

# 자동차용 스프링클램프 조임력 자동측정시스템의 개발

오기석\*, 조명우\*\*, 서태일\*\*\*

## Development of the Effective Clamping Force Measuring System for Spring Clamp

Ki-Seok Oh\*, Myeong-Woo Cho\*\* and Tae-II Seo\*\*\*

### ABSTRACT

The purpose of this study is to develop an improved measuring system, which allows for effectively measure spring clamping forces. This system consists of eight or twelve measuring points in order to acquire the clamping force distribution of the whole range of spring clamp. Each measuring point consists of load cells equipped with 4 strain gauges. Using different bearings, we calibrate the roundness of the measuring points. For quality control and database construction, a software system is established. Furthermore, uncertainty is calculated to validate the confidence of this system. Various experiments confirm the effectiveness of this measuring system.

**Key Words** : Spring Clamp(스프링클램프), Clamping force measuring device(조임력 측정기), Roundness(진원도), Calibration(교정), Uncertainty(불확도)

### 1. 서론

현재 많은 종류의 클램프(clamp)가 부품조립과정에서 사용되고 있으며, 그 중에서도 조립이 간단한 스프링클램프(spring clamp)가 조립공정에서의 생산성향상에 크게 기여하고 있다. 이 스프링클램프는 외력에 의해 변형된 후 그 힘이 제거될 때의 탄성회복력으로 체결된다. 따라서 이러한 스프링클램프의 개발에 있어서 변형분석을 통한 진원도 및 클램프 조임력분포의 해석이 필수적이다. 그러나 국내에서 사용되고 있는 스프링클램프 조임

력 측정기(clamping force measuring device)는 로드셀이 부착된 3점에서 측정하도록 되어 있어서, 조임력의 분포해석은 물론 클램프 자체의 진원도조차 무시하고 성능을 평가하고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 클램프 조임력 분포 해석에 중점을 두어 측정점의 개수를 증가시킨 측정기를 개발하였고, 효율적 측정과 동시에 측정결과 데이터베이스를 구축함으로써 측정과 분리되어 있는 품질관리 및 제품개발을 통합하는 시스템을 구축하여 국산 스프링클램프의 품질향상을 꾀하였다. 또한 스프링클램프 조임력 측정기의 교정방법

\* 인하대학교 기계공학과 대학원  
\*\* 인하대학교 기계공학과  
\*\*\* 인하대학교 기계기술공동연구소

(calibration method)을 제시하였고, 제시된 교정방법에 의한 교정값을 불확도(uncertainty) 이론식에 대입하여 확장불확도(expanded uncertainty)를 계산하여 본 측정기에 대한 신뢰도를 검증하였다.

## 2. 측정시스템의 구조

조임력 측정기의 측정대상물인 스프링클램프는 Fig. 1과 같이 원통형의 기본 구조를 가지고 있으며, 변형력이 제거된 후 탄성복원력에 의해 체결되므로, 본래 기능인 기밀유지를 위해서는 클램프 전반에 걸쳐 균일한 조임력의 작용이 매우 중요하다. 따라서 조임력 측정기 제작에 있어 측정점들의 진원도가 가장 중요한 요소라 할 수 있다.



Fig. 1 Spring clamp

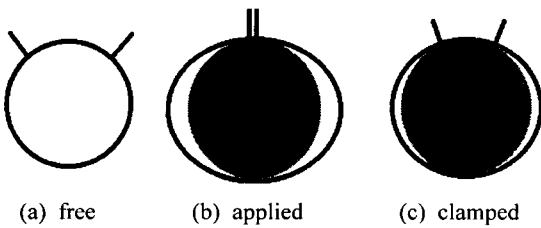


Fig. 2 Transformed shape of the clamp

Fig. 2는 클램프의 체결과정에 따른 변형모양을 보여준다. 현재 현장에서 사용되고 있는 측정기는 Fig. 3과 같이 전체를 3점에서 측정하고 있기 때문에 클램프의 진원도에 관계없이 3점 모두 측정대상인 클램프와 접촉하게 된다. 이 경우 클램프전체에 대한 조임력의 분포는 무시되므로 전반적으로 균일한 조임력을 가진 클램프의 개발에 부합되는 측정이라 할 수 없다. 따라서 본 조임력 측정기 개발에서는 8점과 12점의 측정점을 갖는

측정구조를 Fig.4와 같은 이론에 입각한 설계를 통해 클램프에 대한 조임력 측정과 동시에 클램프 전반에 걸친 조임력 분포도 측정할 수 있는 측정기를 제작하였다.

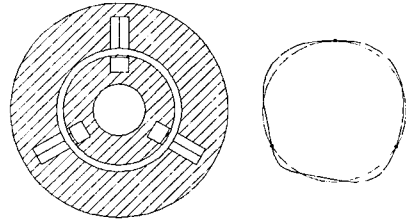


Fig. 3 3 points measuring disregard to the roundness of the clamp

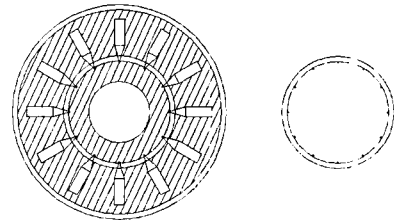


Fig. 4 12 points measuring regard to the roundness of the clamp

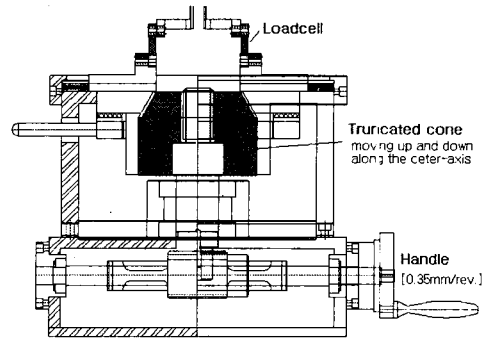


Fig. 5 The measuring system structure

측정기 구동은 Fig. 5에서 보는 바와 같이 핸들 조작에 의해 중앙축이 회전하며, 중앙축 상부에 결합되어 있는 원뿔대가 축을 따라 상승 또는 하강하면서 각 측정점에 장착된 30Kg 용량의 로드셀(Fig. 6)을 원주방향으로 이동시킨다. 각 로드셀의 출력은 신호변환기를 거쳐 PC에 장착된 A/D보드로 입력된다. Fig. 7는 전체 시스템의 개요도이다.

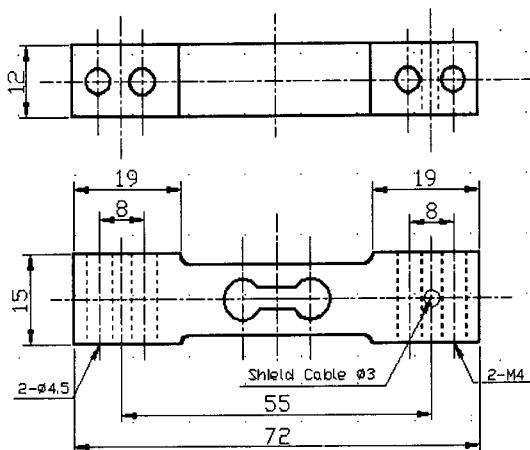


Fig. 6 Load cell equipped 4 strain gauges

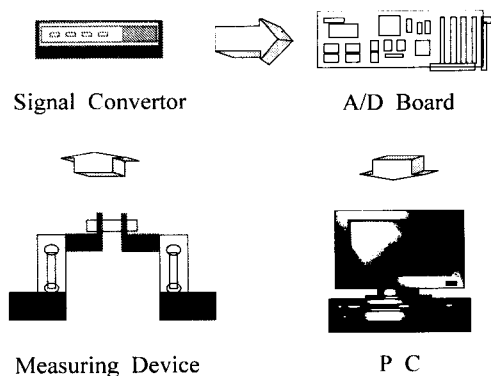


Fig. 7 The measuring system structure

위와 같은 하드웨어를 뒷받침하는 소프트웨어로는 측정결과를 받아들이는 측정프로그램(Fig. 8)과 측정결과를 조합하는 데이터베이스 프로그램(Fig. 9)으로 이루어져 있다. 측정프로그램에서는 얻어진 결과는 데이터베이스 프로그램에서 제품개발 및 품질관리에 필요한 계산 및 측정결과 시각화에 이용된다.

### 3. 교정 방법

스프링클램프 조임력 측정기의 교정단계는 측정기에 하중을 가하고 결과값을 측정하여 하중을 측정할 때 사용될 수 있도록 처리하는 작업이다.

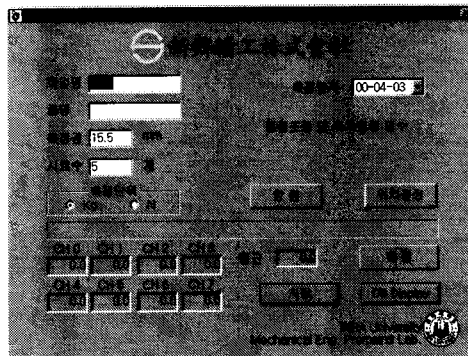


Fig. 8 Program for measurement

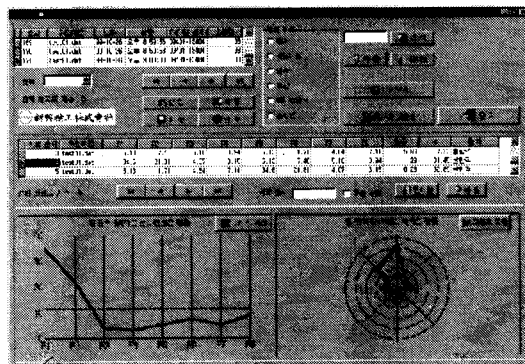


Fig. 9 Database program

독립적인 하중을 측정하는 측정기 교정의 경우, 실하중 힘표준기를 이용하여 직접 표준 하중을 가함으로써 신뢰성있는 교정을 행할 수 있으나<sup>[4,5]</sup> 조임력측정기의 경우는 측정대상물인 스프링클램프의 하중특성상 표준하중수립이 중요하다.

클램프는 측정점과 접촉하여 수축하면서 원주방향의 힘을 발생시키는데, 이를 조임력으로 집중시키기 위하여 측정핀 접촉부를 원형으로 가공하여 측정점과 클램프와의 접촉축을 유도함으로써 원주방향의 힘과 탄성체 변형특성상 발생할 수 있는 측정점 간의 간섭력을 조임력으로 통합하였다.

클램프 조임력측정기 교정은 기계부품 중 진원도를 가장 신뢰할 수 있는 베어링을 이용하였다. 진원도 측정기를 이용하여 교정기준으로 사용될 지름 32mm 베어링의 진원도 측정결과를 Fig. 10과 같고, 교정에 사용된 베어링의 진원도는 평균 2.434  $\mu\text{m}$  로 교정용 기준으로 사용하는 데 충분했다.

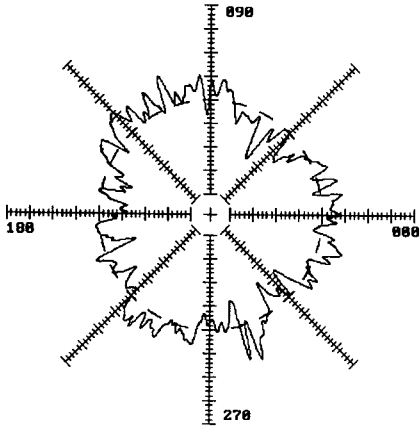


Fig. 10 Roundness of the 32mm bearing used as the calibration ring (0.1  $\mu\text{m}/\text{grad}$ )

### 3.1 교정 하중점 선정

교정 하중점은 클램프가 각 측정점에서 3Kg에서 25Kg까지의 하중범위를 가지나, 진원도를 유지하면서 각 측정점에 하중을 가하는 것이 불가능하므로 교정용 링인 베어링을 체결한 후 8개 또는 12개의 측정점이 모두 접촉하는 지점을 기준으로 각 측정점들을 동시에 단계별로 확장시키면서 총 11개의 교정하중위치를 선정하였다.

### 3.2 교정

각 교정하중점에서 5회 교정한다. 교정시마다 사전부하를 실시하며 교정용 베어링을 무작위로 회전시켜 측정기의 제작정도, 즉 접촉부, 이송부 및 전체 형상의 가공정도에 따른 오차를 불확도 계산에 포함시켰으며, 각 측정점의 하중기여도를 산출하여 실제 측정시 각 측정점의 지시하중에 적용하여 교정한다.

## 4. 불확도 이론<sup>1,2)</sup>

측정결과의 불확도는 측정량의 값을 정확하게 알 수 없다는 사실을 반영한다. 불확도는 필연적으로 우연오차(possible random error) 발생효과인 우연효과로 발생하는 우연불확도나 계통오차(systematic error) 발생효과인 계통효과로 발생하는 계통불확도를 포함한다. 우연효과는 측정량을 반복측정할 때 그 값이 변동하는 원인이 되는데, 이

를 보정할 수는 없으나, 관측의 횟수를 늘림으로써 줄일 수는 있다. 계통효과와 계통효과로부터 생긴다면, 그 효과는 정량화될 수 있고, 무시할 수 없는 정도의 크기라면, 이를 보정하기 위해 보정값이나 보정인자를 적용할 수 있다. 이러한 불확도는 측정결과에 관하여, 측정량을 합리적으로 측정된 값의 분산특성을 나타내는 파라미터로 정의한다.

스프링클램프 조임력 측정기의 불확도계산은 1993년 국제표준화기구(ISO)의 지침에 기본을 두고, 반복측정결과를 통계적 방법으로 평가하는 A형 표준불확도(standard uncertainty)와 A형 표준불확도를 평가한 이외의 방법으로 평가한 B형 표준불확도를 평가하여 이 둘을 합성한 합성표준불확도를 계산한 후, 이에 신뢰도계수를 곱하여 확장 불확도를 계산한다.

### 4.1 교정하중위치에서의 순 지시값

교정하중위치에서 스프링클램프 조임력 측정기의 지시계는 무하중상태의 로드셀 신호를 기준으로 교정하중 부하상태의 신호로 계산되며, 이에 전체 시스템의 오차성분에 의한 진원도 오차를 보상해주기 위한 각 점들의 하중기여도로 나누어 산출하며, 그 값은 식(1)에 의해 계산된다.

$$f = \frac{(V - V_0)}{0.18 r} \quad (1)$$

여기서  $f$ : 교정위치에서 순 지시값

$V$ : 교정위치에서 하중부하시 출력전압

$V_0$ : 교정위치에서 무하중 출력전압

0.18 : 하중 1Kg당 로드셀 출력전압

$r$ : 교정위치에서 위치별 하중기여도

### 4.2 교정곡선

교정곡선식은 본 조임력 측정기의 지시값과 하중과의 관계를 이용하여 각 측정점 별로 계산되며, 교정하중 외의 하중을 측정할 때 사용된다. 교정곡선은 차수를 높일수록 정확할 수 있으나 3차 이상의 식은 매우 복잡하여 2차식으로 계산하였으며, 그 표현은 식(2)와 같이 표현할 수 있다.

$$d = af + bf^2 \quad (2)$$

여기서  $d$  : 교정곡선으로 계산된 교정값  
 $f$  : 교정하중위치에서의 실하중  
 $a, b$  : 최소자승법으로 결정된 계수

**4.3 A형 표준불확도**

교정하중점 각 단계에서의 A형 표준불확도  $u_A$ 는 반복측정 결과를 통계적 방법으로 평가하며, 교정곡선, 표준편차 등을 고려하며, 그 식(3)과 같이 표현할 수 있다.

$$u_A = \sqrt{f^2 u_a^2 + f^4 u_b^2 + 2f^3 u_a u_b \gamma_{ab}} \quad (3)$$

여기서  $u_a$  : 계수 a의 표준편차  
 $u_b$  : 계수 b의 표준편차  
 $\gamma_{ab}$  : 계수 a, b의 상관계수

$$\gamma_{ab} = \frac{-\sum f^{\beta}}{\sqrt{\sum f^{\beta} \sum f^{\beta}}}$$

**4.4 B형 표준불확도**

A형 표준불확도를 평가한 이외의 방법으로 B형 표준불확도를 평가한다. B형 표준불확도  $u_B$ 는 교정에 사용된 힘 표준기의 불확도  $u_f$ 와 지시계의 분해능에 의한 불확도  $u_r$  및 영점불확도  $u_z$ 을 합성하여 계산하나, 본 교정에서 힘 표준기를 사용하지 않았으므로, 힘 표준기의 불확도  $u_f$ 는 무시하였으며, 식(4)와 같이 계산할 수 있다.

$$u_B = \sqrt{u_r^2 + u_z^2} \quad (4)$$

여기서

$$u_r = \sqrt{\frac{r^2}{12}}$$

$r$  : 지시계의 분해능 (여기선 0.001 )

$$u_z = \sqrt{\frac{(d_f - d_o)_{\max}^2}{12}}$$

$d_f$  : 교정시 하중제거한 후 지시값

$d_o$  : 교정에서 교정시작 전에 측정된 지시값

**4.5 합성 표준불확도**

합성 표준불확도의 계산은 A형 표준불확도  $u_A$ 와 B형 표준불확도  $u_B$ 를 합성하여 계산되며, 식 (5)과 같다.

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (5)$$

**4.6 확장불확도**

확장불확도는 조임력 측정기의 신뢰도를 확보하기 위해 신뢰도계수를 합성표준불확도에 곱하여 계산한다. 그 식(6)과 같이 표현할 수 있다.

$$U = k \cdot u_c \quad (6)$$

여기서  $k$ 는 신뢰도계수로 ISO에서는 신뢰도 계수  $k = 2$  (신뢰수준 95.46%)를 권장하고 있다.

**5. 실험결과 및 고찰**

스프링클램프 조임력측정기는 30Kg 용량의 로드셀을 장착하였다. Fig. 11은 12점 조임력 측정기에 클램프가 체결된 상태를 나타내고 있다. 실제 클램프가 사용되는 조건을 만족시키기 위해 측정편과 클램프 사이에 고무호스를 삽입하여 측정해보았으나, 호스의 특성에 따라 결과치가 변하므로 클램프 자체의 조임력 측정을 위해서는 부적합한 것으로 판단하여 호스없이 직접 측정하였다.



Fig. 11 Clamping force measuring device with applied clamp

진원도 보상을 위해 “3.교정방법”에 의거하여 측정범위 내에서 히스테리시스를 배제하고 교정시 힘을 각 5회 실시하여 각 측정점의 교정곡선식을 결정하였다. 지름 32mm 베어링을 이용한 12점 측정기의 각 측정점의 교정곡선식은 식(7)과 같다.

$$\begin{aligned}
 d_0 &= 0.998805344 F - 0.000467848 F^2 \\
 d_1 &= 0.982591152 F + 0.001321199 F^2 \\
 d_2 &= 0.983291924 F + 0.000881678 F^2 \\
 d_3 &= 1.003238320 F - 0.000029188 F^2 \\
 d_4 &= 1.017622352 F - 0.001527485 F^2 \\
 d_5 &= 0.943144441 F + 0.002703615 F^2 \\
 d_6 &= 1.038689494 F - 0.001335036 F^2 \\
 d_7 &= 0.989109218 F + 0.000124673 F^2 \\
 d_8 &= 0.959624469 F + 0.001422393 F^2 \\
 d_9 &= 1.034849882 F - 0.000954003 F^2 \\
 d_{10} &= 1.015607595 F - 0.001605972 F^2 \\
 d_{11} &= 1.003290653 F + 0.000045803 F^2
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

교정곡선식은 교정하중 이외의 하중을 측정할 때, 각 측정점 별로 사용된다. Table 1 은 32mm 지름의 베어링을 이용한 12점 측정기의 교정값이다. 교정에 있어서 각 교정하중점에서 5회씩 측정하여 그 평균값을 그 지시값으로 사용하였으며, 각 측정위치의 평균하중을 표준하중으로 가정하고 불확도를 산출하였다.

Table 1 Calibration values for dia. 32mm bearing

Pos.	Standard Value & Indicated Value [Kg]										
	2.89	4.52	5.64	6.80	7.98	9.43	11.70	14.43	17.12	20.05	23.33
0°	2.92	4.64	5.64	6.71	8.13	9.70	11.73	14.49	17.19	20.08	23.79
30°	2.89	4.60	5.87	6.88	8.03	9.41	11.81	14.26	16.98	19.90	23.07
60°	2.87	4.44	5.73	6.91	7.90	9.48	11.77	14.64	17.03	20.53	22.87
90°	2.90	4.52	5.66	6.77	7.93	9.37	11.66	14.70	16.83	19.86	23.38
120°	2.83	4.56	5.47	6.75	7.92	9.37	11.62	14.78	17.21	20.22	23.80
150°	3.13	4.72	5.86	7.07	8.35	9.68	11.98	14.85	17.15	19.91	23.34
180°	2.83	4.41	5.26	6.36	7.79	9.15	11.40	14.39	16.96	19.88	22.97
210°	2.87	4.41	5.60	6.91	8.28	9.40	12.13	14.66	16.82	20.28	23.58
240°	3.00	4.53	5.85	6.85	8.27	9.65	11.90	14.82	17.70	20.17	23.40
270°	2.63	4.30	5.64	6.68	7.55	8.99	11.44	14.23	17.07	19.78	22.85
300°	2.93	4.34	5.35	6.55	8.13	9.65	11.80	14.56	17.22	20.50	23.81
330°	2.98	4.85	5.75	6.68	7.94	9.23	11.62	14.24	17.17	19.86	23.31

Table 2 Uncertainty for dia. 32mm bearing

Measuring Location	Standard Deviation [Kg]	Expanded Uncertainty [Kg]
0°	0.230	0.105
30°	0.156	0.084
60°	0.405	0.170
90°	0.252	0.112
120°	0.201	0.100
150°	0.212	0.099
180°	0.272	0.122
210°	0.373	0.159
240°	0.250	0.107
270°	0.305	0.135
300°	0.284	0.126
330°	0.280	0.123

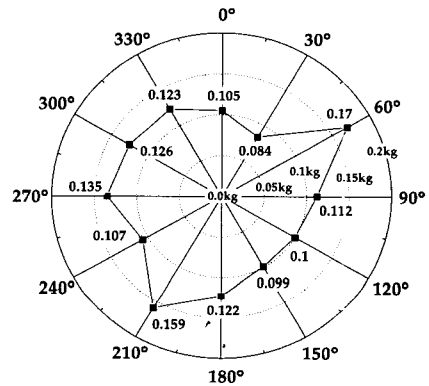


Fig. 12 Uncertainty at each measuring point

교정 및 불확도계산은 8점 측정기의 경우, 지름 10mm, 15mm, 17mm, 20mm, 22mm, 25mm에서, 12점 측정기의 경우, 지름 25mm, 28mm, 30mm, 32mm, 35mm, 40mm, 45mm, 50mm에서 행하였다.

## 6. 결론

본 논문에서는 자동차용 부품으로 조립과정에서 생산성 향상에 크게 기여하는 스프링클램프의 제품개발에 사용될 조임력 자동측정시스템을 개발하여, 신뢰성있는 측정이 가능하도록 하였으며, 측정과 품질관리 및 제품개발을 동시에 관리할 수 있는 통합시스템을 구축하였다.

본 측정기의 특성에 맞게 교정하는 방법을 제시하였고, 확장불확도를 계산하였다. 제시한 12점 측정기를 계산한 결과, 60° 위치에서 확장불확도

Table 2 는 32mm 지름의 베어링을 이용한 12점 측정기의 각 측정점에서의 불확도 성분들의 계산값이다. Fig. 12는 각 측정점의 불확도를 나타낸다. 본 조임력 측정기의 정밀도는 1/100 Kg으로 불확도 산출에서는 소수점 3자리로 나타내었다.

는 0.170kg로 가장 크게 나타났으며, 30° 위치에서 0.084kg로 가장 작게 나타났다. 본 논문에서 제시한 교정방법과 불확도 이론에 입각한 불확도 계산은 원심방향으로 작용하는 힘을 측정하는 측정기를 교정하고 확장불확도를 계산하는데 유용하게 사용될 수 있다.

### 참고문헌

1. 정낙삼외 8명, "측정불확도 표현지침 (KRISS-98-096-SP)," 한국표준과학연구원, pp. 1~40, 1998.
2. 김갑순외 4명, "전기식 힘측정기의 표준교정절차 (KASTO 97-07-107-107)," 한국측정기기교정협회, pp. 3~19, 1997.
3. 안중찬외 3명, "측정결과의 불확도 평가와 표현 (KRISS)," 한국표준과학연구원. pp. 1~13, 1998.
4. C Xu, "A practical model for uncertainty evaluation in force measurements," Measurement Science & Technology, Vol. 9, No. 11, pp. 1831~1836, 1998.
5. G. LEE, "An Analytical Assessment of Measurement Uncertainty in Precision Inspection and Machine Calibration," International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 37, No. 3, pp. 263~267, 1997.
6. H. Lira, "Evaluation of the uncertainty associated with a measurement result not corrected for systematic effects," Measurement Science & Technology, Vol. 9, No. 6, pp. 1010~1011, 1998.