

압력 측정 시스템의 불확도 평가

An Evaluation of the Uncertainty of Pressure Measurement Systems

최 주 호* 홍 성 수*
 Ju-Ho Choi Sung-Soo Hong

ABSTRACT

Uncertainty components and evaluation of the system of pressure measurement are presented in this paper. Since early in 1980s, measurement uncertainty is getting more important due to ISO/IEC 17025, which is established for international test and calibration laboratories. Up to now it is true that accuracy, precision, error and etc. have been commonly used in industry to define the amount of error to the products and equipment, but these terms ought to be united into uncertainty in the future. This paper describes how to indicate measurement uncertainty and types of measurement errors, and then shows the evaluation result of measurement system using piezoelectric pressure transducers.

Key words : Uncertainty evaluation, Pressure measurement systems.

1. 서 론

측정의 불확도(uncertainty) 의미는 측정대상의 기 값이 특정 신뢰수준에 실제적으로 놓여질 구간을 추정하게 되며, 측정된 대표값이 틀려질 수도 있는 범위를 나타낸다. 최근까지만 해도 측정불확도라는 표현보다 측정오차란 용어를 많이 사용하여 왔다. 그런데 오차란 참값과 측정값의 차를 말하는데 측정대상의 참값은 현실적으로 알 수 없으므로 모든 측정에서의 오차결정은 불확실한 부분이 항상 존재하게 된다. 이와 같이 불확실한 것을 완전히 극복할 수는 없지만,

불확실한 정도의 크기를 적절한 기법을 사용하여 추정할 수 있으면 측정결과를 이용한 의사결정에 많은 영향을 미칠것으로 판단된다.

우리나라에서도 1980년대 말부터 ISO 9000 품질인증이 국제적으로 보편화되면서 측정불확도에 대한 관심이 급속히 확산되었고, 국가 교정기관이나 정밀측정 분야에서는 정확도나 정밀도의 용어보다 측정불확도로 대체해 나가고 있다. 측정불확도는 측정결과를 정량적인 수치로 표현되므로 측정결과가 수용할 수 있는 범위내에서 적합한지의 여부를 판정할 수 있다. 많은 경우에 있어서 측정결과가 허용한계에 매우 근접하는 경우에 확실적인 의미에서 허용공차를 초과할 위험에 직면할 때에는 측정불확도 정보를 활용하여

* 국방과학연구소

평가하여야 한다. 측정불확도는 측정기기의 성능과 교정검사시 교정불확도 및 측정환경에 따라 달라진다. 그러므로 오차의 발생요인을 적절히 제어하고 측정환경 등을 개선하여 불확도의 크기가 작아지도록 측정 불확도의 관리가 요구된다.

측정결과의 표현에 관한 유럽공동체의 규격요건에 따라 운영되는 교정/ 시험검사기관 인증제도에서 공인기관은 반드시 교정/ 시험결과를 표현할 때 측정불확도를 함께 기술하도록 의무화하고 있다. 그리고 1993년 ISO가 발간한 “측정 불확도 표현지침”은 서유럽 교정검사 협력기구(WECC : Western European Calibration Cooperation), 유럽 교정시험기관 공인협력기구(EAL : European Cooperation for Accreditation of Laboratories), 영국 공인기관(UKAS : United Kingdom Accreditation Service) 및 미국 국립표준기술원(NIST : National Institute of standards and Technology) 등에서 실무지침을 만드는데 기초자료로 활용하고 있다^[1].

본 논문에서는 측정시스템에 대한 불확도 요인과 평가방법을 소개하고 밀폐된 공간내에서 압전형 압력 센서를 이용한 압력 측정시스템의 불확도 평가결과를 제시하였다.

II. 측정시스템의 불확도 요인과 평가방법

측정시스템의 각 구성품은 오차요인을 가지고 있다. 일반적으로 측정오차는 정적오차와 동적오차 및 부하오차로 분류할 수 있다. 그리고 불확도 평가방법은 반복측정의 평균과 추정표준편차를 이용하는 A형 평가와 활용가능한 정보의 반범위 추정을 이용한 B형 평가를 합성한 표준불확도를 구하고, 또 자유도를 고려

하여 확장불확도를 얻는다.

1. 측정시스템의 불확도 요인

측정시스템은 센서부, 신호조절부 및 자료처리부로 나눌 수 있다. 일반적으로 측정오차를 발생시키는 것은 센서부, 신호조절부의 직선성 오차, 감도, 분해능, 이득오차 및 양자화 오차 등이 있다. 이들을 정적오차, 동적오차 및 부하오차로 구분하여 분류해보면 다음과 같다.

정적오차는 측정시스템 구성품의 물리적 본성으로부터 기인되는데 측정중에는 시불변이다. 정적오차원은 기계적 장치의 고유적인 불완전성 및 제한사항을 포함하거나 장치의 물리적 특성에 영향을 주는 외적 영향이 원인이 되기도 한다. 정적오차는 읽음오차와 환경오차 및 특성오차로 구분된다. 읽음오차는 시차와 내삽오차 및 광학적 분해능을 포함하며, 디지털 표시 형태에서 ± 1 카운트의 읽음오차가 존재한다. 읽음오차는 판독이나 표시장치와는 무관하다. 이러한 읽음오차는 비교적 간단한 방법으로 오차를 줄이거나 제거가 가능하다. 내삽오차는 지시기의 주변에서 확대기를 이용하여 줄일 수 있다. 환경오차는 측정시스템의 외부 환경적 영향이 원인인데, 대부분 온도, 압력, 습도 및 물기, 핵 방사, 자기나 전장, 진동 및 충격의 주기적 랜덤운동 등이다. 이들 각 성분의 환경영향은 독립적이다. 특성오차는 이론적으로 예상되는 성능으로부터 혹은, 공칭 성능의 규격으로부터 일정한 환경조건 하에서 측정시스템의 출력편차로 표현된다. 특성오차에는 직선성 오차와 히스테리시스오차, 반복성 오차 및 교정오차 등이 있는데 이것은 이득오차나 영편이 오차를 말하며, 측정시스템에서 각 성분의 특성오차가 존재할 경우 각각의 오차 합으로 표현된다. 반복성 오차는 조정 불가능한 유일한 특성오차의 하나이다. 그

러므로 반복성 오차는 교정과정에서 제한요소가 된다. 효과면에서 반복성은 물리량과 기준 값 사이의 비교에서 최소 불확실성을 나타낸다^[2].

동적오차는 측정시스템이 시변 측정 값에 충분히 응답을 못하는에서 기인된다. 전기기계적 측정시스템의 동적응답은 다음의 요소에 의해 제한된다.

- 관성, 제동 및 감지소자의 다른 물리적 제한요소
 - 필터의 차단주파수 또는 대역통과주파수가 신호 조절기 또는 이득 대역폭 제한사항과 부정합이 되는 경우
 - 출력표시부에서의 관성, 제동 및 마찰요소가 있는 경우
 - 변조주파수와 반송주파수의 비, LPF의 응답특성
- 측정되는 물리량이 입력에서 주기적인 변화에 대한 측정시스템의 동적오차는 시스템의 주파수와 위상응답에 의해 특징지어지고 랜덤 또는 과도 신호입력의 경우는 시정수나 응답시간에 의해 동적오차가 표현된다.

부하오차는 측정시스템이나 계기가 연결된 후 측정하고자 하는 대상의 물리량이 달라지게 되는 것을 말하는데 부하오차는 정적 및 동적 성분을 갖는다. 전기기계적 측정시스템에서 부하오차는 대부분 감지소자의 물리적 특성이 원인이 된다. 예를들면 시험중에 있는 압력감지 소자가 내장되어 있는 부르돈관(bourdon tube)이 여압시스템 속에 넣어지면 가속도계의 유효 질량에 진동체의 질량이 더해진다. 그러면 고유주파수가 조금씩 변하고 가속도가 시험체에 힘을 가하게 된다. 측정되는 물리량이 입력에서 주기적인 변화에 대한 동적오차는 시스템의 주파수와 위상응답에 의해 특징지어지고 랜덤 또는 과도신호의 경우는 시정수나 응답시간에 의해 동적오차가 표현된다. 측정시스템의 전체 정확도는 부하오차와 총정적오차의 합으로 주어

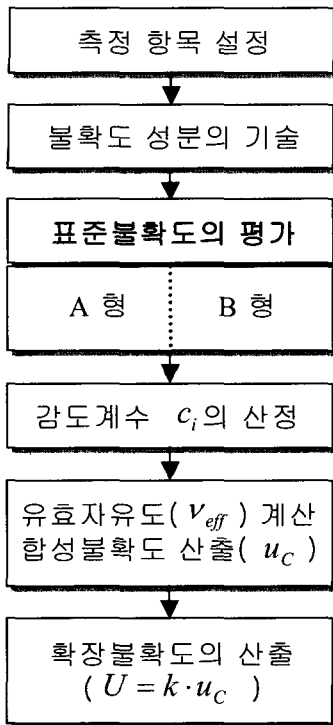
지며, 측정불확도는 2σ 기준으로 하도록 NIST에서 권장하고 있다^[3].

2. 측정시스템의 불확도 평가방법

불확도 평가를 하기 위해 불확도는 정량적으로 표시되어야 한다. 국제적으로 불확도 평가방법은 반복 측정 결과를 통계적으로 처리하는 A형 평가와 그 이외의 B형 처리방법이 있다. 불확도 평가의 척도는 A형 평가 및 B형 평가에서 추정표준편차가 사용되며, B형 표준불확도 평가에 의해 채택되는 정보는 실제로 사전의 많은 반복측정과 그 특성을 파악하기 위한 다양한 시험 등을 거쳐 산출된 데이터인 반면에 A형 표준불확도 평가는 여러 장애요인에 의해 아주 적은 자유도를 갖는 데이터에 의존할 수 밖에 없어 실제 측정상황에서는 오히려 B형 평가를 더 신뢰할 수 있다.

불확도 평가절차는 먼저 측정항목을 설정하고 측정 항목에 대한 불확도 성분을 기술한다. 그리고 A형 및 B형 표준불확도의 평가를 한다. 그리고 측정오차식에서 감도계수, 유효자유도 및 합성불확도 성분을 구한다. 마지막으로 유효자유도를 고려한 확장불확도를 그림 1과 같은 측정불확도 평가절차에 의해 계산할 수 있다.

표준불확도의 A형 평가는 측정시스템으로부터 반복 측정결과를 통계적으로 산출되어진다. 측정대상의 참 값에 가장 근접하는 기대치를 구하기 위하여는 가능한 정확하게 무한히 많은 반복측정을 실시하여야 한다. 그런데 이 무한한 측정집단에 대한 대표값이나 표준편차를 구할 수 없으므로 유한횟수의 측정을 실시하고 유한표본의 표준편차를 구한후 모집단에 표준편차를 추정한다. 그러므로 n 개의 개별측정량 (X_i)의 산술평균 (\bar{X})는 (1)과 같다.



[그림 1] 측정불확도 평가절차(Procedure of the evaluation of measurement uncertainty).

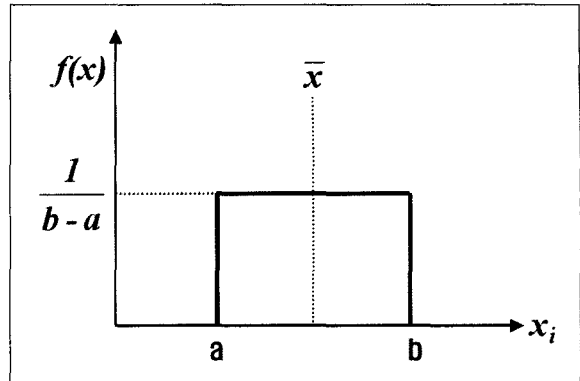
$$\bar{X}_i = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^n X_{i,k} \quad (1)$$

그리고 X_i 와 관련되는 표준불확도 $U(X_i)$ 는 평균의 추정 표준편차로 (3)과 같이 표현된다.

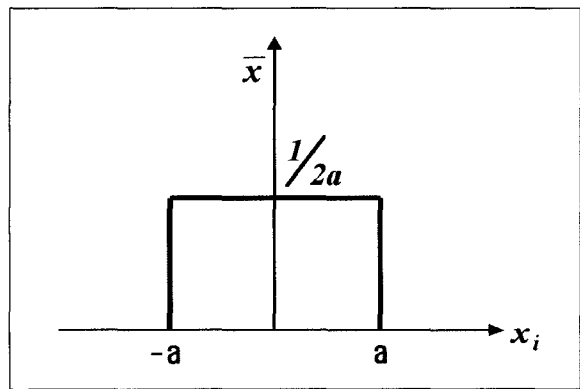
$$\sigma_{est} = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (X_{i,k} - \bar{X}_i)^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

$$u_A = \frac{\sigma_{est}}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

표준불확도의 B형 평가는 측정대상의 변화성에 대한 활용 가능한 모든 정보를 근거로 하여 과학적인



(a) 확률 밀도 함수.



(b) 균등분포와 반 범위 구간.

[그림 2] 확률밀도 함수와 반 범위 구간 (Half range and probability density function).

판단하에서 산출되어야 한다. 활용가능한 정보로는 과거의 측정데이터, 측정대상에 대한 특성, 생산자의 규격, 교정검사 성적서 등에 기록된 데이터, 핸드북에서 인용된 참고자료의 불확도 등을 들 수 있다. 이러한 정보들은 대부분 \pm 량으로 표시되며, 이들의 대표값을 평가하는 근거로 직각확률분포(rectangular probability distribution)가 널리 활용되고 있다. B형 표준불확도의 평가는 대부분의 기대값이 일정구간 이내에서 꼭 같은 확률로 존재한다는 균등분포(uniform distribution)에 근거하여 기대값을 추정할 수 있다. B

형 평가에 이용되는 확률밀도 함수는 그림 2와 같다.

$$\begin{aligned} \bar{X} &= E(X) = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot f(x) dx \\ &= \frac{b+a}{2} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} E(X^2) &= \int_{-\infty}^{\infty} x^2 f(x) dx \\ &= \frac{b^2 + ab + a^2}{3} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\sigma_{est} = \frac{1}{12}(b-a)^2 \quad (6)$$

$$u_B = \frac{a}{\sqrt{3}}, (b = +a, a = -a) \quad (7)$$

측정결과와 합성표준불확도는 u_c 로 표기하며, 측정 대상의 추정표준편차를 나타낸다. 표준불확도의 결합은 불확도 전파법칙을 통해 얻어지는데 산정방법은 입력량들이 서로 상관하는 경우와 상관관계가 없는 경우로 구분하여 보면 다음과 같다.

모든 입력량이 독립적인 경우 합성표준불확도는 합성분산의 제곱근으로 표현된다.

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i) \quad (8)$$

$f(x)$: 측정항목의 확률밀도 함수

$u(x_i)$: A형 및 B형의 표준불확도

$\frac{\partial f}{\partial x_i}$: 감도계수

(8)은 간략화 하기 위하여 (9)와 나타낼 수 있으며

보통 제곱합의 제곱근(root-sum-of-squares) 또는 RSS 방법이라 한다.

$$\begin{aligned} u_c^2(y) &= \sum_{i=1}^n [C_i u(x_i)]^2 \\ &= \sum_{i=1}^n u_i^2(b) \\ &= \{u_1^2(y) + u_2^2(y) + \Lambda + u_N^2(y)\}^{\frac{1}{2}} \end{aligned}$$

여기서 $C_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}$ 는 감도계수이고 입력추정치 x_1, x_2, K, x_n 의 값들이 변화함에 따라 출력추정치 y 가 어떻게 변화하는지의 관계를 나타내는 값들이다.

측정대상 Y 를 추정하는 y 값의 불확도는 입력추정값 x_1, x_2, K, x_n 들이 서로 상호작용을 한다면 측정 결과에 관계된 합성분산 $u_c^2(y)$ 에 대한 표현은 (9)와 같다.

$$\begin{aligned} u_c^2(y) &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} u(x_i, x_j) \\ &= \sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) \\ &\quad + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} u(x_i, x_j) \end{aligned} \quad (9)$$

여기서 x_i 와 x_j 는 X_i 와 Y_j 의 추정값이며, $u(x_i, x_j) = u(x_j, x_i)$ 는 x_i 와 x_j 에 관계된 추정공분산이다. x_i 와 x_j 의 상관정도를 상관계수 $r(x_i, x_j)$ 에 의해 표시 가능하다.

$$\begin{aligned} u_c^2(y) &= \sum_{i=1}^n C_i^2 u^2(x_i) \\ &\quad + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n C_i C_j u(x_i) u(x_j) r(x_i, x_j) \end{aligned} \quad (10)$$

여기서,

$$\begin{aligned}
 -1 \leq r(x_i, x_j) &\leq 1 \\
 \frac{\partial f}{\partial x_i} &= C_i \\
 \frac{\partial f}{\partial x_j} &= C_j
 \end{aligned}$$

국제 도량형 위원회(CGPM)는 측정과학의 발전을 주된 목적으로 하고 있기 때문에 합성표준불확도만으로 측정불확도를 표현하기를 원하지만 ISO, IEC와 같은 국제기구들은 국제교역을 원활히 하고 보건, 안전 등의 공공목적의 문제들을 취급하여야 하기 때문에 합성표준불확도에 보상계수를 곱하여 신뢰도를 높이고 분쟁의 소지를 제거하기 위해 확장불확도(U)를 도입하여 사용한다. U 는 합성표준불확도 u_c 에 신뢰수준과 자유도에 따라 결정되는 보상계수(coverage factor) k 를 곱하여 구해진다.

$$U = k u_c \tag{11}$$

보상계수 k 는 신뢰수준과 유효자유도의 결정에 따라 t 분포에 의해 주어지는 상수인데, 신뢰수준에 정확히 따르기 위해서는 유효자유도를 계산하여 결정한다.

표준불확도 u_c 는 A형 또는 B형 평가로 구한 개별 표준불확도 u_i 를 통상적 표준편차 결합방식을 사용하여 구한다. 이 방법은 불확도 전파법칙이라 부르며, 보통용어로 RSS(root sum of squares) 방법이라 불리운다. 유효자유도를 구하기 위하여 먼저 불확도 전파법칙에서 y 와 $u_c(y)$ 를 구한다. 그리고 welch-satterthwaite 공식으로부터 $u_c(y)$ 의 유효자유도를

(12)와 같이 추정한다.

$$v_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=0}^n \frac{C_i^4 u^4(x_i)}{v_i}} \tag{12}$$

여기서 $C_i \equiv \partial f / \partial x_i$ 이며, 모든 $u(x_i)$ 는 통계적으로 상호 독립이고 v_i 는 $u(x_i)$ 의 자유도이며 (13)의 조건을 만족한다.

$$v_{eff} < \sum_{i=1}^n v_i \tag{13}$$

A형 표준불확도의 자유도는 측정횟수가 n 개 일 때 $n-1$ 이 되고, B형 표준불확도의 자유도는 (14)로 표시할 수 있다.

$$v = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta u(x_i)}{u(x_i)} \right)^{-2} \tag{14}$$

(14)에서 구한 자유도와 $u_c(y), u(x_i)$ 및 e_i 값으로 유효자유도를 얻고 유효자유도와 신뢰구간이 일치하는 보상계수 k 를 찾으면 된다. (12)의 식에 의해 유도되어지는 유효자유도는 A형에 의한 불확도가 "0"이고 B형 성분의 자유도가 ∞ 로 취급되어질 때 합성되어지는 유효자유도는 ∞ 로 추정되어지는 경우가 많으며, 이 때에는 자연스럽게 95.5% 신뢰수준의 $k=2$ 가 활용되어진다. 계산에 의한 유효자유도가 정수가 아닌 경우에는 v_{eff} 보다 작은 최대정수를 취하게 되며, 이는 t 분포에 의한 보상계수 결정에서 신뢰성이 보장되는 충분한 구간을 확보하기 위함이다.

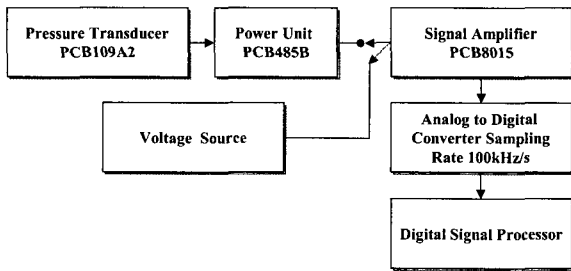
Ⅲ. 압력측정시스템의 불확도

측정시스템의 불확도 평가를 위하여 본 연구에서는 압전형 압력측정시스템에 대해 평가결과를 보여주고 있다.

1. 압전형 압력센서를 이용한 압력측정 불확도 평가

압전형 압력센서를 이용한 압력측정시스템은 그림 3과 같이 변환기와 신호증폭기, 신호변환기 및 자료처리기로 구성되어진다.

- ◆ 센서규격
 - 센서감도 : 0.07 mV/psi
 - 직 선 성 : 2 % at FS
 - 온도계수 : 0.03 %/°F
 - 분 해 능 : 2 psi(125000 psi at FS)
- ◆ 신호조정기 규격
 - 이득 설정오차 : < 0.08 %
 - 이득 안정도 : < 0.02 %
 - 직선성 : < 0.05 %
- ◆ 디지털 신호처리
 - 자료평활화 : 11 point smoothing
- ◆ 전압원 : 0.001 %



[그림 3] 압력측정 시스템 개략도(Block diagram of the pressure measurement system).

2. 수학적 모델링

압력측정시스템의 오차는 센서, 신호증폭기 및 자료 처리기의 정상태, 동상태 및 환경오차로 이루어짐을 (15)에서 알 수 있다.

$$E = f(LE_1, LE_2, EE_1, EE_2, CE_1, CE_2, CE_3, CE_4, CE_5)$$

$$E = LE_1 + LE_2 + EE_1 + EE_2 + CE_1 + CE_2 + CE_3 + CE_4 + CE_5 \quad (15)$$

- LE_1 : 압전형 센서의 직선성오차 2 %
- LE_2 : 신호조정기의 직선성오차 < 0.05 %
- EE_1 : 센서의 열적 영향오차 ≤ 0.03 %
- EE_2 : 센서의 가속도 오차 0.004 psi / g
- CE_1 : 센서의 분해능 2 psi
- CE_2 : 신호조정기의 이득 설정오차 < 0.08 %
- CE_3 : 신호조정기의 이득 안정도 < 0.02 %
- CE_4 : 신호조정기의 양자화 오차 < 0.02 %
- CE_5 : 전압원 오차 0.001 %

(15)로부터 E의 분산을 구하면

$$u_c^2(E) = \left[\frac{\partial E}{\partial LE_1} u(LE_1) \right]^2 + \left[\frac{\partial E}{\partial LE_2} u(LE_2) \right]^2 + \left[\frac{\partial E}{\partial EE_1} u(EE_1) \right]^2 + \left[\frac{\partial E}{\partial EE_2} u(EE_2) \right]^2 + \left[\frac{\partial E}{\partial CE_1} u(CE_1) \right]^2 + \left[\frac{\partial E}{\partial CE_2} u(CE_2) \right]^2 + \left[\frac{\partial E}{\partial CE_3} u(CE_3) \right]^2 + \left[\frac{\partial E}{\partial CE_4} u(CE_4) \right]^2 + \left[\frac{\partial E}{\partial CE_5} u(CE_5) \right]^2 \quad (16)$$

$$= C_{LE_1}^2 u^2 (LE_1) + C_{LE_2}^2 u^2 (LE_2) + C_{EE_1}^2 u^2 (EE_1) \\ + C_{EE_2}^2 u^2 (EE_2) + C_{CE_1}^2 u^2 (CE_1) + C_{CE_2}^2 u^2 (CE_2) \\ + C_{CE_3}^2 u^2 (CE_3) + C_{CE_4}^2 u^2 (CE_4) + C_{CE_5}^2 u^2 (CE_5)$$

여기서 각 감도계수는 다음과 같다.

$$C_{LE_1} = \frac{\partial f}{\partial LE_1} = 1$$

$$C_{LE_2} = \frac{\partial f}{\partial LE_2} = 1$$

$$C_{EE_1} = C_{EE_2} = 1$$

$$C_{CE_1} = C_{CE_2} = \Lambda = C_{CE_3} = 1$$

3. $u(x_i)$ 의 표준불확도 성분

B형 표준불확도 평가로 가능하며, 직각확률분포로 계산하였다.

$$u(LE_1) = \frac{1\%}{\sqrt{3}} = 0.578\%$$

$$u(LE_2) = \frac{0.025\%}{\sqrt{3}} = 0.014\%$$

$$u(EE_1) = \frac{0.75\%}{\sqrt{3}} = 0.43\% \text{ (F=50 이라고 가정)}$$

$$u(EE_2) = \frac{0\%}{\sqrt{3}} = 0\% \text{ (적은값으로 무시)}$$

$$u(CE_1) = \frac{0.8 \times 10^{-3}\%}{\sqrt{3}} = 0.46 \times 10^{-3}\% \\ (2/125,000 \times 10^2\%)$$

$$u(CE_2) = \frac{0.04\%}{\sqrt{3}} = 0.023\%$$

$$u(CE_3) = \frac{0.01\%}{\sqrt{3}} = 5.77 \times 10^{-3}\%$$

$$u(CE_4) = \frac{0.01\%}{\sqrt{3}} = 5.77 \times 10^{-3}\%$$

$$u(CE_5) = \frac{0.0005\%}{\sqrt{3}} = 2.88 \times 10^{-4}\%$$

4. 합성 표준불확도

합성 표준불확도는 (17)에 의해 계산될 수 있다.

$$u_c(E) = \left[u^2(LE_1) + u^2(LE_2) + u^2(EE_1) + u^2(EE_2) + u^2(CE_1) + \Lambda + u^2(CE_5) \right]^{\frac{1}{2}} \\ = 0.72\% \quad (17)$$

5. 유효자유도

$$v_{eff} = \frac{u_c^4}{\frac{u^4(LE_1)}{\infty} + \frac{u^4(LE_2)}{\infty} + \frac{u^4(EE_1)}{\infty} + \frac{u^4(EE_2)}{\infty} + \frac{u^4(CE_1)}{\infty} + \Lambda + \frac{u^4(CE_5)}{\infty}} \quad (18)$$

신뢰수준 95 %일 때 유효자유도가 ∞ 이므로 이 경우 k 값은 t 분포에서 찾으면 $k=1.96$ 임을 알 수 있다.

6. 확장불확도

$$U = k u_c \\ = 1.96 \times 0.72 \\ = 1.4\% (k=1.96) \quad (19)$$

(19)의 식에서 압력측정시스템의 상대 측정불확도는 1.4 %임을 알 수 있으며, 절대 측정불확도는 측정구간이 설정되면 압력의 값으로 표시 가능하다.

IV. 결 론

본 연구에서 불확도를 평가하기 위하여 측정시스템의 정적오차, 동적오차 및 부하오차 등을 분석하여 실제 측정에서 항상 존재할 수 있는 오차항목을 제시하였다. 그리고 불확도 평가절차, A, B형 표준불확도와 합성불확도 및 확장불확도 평가방법을 소개하여 불확도 평가에 이용되도록 하였다. 그리고 압력 측정시스템의 불확도 평가결과를 제시하여 측정실무자가 활용할 수 있도록 하였다.

본 연구에서의 주요내용을 요약하면 다음과 같다.

- 측정시스템의 불확도 평가를 위하여 먼저 측정시스템의 불확도요소를 설정한다. 다음에 각 부분에서 오차요인을 알아낸다.
- 측정시스템에서 주요 불확도 요인은 센서 및 신호증폭기의 직선성오차, 감도오차, 분해능오차, 이득오차, 양자화오차 및 환경오차 등임을 알 수 있었다.
- 반복 측정된 결과에 대해 A형 표준불확도 평가시 실험표준편차 $s(x_i)$ 와 평균표준편차 $s(\bar{x}_i)$ 와 자유도 $\nu_i = n - 1$ 을 이용하는 것이 간편한 방법이다.
- 본 연구에서는 센서 및 신호증폭기의 규격은 측정시스템을 교정한 교정기의 불확도를 포함하고 있다고 가정하였다.
- 압력측정시스템의 불확도 평가 결과는 1.4 %였

는데 국제 학술회보에서 밝혀진 불확도는 2 %이 내라고 제시되어 있어 비슷한 결과를 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] KASTO 교육사업부 “국가교정제도 및 국가교정기관 인정절차” 한국계량측정협회, KASTO-ED-A-01, 2000. 11.
- [2] Barry N. Taylor and Chris E. Kuyatt, “*Guide Lines for Evaluation and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Result*”, NIST Techniqcal Note 1297, pp.1~25, 1992.
- [3] Edward E.Herceg, “*Handbook of Measurement and Control*”, Schacvitz Engineering Pennsauken, N. J. pp.3-1~3-16, pp.14-1~14-14.
- [4] 최주호, 홍성수, 유준, “*측정시스템의 정확도 평가와 공인화 절차*” 한국군사과학기술학회지 제2권 제2호(통권 제3호), 1999. 12.
- [5] Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement ISO Reference 17025, 2000. 5.
- [6] Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement ISO Reference 2000. 4.