압전형 압력센서의 교정기법 자동화

An Automatic Calibration Technique for Piezoelectric Pressure Sensors

최 주 호, 유 준
(Ju Ho Choi and Joon Lyou)

Abstract : This paper suggests an automatic calibration technique for piezoelectic low pressure transducer measuring a pressure below 500psi. The present calibration system embedded with error correction algorithm generates it's best you don't cut parts of wards like so dynamic pressure and compensates offset voltage and pressure error. It is shown via experimental results that the instrumentation accuracy has been improved and mean time between calibrations has been shortened.

Keywords : Piezoelectric, pressure sensors, automatic calibration

Ⅰ. 서 론

압력정보는 무기체계의 성능시험을 함에 있어 필수적으로 요구되는 계측항목으로 센서의 교정능력 및 시험의 특성때문에 정확한 압력계측에 제한요소로 지적되고 있다. 무기체계중 화포의 강내압력은 2,000psi에서 100,000psi 범위이며, 폭압 등은 500psi 이하의 압력범위를 갖는다. 전자의 경우는 일반적으로 copper crush gage(CCG), 혹은 압전형 압력센서를 이용하여 강내압력을 계측하며, 후자의 압력계측은 strain gage를 이용한 브릿지회로 센서나 압전형 압력센서가 이용된다. CCG는 게이지속에 동구(銅球)가 내장되어 압력을 받으면 게이지속의 피스톤을 밀어 동구가 변형된다. 이 변형된 길이대 압력의 변환표를 이용하여 밀폐된 공간의 압력을 측정하는데 용이하나 동구변위의 특성 때문에 2,000psi 이하의 압력은 측정이 불가능하고, 압력의 최고값만을 측정할 수 있기 때문에 추진제 연소 특성분석에는 사용할 수 없다. 반면에 압전형은 전범위의 압력을 계측할 수 있으며, 압력 신호파형을 얻을 수 있어 추진제 개발시 널리 이용되고 있다. 그러나 밀폐된 공간내의 압력을 계측하고자 할 경우에는 압전형 센서를 설치할 구멍을 가공해야 하므로 가공비가 고가인 단점을 가지고 있다. 그리고 브릿지회로 센서는 주파수 응답특성이 수 KHz 범위이므로 동(dynamic)압력 보다는 정(static)압력 계측에 적합한 센서이다.

특히 압전형 압력센서는 시험의 조건이나 센서의 물리적 특성 때문에 센서제작사의 모델간에 ±2%의 교정오차가 있음이 국제 학술발표회에서 밝혀진바 있다[1][2]. 무기체계의 시험에서 발생되는 압력은 상승과 하강특성을 갖는 동압력이 발생하는데, 센서제작사에서 제공되는 교정성적서는 정압력으로 교정한 것이기 때문에 센서의 전달특성 오차의 요인이 될 수 있다. 그러므로 세계적으로 동압력 교정을 위한 기술개발에 많은 투자를 하고 있며, 최근에 2,000psi 이상 범위의 동압력 교정기가 개발되고 있으나 2,000psi 이하 범위의 동압력 교정기는 없는 실정이다.

본 연구에서 500psi에서 0.3psi 범위의 저압력 센서에 대한 동압력 교정기를 개발하였으며, 교정과정을 완전 자동화시키고, 교정시 센서에 인가하는 압력과 실제 센서에 공급된 압력의 차를 보정할 수 있는 오차보정 알고리즘을 개발하여 교정의 정확도를 크게 증대시켰다. 또한, 교정과정이 완전 자동화되므로 인하여 교정시간을 수동식 때 보다 약 1/15 이하로 단축시킬 수 있는 효과를 얻을 수 있었다. 본 교정시스템(calibration system : CALS)은 비교적 낮은 압력범위의 센서를 교정할 수 있기 때문에 폭압 계측용뿐만 아니라 산업용의 압전형 압력센서 교정에도 널리 이용되리라 본다.

접수일자 : 1996. 12. 30., 수정완료 : 1997. 3. 23.
최주호 : 국방과학연구소 계측기법연구실
유 준 : 충남대학교 제어계측공학과

Ⅱ. 압전형 압력센서 특성

반도체나 유전체 결정에 압력을 가했을 때 정-부의 전하가 결정의 양단으로 분극되거나 저항률이 변화되는 현상이나 전압을 가하면 결정이 뒤틀어지는 전대현상도 압전효과라 이야기하며, 압력과 전압간의 변환현상은 점화장치에, 전기신호와 음향신호간의 변환현상은 진동자나 표면 탄성파 소자에 이용된다. 그리고 압력에 의한 저항률의 변화를 이용한 것으로 실리콘 반도체의 압력센서 등이 있다.

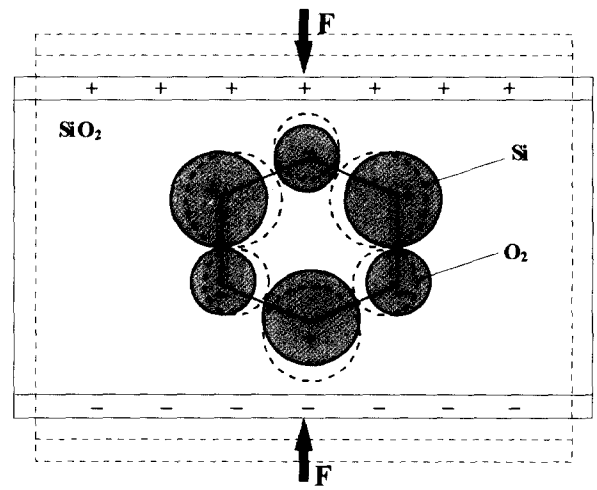

그림 1. 압전효과.
Fig. 1. Piezoelectric effect.

1. 힘의 크기와 전하량

압전효과를 이용한 압전형 압력센서에 압력이 가해지면 그림 1과 같이 양단에 전하가 발생하며 가해진 힘과 압전상수와의 관계는 (1)과 같다.

$$Q = d_{11} \cdot F \quad (1)$$

Q : 전하 [C]
F : 인가한 힘 [N]
d_{11} : 압전상수 [C/N]

2. 압전형 센서의 펄스 응답

압전형 센서의 물리적 특성은 그림 2와 같이 도식화 할 수 있다. 그림 2에서 압력에 대한 힘이 미치는 범위의 비를 g_{33}이라 정의하면 다음과 같다.

$$g_{33} \equiv \frac{\text{3번 방향에서 생산된 } field}{\text{3번 방향에 공급한 } stress} = \frac{e_o / t}{f_i / (wl)} \quad (2)$$

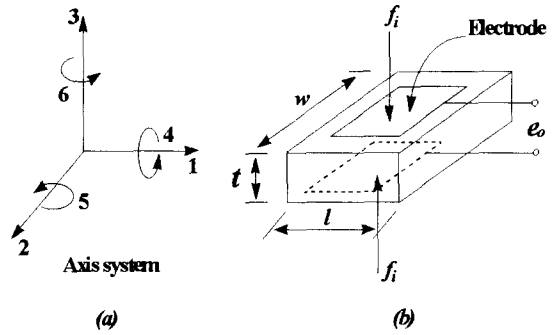

그림 2. 압전 센서.
Fig. 2. Piezoelectric sensor.

주어진 재질의 g 값과 t를 알고 공급한 단위 스트레스 당 출력전압을 계산할 수 있고, d 상수를 다음과 같이 정의하면 g와 ε는 (6)과 같이 표현된다.

$$d_{33} = \frac{Q}{f_i} \quad (3)$$

$$c = \varepsilon \cdot \omega l / t \quad (4)$$

$$g_{33} \equiv \frac{field}{stress} = \frac{e_o wl}{t f_i} = \frac{e_o c}{\varepsilon f_i} = \frac{d_{33}}{\varepsilon} \quad (5)$$

$$d_{33} = \varepsilon g_{33} \quad (6)$$

압전형 센서의 등가회로는 그림 3과 같이 나타낼 수 있다.

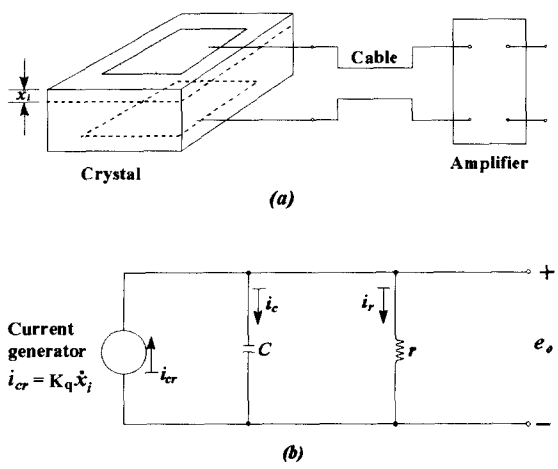

그림 3. 압전형 센서의 등가회로.
Fig. 3. Equivalent circuit for piezoelectric sensor.

그림 3 (a)에서 결정체에 생성된 전하는,

$$q = K_q x_i$$
$$K_q \equiv C / cm$$
$$x_i \equiv Deflection \quad (7)$$

그림 3 (b)의 i_{cr}은,

$$i_{cr} = \frac{dq}{dt} = K_q (dx_i / dt) \quad (8)$$

$$\therefore e_o = \frac{1}{c} \int i_c \, dt \quad (9)$$

$$c(de_o / dt) = K_q (dx_i / dt) - e_o / r \quad (10)$$

$$e_o(D) = K_q / c \; x_i(D) - e_o / rc \quad (11)$$

$$\frac{e_o}{x_i}(D) = \frac{K_q / cD}{D + \frac{1}{\tau}}$$
$$\tau \equiv rc \quad (12)$$
$$K \equiv Sensitivity \equiv K_q / c$$

위의 (12)에서 τ가 크면 저주파수에서 응답특성이 좋아진다. τ에 대한 압전형 센서의 응답특성은 그림 4와 같다.

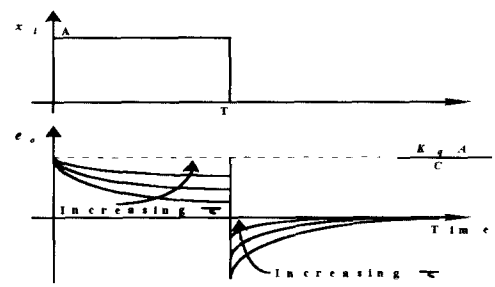

그림 4. 압전형 센서의 펄스 응답
Fig. 4. Pulse response for piezoelectric sensor.

그리고 (11)에서,

$$e_o(D + \frac{1}{\tau}) = K_q / c \; x_i(D) \quad (13)$$

$$(\tau D + 1) e_o = (K_q \, r \, D) x_i \quad (14)$$

$0 < t < T$ 일 때, $x_i = A$ 이므로

$$e_0(t) = \frac{K_q A}{c} e^{\frac{-t}{\tau}}. \quad (15)$$

결론적으로 압전형 센서의 응답특성을 양호하게 하기 위하여 시정수 τ가 커야한다. τ를 키우기 위하여 결정체 출력단에 직렬저항 혹은 병렬로 콘덴서(c)를 삽입할 수 있다. 그런데 c를 삽입할 경우 감도계수($K=K_q/c$)에 영향을 미치고, r을 증가시키면 입력 임피던스가 큰 증폭기를 필요로 한다[3].

Ⅲ. 교정시스템

본 연구에서 개발된 압전형 저압력센서 교정시스템은 저압력센서 교정기, 신호획득 장치, 인터페이스 회로, 전압교정기 및 컴퓨터로 구성되어 있다

1. 저압력센서 교정기

저압력센서 교정기는 압전형뿐만 아니라 게이지형 센

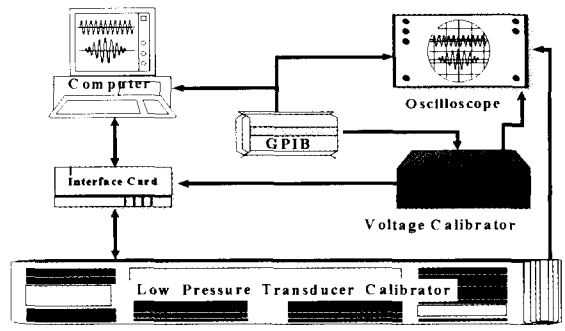

그림 5. 교정시스템 블록선도.
Fig. 5. Block diagram for the calibration system.

서도 교정가능하며, 그림 6과 같이 calibration step 1(CS1)과 calibration step 2(CS2)로 구분하여 구성하였다. CS1에서는 표준압력 발생장치를 사용하여 기준압력 센서를 교정하며, 여기서 얻은 교정압력 구간별 오프셋 값을 파일에 저장한다. 이 파일을 오프셋 보정파일이라 한다. CS2에서는 컴퓨터로 밸브들을 제어하고 원하는 교정압력을 만들어내며, 피교정센서에 압력을 인가하고 CS1에서 저장한 오프셋 보정값을 교정압력 구간별로 보정하여 교정오차를 제거하여 준다. 교정기의 주요구성은 표준압력 발생장치(primary pressure standard : PPS), 압력조절기, 질소탱크, 각종 제어밸브, 필터 및 밸브의 변화에서 오는 체적변화의 영향을 최소화 할 수 있는 volume tank, 모니터용 압력지시계, 피교정용 센서를 교정시킬 수 있는 센서 아댑터 등으로 구성되어 있다. 여기서 foot SW는 원하는 표준압력이 설정되었다는 것을 PC에 알리기 위한 트리거 신호용으로 사용된다. 그리고 CS1 단계가 끝나고 CS2 단계로 진행할 때 B 밸브는 닫힌다.

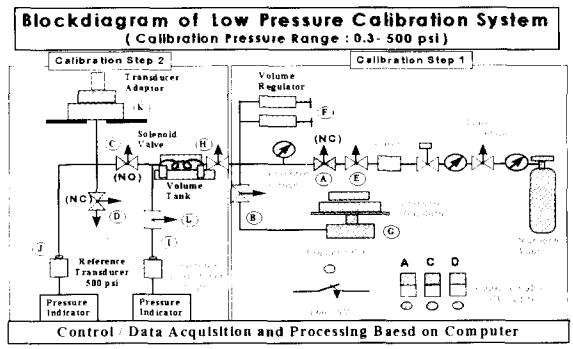

그림 6. 교정기 블록선도.
Fig. 6. Block diagram for the calibrator.

1.1 표준압력과 교정감도

교정용 표준압력을 발생시키기 위한 표준압력 발생장치는 분동식 압력계와 동일한 구조를 가지고 있으며, 평형상태에서 압력 P는 분동과 피스톤의 무게합 W와 피스톤과 실린더의 유효단면적 A일 때 (16)으로 주어진다[4][5].

$$P = \frac{W}{A} \tag{16}$$

$$W = M \cdot g \left(1 - \frac{P_a}{P_M} \right) \tag{17}$$

M : 분동의 무게
g : 중력 가속도
P_a : 공기 밀도
P_M : 분동 밀도

1.2 센서의 감도

센서의 교정은 감도(sensitivity : S)와 선형성(linearity : L)을 구하는 것이며 S와 L은 다음 식들로부터 정의된다.

$$S_i = \frac{V_i}{P_i} (mv/psi) \tag{18}$$

S_i : 교정점의 센서감도
V_i : 교정점의 센서출력
P_i : 교정점의 압력

$$\overline{V} = S \cdot P \text{ (0을 기점으로하는 최적의 직선)} \tag{19}$$

$$S \equiv \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i \cdot V_i}{\sum_{i=1}^{n} P_i^2} \tag{20}$$

S : 압력센서의 평균감도
n : 교정점의 수

$$L = \frac{|\triangle V_{\max}|}{\overline{V}_{FS}} \cdot 100\,\% \tag{21}$$

$\triangle Vmax = V_i - S \cdot P_i$ (가장 나쁜 교정점의 경우)

$$\overline{V}_{FS} = S \cdot P_{FS} \tag{22}$$

P_{FS} : *pressure at full scale*($F \cdot S$) (23)

그림 7에서 최대범위(full scale) 입력에 대한 최대범위 출력의 비로서 감도를 정의하였으며, 보다 정확한 측정을 위해서는 실제 측정범위의 감도를 적용해야 한다. 그리고 선형성은 (21)로 정의되며, 평균감도와 각 교정점의 압력값의 곱과 출력과의 차가 최소화될 때 선형성은 0을 기점으로 하는 최적의 직선에 접근하게 된다[6].

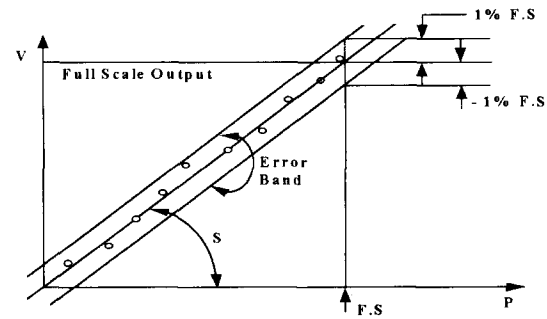

그림 7. 감도와 선형성의 정의.
Fig. 7. Definition of sensitivity and linearity.

1.3 볼륨1 탱크

압력 조절용 밸브를 열고 닫을 때 콘트롤밸브 체적의 변화로 압력이 전달되는 용기의 체적을 변화시켜 오차를 유발한다. 이러한 영향을 제거하기 위하여 볼륨탱크를 부착하였으며, 이에 관한 관계를 그림 8과 식 (24)에 나타내었다.

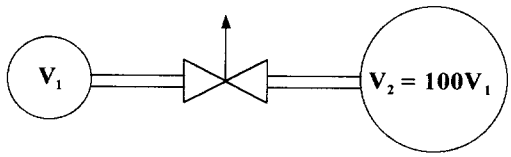

그림 8. 볼륨 탱크.
Fig. 8. Volume tank.

$$\frac{V_1}{V_1+V_2}\times 100\% = \frac{V_1}{V_1+100\,V_1}\times 100\% \cong 1\% \quad (24)$$

2. 신호획득 및 처리부

신호획득 및 처리장치는 그림 9와 같이 센서부, 신호조절부 및 디지탈 오실로스코프, PC로 구성되며, 자료처리후 요구조건이 만족되면 교정압력은 피교정 센서와 기준센서에 동시에 인가된다. 센서의 출력은 증폭 및 A/D 변환되어 컴퓨터에서 모든 교정과정이 자동제어된다.

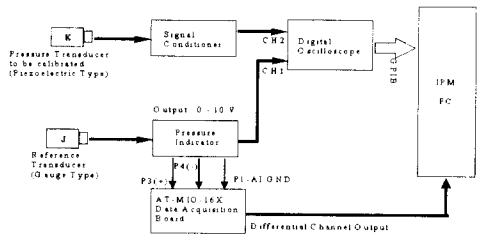

그림 9. 신호획득 및 처리부.
Fig. 9. Signal acquisition and processing unit.

3. 교정기 제어회로

교정기의 제어대상은 솔레노이드(solenoid) 밸브 스윗치들이며 컴퓨터와의 인터페이스 회로가 구성되었다. 그림 10에서 좌측 독립 스윗치는 수동식 제어용이며 P26, P28 및 P30은 기준압력 센서로부터 신호를 받아 릴레이를 구동시켜 압력제어용 솔레노이드 밸브 A, C 및 D를 조절한다.

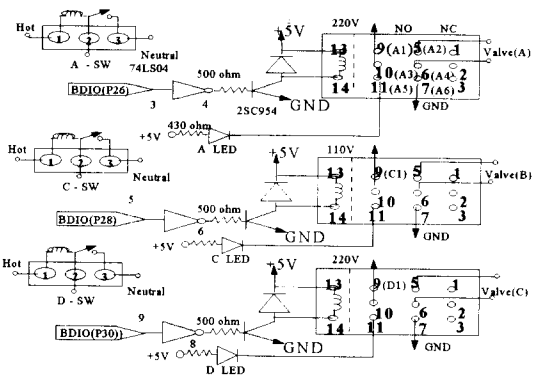

그림 10. 인터페이스 회로.
Fig. 10. Interface circuit.

Ⅳ. 교정자동화를 위한 소프트웨어

저압력 교정시스템의 소프트웨어 구성은 피교정센서의 교정압력 범위, 교정점간의 교정압력 간격, 한 센서에 대한 반복 교정횟수 등의 초기변수를 설정하고 하드웨어를 교정하는 그룹, 기준센서를 교정하는 CS1 및 피교정센서를 교정하는 CS2 그룹으로 구분된다. 먼저 초기변수들과 제어밸브들의 초기상태를 지정하고 교정자, 날짜, 시간, 센서모델을 기록하며, 초기화면 제어 및 표시 아이콘 초기화가 이루어진다. 그리고 하드웨어 교정순서는 기준전압 교정기의 초기값 설정과 신호획득 장치의 입력채널을 선택한 후 기준전압을 인가하여 얻은 교정결과를 파일로 저장한다. 다음은 CS1 단계인데 기준센서를 마련하기 위한 교정단계로서 여기서 얻은 교정결과를 오차보정 알고리즘에서 이용할 수 있도록 파일로 저장한다. CS2 단계는 피교정센서를 자동교정하는 과정이며, CS1에서 얻은 기준센서의 보정파일을 읽어 CS2에서 얻은 교정데이타를 보정해야 교정오차를 줄일 수 있다. 위와같은 교정과정은 그림 11에서 볼 수 있다.

1. 교정 동작순서

교정시스템의 기능별 동작과정을 CS1과 CS2로 구분하여 그림 12에서 시간 순으로 나타내었다. 밸브 A, C, D는 솔레노이드 밸브이고, B는 수동식 밸브이다. 먼저 기준센서를 교정하기 위하여 CS1 단계에서 밸브 A와 B를 열고 압력계로 교정압력을 일차 조정하고 체적조절기로 미세조정하여 분동식 압력계가 평형이 되게하여 표준압력을 만든다. 이 표준압력을 밸브 C를 열고 기준센서에 인가하여 교정하고

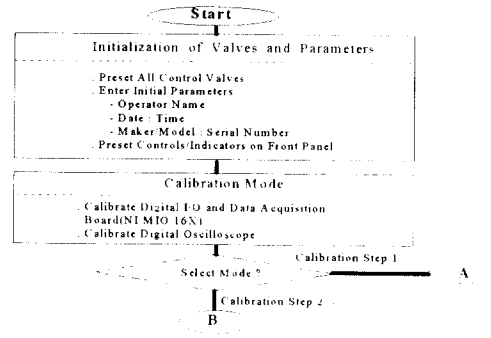

그림 11. 교정시스템 동작 과정.
Fig. 11. Operation Procedure of CALS.

오프셋 값을 얻는다. 그리고 CS2는 CS1 단계에서 열린 밸브 B를 닫고 밸브 C와 D를 자동제어하여 교정압력을 생성시켜 기준센서와 피교정센서에 교정압력을 인가하며, 교정과정은 먼저 밸브 D가 닫힌 경우 센서의 상승특성을 얻고 D가 열릴 때 하강특성을 얻어 피교정센서의 동압력 특성을 얻는다.

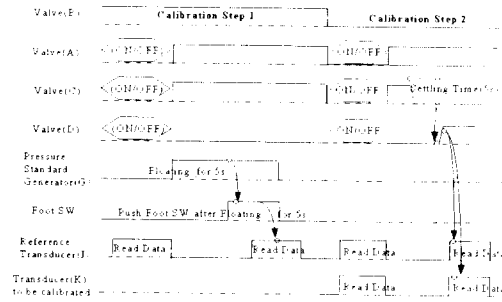

그림 12. 교정순서도.
Fig. 12. Timing diagram for calibration.

2. 자동압력제어기의 설계

자동 압력제어기의 구성도는 그림 13과 같다. 피교정 센서에 인가될 압력값에 따라 솔레노이드 밸브 동작시간을 결정하고, 설정된 교정압력의 ±5% 오차 범위안에 들어오도록 솔레노이드 밸브들을 제어한다. 그리고 기준압력 센서로부터 압력값을 읽어 설정한 교정압력과 상호 비교한다. 이때 현재 압력이 상한의 교정 압력보다 크면 압력을 감소시키기 위해 밸브 C와 D를 열고, 하한의 교정 압력보다 작으

면 밸브 A를 열어 압력을 증가시킨다. 압력조절시 원하는 교정압력의 ±5% 오차 범위내에 접근하면, 압력파동을 제거하기 위한 약 10초간의 안정시간을 준 후 피교정 센서로부터 교정신호를 읽어 처리할 수 있도록 다음단계로 제어가 진행된다.

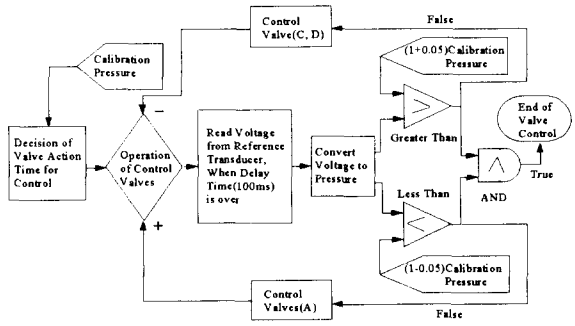

그림 13. 자동압력제어기의 블록선도.

Fig. 13. Block diagram for automatic pressure controller.

3. 오차보정 알고리즘

오차보정 알고리즘은 제어밸브의 압력변화와 압력전달 과정에서 발생되는 압력누설로 인하여 교정센서에 전달되는 압력의 차를 보정하는 것과 신호획득장치의 오프셋 전압 등을 보정하는 것을 말한다. 그림 14 및 그림 15에서 이들의 과정을 볼 수 있다. 그림 14의 압력오차 보정 알고리즘은 센서 교정전에 얻은 오차보정 파일과 교정파일을 읽어온 후 센서교정시 교정데이타를 처리하면서 동시에 해당하는 교정압력값의 오프셋들을 보정하는 알고리즘이다.

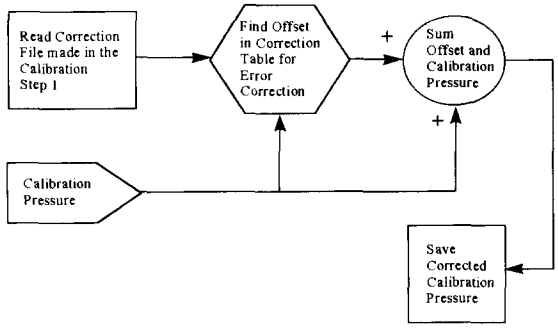

그림 14. 압력오차 보정 알고리즘.

Fig. 14. Algorithm for pressure error correction.

그림 15는 장비오차 보정 알고리즘으로 신호획득 장비의 오프셋을 구해 교정파일에 저장하며, 신호획득 장비의 교정채널과 교정범위를 선택한 후 인가된 기준전압과 계측된 값의 오프셋전압을 계산하여 파일에 저장하여 장비오차 보정을 하게된다.

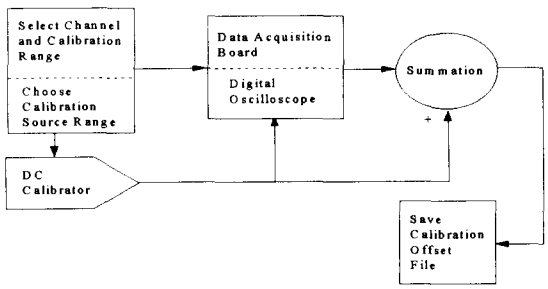

그림 15. 장비오차 보정 알고리즘.

Fig. 15. Algorithm of equipment error correction.

V. 교정결과

1. 교정방법 및 신호파형

압전형 센서를 교정하는 방법에는 센서에 공급하는 압력형태에 따라 정(positive)압력 과 부(negative)압력이 있는데 정압력 방법으로 센서를 교정할 때 센서 어댑터, 솔레노이드 밸브 및 파이프관 내부는 대기압으로 유지되어야 한다. 그런 다음 표준압력을 일정 시간동안 공급하고 밸브를 자동으로 닫게 되는데, 정압력에서는 밸브나사의 압력변화로 실제 표준압력보다 낮은 압력값이 전달되는 반면 부압력의 경우는 표준압력값과 근사한 압력값을 가지므로 안정도가 높은 부압력의 교정방법을 채택하여 실험을 하였다.

위에서 언급한 정압력과 부압력의 차이를 표 1에서 제시하였으며, 그림 16에서 부압력 신호파형을 나타내었다.

표 1. 정압력과 부압력에서 교정압력 비교.

Table 1. The relation of positive pressure and negative.

순번	Ps (psi)	정압력 모우드			부압력 모우드		
		Pc (psi)	Ps-Pc (psi)	오차 (%)	Pc (psi)	Ps-Pc (psi)	오차 (%)
1	2.00	1.95	0.05	2.5	2.01	- 0.01	0.5
2	3.00	2.92	0.08	2.7	3.01	- 0.01	0.3
3	5.00	4.90	0.10	2	5.02	- 0.02	0.4
4	8.00	7.85	0.12	1.5	8.02	- 0.02	0.3

Ps : 표준압력, Pc : 교정압력

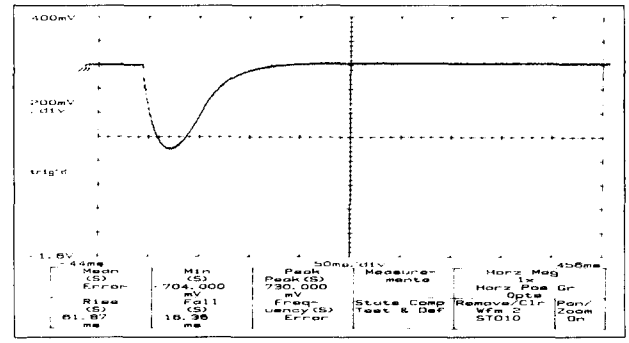

그림 16. 부압력모드 신호파형.

Fig. 16. Signal waveform of negative pressure.

2. 교정데이타

실험에 사용한 압력센서는 PCB사의 137A12(SN912) 모델이며, 이에대한 교정결과가 항목별로 주어져 있다.

표 2. 교정성적서.

Table 2. Report for calibration.

PCB 137A12 : SN 912

Pressure(psi)	Voltage(mV)	Sensitivity(mV/psi)	Remark
6.7699	386.00	57.0168	
9.9504	514.00	51.656	
15.4231	684.00	44.3492	
19.3055	782.00	41.0246	
24.2161	920.00	37.9912	
28.8004	1018.00	35.3467	
33.1402	1136.00	34.2786	
38.0561	1258.00	33.0565	
43.0919	1385.00	32.1406	
47.6584	1495.00	31.3691	

그림 17은 교정감도를 나타낸 것인데 센서 제작사에서 제시된 감도는 평균감도를 나타낸 것이므로 정확한 계측을 위하여는 각 압력범위에 해당하는 올바른 감도값을 적용하여야 한다.

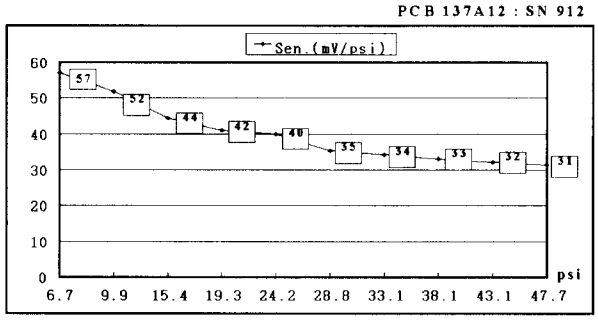

그림 17. 교정 감도표.
Fig. 17. Calibration table for sensitivity.

3. 정확도 분석

센서 교정시스템에 오차를 일으킬 수 있는 요인에 대한 교정오차량을 분석하여 표 3에 정리하였다.

표 3. 교정시스템의 정확도 분석.
Table 3. The Accuracy of the CALS.

항 목	교정오차	비 고
표준압력 발생기	± 0.03	표준압력발생기 제작처에서 제시한 정확도임
밸브나사에 의한 오차	± 0.0	볼륨탱크 부착 및 압력오차보정
신호 획득장치	± 0.0	장비오차보정
A/D 변환	± 0.0015	16bit A/D 변환기 사용
총오차 = $\sqrt{(0.03)^2+(0.0015)^2}$ ≒ ±0.03%		

VI. 결 론

본 연구에서는 정압력 교정에서 동압력 교정이 가능하도록 하였을 뿐만 아니라 교정과정을 완전 자동화 시켰기 때문에 기존에 비해 교정정확도에 향상을 기하고 교정시간을 대폭 단축할 수 있었다. 즉,

- 무기체계에서 발생되는 압력원은 상승과 하강특성(동압력 특성)이 있는데 기존 교정기는 하강특성(정압력 특성)만으로 교정하도록 되어있어 교정정확도에 문제가 되었는데, 이 문제점을 완전 해결할 수 있었다.
- 기준센서로 사용될 센서교정(CSI단계)에서 볼륨탱크를 사용하므로 교정오차를 줄일 수 있었다.
- 피교정센서 교정시는 오차보정 과정을 거치므로 밸브체적에서 오는 오차나 압력누설 및 신호획득 장비의 오프셋 전압값을 제거하기 때문에 교정의 정확도를 ±0.03% 까지 높힐 수 있었다.
- 이번에 연구된 교정기는 0.3psi에서 500psi 까지의 압력센서를 교정할 수 있기 때문에 무기체계뿐만 아니라 산업체에서도 많은 활용이 기대된다.
- 센서 한 개의 교정시간은 종래에 4시간 정도 기준센서로 사용될 센서교정(CS1단계)에서 볼걸리었는데 개발된 교정기는 이를 약 15분으로 단축시켰다.
- 앞으로 압력계측의 정확도를 향상시키기 위하여 센서의 온도특성과 감도특성 변화에 대한 영향분석 연구가 요구되고 있다.

참고문헌

[1] APG(aberdeen proving ground) TECOM, "Electronic measurement of blast overpressure," Top 4 2-822, 1982.

[2] AVL(austria ballistics division laboratory), "Applied piezoelectric pressure measurement technique in interior ballistics," 3rd symposium, 1982.

[3] DOEBELIN "Measurement systems application and design," 1983

[4] 공업진흥청, "음향 및 소음", 86-012, 1986.

[5] CEC(computer electronics co), "Primary pressure standard technical manual," 1984.

[6] AVL, "Operating instruction for B640 high precision pressure balance," 1984.

유 준

1978년 2월 서울대학교 전자공학과(학사), 1984년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(박사) 1984년 10월 ~ 현재 충남대학교 교수. 1989년 2월 ~ 1990년 2월 미 쉬건주립대학 전기공학부 방문 교수. 1994년 12월 ~ 1995년 2월 독일 Fraunhofer IPA연구소 방문 교수. 주관심 분야는 제어계측공학. 산업공정에의 제어응용 등임.

최 주 호

1976년 2월 부산대학교 전자공학과 졸업(학사), 1995년 2월 충남대학교 전자공학과 졸업(석사). 동대학원 박사과정(1996.3 ~ 현재). 1977년 2월 ~ 현재 국방과학연구소 계측기법연구실 (실장). 주관심 분야는 제어장치자동화, 센서 및 계측응용 등임.