

◆특집◆ 산업계측 신뢰성

센서 및 계측기기의 신뢰성기술

최만용*, 박정학*

Reliability Testing for Sensor and Instruments

Man-Yong Choi*, Jeong-Hak Park*

Key Words : Sensor and instruments (센서 및 계측기기), Environmental test (환경시험), Reliability (신뢰성), Error(오차), Uncertainty(불확도)

1. 서론

산업사회에서 지식정보화 사회로 진입하면서 정보량은 방대해지고 있다. 최근 계측정보량은 메모리 용량의 크기 및 저장방법, 속도 그리고 휴대용 저장 장치등의 발전으로 설계, 제작, 시험 및 운영 분야에 지대한 영향을 주고 있다. 이제부터는 정보량에 만족하기보다는 정보의 질에 관심이 쏠리고 있다. 그렇다면 정보의 질은 무엇으로부터 좋다, 나쁘다라고 평가할 수 있을까? 정량적 데이터가 얼마만큼 정확한가, 또는 그 정보의 발생원의 참된 정도로 표현할 수 있을 것이다.

“센서와 계측기기”는 사물이나 사회적 상태를 정량적으로 표현하고 사용자들이 쉽게 받아들일 수 있도록 데이터를 생산하여 정보량으로 만들어 주는 역할을 하는 것이다. 그러므로 센서와 계측기기의 신뢰성은 정보량의 질을 좌우하는 중요한 자리매김을 하게 되고 지식정보화 시대에서 다양하게 응용되고 있다.

사용장소에 따른 현장의 기후환경 상태를 고려하지 않고 제품의 온도 데이터를 그대로 전송하

여 인터넷상에서 데이터를 공유하고 사회전반적으로 사용된다면 어처구니없는 낭패를 당하여 경제적·사회적 손실을 피할 수 없을 것이다.

본 보고서에서는 센서 및 계측기기가 사용되는 환경이 다양 하지만 처하는 환경 요소에 따른 신뢰성 특성을 고려하여 시스템에 적합한 신뢰성 요소를 평가하는 방법을 제시한다.

2. 센서 및 계측장치의 신뢰도

산업이 발전하면서 자동차, 공장자동화, 가전제품, 대형설비 제어, 기간시설물 등에 사용되는 센서의 기능과 구조도 다양화 되고 복잡한 기능을 갖게 되었다. 또한 계측장치가 일체화가 되어서 사용자가 편하고 정확한 정보를 대량으로 사용할 수 있도록 설계·제작하는 추세에 있다.

센서와 계측장치는 그 생명이 신뢰도에 있다고 해도 과언이 아니다. 일반 가전제품의 TV나 냉장고와는 달리 측정값의 정확도(정밀도, 불확도)가 그 센서 및 계측기기의 성능을 좌우한다. 그런데 측정값에 영향을 주는 측정 환경을 고려하지 않거나 사용시간을 염두에 두지 않고 사용하여 데이터를 취득하는 경우가 많다. 한마디로 센서 및 계측기기가 사용되는 환경조건에서 얼마만큼의 오차(불확도)가 변화하는가를 고려하지 않고 있다.

TV 등 가전제품의 경우에 화면이 잠깐 찌그러졌다고 고장이라고 얘기하기는 힘들다. 그러나 계측기나 센서의 경우 데이터를 받을 때 전자파의

* 한국표준과학연구원 환경안전계측센터
Tel. 042-868-5251, 5651, Fax. 042-868-5650
Email mychoi@kriss.re.kr

영향으로 신호가 달라지면 전혀 다른 데이터를 나타내게 되므로 세심한 주의를 기울여 정확한 계측이 이루어져야 한다. 따라서 센서나 계측기기는 정기적으로 성능평가 및 환경영향평가를 받아야 그 신뢰도를 유지할 수 있다.

3. 계측기기 환경시험 및 환경영향평가

제품을 개발하여 신뢰성평가를 하기 위해서는 부품, 제품 및 시스템에 따라서 적절한 방법을 사용하여 환경시험을 하여야 하고, 가하는 환경은 온도, 습도, 진동, 충격 등 다양하다. 환경시험은 IEC 68 의 일반환경시험을 기본으로 하여 수행하는 경우가 많지만 MIL - STD - 810 과 같이 비교적 엄격한 규격을 사용하는 것도 있다.

환경시험은 주로 부품이나 센서, 제품 및 계측기기의 내구성을 확보하기 위해서 실시하게 된다. 최근 국내에서도 국산화 개발 및 부품소재개발 사업 등으로 이 분야의 연구비와 관심이 집중되고 있다. 물론 계측기기의 내구성이 좋으면 데이터의 정보의 질이 좋다고 쉽게 이해 할 수 있지만 내구성과 정보의 질과는 별개의 문제이다.

많은 측정자들이 계측기기를 사용할 때 고가의 센서나 계측장치를 사용하면 훌륭한 계측이 수행될 것으로 보나 그렇지 않다. 그러므로 환경변화에 따라서 데이터가 얼마만큼 변화하는가를 평가하는 환경영향평가기술이 중요한 시점에 이르렀다.

특히 최근에 NT, BT, IT 등에서 사용되는 계측장치나 센서류는 소형이며 집적화되어 있어서 고장은 빈번히 발생하지 않아도 외부환경영향을 크게 받고 있다.

기존에 사용하던 센서나 계측기기에 대한 연구개발결과 평가를 위한 환경시험도 중요하지만 계측정보 질의 향상을 위해서는 사용환경에 따른 영향평가가 수반되어야 한다. 그러나 환경시험이나 영향평가를 위한 환경재현기술은 기존의 환경시험설비를 중심으로 하고 있다.

3.1 온·습도 환경시험

시험대상체가 사용되는 현장 환경조건 및 스트레스를 고려하여 온도 및 습도시험, 온·습도 사이클시험 및 열충격시험 등 기후에 관련된 환경시험을 한다.

3.2 진동 및 충격시험

싸인진동시험, 랜덤진동시험 및 충격시험 등 역학적 충격을 가하는 것으로 기계적 환경시험이라고 부르고 공진점을 찾거나 내구성을 시험하며 주변 진동영향을 받을 때 계측장치가 성능을 유지하는가를 시험한다.

3.3 전자기적 환경시험

전원변동시험, 뇌서지시험, 내전압시험, 절연저항시험 및 전자파시험 등 전자기적 환경과 관련된 시험으로 센서 및 계측기기의 환경시험 및 신뢰성시험 재고 그리고 환경영향평가에는 필수적이다.

3.4 복합환경시험

센서 및 계측기기가 현장에서 사용될 때의 환경은 단일환경조건이 아니고 온도, 습도, 진동 및 전자기환경이 복합된 형태이지만 지금까지 대부분 국내에서 수행되는 환경시험은 단일환경조건에서 수행되었고 복합환경시험은 그리 많지 않았다. 앞으로 복합환경시험은 가속수명 등에 적극적으로 활용해야 될 것이다.

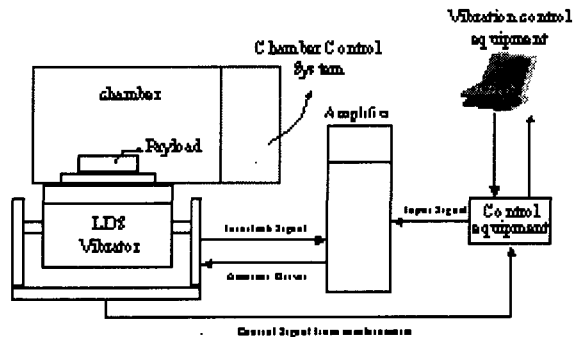


Fig.1 Complex Environmental Test

4. 센서 및 계측기기 신뢰성 시험

4.1 Encoder 시험

엔코더는 회전의 각을 측정하고, 변위, 힘, 압력, 수준 그 외의 적용에서 사용되며 광학엔코더는 투명한 부분과 불투명한 부분으로 만들어진 분할된 디스크, 광원과 광학시스템이 연결된 부분, 광원탐지기의 3 개의 주요한 구성요소를 가지고 있다. 광학엔코더의 분할된 디스크는 고정밀도를 위해서 광에칭에 의해서 만들어졌으며 광학엔코더

의 출력은 전기의 펄스를 공급한다. 이 펄스의 주파수는 회전속도에 비례하고 속력신호는 추가 전자회로를 사용하는 엔코더에서 펄스를 처리하는 것에 의해 얻게 된다. 광학 엔코딩 시스템은 여러 가지 주위의 조건에 의해서 작동하며 신뢰성의 관점으로부터 여러 가지 주위의 환경(온도, 습도, 진동, 잡음)하에서 사용된다.

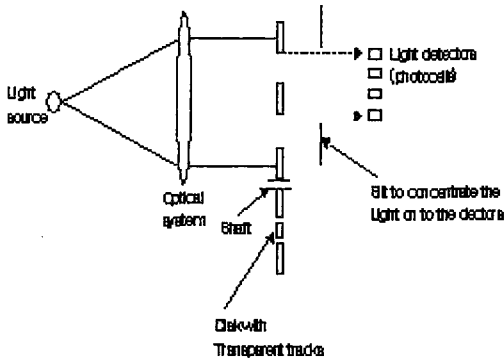


Fig. 2 Optical encoding system

광학엔코더는 최대 4000 rpm 으로 평가 받았던 변속 장치로 DC 모터의 구동축에 의해 이어졌다. 광학엔코더의 성능을 보여주기 위해서 DC 모터의 구동축을 360, 720, 1440, 2880 와 3600 RPM 으로 회전시켰다. 시간에 대한 함수로서 속도의 변경은 환경요인과 함께 디지털 오실로스코프로 관찰하였으며 환경인자와 스트레스레벨은 표 1 및 표 2 와 같다.

Table 1 Environmental factor and stress level

Environmental factor	Stress level
Temperature	-10 °C ~ 55 °C
Humidity	60 ~ 95% R.H
Vibration	Frequency 10 ~ 40 Hz: Amplitude 1.5mm
	Frequency 40 ~ 55 Hz: Acceleration 5G
Encoder speed	360 ~ 4000 rpm
Electric noise	Burst 500V, 1000V

Table 2 성능시험(360RPM, 10Vdc)

Testing item		Temp. of test (°C)		
		-10	20	55
1 Rise time(μs)	A Phase	0.834	0.834	0.825
	B Phase	0.816	0.816	0.834
2 Falling time(μs)	A Phase	0.844	0.867	0.857
	B Phase	0.826	0.829	0.857
3 Power consumption(A)		0.136	0.1418	0.149

- starting torque : less than 2.0 g-m
- AC High Voltage Insulation test : 1min, AC 500V
- Insulation test : greater than 500 MΩ (DC500V)

4.2 신호제어기기의 환경시험

교통의 흐름을 제어하는 교통신호제어기는 24 시간 동안 작동하며 정확하게 사용되지 않으면 안전사고는 물론 물류 흐름을 원활하게 하지 못하여 막대한 경제적 손실을 유발하게 된다. 대부분의 신호제어기는 야외에 노출되어있고 유선으로 연결되어 있어서 다양한 환경조건과 장시간의 신뢰성 요구를 받게 된다. 본 실험에서는 다양한 환경조건을 시험하여 신호제어기의 신뢰성 향상을 도모하고자 하였고 그 시험방법 및 결과의 일부를 소개하고자 한다.

4.2.1 온습도 환경시험

• 시험조건

- 전원차단시험
- 출력시간 정확도시험
- 신호모순 검지 기능시험

• 저온저전압시험

제어기에 정격하한전압 190V AC 를 인가한 상태에서 Chamber 의 온도를 -34°C까지 낮춘 다음 10 시간 동안 시험한 후 모든 기능이 정상동작되는지 측정한다.

• 저온고전압시험

제어기에 정격상한전압 250V AC 를 인가 한 상태에서 Chamber 의 온도를 -34°C까지 낮춘 다음

1 시간 동안 시험한 후 모든 기능이 정상동작되는 지 측정한다.

• **고온고전압시험**

제어기에 정격상한전압 250V AC 를 인가 한 상태에서 Chamber 의 온도를 74℃, 습도 18%로 유지시킨 다음 15 시간 동안 시험한 후 모든 기능이 정상동작되는지 측정한다.

• **고온저전압시험**

제어기에 정격상한전압 190V AC 를 인가 한 상태에서 Chamber 의 온도를 74℃, 습도 18%로 유지시킨 다음 3 시간 동안 시험한 후 모든 기능이 정상동작되는지 측정한다.

4.2.2 진동시험

• **공진시험**

복진폭 0.76mm, 시험주파수변화율 1Hz/sec 로 시험주파수 범위를 1 회 왕복하여 X 축, Y 축 그리고 Z 축에 대하여 각각 공진주파수 시험을 한다.

• **내구력시험**

시험기기를 0.5g 의 가속력으로 공진주파수 각면에 대하여 1 시간동안 진동하여 이상유무를 관찰한다.

• **충격시험**

세 수평면 각각에서 시험기기에 10g± 1g 충격을 가하여 기기 내·외부의 이상 유무를 관찰한다.

4.2.3 전자기적 시험

• **절연저항시험**

제어기의 절연저항을 500V 절연저항계로 측정하였을 때 10M 이상이어야 한다.

• **교류 내전압시험**

주제어기에 1500V AC 를 인가하였을 때 1 분간 견디어야 한다.

• **직류 내전압시험**

주제어기에 500V DC 를 인가하였을 때 1 분간 견디어야 한다.

• **뢰 임펄스 내전압시험**

주제어기에 교류 입력전원 1× 40sec, 5000V 또는 8× 20sec, 5000V 의 임펄스를 인가한다.

4.2.4 습도시험

시료의 전원을 차단한 상태에서 온도 23℃, 습도 90%의 환경 하에서 4 시간 동안 시험한다.

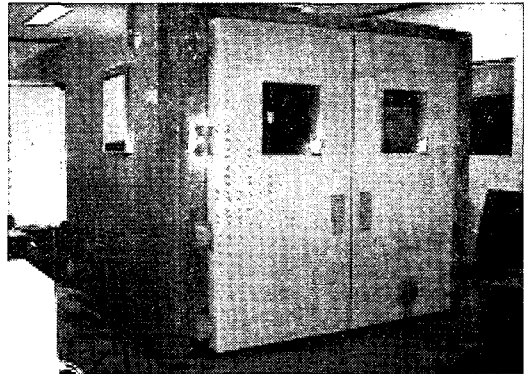


Fig. 3 Walk-In Chamber

• **시험전후의 시료동작 측정결과**

160Hz 에 1S(S=100mV RMS)일 때 총진동 값이고 단위는 mm/s RMS 이다.

Table 3 습도시험 결과

번호		1	2	3	4	5	평균
시험 전	측정 모드	9.78	9.82	9.80	9.82	9.82	9.81
	수집 모드	9.81	9.84	9.82	9.79	9.82	9.82
시험 후	측정 모드	9.80	9.83	9.79	9.81	9.80	9.81
	수집 모드	9.79	9.82	9.80	9.79	9.81	9.80

5. 위성항법 수신기의 복합환경시험

복합환경시험은 온도 및 진동의 영향을 동시에 고려하여 2 개의 환경조건을 복합적으로 제품에 적용하여 제품의 특성을 파악하는 기술이다. 여기서는 위성항법 수신기의 복합환경시험에 대하여

여 기술한다.

5.1 온도 - 진동 복합환경시험

복합환경시험은 아래의 시험조건에 따라 시험한다.

Table 3 Condition of CERT

온도 시험	고온	+50℃
	저온	-20℃
진동 시험	진동형태	Random Vibration
	진동방향	1 축(Vehicle)
	진동시간	10 분
동작 시험	시험시간	10 분 (진동시험시)
주기수		4 주기
소요시간/주기		4 시간 (고온, 저온 각 2 시간)

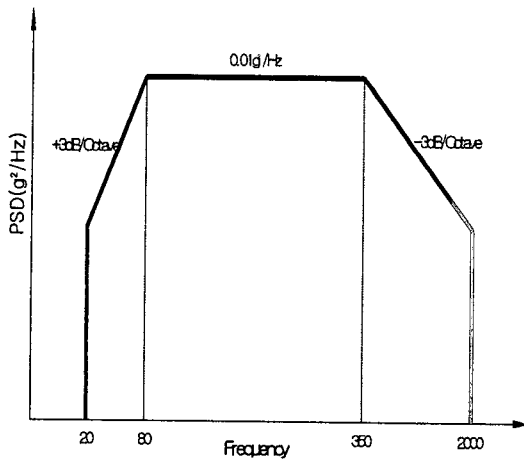


Fig 4. Random Vibration

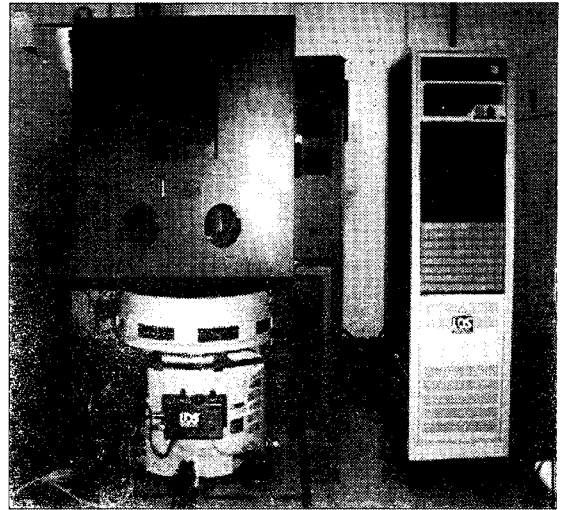


Fig. 5 Photo of CERT

6. 현장용 계측장치의 환경영향평가

6.1 변위 센서의 환경영향평가

건설현장이나 대형구조물 및 산업설비에 사용되는 센서 및 계측기기는 가혹한 환경영향을 받고 있으므로 측정전에 환경영향에 의한 오차나 불확도를 계산하지 않으면 안된다. 센서가 사용되는 장소의 환경조건 및 스트레스 레벨을 잘 조사하고 실내에서 설치전에 보정값이나 교정값을 구해야 한다.

다음은 실제로 온도환경변화가 많은 곳에 사용되는 변위 센서를 평가하기 위한 장치이다.

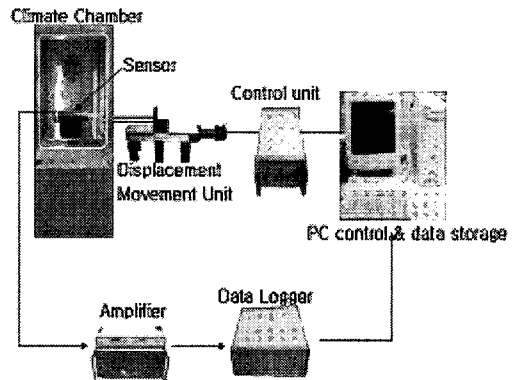


Fig. 6 Environmental Experiment Instrument

6.2 측정불확도(Uncertainty)

온도환경영향에 따른 불확도를 계산하면 다음과 같이 표시할 수 있다

(가) LM Guide 에 의한 불확도 : $U(X_1)$

(나) 환경효과로 인한 불확도 : $U(X_2)$

(다) 합성표준불확도

감도계수를 나타내는 $\partial E / \partial Y = \partial E / \partial X = 1$ 이므로, 합성표준 불확도는

$$u_c(E) = \sqrt{u^2(X_1) + u^2(X_2)} \text{ 가 된다.}$$

(라) 확장불확도

확장불확도를 구하기 위해서는 포함인자 $k=2$ 를 사용하여 아래의 식에 따라 구한다.

$$U = k \cdot u_c$$

7. 결론

센서 및 계측기기에 대한 신뢰성 데이터를 확보하고자 여러가지 제품과 다양한 환경조건에서 환경스트레스 가하여 신뢰도를 측정하는 것과 환경영향에 따른 계측기기의 정확도(불확도)를 시험하는 방법을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 그동안 국내에서 개발되는 센서 및 계측기기가 소수에 불과하였으므로 신뢰성에 대한 큰 관심이 없이 생산되어 판매되었다. 그 결과로 환경시험 규격이나 신뢰성 보증체제가 거의 마련되어 있지 못하였다. 따라서 고부가가치인 센서 및 계측기기 개발사업을 육성시키는 동시에 신뢰성 대책 기술도 동시에 개발해야 될 것이다.

둘째, 비교적 고정밀 환경시험이 요구되는 계측기나 센서류에 대한 시험기술은 까다로우므로 환경시험을 수행하는 기관도 회피하는 경우가 많았고 시험 기술자가 자주 바뀌므로 단일환경 및 단순부품에 치중되어 왔다. 앞으로는 센서 및 정밀기기를 시험할 수 있는 전문가를 양성하여 진동 지그 설계기술 확보 등 핵심 환경시험기술의 개발이 필요하다.

셋째, 가장 중요한 것으로 환경시험을 수행하고 나면 고장현상이 발생하는 경우가 대부분인데 특히 초기의 제품개발단계에서 많이 나타난다. 대부분의 센서 및 기기 제조회사에서는 고장원인을 잘 파악하지 못하는 경우가 많다. 환경시험기술은 일반화될 수 있지만 고장원인은 다양하므로 재료,

회로, 센서 및 기구물 등에 대한 전문적인 지식이 없이는 고장에 대한 원인분석이 불가능하거나 장기간의 시간이 소요된다.

마지막으로 센서 및 계측기기의 사용환경이 정확도(불확도)에 영향을 미치므로 환경인자를 파악하는 것이 필요하고 특히 NT, BT, IT 제품, 센서, 계측기기일 경우에는 환경영향 평가를 거의 고려해야 한다.

참고문헌

1. Bonert, R, "Design of a high performance digital tachometer with a microcontroller" : IEEE Trans on Instrumentation and Measurement, Vol. 38, No.6, pp1104-1108, 1983.
2. Choi.M.Y and Lim.S.J, "Performance Evaluation of Encoder," Proceedings of the Fourth Rok-Roc Metrology Symposium, May 19-21, pp163-166, 1992.
3. Arsenault, J.E., " Reliability and aintainability of Electronic System," Computer Science Press.
4. Guide to Reliability Testing, ISBN 4-8171-3113-6
5. Shimizu, H. and Sano, A., "SETSUBI SHINRAISEI KOUGAKU," ISBN 89-425-0313-6,1987.
6. Choi.M.Y, Park.J.H and Yun.K.T "Environmental Testing for precision Parts and Instruments,"Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing , Vol. 21, No 6, 2001.
7. Lee.H.J, Choi.M.Y, Park.J.H and Lim.J.H "Environmental Stress on the Displacement Sensor for Infrastructure," KSNTTE, 2004.