

## 인터넷을 이용한 표준분동 교정 활용

이우갑\*, 정진완, 김광표 (한국표준과학연구원)

### Mass Standards Calibration through Internet

W. G. Lee\*, J. W. Chung, K. P. Kim(Korea Research Institute of Standards and Science)

#### ABSTRACT

Information technology has enabled mass standards calibration to be performed through internet. For this, an automatic weight handler was manufactured. During the operation the images of weight operation and the system are provided via the measurement system and a web server. The measurement system consists of a balance, a weight handler, instruments for environment measurement and a PC. The weight handler automatically loads and unloads weights on and from the weighing pan. The weight handler allows 6 series weights to be operated for weight calibration of 100-50-20-20-10-10 gram series weight. This capability could be used for "remote training" for series weight calibration.

**Key Words** : Mass standards (질량 표준), Mass calibration design (질량 교정 설계), Remote training (원격 교육)

#### 1. 서론

정보기술의 발달로 질량 표준 분동의 교정이 인터넷을 통하여 수행될 수 있게 되었다. 이따로 조작자의 간섭 없이 분동이 자동으로 옮겨지도록 장치가 고안되고 이 장치에 web server 가 연동되어 원격으로 질량 측정 교육이 수행될 수 있게 되었다. Web 상에서 접속되고 측정 장치와 연결되어 저울을 조작하고 측정 결과를 얻고 그 결과를 처리하여 교정 성적서 값을 얻을 수 있게 된다. 조작중에 실험 장치의 화면과 저울 펜 위에 놓인 분동의 움직임이 보이는 화면이 제공된다. 시스템은 크게 측정 제어 계와 web server 로 구성된다. 측정 제어계는 PC 에 저울, 분동 교환 장치, 환경 측정 기기들이 연결되어있다.

분동 교환 장치는 본 연구 인터넷 web 환경에서 분동을 자동으로 장진하고 내리기 위하여 제작되었다. 제작된 분동 교환 장치는 수동 작업의 표준편차 123 마이크로그램보다 매우 적은 22 마이크로그램의 표준편차를 제공한다. 분동 교환 장치의 주요 부분으로 사다리꼴 모양의 분동 받침판이 있다. 이 판은 수직으로 6개가 연결되어 각각의

받침판 위에 분동을 올릴 수 있다. 네귀 오차를 줄이도록 설계되어 분동 장진 위치에 따른 질량 측정값의 변화가 최소가 되도록 하였다. 받침판 위에 스테핑 모터로 수직으로 움직이는 이동 판에 의하여 분동이 올려지고 내려진다. 이동 판에는 leaf spring이 연결되어 마찰 저항을 줄이도록 하였으며 LED position sensor로 위치가 제어된다.

제어 시스템은 분동 교환 장치, 저울을 제어하고 데이터 전송을 담당한다. 인터넷 신호에 의하여 분동 교환 장치를 통하여 분동이 올려지고 내려진다. 분동 측정 사이의 시간 간격도 제어된다. 데이터 전송장치는 저울 질량, 온도, 습도, 대기압 지시값을 전송한다. Web server를 통하여 고객이 시스템에 접속하고 web camera로 화상을 전송하고 명령을 교환한다. 시스템의 안정성을 높이기 위하여 방화벽이 설치되어 있다.

분동 교환 장치가 하나뿐이어서 한 고객만 접속이 허용되므로 EXPERT 프로그램이 제작되어 분동 교환 장치를 실험하는 고객 이외의 접속자는 모사된 프로그램을 이용하여 질량 측정 과정을 연습할 수 있게 된다. 이 교육 시스템은 시리즈 분동 교정 기술을 습득할 수 있도록 하였다. 시리즈 교정에서

표준 분동은 자신의 질량 표준값을 10-5-2-2-1 시리즈 분동에 전파 보급한다. 직교성을 갖는 최적의 교정 설계로 교정이 수행되도록 유도된다.

## 2. 시리즈 분동 교정

질량 표준 분동은 5-3-2-1 혹은 5-2-2-1 시리즈 등으로 구성되어 있다. 이들 분동을 조합하여 1에서 10까지의 질량을 나타낼 수 있다. 이들 시리즈 분동의 구성 요소인 각 표준 분동의 질량값은 주로 1 kg 표준 분동으로부터 표준이 파급된다. 이때 측정 회수, 분산, 공분산, 각 요소 측정 사이의 고른 분포, 각 분동의 측정 회수의 고른 분포 등을 고려하여 최적의 측정 방법을 찾는 과정을 “교정 설계 calibration design” 이라고 한다. 이름값이 큰 표준 분동으로부터 작은 분동으로 표준이 파급될 때에 최적 교정 설계는 Table 1에 보여지는 바와 같다. 1 kg 표준분동으로부터 표준이 보급된 100 g 분동이 다시 표본 분동이되어 이하의 50, 20, 20\*, 10, 10\* 분동의 질량을 결정하게 된다. 전체 측정은 12 회의 측정으로 이루어졌다. 각 회의 측정은 다시 각 측정에서 기준분동과 시험분동으로 나누어져 질량 차이를 측정한다. 예로 측정번호 5에서 기준 분동은 분동 (20, 10)의 조합이고 시험 분동은 (20\*, 10\*)의 조합이 된다. 각 회의 측정값들은 구속 조건이 있는 경우의 최소자승법의 하나인 Lagrangian multipliers 방법을 이용하여 각 분동의 질량 값을 결정하는데 사용된다.

이 질량 결정 방법은 질량 표준 보급의 핵심 기술로 근래에 개발 도상국들에서 본 한국표준과학연구원으로 기술을 습득하기 위하여 방문하고 있다. 또한 근래 수년 전부터 국내의 교정검사기관을 위하여 본 원에서 제공하는 “기술자 교육 과정” 혹은 “전문가 교육 과정”에 이 질량 교정 설계 과정을 포함하고 있다. 그러나 이 내용이 다소 수학적이고 통계학적인 내용을 포함하여 입문자들에게 쉬운 과정이 아니다. 따라서 근래의 발달된 정보 기술을 이용하여 실험을 동반한 원격 인터넷 교육으로 이 교육을 제공하고자 하였다.

## 3. 시스템의 구성

### 3.1 전체 시스템의 구성

원격 질량 측정 시스템의 주요 구성 장치는 분동의 질량 값을 비교하는 저울 (Mettler-Toledo 사의 AT201)과 분동들이 로딩되는 pan, 분동들을 pan에 loading, unloading 하는 6개의 분동교환장치(weight handler), 분동 교환장치를 구동하는 스텝 모터와 모터 제어기로 구성되어 있다. 부수적인 장치로는

주위 환경 (온도, 습도, 압력)을 측정하는 측정 센서, 공기의 흐름을 막기 위한 chamber, 외부의 진동을 차단하기 위한 석정반으로 구성된다. Fig. 1은 원격 질량 측정 시스템의 장치들을 보여준다. 오른쪽에 분동교환장치가 보이며 그 위에 저울이 놓여 있다.

### 3.2 분동 교환장치 및 질량 비교기

분동 교환장치는 사다리꼴 모양으로 6개의 분동을 loading, unloading 할 수 있다. 이 분동 교환장치는 스텝 모터, 축, 캠에 수평하게 장착되어 있으며 축에 연결되어있는 캠의 높이 차이에 의하여 상하 반복 운동을 한다. 이 때 캠에 의한 상하 반복 운동은 각 운동을 일으키는데 본 시스템에서는 분동이 pan에 loading, unloading 시에 수평한 상태에서 수직하게 loading, unloading 되어야 한다. 각 운동의 오차를 줄이고 수직 상하 반복 운동을 행하기 위하여 판 스프링을 장착하여 각 운동을 수직 상하 운동으로 변환시켰다.

분동을 pan에 loading, unloading 시 분동 교환장치의 최상점과 최하점 결정은 캠의 최상점과 최하점 결정 후 같은 위치에 반복적으로 구동하기 위해 스텝 모터의 기본각을 이용하여 100 스텝으로 하였으며 기계적인 오류로 인한 오차를 보정하기 위하여 위치센서를 이용하였다. 사용된 질량비교기는 Mettler-Toledo 사의 모델 AT201이며 최대 용량 205 g, 최소눈금 0.01 mg, 안정 시간 12 초의 특성을 갖는다.

### 3.3 제어 프로그램 및 웹(online) 서버 구축

분동 교환장치의 제어 프로그램은 모터 제어를 이용하여 스텝 모터를 구동하여 시험분동과 표준 분동을 pan에 loading, unloading 되도록 명령을 전달한다. 이 교환 제어 프로그램은 다시 다섯 부분으로 구성된다. 즉 loading 하고자 하는 분동을 선정하는 loading check 부, unloading 하고자 하는 분동들을 선정하는 unloading check 부, 구동 명령을 주는 loading switch 와 unloading switch, 초기화 상태를 만들어주는 initialize switch 로 구성되어 있다. 질량비교기에서 측정된 데이터 값과 주위 환경 측정 장치에서 측정된 데이터 값을 RS232C 통신에 의하여 데이터 값을 화면에 출력한다.

카메라 제어 프로그램은 시리즈 분동 교정시 분동의 구동을 보기 위하여 장착한 CCD 카메라를 제어하는 프로그램이다. CCD 카메라만 제어하며 상, 하, 좌, 우 및 확대, 축소가 가능하도록 하였다.

웹 서버를 구축하여 로컬 및 웹 상에서도 실험을 실시하도록 하였다. 실험 과정을 화상을 통하여 확인할 수 있도록 하였다. Fig. 2는 시스템의 구성도 구성도이다. 실험 장치에는 한 사람만 접속이

가능하므로 두번째 이상의 사람에게는 모사 장치를 제공하여 실제 실험과 유사한 환경을 제공하였다. 이 모사 장치의 화면은 Fig. 3에 보인 바와 같다.

#### 4. 실험 및 고찰

분동들이 각 pan 에 loading 시 안정화되는 시간을 실험하였다. Loading 시간을 질량 비교기의 안정화 시간 12 초를 참고하여 pan 에 loading 되는 시간을 10, 30, 60 초로 주고 unloading 시간을 25 초로 실험하였다. 각 pan 에 10 회의 반복 측정을 하여 표준 편차를 구하였다. 표준편차는 30 초의 것과 60 초의 것이 작았으며 60 초의 것에서 미소하나 마 drift 가 감지되었다.

시리즈 분동 교정실험이 수행되었다. 비교를 위하여 한번은 수동 측정과 한번은 본 실험에서 사용된 분동교환 장치를 이용한 실험이다. Fig. 4에 보인 바와 같이 표준편차가 수동의 경우에 123 마이크로그램에서 자동화된 분동 교환장치를 사용할 경우 22 마이크로그램으로 향상되었다. 더불어 측정 시간도 3 회 측정시 2 시간에서 1 시간으로 단축되어 측정 생산성도 향상되었다.

#### 5. 결론

분동 교환장치를 이용하여 웹상에서 시리즈 분동 교정을 수행할 수 있게 되었다. 수동에 비하여 표준편차 및 측정시간 등에서 측정 생산성을 향상시켰다. 이 성능을 이용하여 웹상에서 측정 교육을 제공할 수 있게 되었다.

#### 참고문헌

1. Clarkson, M. T., Sutton, C. M., and Jack D. G., *A Versatile Automatic Weight Changer for Mass Comparators*, Proceedings of IMEKO TC3, Daejon, 209(1998).
2. Kajastie, H. et al., *A Weight Handler for a 5 g Mass Comparator*, Proceedings of IMEKO TC3, Daejon, 198(1998).
3. Ueki, M. et al., *Weight Calibration by Mass Comparators with Automatic Weight Exchanging Mechanism*, Proceedings of IMEKO TC3, Daejon, 220(1998).
4. Cameron, J. et al., *Designs for the Calibration of Standards of Mass*, NIST Tech. Note, 952, 1977.
5. Lee, W.G., *Computational search for designs to calibrate mass standards*, Metrologia, 34, 365(1997).

6. Lee, W.G., *Calibration designs of mass standards for 2 comparators in a decade*, Metrologia, 39, 337(2002).

Table 1. Calibration design for submultiples

번호	100 g	50 g	20 g	20 g*	10 g	10 g*
1	1	-1	-1	-1	-1	
2	1	-1	-1	-1		-1
3		1	-1	-1	-1	
4		1	-1	-1		-1
5			1	-1	1	-1
6			1	-1	1	-1
7			1	-1	-1	1
8			1	-1	-1	1
9			1		-1	-1
10			1		-1	-1
11				1	-1	-1
12				1	-1	-1

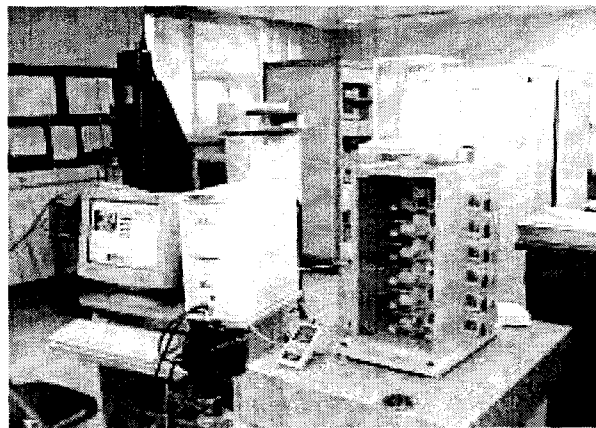


Fig.1 Photo of measurement system with weight handler

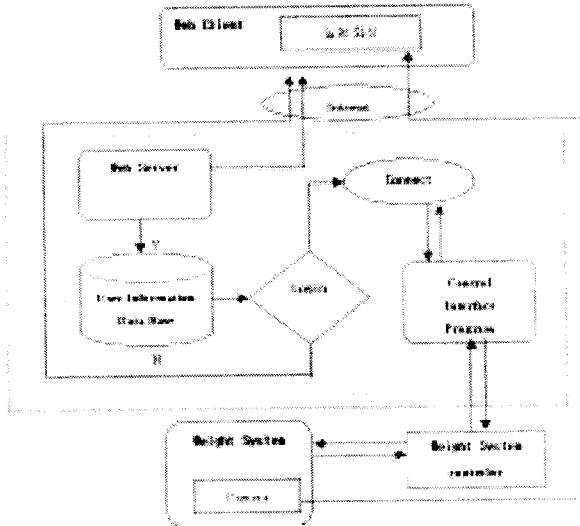


Fig. 2 Block diagram of web server system

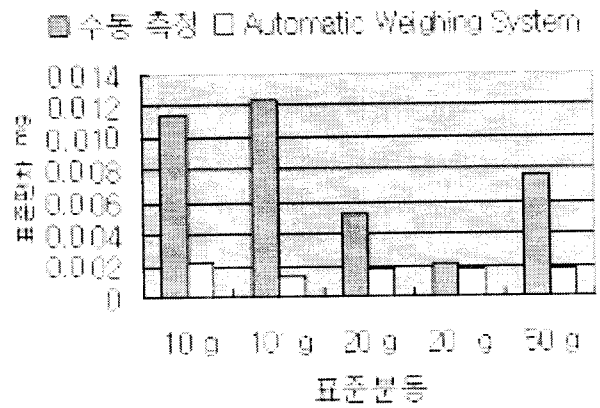


Fig. 4 Comparison between auto and manual operation

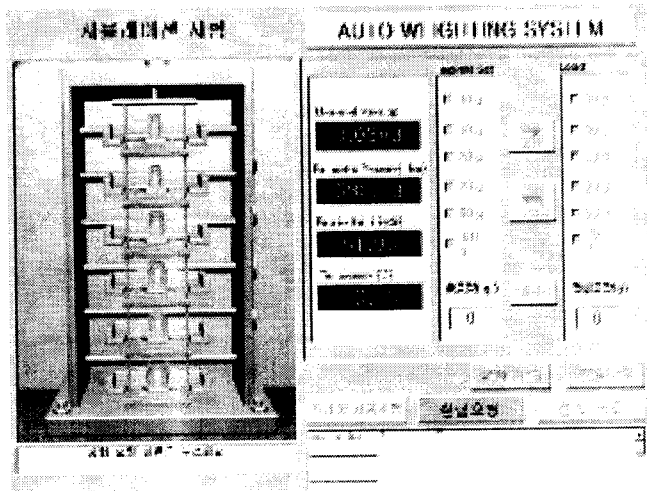


Fig. 3 Simulation window