에는 스트레인 측정시스템의 제작사의 교정값 확인 후 각각 자체 교정을 실시하였고, 특히 센서와 시험전에 인터페이스 하여 센서의 동작 여부만을 판단 후 시험을 실시하였다. 그러나 시험시 자주 신호조정(밸런싱(balancing))이 흐트러져 많은 문제점이 야기되어 이를 해결하기 위하여 새로운 교정방법을 개발하였다. 자동교정 순서는 그림 9와 같이 신호조정기의 자체 교정후 신호조정기에서 공급되는 여기전압을 측정하여 여기전압의 오차분을 획득후 미소전압 발생기(Calibrator)와 연결하여 오차보정후 신호조정기의 출력특성(선형성)을 검증하였다. 또한 시뮬레이터와 연결하여 변형률의 값을 검증하기 위하여 아래와 같이 응력해석을 수행하여야 한다. 1게이지의 알루미늄 재질의 응력 해석은 다음과 같고, 그림 8에서와 같이 알루미늄 캔틸레버 빔을 사용하였다.

$$\sigma = \epsilon E \tag{2}$$

$$\epsilon = (6 \times P \times L) / (E \times b \times t^2) \tag{3}$$

여기서 σ : 응력, ϵ : 스트레인, P:가해진 힘, L:하중 점에서 gage까지의 길이, E:외팔보빔의 탄성계수, b:외팔보 beam 폭, t:외팔보 beam 두께를 각기 나타낸다.

이때 외팔보 빔(beam)을 중심으로 gage 위아래 부착시는 다음을 만족한다.

$$|\epsilon_a| = |\epsilon_d| = \epsilon_o / 2 \tag{4}$$

(3)을 (2)에 대입하면 된다. 또한 2 게이지가 각각의 교차시는 포이슨 비를 이용하여 $\frac{\epsilon_o}{1 + \nu} = \epsilon_i$ 를 단, ν 는 포이슨

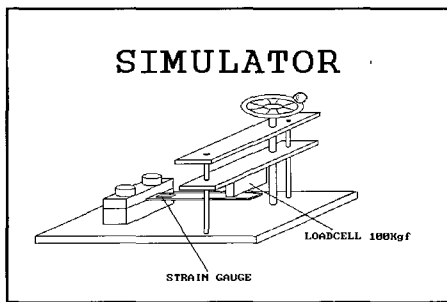


그림 7. 시뮬레이터 회로도.
Fig. 7. Circuit of simulator.

비를 적용하면 다음과 결과를 구할 수 있다.

$$\sigma = \epsilon_i E \tag{5}$$

시뮬레이터 시스템을 사용하여 측정된 스트레인 값과 (3)에 의하여 계산된 스트레인 값을 비교 검토 후 계산값과 측정치의 오차가 0.5% ~ 1%이내이면 정상적으로 구현된 것으로 판단하였다. 물론 일반적인 센서신호는 정밀계측에서 0.25% ~ 0.5%의 정밀도를 가지고 측정되고 있으나, 스트레인게이지 및 로드셀의 신호는 계측시 운용케이블의 Shield 상태, 신호조정기의 필터특성, 실험실의 전파환경특성, 스트레인 게이지의 부착상태, 브리회로의 더미저항 정밀도, 측정물질의 탄성계수 및 온도특성에 다른 보상정도에 따라 일부 오차를 수반가능하기 때문에 오차정도가 1%이내이면 우수한 데이터 값으로 보는 것이 많은 경험으로 볼때 타당하다고 사료된다. 1% 벗어나는 경우에만 여러 가지의 상태변수

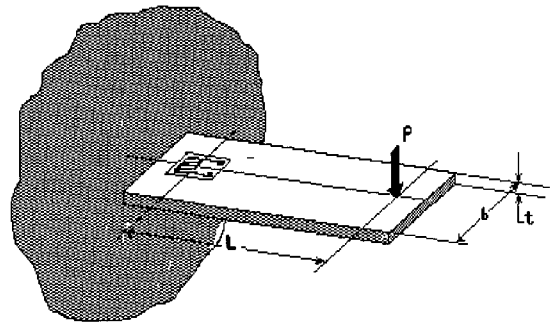


그림 8. 캔틸레버 빔.
Fig. 8. Cantilever beam.

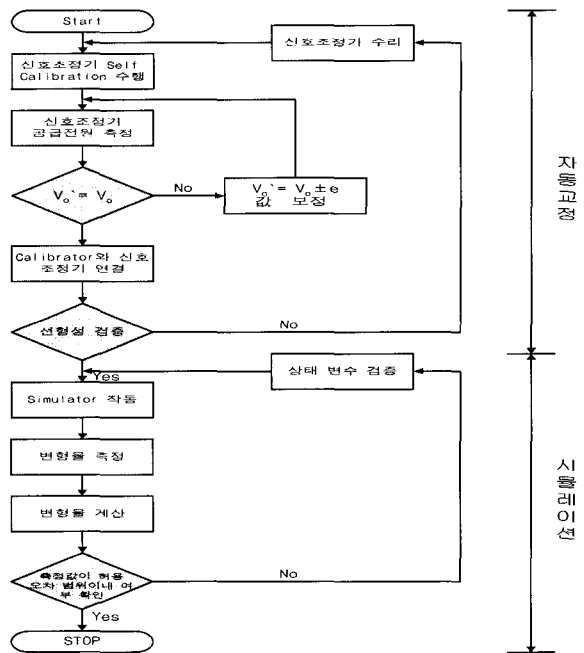


그림 9. 자동교정 및 시뮬레이션 흐름도
Fig. 9. Flow_chart of auto-calibration and simulation.

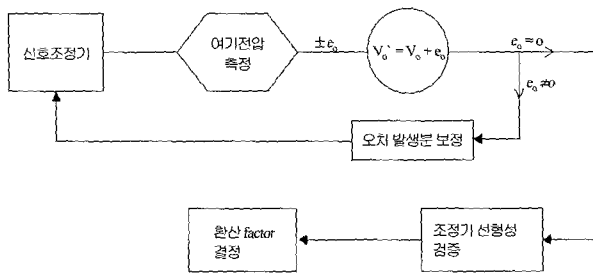


그림 10. 오차 보정 흐름도.
Fig. 10. Flow_chart of error compensation.

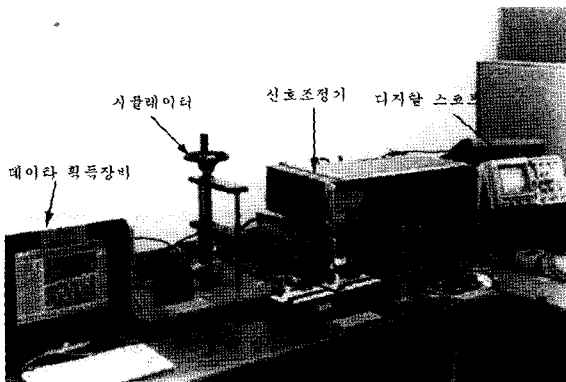


그림 11. 자동교정 및 시뮬레이션 시스템.
Fig. 11. System for Auto Calibration and Simulation.

를 검증하여 보정 후 재실시 하여야 할 것이다.

1. 오차 보정 알고리즘

오차보정 알고리즘은 신호조정기에서 발생하는 여기전압에 따른(PPM12A : AC2Vrms, CDV21A : DC2V) 출력비 (Sensitivity : mV/V)의 오차를 보정하여 최종적인 스트레인 값을 데이터 획득 장치에서 공학적으로 환산시 정확한 공학적 환산값(Engineering factor)을 도출함에 있다. 그림 10에서와 같이 신호조정기의 여기전압기준 값과의 오차분을 도출하여 출력 오차분을 보정후 정상상태로 보정후 최종적인 공학적환산값 (Engineering factor)을 적용하여야 시스템 오차를 줄일 수 있었다. 오차 보정 프로그램은 Lab_View 프로그램 [6]을 이용하여 수행되었다.

V. 실험 및 결과 고찰

1. 실험방법

본 연구의 실험방법은 스트레인형 센서를 이용한 실제 실험과 동일하게 여러 방법으로 시스템을 구성하여 수행하였다. 특히 실제 실험시 예상되는 문제점 및 기 시험의 문제점을 도출하여 동시에 해결하고자, 그림 11과 같이 시스템을 구성하였다.

2. 시험 결과 분석

실험결과는 3가지 형태의 실험을 수행한 결과이다. 첫 번째는 시스템의 오차인 신호 조정기의 여기전압의 오차가 최종적으로 물적인 량(스트레인형 신호)에 영향을 미침을 분석하였고, 또한 자동교정 장치의 오차보정 알고리즘을 이용하여 오차 보정됨을 실험 결과를 통하여 그림 12와 13에

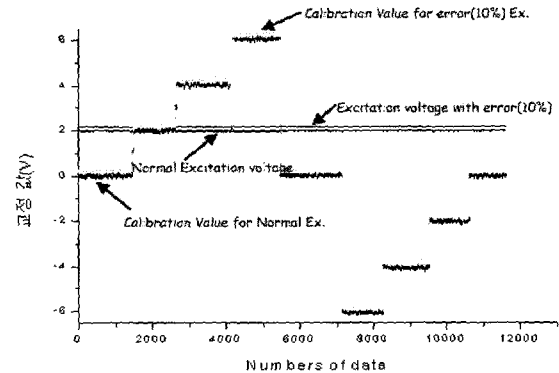


그림 12. 신호조정기 교정 결과치.
Fig. 12. Calibration Value of signal conditioner.

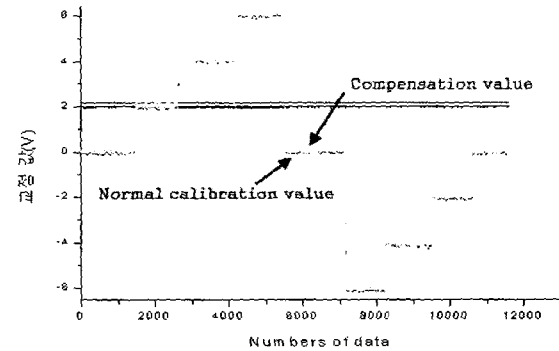


그림 13. 오차가 보정된 교정 결과치.
Fig. 13. Compensated calibration value of error.

서 보여주고 있다.

그림 12에서 y축의 DC형신호 2가지는 정상적인 신호조정기(2.0Vdc)와 오차가 발생한 신호조정기(2.2Vdc)의 여기전압 측정치이고, 스텝신호 2가지는 정상적인 신호조정기와 오차가 발생한 신호조정기를 각각 센서대용인 미소전압 발생기 연결하여 측정된 신호값이다. 결과적으로 여기전압의 10%오차가 센서 신호값 오차에 직접 기인함을 알 수 있다. 그러나 그림 12에서 스텝신호 2개를 비교시 신호조정기의 선형적인 출력특성은 정상임을 알 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 연구에서 개발된 오차보정 알고리즘을 이용하여 그림 12의 결과를 자동으로 보정된 결과 값이 그림 13의 결과이다. 즉, 오차를 보정하여 정상적인 출력특성이 도출되었음을 보여 주고 있다.

두 번째는 자동교정된 계측시스템을 이용하여 설계된 시뮬레이터 측정하고자하는 대상체에 대한 측정 예상치를 구현하는 실험결과이다. 그림 14는 설계된 시뮬레이터를 가지고 케틸레버빔에 부착된 1게이지 스트레인량과 힘(Load cell)의 변화량 측정된 신호조정기의 출력 특성을 측정한 결과이다. 그림 15는 그림 14에서 획득된 신호인 스트레인량과 힘의 변화량을 이용하여 예측치와 실측치를 비교하여 계측이 정상적으로 되었는지를 판단하는 실험결과이다. 예

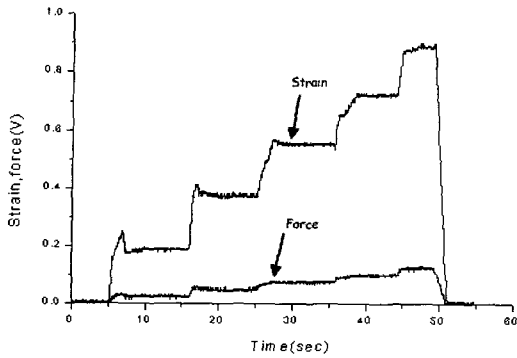


그림 14. 시뮬레이션결과.
Fig. 14. Simulation result.

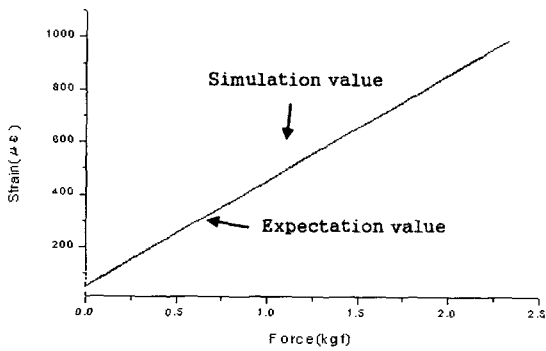


그림 15. 시뮬레이션 과 예상치의 비교결과.
Fig. 15. Compared value of simulation and expectation.

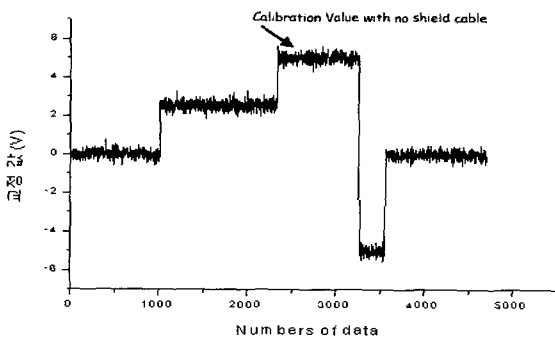


그림 16. Shield 안된 케이블 사용시 교정값.
Fig. 16. Calibration Value with no shield cable.

상치(Expectation value)는 시뮬레이터의 캔틸레버빔을 알루미늄 재질로 사용시 측정된 힘을 가변 량을 가지고 응력해석의 (3)을 이용하여 계산된 변형율이다. 측정치는(Simulation value)시뮬레이터를 이용하여 측정된 값이다.

그림 14에서 예상치와 측정치의 오차 범위가 1%범위 내에서 존재함을 알 수 있었다. 이러한 결과는 앞서 설명한 신호조정기의 교정값이 정확함을 입증한 결과이기도 하다.

마지막으로 스트레인형센서 측정에서 중요한 케이블의 선택이 신호에 미치는 영향에 대하여 실험하였다. 3가지형

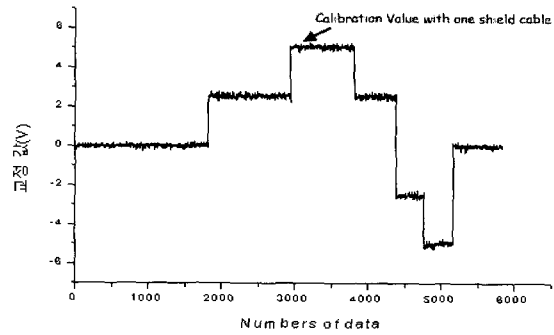


그림 17. 1 Shield된 케이블 사용시 교정값.
Fig. 17. Calibration Value with 1 shield cable.

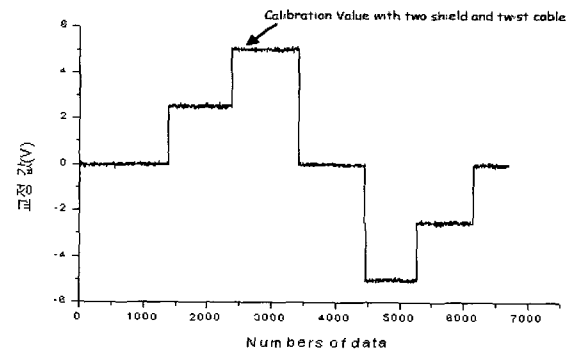


그림 18. 2 Shield된 케이블 사용시 교정값.
Fig. 18 Calibration Value with twoshield cable.

태의 데이터 케이블을 변경하여 실험함으로써 케이블 선택이 신호의 고주파 노이즈 인입방지에 많은 영향이 주는 것을 알 수 있게 하였다. 그림 16은 Shield가 되지 않은 케이블을 사용시 많은 고주파 성분의 잡음이 많이 검출되었을 보여주고 있고, 그림 17은 1 Shield pair cable을 사용 시에도 일부 잡음이 존재하였으나, 그림 18에서와 같이 2 Shield twist pair 케이블을 사용할 때 케이블에 의한 잡음 성분이 대부분 제거됨을 알 수 있었다.

VI. 결론

본 연구에서는 스트레인 게이지형 센서를 사용하여 구조물의 특성 및 기계류의 강도를 측정시 야기되는 시스템측정 오차를 제거하는 방법, 측정하고자하는 데이터의 신뢰도를 입증할 수 있는 방법 및 케이블에 따른 고주파 노이즈 제거방법 등 측정데이터의 정밀도 및 정확도를 개선할 수 있는 결과물을 제시하였다. 특히 여기전압의 공급오차로 인한 물리량의 오차를 제거 가능하였고, AC/DC 여기전압과 호환성 있는 미소전압발생기를 설계하여 신호조정기의 출력 특성(선형성)을 정확히 검증 가능케 하였다. 또한 설계된 시뮬레이터를 이용하여 실험치 와 계산치를 비교하여 자동보정이 정확히 구현됨을 확인하였다. 마지막으로 시뮬레이터를 이용하여 시험에 사용된 Data Cable의 잡음 특성을 정확하게 알 수 하였다.

이상과 같은 시험결과로서 다양한 센서중 측정이 가장 어렵다고 판단된 스트레인형 센서의 계측에 대한 오차를 최소한으로 개선시켜 측정 데이터의 신뢰도 향상 기여케 하였다.

참고문헌

- [1] K. Hoffmann, "An introduction to measurements using strain gages", H. B. M, chapter7, pp. 171~215, 1996.
- [2] 한응교 "스트레인 게이지 이론과 응용", 배성문화사 pp. 255~263, 1993. 8.
- [3] TECH NOTE, "Noise control in strain gage measurements", *Measurements Group*, INC 1993.
- [4] TECH NOTE, "Errors due to lead wires in parallel strain gage circuits", *Measurement Group*, INC 1993.
- [5] M. T. Yang, J. H. Grifin, "Theory and methodology of optimally measuring strains in closely spaced modes", *Journal of Engineering*, pp 1~7, 1998.
- [6] 장현오 "Lab view 그래픽 프로그램의 이해", (주)A.D.C 시스템, 1998.
- [7] J. J. Truchard "Measurement and automation", *National Instruments*, 1999.



유 제 택

1966년 4월 21일생. 1990년 인하대학교 전자공학과 학사. 1999년 부산대학교 공과대학원 석사. 1990년~현재 국방과학연구소 선임연구원 관심분야는 Telmetry, 제어계측, 센서/신호처리.