

국제기준에 의한 국내 비자동저울의 품질 평가에 관한 연구

김홍원*, 남궁재관+, 김창열++, 공재향+++

Quality Assesment of Domestic Nonautomatic Weighing Instruments by International Standards

Hong-Won Kim*, Chai-Kwan Namkoong+, Chang-Yeol Kim++, Jae-Hyang Kong+++

Abstract

This study is to improve the quality of electronic weighing machine by providing a reformation plan on currently problems of domestic manufactured nonautomatic weighing instruments, and by test items and criteria considering internal situation, on base of identification of quality level of domestic manufactures electronic weighing machine according to the international standards.

Key Words : OIML R 76 (Nonautomatic weighing instruments)비자동저울, KS C 1313(Electrical weighing machine) 전기식저울

1. 서론

오늘날의 산업구조는 산업의 각 분야에서 생산된 상품이나 서비스를 서로 교환함을 전제로 하여 발달하여 왔기 때문에 오늘날 국가경제 또는 국가경제에서 상거래가 갖는 의미는 매우 크다고 할 수 있다. 따라서 공정거래 확보 차원에서 실시되고 있는 계량기의 검사는 경제가 발전하고 환경오염문제에 대한 국민의식이 높아지면서 더욱 그 중요성이 커지고 있다고 할 수 있으며, 최근 점점 확대되고 있는 경제의 국가장벽의 완화추세로 계량기의 국제적 유통이 더욱 확대될 전망을 나타내고 있어 계량기의 품질보증문제는 이제 국내적 차원이 아니라 국제적 차원에서 다루어야

할 문제로 등장하고 있다.

국제법정계량기구(OIML)에서는 1991년부터 측정기기 형식승인의 국가간 상호인증을 위한 측정기기 인증제도를 실시하고 있으며, 아시아·태평양 지역의 APLMF에서도 비자동저울 등 계량기의 국가간 상호인증을 비교시험을 실시·평가 중에 있다.^(1,2)

계량제도나 계량기의 역사가 유럽국가들과 궤를 달리하여 OIML의 국제권고를 그대로 받아들이기에는 소극적인 반응을 보여오던 일본의 경우도 1993년11월 계량법을 개정하여 계량제도와 계량기 기술기준을 가능한 한도 내에서 국제기준에 맞추고자하고 있으나, 우리나라의 경우

* 주저자, 서울산업대학교 대학원 기계설계학과

주소: 139-743 서울시 노원구 공릉2동 172

+ 서울산업대학교 기계설계·자동화공학부

++ 한국기기유회사험연구원

+++ 서울지방중소기업청

이와 같은 국제적 흐름에도 불구하고 계량기 품질보증의 가장 기본이 되는 한국산업규격(KS)이 국제적 기준에 비하여 너무 미흡한 실정이다. 따라서, 금번 국제기준에 의한 국내 비자동저울의품질평가에 관한 연구에서는 주로 상거래되고 있는 전기식 지시저울 생산업체의 실태를 파악함과 동시에 국내 생산제품의 기술수준을 파악하여 국제표준이 국내 현실이 허용되는 부분을 발굴하고자 하였으며, 또한 현재 국내 생산 비자동저울의 문제점에 대한 개선방안을 제시하여 품질향상을 기할 수 있도록 하였다.

2. 비자동저울(전기식지시저울)의 구조 및 원리

2.1 구조

전자저울의 입력 전압은 대체로 가정용 전원을 그대로 이용하고 있으며 이 전압을 변환기를 이용하여 로드셀의 정격 전압보다 약간 높은 교류전압으로 바꾼 다음 정전압기를 이용하여 로드셀의 정격입력전압을 공급할 수 있는 직류전압원을 Fig.1과 같이 구성한다. 이렇게 만들어진 직류전압을 로드셀에 하중을 가하면 스트레인 게이지들의 저항값이 변하므로 전압의 차가 나타나게 된다.⁽³⁾

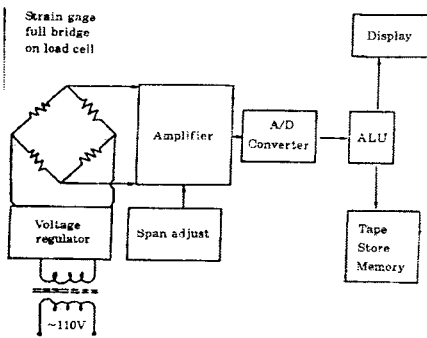


Fig.1 개략적인 전자저울의 구성도

이 전압은 A/D변환기의 입력전압으로 이용하기엔 너무 작은 값이므로 앰프를 사용하여 적당한 전압으로 증폭을 한 다음 A/D변환기의 출력은 디지털 신호이므로 ALU (Arithmetic Logic Unit) 에서 tare값을 계산한 다음 표시부로 신호를 읽을 수 있는 표시장치를 구동시키는 것이다. 또 디지털 저울의 구간은 주로 증폭기에 부착된 가변저항값을 조정하여 줌으로써 증폭기의 이득을 조정하여 구간을 조정하며 용기무게(tare)는 CPU reset 입력단자에서 보호를 받아 현재 계량중인 무게에서 빼주게 된다. 위의 설명에서 언급한 것 같이 여기서 마이크로 컴퓨터의 중요성이 매우

강조되고 있다.

즉, 사용자는 디지털 저울의 내부에서 일어나는 여러 가지 전기적인 신호를 이해할 수 없지만 표시부에서 표시되는 여러 가지 의미 있는 숫자를 사용자에게 보내주는 것은 내장된 컴퓨터이므로 컴퓨터의 기능이 계속 강조되어지고 있다. 따라서 앞으로 마이크로 컴퓨터의 응용 및 발전이 기대된다.

2.2 로드셀의 원리와 스트레인게이지

전기저항 Strain계 Load Cell(이하, 간단히 Load Cell이라한다)은 1조의 strain gauge를 금속 탄성체에 접착하고 그 탄성체에 하중을 가했을 때에 일어나는 strain을 strain gauge의 저항변화로써 검출하고 인가된 하중의 크기에 비례한 전기출력신호를 얻는 힘 변환기이다.

Fig.2에 보이는 바와 같이 압축하중을 받은 탄성체에는 strain(ϵ)이 발생하나 그때의 탄성체의 응력(P)와 strain의 관계는 응력의 크기가 탄성체 재료의 탄성한도 이하에 있으면 비례적이고 비례정수는 총탄성계수(E)이다.

이 경우 탄성체의 strain과 strain gauge의 저항치(R)와의 사이에도 위에서 말한바와 같은 비례관계가 성립하고 strain gauge의 gauge울(K)을 비례정수로 하는 다음식이 얻어진다.

$$4R/R=K \quad \Delta L/L=K \epsilon \quad \text{이것에 의해}$$

$$K \epsilon = \sigma / E = \omega / EA \quad \text{또는} \quad \epsilon = 1/K \cdot \omega / EA$$

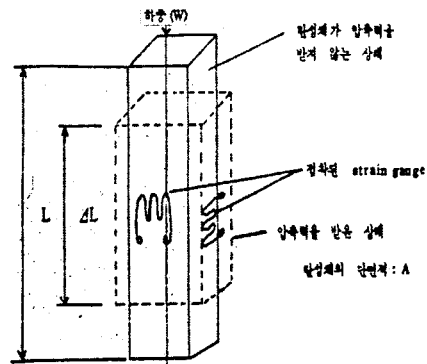


Fig.2 Strain 발생의 원리

3. 국내기준과 국제기준의 비교고찰

3.1 기준의 선정

전기식 지시저울은 근래에 상거래용으로 그 수요가 크게

증대되고 있으며 무역 거래가 활발히 이루어지고 있는 품목으로서, 인증서제도 적용에 현실적으로 가장 근접하고 있는 제품이다. 국내기준으로는 한국산업규격인 KS C1313(2톤이하), KS C 1314(2톤이상)이 있으며, 국제기준으로는 국제권고규격인 OIML R76-1 : 비자동저울(Nonautomatic weighing instruments)이 있는데 금번 기준비교에는 국내 기준으로는 KS C 1313⁽⁴⁾, 국제기준으로는 OIML R76-1의 기준 중 전자저울부분을 비교의 대상으로 선정하였다.

3.2 기준의 일반구성

국제권고 R 76-1: 비자동저울(Nonautomatic weighing instruments)은 Part 1: 계량 및 기술 요건 시험검사 부분과 Part 2: 형식평가 보고서로 이루어져 있다. 계량 요건 (Metrological Requirement)에서는 저울의 등급, 최대허용오차, 측정결과간의 허용오차, 검정표준, 변별력, 양과 시간의 영향에 따른 변화, 형식평가 시험 등에 관한 일반 원칙들을 다루고 있다.

기술요건(Technical Requirements)에서는 저울의 구조, 계량결과와 표시, 표시장치 및 인쇄장치, 영점장치와 영점추적장치, 용기설장장치, 로드셀^(5,6) 요건, 상거래용 저울, 주 표시부, 판매금액을 표시하는 저울, 가격계산 저울, 가격라벨인쇄 저울에 대한 기술적 사항을 다루고 있다. 전자기기(Electronic instruments)에 대한 일반요건과 기능 요건, 특성검사를 규정하고 비자동저울에 대한 기술적 요건을 저울 종류별로 두루 다루고 있다. 기타 표기 및 표지에 대해 규정하며 계량규제에서는 형식승인, 초기검정, 후속검정, 시험검사에 관한 원칙들을 다루고 있다⁽⁷⁾.

3.3 국내·외 기준간의 비교

저울의 형식평가 및 시험은 OIML R 76-1에서 규정하는 것과 KS C 1313에서 규정하는 사항이 유사한 것도 있지만 상당히 다른면을 엿볼 수 있다.

OIML R 76-1의 규정은 본문에서 공통적 일반 사항과 계량요건, 기술요건을 서술하고 형식평가에 필요한 실제 실험방법에 대하여는 부록에서 다루었으며 특히 전자저울에 대해 시행해야할 추가 시험에 대한 것은 별도의 부록으로 다루고 있다.

그러나 KS C 1313에서 규정하고 있는 형식승인시험은 비교적 단순한 절차로 되어 있다.

OIML 권고에서 정한 형식평가시험기준과 KS C 1313에서 규정하고 있는 기준을 비교해 보면 Table 1에서 보이듯 국내 기준이 국제기준에 비하여 무척 허술하다는 것을 알 수 있다.

Table 1 국내·외 기준의 비교

OIML R 76	한국 (KS C1313)
1. Weighing performance (계량특성)	3.기차
2. Temperature effect on no load indication (무부하 표시 온도효과)	
3. Eccentricity (편심성)	6.9편심
4. Discrimination and Sensitivity (변별력과 감도)	6.8감도
5. Repeatability (반복성)	6.1반복작용
6.1 Zero return (영점변환)	6.10영점변화
6.2 Creep (크리프)	6.4크리프
7. Stability of equilibrium (균형의 안정성)	
8. Tilting (경사도)	5.2기구 및 작용
9. Tare (Weighing test) (용기제거)	
10. Warm-up time (정상작동 준비시간)	
11. Variations of voltage (전압변동)	6.7전압변동
12.1 Short time power reductions (전압강하)	
12.2 Electrical bursts (전원 스파크)	
12.3 Electrostatic discharges (정전기검사)	
12.4 Immunity to radiated electromagnetic fields (전자기성에 의한 내성)	
13. Damp heat, stability state (고온, 다습 안정상태)	6.5온도변화
14. Span stability (스판의 안정성)	
15. Endurance (내구성)	
16. Examination of the construction of the instrument (구조검사)	5.구조 8.표기 및 표지

3.4 제도(국제기준) 적용상의 문제점 및 대책

위에서 각 항목의 차이점이 많은 것을 볼 수 있다. 구조에서 볼 때 OIML 권고에서는 부정방지와 안전사용에 중점을 두었다면 KS C 1313에서는 사용상의 편의성을 고려한 것으로 보인다. 기능요건에 있어서도 두 규격간에는 큰차이를 보이고 있는데 이중에서도 가장 중요한 부분은 기기의 허용오차라 할 수 있다. 이는 다른 기능시험을 수행하는데 있어 기본 요건으로 이용되는 것이며, 온도변화시험의 스펙을 볼 때 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 의 차이를 보이고 있다. 또, 영점변화, 편심하중, 전기적 교란상태, 기기의 등급표시, 표시판 및 문자의 규격 등에서도 상당한 차이를 보이고 있는데 어떤 항목은 KS C 1313에서는 아예 언급되지 않은 경우가 있고, 언급되었다

라도 허용한도가 다르거나 규정하는 방식이 다른 형태를 보이기도 한다. OIML R 76-1의 형식평가에서는 주요사항인 영점장치와 영점추적장치, 용기설정장치에 대한 평가를 포함하고 있으나 KS C 1313에서는 규정되어 있지 않은 예의 하나이다. 전기식 지시저울에 대한 OIML 인증서제도의 적용은 OIML 권고와 우리나라 기준간의 비교에서 볼 때 두 가지 관점에서 고려될 수 있다. 첫째는 형식인증 기준이 되는 KS C 1313의 요건과 OIML 권고 요건을 부합시키는 것이다. 다른 하나는 이들 두 규격간의 차이를 완전히 무시하고 제도를 적용하므로써 양립시키는 방법이다. 전자의 경우는 국가 규격을 국제 규격에 완전히 일치시키는 것이어서 국제 규격의 의의에도 부합하고 GATT Standards Code를 만족하는 이점은 있으나 국내 다수 업체들의 현실을 외면할 수 없는 면이 있다. 후자의 경우에는 당분간 KS C 1313을 국내용으로 계속 활용하고 점진적으로 OIML 인증서제도를 도입하여 R76-1을 적용하면서 적절한 시기에 이들을 정합시키는 점진적인 방안이 될 수 있으므로 국내 업체의 현실을 인정하는 한편 국제적 추세에 대응할 수 있는 방안이다.

4. 비자동저울의 성능수준

힘에 의하여 저울 기구의 변형량이나 변위량을 전압, 전기저항, 또는 이와 유사한 물상상태의 양으로 변화를 주는 구조의 저울인 전기식지시저울의 종류로는 전기저항선식, 차동변압기식, 자기식, 광전식, 압전식, 유도전기식, 전자식, 방사선식 등이 있으나 전자력평형식과 전기저항식이 주종을 이루고 있다. 전자력 평형식은 전자력으로 하중과 평형을 이루는 원리로서 용량은 수 mg부터 수십kg까지, 정밀도로는 1/2000에서 1/100억까지의 수준에 달한다. 그러나 아직까지 국내에서는 전자력식 저울은 생산되고 있지 않으며, 전기저항식 제품만 생산되고 있는 실정이다. 아래 Fig.3의 전기저항식은 하중에 의한 로드셀의 비틀림을 전기저항으로 감지하는 원리로서 용량이 수백g에서 수 톤까지, 정밀도는 1/1000에서 1/20,000정도이다.⁽¹⁰⁾

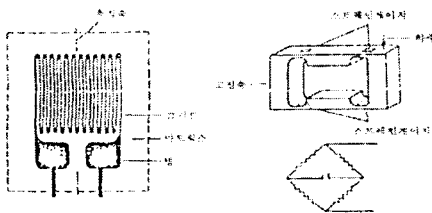


Fig.3 전기저항식(전기식지시저울)의 구조

5. 성능평가 및 결과분석

5.1 국내생산제품 성능평가

국내 전기식 지시저울 생산업체 6개 중 현재 생산이 일시 중단된 1개사를 제외한 5개사 제품 중 거래가 많이 이루어지고 있는 15kg이하 제품 5형식을 평가대상으로 선정하였으며, 제품의 성능평가는 국제권고규격인 OIML R76-1과 국내 표준인 KS C 1313에서 크게 차이를 보이고 있는 항목인 계량특성시험, 무부하시 온도효과, 전자파 장애, 고온 다습안정상태에 대하여 기술수준을 평가토록 하였다.

5.1.1 계량특성시험

OIML R 76-1에서 초기검사기는 10곳을 측정토록 하고, 이후에는 5곳 이상을 실시토록 정하고 있으며, 하중 증가시와 감소시를 모두 측정토록 정하고 있는바, 국내제품 5형식에 대하여 측정된 결과는 Table 2과 같이 모두 기준에 적합한 것으로 측정되었다.

Table 2 초기 계량특성 측정결과(각회사별)

허용 오차	측정값				
	A사	B사	C사	D사	E사
±0.5e	-0.1e~ +0.3e	-0.3e~ +0.1e	-0.1e~ +0.5e	-0.3e~ +0.2e	-0.4e~ -0.2e
±1.0e	-0.5e~ -0.1e	-0.4e~ +0.1e	+0.3e~ +0.8e	-0.3e~ +0.3e	0.0e~ +0.3e
±1.5e	-0.3e~ -0.6e	-0.4e~ -0.2e	+0.5e~ +0.8e	+0.1e~ +0.2e	0.0e~ +0.5e

5.1.2 무부하시 온도효과

무부하시 온도효과 시험(Fig.4)은 저울의 영점 또는 영점에 가까운 표시에서 1항의 순환하는 온도 5℃당에 따른 영점변화가 하나의 검증누금 이상 변하지 않아야 되도록 규정되어 있는바, 5개사 제품의 측정결과를 보면 Table 3와 같이

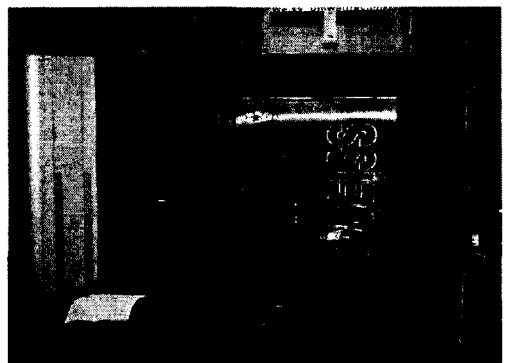


Fig.4 무부하시 온도효과 시험

5개사 제품 중 1개사를 제외한 4개사 제품이 기준을 초과하고 있으며 특히 1개사 제품은 기준의 8배를 넘게 초과하였다.

Table 3 온도 5℃당 영점변화율(각회사별)

허용 오차	측정결과				
	A사	B사	C사	D사	E사
1e	0.1e~1.2e	3.3e~4.1e	1.1e~1.8e	0.1e~0.3e	0.2e~8.6e

5.1.3 온도변화시험

사용범위 내 온도사이클에 의한 온도시험 후 계량오차에 서는 Table 4과 같이 시험대상 5개사 제품중 2개사 제품이 규정을 초과하였다.

Table 4 온도별 계량특성 측정결과(각회사별)

온도별	허용 오차	측정결과				
		A사	B사	C사	D사	E사
20℃	±0.5e	-0.1e~+0.3e	0.0e~+0.2e	0.0e~ -0.1e	-0.1e~ 0.0e	-0.1e~ +0.5e
	±1.0e	-0.1e~ -0.4e	0.0e~ +0.4e	0.0e~ +0.3e	-0.3e~ -0.1e	-0.2e~ +0.8e
	±1.5e	-0.6e	+0.2e	+0.3e	-0.4e	-0.8e
40℃	±0.5e	-0.2e~ +0.4e	-0.2e~ +0.2e	0.0e~ -0.5e	-0.2e~ 0.0e	-0.4e~ 0.0e
	±1.0e	-0.6e~ +0.1e	-0.7e~ -0.2e	-1.3e~ +0.2e	-0.7e~ -0.3e	-0.4e~ +0.3e
	±1.5e	-0.7e	-0.2e	+0.3e	-1.0e	+0.3e
-10℃	±0.5e	-0.2e~ +0.2e	-0.1e~ +0.1e	0.0e~ -0.8e	-0.1e~ 0.0e	-0.2e~ +0.9e
	±1.0e	-0.7e~ -0.6e	-0.4e~ -0.1e	-0.1e~ -0.8e	-0.5e~ -0.1e	-2.3e~ -1.9e
	±1.5e	-1.1e	-0.3e	-0.6e	-0.8e	-3.2e
5℃	±0.5e	0.0e~ +0.4e	-0.3e~ +0.2e	-0.2e~ +0.1e	-0.2e~ 0.0e	0.0e~ +0.6e
	±1.0e	-0.4e~ 0.0e	-0.2e~ +0.2e	0.0e~ +0.6e	-0.3e~ -0.1e	-2.2e~ +0.4e
	±1.5e	-1.1e	0.0e	+0.5e	-0.6e	-1.6e
20℃	±0.5e	-0.3e~ +0.2e	-0.5e~ 0.0e	-0.1e~ +0.2e	-0.1e~ +0.2e	-0.9e~ 0.0e
	±1.0e	-0.4e~ -0.3e	-0.5e~ -0.1e	-0.4e~ +0.3e	-0.3e~ 0.0e	-1.1e~ -0.3e
	±1.5e	-0.9e	-0.4e	+0.3e	-0.4e	-0.8e

5.1.4 전자기 교란시험

전자기교란 검사Fig.5에는 전압강하시험, 버스트, 정전기 검사. 전자기성에 의한 내성시험이 있는데, 시험대상 3개사 제품중 2개사 제품에서 이상이 발생되었고, 1개사 제품에서는 양호한 Table 5 과 같은 결과를 얻었다

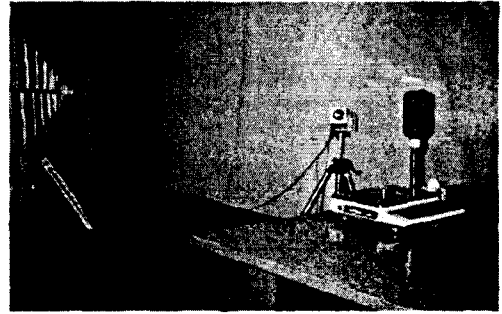


Fig.5 전자기교란검사

Table 5 전자기 교란시험 측정결과

시험항목	측정결과		
	A사	B사	C사
전압강하	이상없음	이상없음	이상발생
버스트	이상없음	이상없음	이상없음
정전기 검사	이상없음	이상없음	이상없음
전자기성에 의한 내성	이상발생	이상없음	이상발생

5.1.5 고온다습 안전상태

고온다습시험은 기준인 온도 20℃, 상대습도 50%상태에서 측정하고 온도 40℃, 상대습도 85%인 고온다습 상태에서 2일동안 유지시킨 후 측정하며 다시 온도 20℃, 상대습도 50%상태로 변화시켜 안정상태를 측정하는 시험으로 4개사 제품을 측정한 결과를 보면 Table 6 과 같이 2개사 제품에서 이상이 발생되었고, 2개사 제품에서는 양호한 결과를 나타내었다.

Table 6 고온·다습시험 측정결과(각회사별)

시험조건	허용오차	측정결과			
		A사	B사	C사	D사
20℃, 50%	±0.5e	-0.3e~ 0.0e	-0.4e~ 0.0e	-0.1e~ 0.0e	-0.6e~ +0.1e
	±1.0e	-0.6e~ 0.0e	+0.3e~ +0.5e	-0.2e~ 0.0e	-0.2e~ -0.8e
	±1.5e	-0.3e	+0.1e	-0.3e	-0.5e
40℃, 85%	±0.5e	-0.2e~ 0.0e	+0.1e~ +0.8e	-0.3e~ 0.0e	-1.5e~ +0.4e
	±1.0e	-0.3e~ -0.2e	+0.5e~ +0.8e	-0.8e~ -0.3e	-0.8e~ +0.1e
	±1.5e	-0.3e	+0.9e	-0.9e	+0.7e
20℃, 50%	±0.5e	-0.4e~ 0.0e	0.0e~ +0.4e	-0.2e~ 0.0e	-1.4e~ 0.0e
	±1.0e	-0.4e~ +0.1e	-0.1e~ +0.5e	-0.3e~ -0.1e	-1.1e~ -0.6e
	±1.5e	-0.2e	+0.2e	-0.4e	-1.0e

6. 결론

본 연구에 따른 시험결과를 보면 첫째, 일반오차시험에서는 5개사 모두 기준에 적합한 양호한 결과를 나타내었는데 이는 국내기준과 어느 정도 일치하고 있는 사항으로서 특이한 사항은 나타나지 않았다.

둘째, 무부하온도효과시험 시 온도 5℃당 영점변화율이 1e로 국제기준(OIML R76)에 규정되어 있으나 국내 5개사 제품 중 무려 4개 업체 제품이 최고8.6배 까지 허용오차를 초과하여 국제기준에 크게 미흡함을 보였다. 이는 국내기준이 아예없는 것으로 그동안 오차가 큰지 적은지도 모른채 생산-검증-사용되었다는 점에 놀라지 않을 수 없다.

셋째, 온도변화 시험에서는 5개사 제품 중2개사 제품이 허용오차의 2배 정도까지 벗어남을 보였는데 국제기준(OIML R76)에서-10℃ ~+40℃의 온도변화시험을 규정해 놓고 있지만 국내기준은-5℃ ~+35℃ 로서 보다 좁은 폭으로 신뢰성 시험을 해왔으며 그로인해 국제기준에 의한 시험에서는 미흡함을 나타내었다.

넷째, 전자기교란시험에서는 3개사 제품 중 1개사 제품에서 이상발생이 나타났으며 이 시험항목은 국내기준이 없는 항목이다. 전자과가 최근 이슈화되어 인체에 유해하고 기기의 오작동 원인이 될 수 있다는 것은 익히 알려진 사실이다. 다섯째, 고온다습안정상태시험에서는 5개사 제품 중 2개사 제품에서 최고3배까지 허용오차를 초과하였다. 이 항목 역시 국내기준이 없는 항목이다. 이렇듯 주요 5가지 항목에 대하여 시험해 본 결과 국제기준에 크게 미흡하다는 결론을 얻을 수 있었다. 국내 생산 전기식지시저울의 허용오차 초과 문제점은 적절한 기준이 없어 그에 상응하는 시험조차 못해 본데 그 원인이 있다고 본다 온도변화에 취약하다는 것을 안다면 핵심부품인 로드셀에 몇Ω짜리의 온도보상 게이지를 부착하여야 할는지, 또는 소프트웨어로서 어떻게 해야 할지에 대해 준비할 수 있을 것이다. 습도에 취약하다는 것을 안다면 어느 부분에 대해 어떻게 해야 할지에 대해 제조사의 판단이 내려질 것이다.

지금까지는 어느 항목에서 어느 정도 오차가 있는지 조차 파악되지 못했기에 보상도 못해온 상태이다. 본 연구로서 취약점과 문제점이 나타났으므로 제조사는 그 보상을 위하여, 또는 더 나은 보상방법을 찾기 위하여 노력을 하게 될 것이고 그에 상응하는 품질향상이 있을 것으로 기대된다. 끝으로 국내기준에 안주하지 말고 점진적으로 국제기준으로의 전환을 함으로써 국내 제품의 품질향상에 기여가 되도록 하여야 할 것이다

참고 문헌

- (1)OIML R 76-1, "Nonautomatic weighing instruments", International Recommendation, 1994.
- (2)OIML R 74, "Electronic weighing instruments", International Recommendation, 1993.
- (3)한국기유화시험연구원, "계량검사공무원교육(1)", pp.321~323, 2002.
- (4)KS C 1313, "Electrical weighing machine(전기식 지시저울)", 한국산업규격, 1997.
- (5)OIML R 60, "Motrological regulation for load cell", International Recommendation, 1994.
- (6)한국계량측정협회, "계량담당공무원교육교재", pp.141~220, 2003.
- (7)한국계량측정협회, "정밀측정기술", pp.49~95
- (8)OIML R111 "Weights of accuracy classes E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₂, M₃, International Recommendation, 1994.
- (9)"The Fundamentals of Weighing Technology", Sartorius AG, pp1~33, 1996.
- (10)김창열, "로드셀의 크립특성 향상을 위한 적정 작업조건에 관한 연구" 서울산업대학교 석사학위논문, 1998.