

# 측정시스템의 정확도 평가와 공인화 절차

## Accuracy Evaluation and Accreditation Procedure of Measurement Systems

최 주 호\*, 홍 성 수\*, 유 준\*\*

### 요 약

본 논문은 측정시스템의 정확도와 불확도 설정, 측정기법 및 측정시스템에 대한 공인화 방안을 제시하고 있다. 측정오차는 크게 정적오차 및 동적오차로 구분되는데, 측정시 항상 존재할 수 있는 정적오차를 구할 수 있는 오차방정식과, 공인화 절차를 제안하였다.

### ABSTRACT

This paper presents how to evaluate the accuracy and uncertainty of the measuring techniques and the measurement systems, and establish their accreditation procedures. There are largely static error and dynamic error in the measurement error. In particular, the static error which always remains in the measurement systems is obtained by proposed error equations. In addition, the accreditation procedures are proposed.

주요기술용어 : measurement systems, uncertainty, accreditation procedure

### 1. 서 론

측정오차는 측정시스템에 의해 측정되는 값과 물리량의 참 값(true value) 사이의 양적 차를 말한다. 이 차는 절대적 차 또는 상대적 척도(scale)로 표현된다. 측정시스템의 각 구성품은 각각의 오차 요인을 가지고 있으며, 일반적으로 측정오차는 크게 세 가지로 분류하는데 정적오차, 부하오차 및 동적오차로 분류할 수 있다. 정적오차는 측정시스템 구성품의 물리적 본성으로부터 기인되는데 측정중에는 시불변이다. 정적오차원은 기계적 장치의 고유적인 불완전성 및 제한사

항을 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 표시형태에서  $\pm 1$  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 환경

\* 국방과학연구소

\*\* 충남대학교

영향은 독립적이다. 특성오차는 이론적으로 예상되는 성능으로부터 혹은, 공칭 성능의 규격으로부터 일정한 환경조건하에서 측정시스템의 출력편차로 표현된다. 특성오차에는 직선성오차와 히스테리시스오차, 반복성오차 및 교정오차 등이 있는데 이것은 이득오차나 영 편이오차를 말하며, 측정시스템에서 각 성분의 특성오차가 존재할 경우 각각의 오차 합으로 표현된다. 반복성오차는 조정 불가능한 유일한 특성오차의 하나이다. 그러므로 반복성오차는 교정과정에서 제한요소가 되며, 전체 측정정확도에 제한을 준다. 효과면에서 반복성은 물리량과 기준 값 사이의 비교에서 최소 불확실성을 나타낸다.<sup>(1)</sup>

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 압력감지소자가 내장되어 있는 부르돈관(bourdon tube)이 여압시스템 속에 놓여지면 가속도계의 유효질량에 진동체의 질량이 더해진다. 그러면 고유주파수가 조금씩 변하고 가속도가 시험체에 힘을 가하게 된다. 동적오차는 측정시스템이 시변 측정 값에 충분히 응답을 못하는데서 기인된다. 전기기계적 측정시스템의 동적응답은 다음의 요소에 의해 제한된다.

- 관성, 제동 및 감지소자의 다른 물리적 제한요소
- 필터의 차단주파수 또는 대역통과주파수가 신호조절기 또는 이득 대역폭 제한 사항과 부정합이 되는 경우
- 출력 표시부에서의 관성, 제동 및 마찰 요소가 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.

측정시스템의 전체 정확도는 부하오차와 총정적오차의 합으로 주어지며 측정불확도는  $2\sigma$  기준으로 하도록 NIST(National Institute of Science and Technique)에서 권장하고 있다.<sup>(2)</sup> 본 논문에서는 측정시스템의 정확도 평가를 위한 정확도 계산식을 제시하였고 측정불확도 산정방법 및 기준을 밝혔다. 그리고 측정기법에 대한 공인화 절차를 제안하였다.

## 2. 측정시스템의 오차분석과 정확도 평가

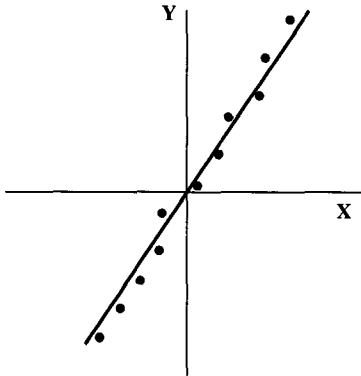
### 2.1 직선성오차와 최소지승 기준선

#### 2.1.1 직선성오차

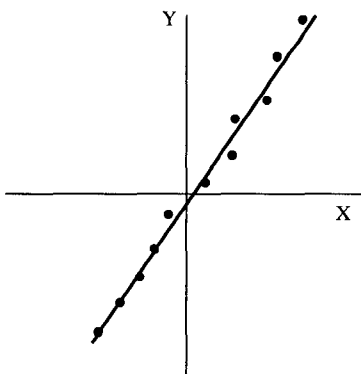
직선성오차의 최소화는 측정시스템의 중요한 과제 중 하나이다. 측정시스템이 더 직선화 될수록 더 쉽게 교정할 수 있을 뿐만 아니라 불확도가 감소된다. 비록 비선형 측정시스템에 대해 교정곡선을 얻을 수 있을 지라도 시스템 출력이 반복적으로 얻어지는 경우 교정시간이 길어지고 교정효율이 떨어진다. 직선성은 도식적 방법의 하나인 기준선으로 그림 1과 같이 나타난다.

직선성은 선형 입력의 최대범위에 해당하는 출력값과 각 교정점의 출력 최대편차와의 비를 백분율로 나타낸다. 실제로 직선기준선으로 이용될 수 있는 것은 여러 개의 직선이 있다. 그림 1의 (a) 경우와 같이 영 레벨이 아니라도 정보그래프는 영 점을 지나도록 기준 직선을 그릴 수 있다. (b)의 경우는 정보점들을 가까이 지나도록 그린 것이다. (c)의 경우는 양극(bi-polar) 출력을 요구하지 않는 경우에 사용할 수 있으며, 하나의 기준선은 양의 값을 가지고 다른 기준선은 음의 값을 갖는다. 즉, 원점에서 공통점을 가지면

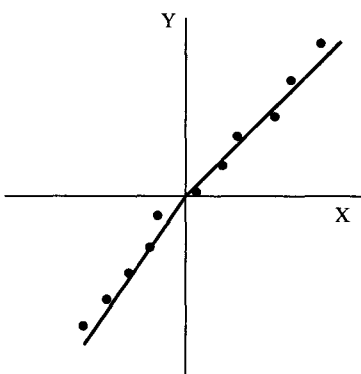
서 각 선의 기울기가 다르게 된 경우이다. 이 두 기울기 방법은 짧은 구간에서 점들의 1/2을 피팅(fitting)하는데 유리하다.



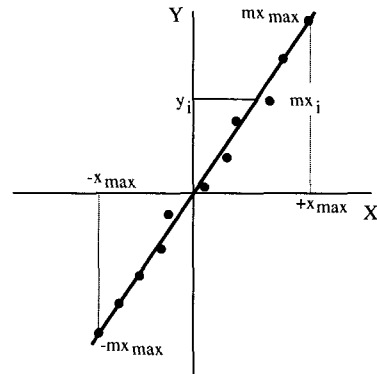
(a) 영점을 통과하는 직선



(b) 영점에 독립인 직선



(c) 2개의 기울기 직선



(d) 데이터 점들의 최소자승직선

(그림 1) 기준선의 도식적 표현

이 방법이 (a)와 (b) 보다 더 정보점들에 근접시킬 수 있다. 그리고 (d)는 최소자승정보를 그린 것이다. 위에서 설명한 것 같이 기준선은 수 없이 많을 수도 있다. 그러나 가장 공통되는 기준선은 terminal line (TL), end point line(EPL), best fit straight line(BFSL)과 least squares line(LSL) 등이 있다. TL은 원점에서 최대 범위(full scale ; FS)를 포함하는 정보점까지 그린 것이고, 그리고 EPL은 데이터 점의 끝점을 그린 것이다. 만약 출력이 양극(bi-polar)이면 원점에 관계없이 그린다. 그리고 BFSL은 모든 정보점에 둘러싸이는 두 개의 가장 밀접한 평행선 사이의 중심선이 된다. LSL은 피팅이 최소가 되는 선이나 곡선으로부터 얻은 정보점의 편차를 자승합으로 표현함으로써 기준선을 얻는다.<sup>(1)</sup>

### 2.1.2 최소자승 직선기준선

최소자승 직선기준선은 피팅되는 곡선으로부터 정보점들의 편차자승의 합을 최소화하는데 최소자승 직선기준선 오차평가에 따라 출력과 측정하고자 하는 물리량 입력의 선도(pole)에 각 정보점에 가장 근접하게 해 주는 최적의 곡선이다. 그림 1의 (d)에서 최소자승 직선의 기울기  $m$ 은 (1)과 같이 정의한다.

$$m = \frac{\overline{X_i Y_i}}{\overline{X_i^2}} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i}{\sum_{i=1}^n X_i^2} \quad (1)$$

(1)에서  $n$ 은 정보점들의 수를 나타내고  $X_i$ 는 정보점들의 변위값,  $Y_i$ 는 정보점들의 값에 대한 출력전압,  $\overline{X_i Y_i}$ 는 정보점의  $X$ 와  $Y$ 축의 평균값과  $\overline{X_i^2}$ 은  $X$ 축의 모든 정보점의 제곱값의 평균을 나타내고,  $X_{FS}$ 는 정보점의 최대 변위값을 의미한다. 그리고 최소자승 직선의 기울기  $m$ 이 정해지면 최소자승 직선으로부터 직선성의 최대편차를 (2)에 의하여 구할 수 있다.

$$\% \text{ linearity} = \frac{Y_{i \max} - m X_i}{m X_{FS}} \times 100\% \quad (2)$$

(2)에서  $Y_{i \max}$ 는 최적의 피팅 직선으로부터 최대 편차점에서 출력 전압비이고  $m X_i$ 는 최적의 피팅 직선상의 점에 일치하는 최대 편차점의 출력값이다. 그리고 최소자승에 의한 각 정보점들의 직선 피팅식은 입력을  $X_i$ , 출력을  $Y_i$ 라 했을 경우  $m$ 개의 정보점을 고려하면 (3)과 같이 정보점의 출력집합  $V_m$ 을 얻을 수 있다.

$$V_m = \{(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), (X_3, Y_3), \dots, (X_m, Y_m)\} \quad (3)$$

(3)의 정보에 대해 선형성을 가정하고 직선근사를 만족하는 일차식을 (4)로 정의한다.

$$V = e_1 l + e_2 \quad (4)$$

각 입력의 출력값  $V_{mk}$ 와 원시정보  $v$ 와의 차는 (6)으로 주어진다.

$$V_k = e_1 l_k + e_2, \quad k = 1, 2, 3, \dots, m \quad (5)$$

$$\varepsilon_k = V_{mk} - V_k \quad k = 1, 2, 3, \dots, m \quad (6)$$

(6)의 편차를 제공하여 합하면 (7)과 같이 표현할 수 있다.

$$S(e_1, e_2) = \sum_{k=1}^m (\varepsilon_k)^2 = \sum_{k=1}^m (V_{mk} - e_2 - e_1 l_k)^2 \quad (7)$$

(7)에서  $\partial S / \partial e_1 = 0, \partial S / \partial e_2 = 0$ 을 만족하는  $e_1, e_2$ 는  $S(e_1, e_2)$ 의 값을 최소가 되므로 (7)을 편미분하여 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial S(e_1, e_2)}{\partial e_2} = -\sum_{k=1}^m 2(V_{mk} - e_2 - e_1 l_k) = 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial S(e_1, e_2)}{\partial e_1} = -\sum_{k=1}^m 2l_k (V_{mk} - e_2 - e_1 l_k) = 0 \quad (9)$$

(8)과 (9)를 정리하면

$$e_2 m + e_1 \sum_{k=1}^m l_k = \sum_{k=1}^m V_{mk} \quad (10)$$

$$e_2 \sum_{k=1}^m l_k + e_1 \sum_{k=1}^m l_k^2 = \sum_{k=1}^m l_k V_{mk} \quad (11)$$

(10)과 (11)에서  $e_1$ 과  $e_2$ 에 대한 해를 구할 수 있다. 이 해를 (7)에서 실제적인 최소자승오차를 구하기 위해 이용된다.<sup>(3)</sup>

## 2.2 정확도 평가

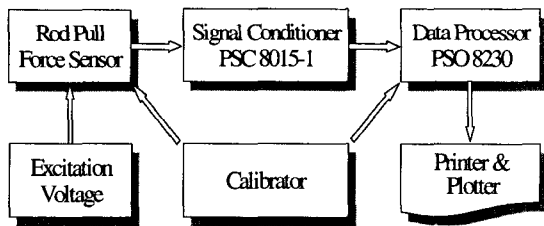
측정시스템의 전체 정확도는 부하오차와 총정적오차(total static error : TSE) 합으로 주어지며, 총정적오차는 각각의 특성오차가 서로 독립적이고, 각 오차의 크기가 비슷하며, 또 오차가 정규분포를 이루고 있는 경우에는  $rms$  오차는  $1\sigma$ 의 불확도를 의미한다. 측정시스템의 시스템오차 SE와 총정적오차 TSE는 (12)

와 (13)로 표현되며, 모든 측정시스템의 정확도 계산에 적용될 수 있다.

$$SE = LE_0 + TSE \quad (12)$$

$$TSE = \sqrt{RE^2 + \left(\sum_{i=1}^L LE_i\right)^2 + \sum_{j=1}^m EE_j^2 + \sum_{k=1}^n CE_k^2} \quad (13)$$

(13)에서 RE는 읽음오차,  $LE_i$ 는 각 구성품의 직선성오차,  $EE_j$ 는 환경오차 및  $CE_k$ 는 특성오차를 나타낸다<sup>(1)</sup>. 그리고 실제 측정시스템의 정확도를 계산하기 위하여 그림 2의 측정시스템을 가정하였을 때 센서와 신호조정기, A/D & D/A, 신호처리기 및 출력장치로 구성되어 있다.<sup>(6)</sup>



(그림 2) 당김력 측정시스템의 블록다이어그램

측정시스템의 오차항목은 표 1과 같으며, 오차항목의 오차백분율은 센서 및 측정장비의 규격에서 제시된 값을 이용하였고, 읽음오차는 측정결과가 디지털 값으로 표시되었을 때, 소수점 2자리까지 유효숫자로 표시되기 때문에  $\pm 0.01\%$ 의 오차를 갖는다. 그리고 양자화 오차는 양자화 잡음에 대한 계산으로 구하였으며, 랜덤오차는 측정에 의하여 계산된 값이다. 양자화 잡음오차는 A/D 변환기가 12bit로 되어 있기 때문에 오차백분율은 양자화된 12bit중 한자리를 고려하면  $\pm 0.02\%$ 을 얻을 수 있다. 표 1을 이용하여 구한 측정시스템의 총오차( $e_t$ )는 불확도가  $2\sigma$  일 때  $\pm 0.5\%$ 가 됨을 (14)에서 구하였다.

(표 1) 당김력 측정시스템의 오차항목

오 차 항 목		오차 백분율 (%)
reading error	RE	$\pm 0.01$
loading error	LE <sub>0</sub>	0
sensor linearity error	LE <sub>1</sub>	$\pm 0.1$
signal conditioner linearity error	LE <sub>2</sub>	$\pm 0.1$
hysteresis error	CE <sub>1</sub>	$\pm 0.03$
gain setting error	CE <sub>2</sub>	$\pm 0.08$
repeatability error	CE <sub>3</sub>	$\pm 0.03$
quantization error	CE <sub>4</sub>	$\pm 0.02$
random error	CE <sub>5</sub>	$\pm 0.01$
temperature error	EE <sub>1</sub>	$\pm 0.002$

$$e_t = \pm \left[ LE_0 + \sqrt{RE^2 + \left(\sum_{i=1}^L LE_i\right)^2 + EE_1^2 + \sum_{j=1}^5 (CE_j)^2} \right] = \pm 0.5\% \text{ 이하 } (2\sigma \text{ 기준}) \quad (14)$$

### 3. 불확도 성분의 분류와 평가<sup>(3,4,5)</sup>

#### 3.1 불확도 성분의 분류

불확도(uncertainty)의 성분을 통계적 방법으로 평가된 성분(A)과 통계적 방법이 아닌 다른 방법으로 평가된 성분(B)으로 분류하는 방법과 우연(random)과 계통(systematic)으로 분류하는 방법 사이에는 다소간의 차이가 있다. 불확도 성분의 특성은 측정과정을 나타내는 수학적 모델에 해당되는 양을 어떤 방식으로 나타내느냐에 따라 좌우된다. 측정결과에 불확도에 영향을 미치는 개개의 불확도 성분을  $u_i$ 라 하면 이것은 추정분산(estimated variance)  $u_i^2$ 의 양의 제곱근과 같다. A 범주에 속하는 불확도 성분은 통계적 추정분산의 양의 제곱근과 같은 통계적 추정 표준편차  $S_i$ 와

그 자유도  $\nu_i$ 로 나타낸다. 이러한 성분에 대해서는 표준불확도는  $u_i = s_i$ 이다. 일련의 관측(observation)을 통계적으로 처리하여 불확도를 평가하는 것은 A형이라 한다. 비슷한 방법으로 B범주에 속하는 불확도 성분은 해당 표준편차의 근사치로 간주 될 수 있는 양 ( $u_j$ ), 즉 모든 유용한 정보를 기초로 한 가상확률 분포로부터 얻어진다. A 형과 달리 관찰을 통계적으로 분석하지 않고 다른 방법으로 불확도를 평가하는 방법을 B 형 평가라 한다.

### 3.1 표준불확도의 평가

#### 3.1.1 표준불확도의 A 형

표준불확도의 A 형 평가는 데이터를 정확한 통계적 방법으로 처리하면 된다. 예로써 여러 독립된 관측의 평균표준편차를 계산한다거나 최소자승법을 사용하여 곡선을 피팅한다거나 또는 우연효과(random effect)를 도출하고 정량화하기 위해 분산분석을 실시하는 것 등이 해당된다. A 형 평가의 보기로서 같은 측정조건 아래에서 서로 독립된  $n$  개의 관측의  $X_{i,k}$ 로부터 값을 측정하는 입력량  $X_i$ 를 생각해 보면 표본평균  $x_i$ 와 (15)의 관계를 갖는다.

$$x_i = \bar{X}_i = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^n X_{i,k} \quad (15)$$

그리고  $x_i$ 와 관련되는 표준불확도  $u(x_i)$ 는 평균의 추정 표준편차로 (16)과 같다.

$$u(x_i) = s(\bar{X}_i) = \left[ \frac{1}{n(n-1)} \sum_{k=1}^n (X_{i,k} - \bar{X}_i)^2 \right]^{1/2} \quad (16)$$

#### 3.1.2 표준불확도의 B 형

표준불확도가의 B 형 평가는 지난번 측정데이터나

관련자료, 기기의 동작(behavior) 및 특성과 관련된 경험이나 일반지식, 생산자 규격(specifications), 교정 및 기타 보고서에 수록된 데이터, 핸드북으로부터 인용한 참고자료의 불확도 등을 포함한 모든 관련정보들을 사용하여 과학적인 판단함을 기본으로 한다. B 형 평가의 보기로서 하한이 이고 하한이  $a_-$  이고 상한이  $a_+$  가 되는 가정된 직사각형의 확률 분포로부터 값이 추정되는 입력량을 생각해 본다. 이 경우 입력추정치는 보통 분포의 기대치로 된다.

$$x_i = \frac{(a_+ + a_-)}{2} \quad (17)$$

그리고  $x_i$ 와 관련되는 표준불확도  $u(x_i)$ 는 분포의 양의 자승근으로 주어지며 (18)으로 된다.

$$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (18)$$

$$\text{단, } a = \frac{(a_+ - a_-)}{2}$$

#### 3.1.3 합성 표준불확도

측정결과와 합성 표준불확도는  $u_c$ 로 표현하며, 측정결과와 추정 표준편차를 의미한다.  $u_c$ 는 A 형 또는 B 형 평가로 구한 개별 표준불확도  $u_i$ 를 통상적 표준편차 결합방식을 사용하여 결합시켜서 구한다. 이 방법을 종종 불확도 전파법칙(law of propagation of uncertainty)이라 불리며, 보통 용어로는 root sum of squares 또는 RSS 방법이라 불리운다. 불확도 전파법칙은 많은 경우 측정대상(measurand)  $Y$ 는 직접 측정되지 않고  $N$  개의 다른 양 ( $X_1, X_2, \dots, X_N$ )으로부터 함수관계  $f$ 로부터 얻어진다.

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N) \quad (19)$$

$X_i$ 에는 추정보정(estimated correction)과 서로 다른 관측자, 계기, 샘플, 실험실, 관측시기 등 변화의 요인을 고려한 양이 포함되어 있다. 따라서 (19)는 단순히 물리적 법칙만 설명해서는 안되고 측정과정도 설명해야 하며, 특히 측정결과 불확도의 큰 요인이 될 수 있는 모든 양을 포함하여야 한다.  $Y$ 로 표시되는 측정대상 또는 출력량의 추정치  $y$ 는  $N$ 개의 입력량  $X_1, X_2, \dots, X_N$ 의 입력 추정값인  $x_1, x_2, \dots, x_N$ 을 이용하여 (19)로부터 얻어지며 측정결과가 되는 출력의 추정값  $y$ 는 (20)과 같이 된다.

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N) \quad (20)$$

그러나  $u_c(y)$ 로 표시되고 결과의 추정표준편차를 나타내는 측정결과  $y$ 의 합성표준불확도는 (21)의 추정분산  $u_c^2(y)$ 의 양의 제곱근이다.

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left[ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} u(x_i, x_j) \quad (21)$$

(21)은  $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$ 의 1차 테일러 급수의 근사식으로 불확도 전파의 법칙이라 부르며, 편도함

수  $\frac{\partial f}{\partial x_i}$ 는 감도계수이다.  $u(x_i)$ 는 입력 추정치  $x_i$ 와 관련된 표준불확도이며,  $u(x_i, x_j)$ 는  $x_i$ 와  $x_j$ 가 관련된 추정 공분산이다.

### 3.1.4 확장 불확도

측정결과는 불확도로 표시할 경우 대부분의 경우 합성표준편차  $u_c$ 를 사용하지만 보건이나 안전관계 등 규정과 관계된 측정, 상업적 특성, 산업측정의 경우 측정대상  $Y$ 가 확실하게 존재하는 영역을 나타

내는 방법이 필요할 경우가 있다. 이러한 요구를 충족시키기 위해 불확도를 표시하는 방법이 확장불확도이며,  $U$ 로 표시하고  $u_c(y)$ 에 적용범위 계수(coverage factor)  $k$ 를 곱하여 구한다. 따라서  $U = k u_c(y)$ ,  $y - u \leq Y \leq y + u$ 이며  $Y = y \pm U$ 로 표시된다.

$k$ 는 원하는 신뢰수준에 따라  $U = k u_c$ 가 되도록 선택되어진다.  $k$ 는 보통 2에서 3사이에서 선택되는데 정상분포가 적용되고  $u_c$ 가 무시할만한 불확도를 갖는다면  $k = 2$ 에서 약 95%,  $k = 3$ 에서 99%의 신뢰수준을 나타낸다. 정상분포에서는 기대값  $u_z$ 와 표준편차  $\sigma$ 를 갖는 양  $z$ 에 대하여 적용범위 계수  $k$ 는 (22)와 같이 표현할 수 있다.

$$z = u_z \pm k\sigma \quad (22)$$

관습적으로  $u_c$ 를 쓰도록 되어 있는 경우를 제외하고는 NIST에서는 확장불확도  $U$ 를 사용토록 한다. 현재의 세계적 추세는  $U$ 를 계산하는데  $k$ 의 값은 2로 하도록 되어 있다.  $k$ 의 값을 2로 사용하지 않을 경우는 요구조건에 미리 설정되어 있거나 기록되어 있는 특수용도에 제한된다.

### 3.1.5 불확도의 보고

$U$ 를  $k$ 와 함께 보고하거나  $u_c$ 를 보고 하도록 한다. 측정결과와 그 불확도를 보고할 때에는 표준불확도와 관련된 성분의 목록이나 성분의 자유도 및 의결 과정을 보고서에 직접 포함시키도록 한다. 성분은 양적인 값을 측정하기 위해 통계학적 방법에 따라 평가된 것이나 기타 방법으로 평가된 것에 따라 도출되어야 한다.  $k$ 의 값이 2가 아닌 경우  $k$ 의 값을 선택한 방법에 대한 내용이나 표준불확도의 각 성분들을 평

가한 방법에 대해 구체적인 내용설명을 해 주어야 한다.

$$\nu_{eff} \leq \sum_{i=1}^N \nu_i \quad (24)$$

### 3.1.6 적용범위 $k_p$ 의 계산과정

중심 극한의 정리(central limit theorem)의 모든 조건이 부합되고 측정용으로 쓰이기 위해  $k$ 가 2가 아닌 다른 값이 필요할 때 그  $k$  값이 어떤 정해진 신뢰수준을 갖는 구간에 맞아야 할 때 적용범위  $k$ 를 구하는 과정이 필요하게 된다. 신뢰수준  $P$ 에서  $Y = y \pm U_p$ 로 표시되는  $y - U_p \leq Y \leq y + U_p$ 의 구간을 정하는 확장불확도  $U_p = k_p u_c(y)$ 를 만드는  $k$ 의 값을 측정하기 위해서는  $u_c(y)$ 의 불확도를 고려하여야 한다. 그리고 정상분포의 표준편차를 측정할 때에는 표본의 크기에 좌우되는 추정의 자유도를 제일 먼저 고려하여야 한다. 합성표준불확도  $u_c(y)$ 에 대해서는 각 요소들의 자유도를 결합시킨  $u_c(y)$ 의 유효자유도(effective degree of freedom)를 먼저 고려하여야 한다. 따라서  $V_{eff}$ 는  $k_p$ 를 결정하는 주요 오소가 된다. 다음은  $k_p$ 를 계산하는 4단계 절차를 나타낸다.

- ① 불확도 전파의 법칙에서  $y$ 와  $u_c(y)$ 를 구한다.
- ② Welch-Satterthwaite 공식으로부터  $u_c(y)$ 의 유효 자유도를 추정한다.

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4(b)}{\sum_{i=0}^N \frac{c_i^4 u^4(x_i)}{\nu_i}} \quad (23)$$

여기서  $c_i \equiv \partial f / \partial x_i$ 이며, 모든  $u(x_i)$ 는 통계적으로 상호 독립적이고  $\nu_i$ 는  $u(x_i)$ 의 자유도이며 (24)의 조건을 만족한다.

A형 평가로부터 구해진 표준불확도  $u(x_i)$ 의 자유도는 적절한 통계적 방법에 따라 결정되며  $x_i = \overline{X}_i$ ,  $u(x_i) = s(\overline{X}_i)$ 가 되는  $u(x_i)$ 의 자유도  $\nu_i = n - 1$ 이 된다. 그리고  $m$ 개의 변수가 최소승법으로  $n$ 개의 데이터 점으로 피팅된 곡선에 의해 추정될 경우 각 변수의 표준불확도는  $n - m$ 이 된다.

- ③ 시간분포로부터 나온  $t_p(\nu_{eff})$  값은 표로부터 요구 신뢰수준  $P$ 에 해당되는  $t$ -factor  $t_p(\nu_{eff})$ 를 구한다. 만약  $\nu_{eff}$ 가 정수가 아닌 경우는  $\nu_{eff}$ 보다 적은 최대정수로 보간시키거나 끊어버린다.
- ④  $k_p = t_p(\nu_{eff})$ 를 택하고  $U_p = k_p u_c(y)$ 를 계산한다.

## 4. 측정기법 공인화

측정기법의 공인화 목적은 사용되고 있는 측정장비와 센서류 및 측정알고리즘에 대한 공신력을 얻는데 있다. 일반적으로 측정기기는 국내외에서 구입하거나 자체 제작하여 사용할 수 있다. 그런데 구매되는 장비는 장비자체의 규격(specifications)만이 주어지고 있으므로 실제 측정에 적용되었을 때 측정정확도는 본 논문의 2장에서 제시된 정확도평가 이론을 적용하여 계산하여야 한다. 그런데 측정시스템은 연구용이거나 아니면 측정대상물의 성능을 평가하기 위해 사용되고 있으므로 측정결과 자료를 제시할 때 측정의 정확도를 제시하여야 한다.

아직까지 측정시스템에 대한 측정정확도나 측정알



고리즘의 타당성에 대해 인정기관이 국내에 없는 실정이다. 그러므로 국가표준기관인 한국표준과학연구원이나 중소기업청의 국립기술품질원 및 ISO-9000 한국지사인 큐에스의 의견을 토대로 작성된 측정기법에 대한 공인화과정을 제안하고자 한다. 먼저 표준과학연구원이나 중소기업청 국립기술품질원의 의견은 다음과 같다.

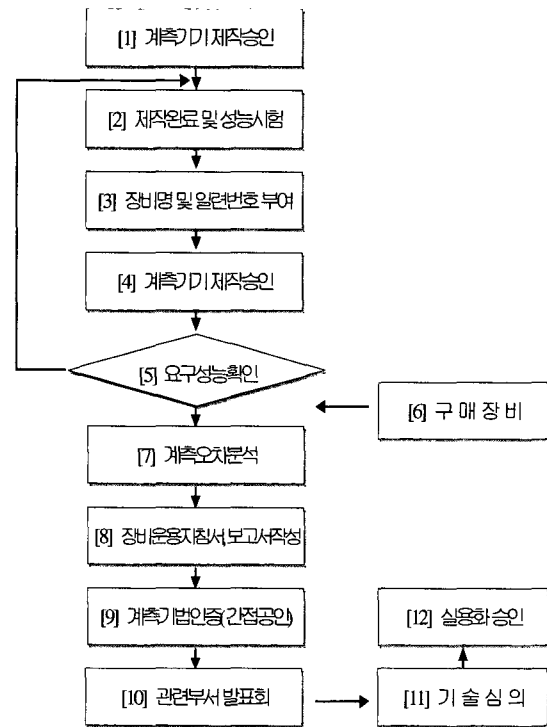
- 측정장비 및 센서류의 정확도를 위한 교정검사와 성능을 위한 시험검사 결과는 국가공인성을 갖는다.
- 측정기법을 학회 논문게재 혹은 특허등록시 간접 국가공인으로 볼 수 있다.

위에서 언급한 2가지의 내용을 근거하여 측정시스템의 공인화 절차는 그림 3과 같다.

#### 4.1 공인화 절차<sup>(7)</sup>

검사의뢰는 제작완료된 측정장비 및 센서들의 전기적 및 기계적 특성과 환경적용 성능을 확인하기 위하여 국가공인기관인 한국표준과학연구원 등에 검사 의뢰한다. 요구 성능확인 은 제작을 위해 설계목적에 부합되는지 최종검사 의뢰결과를 가지고 확인하며, 불만족 때는 설계 및 제작과정을 재 검토하여 요구성능을 만족하도록 한다.

구매장비는 자체 제작이 아닌 국내 혹은 국외에서 구매되는 장비를 말한다. 그리고 측정오차 분석은 제작 및 구매장비를 실제 측정에 적용되었을 때 장비의 고유오차, 환경오차, 측정기법 및 측정자 오차 등을 분석하고 최대 측정오차율을 계산한다. 측정기법에 관한 인증은 개발 및 연구된 측정기법을 전문학회 발표 및 게재하여 측정기법을 인증받는다. 단, 외국 연구기관 및 시험장에서 기 사용중인 측정기법은 제외한다. 그리고 연구개발된 측정기기에 대한 성능결과



(그림 3) 공인절차

를 관련부서에 발표한다. 연구개발된 측정기기의 사용여부는 사업책임자가 임명하는 전문요원에 의하여 심의한다. 최종적으로 위에서 얻은 특성검사서, 환경검사서, 측정정확도 분석결과, 학회논문게재 결과, 정비운용지침서 및 보고서를 근거하여 사업책임자의 승인을 받는다.

#### 5. 맺음말

본 연구에서 측정시스템의 정확도를 평가하기 위하여 부하오차와 정적오차 및 동적오차 등을 분석하고 실제 측정에서 항상 존재할 수 있는 정적오차를 구하는 오차방정식을 정립하였으며, 이 때 제시되어야 할 측정의 불확도에 대한 성분의 분류와 평가방법 등을 소개하였다. 그리고 관습적으로  $u_c$  를 적용하고 있는

것을 제외하고는 NIST에서 확장불확도  $U$ 를 사용하도록 되어 있는 내용과  $U$ 를 계산하는데 세계적 추세는 적용범위 계수가 2인 것을 밝혀두었다. 그리고 측정시스템의 공인화와 관련하여 국가공인 가능항목과 간접국가공인 항목을 분리하여 공인절차를 정립하였다.

그러므로 본 논문에서 제시한 측정정확도와 불확도 설정내용과 장비와 센서의 특성 및 환경시험 성적서 및 학회논문 게재 등으로 측정시스템과 측정기법에 대한 인증을 받을 수 있게 될 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

1. Edward E. Herceg, Handbook of Measurement and Control, Schacvitz Engineering Pennsauken, N. J. pp. 3-1-3-16, pp. 14-1-14-14.
2. Barry N. Taylor and Chris E. Kuyatt Guide Lines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Result, NIST Technical Note 1297, pp. 1-25, 1992.
3. 최주호, 銃砲 駐退裝置의 計測과 LVDT 센서의 直線性誤差 補正, 충남대학교 박사학위 논문, pp 57-60, 1999. 8.
4. Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement ISO Reference 17025.
5. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement ISO Reference.
6. 최주호, 황의성, 홍성수, 유준, 선형변이 차동변압기 센서의 직선성오차 보정기법, 제어자동화시스템 공학회 논문지 1차 심사 완료, 1999. 6.
7. 최주호, 측정기기 운용절차, 국방과학연구소 종합시험단 기술메모, pp 2-8, 1996.