

통신케이블 차폐시험방법의 유효성 확인 및 측정불확도 추정

김종상*, 조남호**

Validation and Measurement Uncertainty Estimation in the Testing Method of Cable-harness Shielding Effectiveness

Jong-Sang Kim*, Nam-Ho Cho**

요약

시험기관은 표준화되지 않은 시험방법, 해당기관이 설계/개발한 방법 등에 의한 시험을 수행할 경우 방법의 유효성이 확인되어야만 사용할 수 있으며, 또한 측정값에 대한 불확도(Uncertainty)의 추정이 요구되고 있다. 따라서 케이블-하네스의 EMI 차폐효과시험방법에 대한 측정정밀도를 통계적 분석 방법에 의거 검토하여 유효성을 확인하는 방법을 제시하고 시험결과에 대한 측정불확도를 추정하는 방법을 제시하였다.

Abstract

The laboratory shall validate nonstandard methods, laboratory-designed/ /developed methods, standard methods used outside their intended scope, amplifications and modifications of standard methods to confirm that the methods are fit for the intended use. Therefor in this paper, we propose the Validation methods using the statistical analysis and estimating the uncertainty of measurements estimations in the testing method of cable-harness shielding effectiveness

* 건국대학교 산업공학과 박사과정
** 건국대학교 산업공학과 교수

시험방법”의 유효성을 검토하고 측정결과값에 대한 불확도를 추정함으로써 동 시험방법의 적절성을 평가하고자 한다.

I. 서론

미지의 대상에 대해 알고자 하는 인간의 노력은 끊임 없이 계속되고 있으며 시험과 실험 등의 측정을 통하여 인지되고 평가가 이루어진다. 따라서 특정시험항목에 대하여 다양한 측정방법(이하 시험방법이라 함)들이 개발되어 논의되어지지만 일반적으로 이 들 모두가 공식적으로 인정되어지는 것은 아니다. 이러한 시험방법은 보편 타당한 과학적이며 공학적이고 현실적인 관점에서 수행이 가능하여야 하며, 어느 방법이 측정대상물의 용도와 활용 목적에 가장 적절한가가 평가되어야 한다. 즉, 국제규격, 국가규격 등으로 공인되지 않은 시험방법은 시험방법의 유효화가 적절하게 평가되어야만 측정결과를 인정할 수 있게 되며, 향후 필요에 따라 규격화가 이루어 질 수 있게 된다.

또한 시험기관은 측정결과를 보고 또는 기술하는 데 있어서 측정값뿐만이 아니라 이 값의 신뢰성을 나타내기 위하여 ISO/IEC 17025(시험기관 자격을 위한 일반적인 요구사항)에 의거 측정 불확도(Measurement Uncertainty)를 추정하는 절차를 보유하고 이를 적용토록 요구(1)(2)하고 있다.

따라서 본 논문에서는 현재 국방규격으로 표준화 된 것은 아니나 국방과학연구소에서 개발하여 (보고서 번호:ATRC-513-92468, 1992년 12월) 국방부에 생산, 납품되는 케이블 하네스의 차폐효과 시험의 기준 시험방법으로 널리 활용하고 있는 “케이블 하네스의 차폐효과

II. 케이블 하네스의 EMI 차폐효과 시험방법의 측정원리^[3]

1. 배경

미 군사규격에서 요구하고 있는 길이 1m 및 원거리 케이블에 대한 표면전달 임피던스(Surface Transfer Impedance) 시험법은(MIL-C-85485A의 4.7.24항) 케이블 자체의 시험이며, 케이블의 완성외경 크기가 12mm 이상은 시험품의 제작이 불가능하고, 또한 케이블 외경이 12mm 이하의 시험품의 케이블 하네스의 EMI 차폐효과 결과값은 시험품의 케이블을 이용하여 제품으로 제작되어 장비에 부착되었을 때 그 결과값이 상호 연계성 있고 동등한 차폐값을 유지한다고 볼 수 없으며, 케이블 하네스의 작업 공정상 하나의 제품으로 완성되어 케이블 하네스에 콘넥터가 접속된 상태의 차폐효과 값을 적용장비에 적용해야 한다.

특히 케이블의 차폐값이 아무리 우수한 케이블 구성이라고 해도 저 레벨의(EMC 측면 Electromagnetic Compatibility) 콘넥터를 적용하였을 경우 케이블의 차폐값을 유지하지 못할 뿐이며, 케이블 하네스의 EMI 차폐효과를 극대화하는데는 케이블의 구성과 편조선의 구성, 편조선과 아답터의 접촉상태, 아답터와 많은 종류의

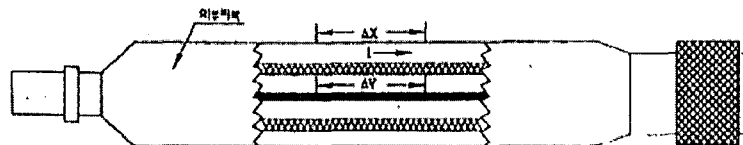
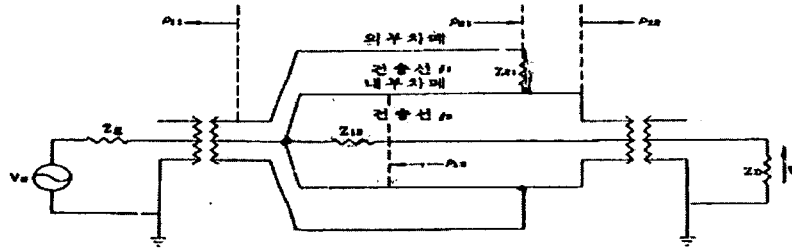


그림 1. 표면전달 임피던스 기본이론



(a)

그림 2. 표면전달 임피던스 측정이론

그림 2. 표면전달 임피던스 측정이론

콘넥터, 기구물의 후처리(전도성 도금) 상태에 따라 많은 차이를 보이고 있다.

는 식 (1)과 같이 정의할 수 있다.

2. 측정원리

케이블 하네스의 EMI 차폐효과 측정원리는 케이블 내부에는 심선(Conductor)을 절연용 절연체가 감싸고 있고, 그 위에 차폐(Shield)용 브레이드(Braid)가 덮고 있다. 그림1과 같이 차폐의 표면(ΔX)에 전류(I)가 흐를 경우를 가정하면 차폐는 완전한 도체가 아니기 때문에 심선에는 유기전압 ΔV 가 유기된다. 위 두 변수를 이용하여 표면전달 임피던스(Surface Transfer Impedance) Z_t

$$Z_t = \frac{1}{I} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta X} \quad (\Omega/m) \quad (1)$$

이를 시험구성도로 표기하면 그림 2와 같다.

그림 2와 같이 내부차폐는 심선과 연결되고 임피던스 Z_{12} 를 거쳐서 바로 신호발생기(Signal Generator)와 연결된다. 심선의 다른 한부분은 검출기(Detector or Spect -rum Analyzer)에 연결된다. 심선이 다심도체(Multiple Conductor)로 되어 있는 경우 신호 발생

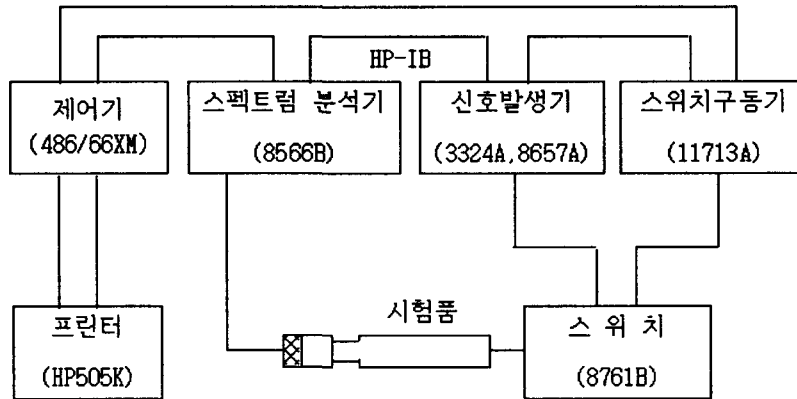
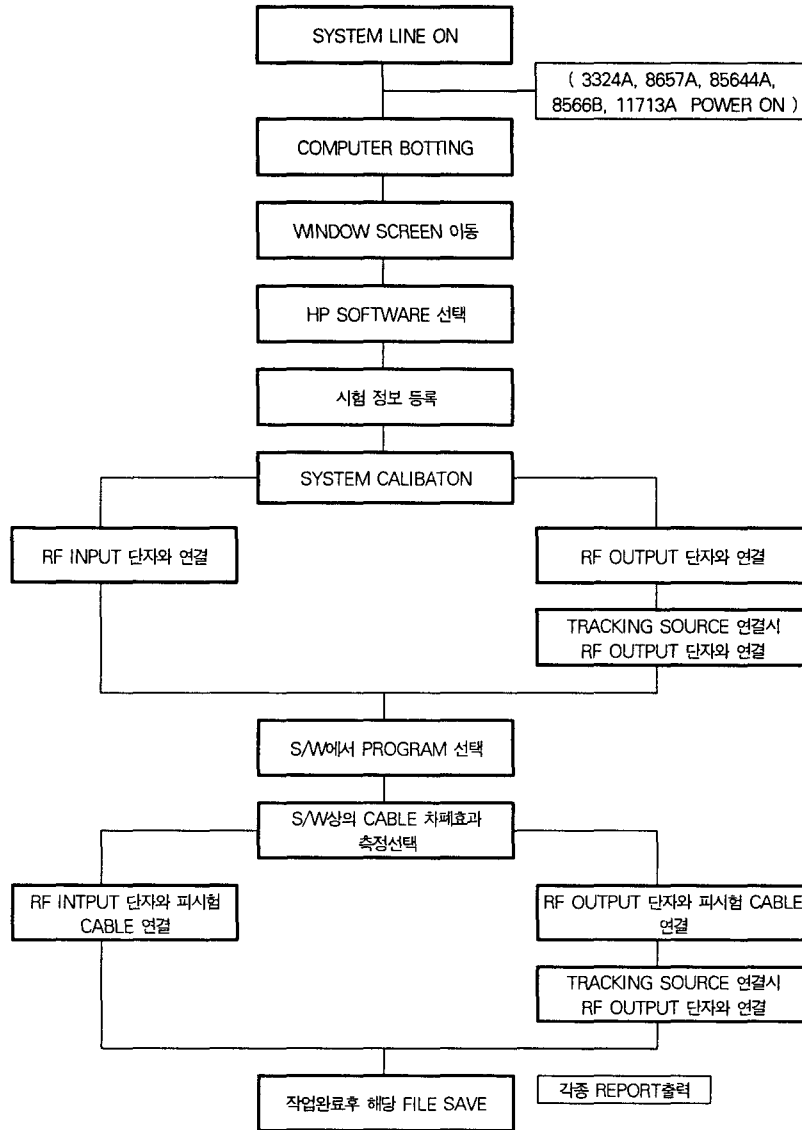


그림 3. 측정시스템 구성

표 1. 시스템 운용순서



기와 연결되는 부분에서 심선을 모아 단락 회로를 구성한다.

Martin 과 Emert는 표면전달 임피던스를 식(2)와 같이 정의[4][5]하였다.

식(2)를 이용 측정 System을 구성하여 피 시험 케이블의 차폐 재료의 차폐 효과를 측정하며 측정장비의 구성은 그림3, 측정시스템운용순서는 표1과 같다.

$$Z_t = \frac{VL}{V_s Y_0 L} \cdot \frac{4(1 - \rho_{12} \rho_{22})(1 - \rho_{21} \rho_{11})}{(1 + \rho_{22})(1 - \rho_{11})(1 - \rho_{12})(1 - \rho_{21})} \quad (2)$$

Ⅲ. 시험방법의 유효화

1. 유효화(validation) 방법

1.1 유효화(validation)

유효화(validation)란 "특정요건이 충족함을 객관적인 증거의 조사와 제공에 의한 확인"이라고 정의되며, 방법의 유효화란 "방법에 대한 수행도(performance)의 특성 및 그 한계 그리고 이러한 특성을 변화시킬 수 있는 인자(parameter)와 그들의 영향력을 파악하기 위한 프로세스"라고 정의[6]된다. 그리고 이러한 유효화를 위해서는 다음과 같은 여러 가지 기법의 이용이 가능하다.

- 표준기준물 또는 표준물질을 사용한 교정
- 다른 방법으로 획득한 결과의 비교
- 비교시험
- 결과에 영향을 미치는 요인에 대한 체계적인 검토
- 결과의 불확도 평가

이러한 유효화 방법 중 "다른 방법으로 획득한 결과의 비교" 및 시험방법의 기술적인 타당당성은 국방과학연구소의 보고서에서 (보고서 번호:ATRC-513-92468, 1992년 12월) 확인되었으므로 본 논문에서는 비교시험을 이용한 정밀도 분석을 실시하고 측정결과에 영향을 미치는 요인을 분석하여 측정불확도를 평가하였다.

비교시험에 의한 정밀도 분석은 다음 6단계를 거쳐 실시되었으며, 각각 시험한 결과를 Excel 데이터분석 프로그램에 의한 t-검정 및 분산분석의 통계적인 방법을 이용 분석 평가하고 분석·시험의 허용차 통칙(KS A 0004)에 의거 정밀도를 산출하였다.

- ① 시료의 안정성 시험
- ② 시험시스템(측정방법포함)의 안정성 시험
- ③ 온도변화에 따른 측정값의 변화(둔감도: Ruggedness)
- ④ 습도변화에 따른 측정값의 변화(둔감도: Ruggedness)
- ⑤ 시험시간 비교시험에 의한 숙련도 평가
- ⑥ 시험자간 비교시험에 의한 정밀도 산출

1.2 시험시료의 선정 및 시험수행(측정) 방법

유효성 검토를 위한 비교시험은 시험대상 시료가 표준

물질이거나 안정성이 확보된 균질한 물질이어야 하나 현재 인증받은 피시험용케이블이 없으며, "케이블 하네스의 차폐효과 시험"은 비파괴 시험방법으로서 1개의 기준시료(피시험용케이블)를 설정하였으므로 시료간 균질성 유무는 불필요하며, 단일시료의 안정성 유무만 확인하였다. 따라서 Y사에서 제작한 피시험용 케이블(CX-723K-RM)을 기준시료로 하여 정밀도 검토를 위한 시험을 실시하였다.

시험의 실시는 분석·시험의 허용차 통칙[7]에 위배되지 않도록 하였으며, 시험환경(항온항습기 설치, 온도: 23℃, 습도: 50% 기준), 시험방법 및 측정절차는 "케이블-하네스의 EMI 차폐효과시험방법(ATRC-513-92468)"에 의거 사내규격화 한 Y사의 "케이블하네스의 EMI 차폐효과 측정(연합 EMC-513-92468)"방법[8]에 의거 수행하였다.

시험장비의 측정시스템 구성은 그림3에 따르며 시스템 운용절차는 표1에 따른다.

2. 시료의 안정성 시험실시 및 분석결과

기준시료(CX-723K-RM)의 보관방법 등에 따른 변질성 유무를 확인하기 위해 반복시험조건[7]에 의거 동일 시험자가 동일시료(CX-723K-RM)를 2번에 걸쳐 각각 10회의 반복시험을 실시하였다.

시험결과는 표2 와 같으며 측정 Data의 분석은 "t-검정(등분산가정)에 의한 평균치 차의 검정"을 Excel 데이터분석 프로그램에 의거 실시한 결과 기간변화에 따른 기준시료의 안정성은 이상이 없음을 확인하였다.(여기서는 시험측정결과에 대한 Raw Data는 생략하고 결과값만을 제시하고 분석하였다.)

1) 시험결과 Data

표2 시료의 안정성시험결과 Data

| 일지 연속번호 | 최초측정일 | 30일후측정 | 비 고 |
|------------|--------|--------|-----|
| 1 | 57.5 | 58.8 | |
| 2 | 57.8 | 58.7 | |
| 3 | 57.0 | 58.7 | |
| 4 | 60.1 | 58.0 | |
| 5 | 60.6 | 59.6 | |
| 6 | 60.6 | 59.4 | |
| 7 | 59.2 | 59.0 | |
| 8 | 59.1 | 58.7 | |
| 9 | 59.2 | 58.6 | |
| 10 | 58.5 | 58.5 | |
| 평균값 | 58.96 | 58.80 | |
| 표준편차 | 1.2624 | 0.452 | |

2) 분석방법 : t-검정(등분산가정)에 의한 평균치 차의 검정 실시

| | 2000.12.17 | 2001.01.03 |
|---------------|------------|------------|
| 평균 | 58.96 | 58.8 |
| 분산 | 1.594 | 0.204 |
| 관측수 | 10 | 10 |
| 공동(Pooled) 분산 | 0.900 | |
| 가설 평균차 | 0 | |
| 자유도 | 18 | |
| t 통계량 | 0.377 | |
| P(T<t) 단측 검정 | 0.355 | |
| t 기각치 단측 검정 | 1.734 | |
| P(T<t) 양측 검정 | 0.710 | |
| t 기각치 양측 검정 | 2.101 | |

※ 분석결과

t-통계량(0.3773) < t-기각치(2.1009)이므로 기간변화에 따른 기준시료의 차이는 95% 신뢰수준으로 유의하지 않음.

3. 시험시스템의 안정성 시험실시 및 분석

시험시스템 및 측정방법의 안정성을 검토하기 위해 동일 시료에 대하여 동일시험자가 시험일자를 변경(5회)하면서 매 시험시 10회의 반복시험을 실시하여 일원 배치법에 의한 분산분석을 실시한 결과는 표3 과 같으며 95% 신뢰도로 시험시스템의 반복재현에 의한 안정성은 이상이 없음을 확인하였다.

1) 시험결과 Data

표3 시험 시스템의 안정성시험결과 Data

| 반복 \ 재현 | 재현 1 | 재현 2 | 재현 3 | 재현 4 | 재현 5 |
|---------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 57.5 | 57.8 | 58.7 | 59.0 | 58.8 |
| 2 | 57.8 | 58.3 | 58.3 | 58.8 | 58.7 |
| 3 | 57.0 | 58.7 | 59.6 | 58.8 | 58.7 |
| 4 | 60.1 | 59.0 | 59.6 | 58.0 | 58.0 |
| 5 | 60.6 | 59.0 | 59.4 | 58.6 | 59.6 |
| 6 | 60.6 | 59.7 | 59.1 | 58.2 | 59.4 |
| 7 | 59.2 | 58.7 | 58.3 | 59.3 | 59.0 |
| 8 | 59.1 | 59.9 | 58.9 | 59.4 | 58.7 |
| 9 | 59.2 | 60.0 | 58.5 | 59.0 | 58.6 |
| 10 | 58.5 | 59.1 | 58.3 | 59.0 | 58.5 |
| 평균값 | 58.96 | 59.02 | 58.87 | 58.81 | 58.80 |
| 표준편차 | 1.262 | 0.7004 | 0.5313 | 0.4433 | 0.4521 |
| 평균표준편차 | 0.399 | 0.2215 | 0.1680 | 0.1401 | 0.1429 |

2) 분석방법 : 일원배치법에 의한 분산분석 실시

| 요약표 | | | | |
|--------|-----|-------|-------|-------|
| 인자의 수준 | 관측수 | 합 | 평균 | 분산 |
| 재현 1 | 10 | 589.6 | 58.96 | 1.594 |
| 재현 2 | 10 | 590.2 | 59.02 | 0.491 |
| 재현 3 | 10 | 588.7 | 58.87 | 0.282 |
| 재현 4 | 10 | 588.1 | 58.81 | 0.197 |
| 재현 5 | 10 | 588 | 58.8 | 0.204 |

| 분산 분석 | | | | | |
|-------|--------|-----|--------|-------|-------|
| 변동의요인 | 제곱합 | 자유도 | 제곱평균 | F비 | F기각치 |
| 처리 | 0.3668 | 4 | 0.0917 | 0.166 | 2.579 |
| 잔차 | 24.91 | 45 | 0.554 | | |
| 계 | 25.276 | 49 | | | |

※분산분석 결과:

F비값(0.1656) < F기각치(2.5787) 이므로 95% 신뢰도로 일자별 시험시스템의 재현성에 차이가 없다.

4. 온도변화에 따른 측정값의 변화(둔감도: Ruggedness)

시험환경의 변화(측정환경온도 : 23±10℃)에 따른 차폐시험 측정값의 변화(둔감도: Ruggedness)의 정도를 파악하기 위해 기준시료(CX-723K- RM)에 대하여 시험자가 측정환경 온도를 변화(5회:13℃,18℃,23℃,28℃,33℃)하면서 매 10회 반복 시험을 실시하였다.

시험결과는 표4 와 같으며 Data 분석은 "일원배치법"에 의한 분산분석을 실시한 결과 95% 신뢰도로 측정값의 차이가 없음이 확인됨에 따라 온도변화에 따른 시험결과값의 둔감도는 구분되지 않으며 시험온도환경범위에서는 온도변화에 영향이 없음이 검증되었다.

1) 시험결과 Data

표4. 시험환경(온도)에 따른 시험결과 Data

| 순번 \ 온도 | 13℃ | 18℃ | 23℃ | 28℃ | 33℃ |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 59.5 | 58.3 | 58.3 | 59.5 | 58.4 |
| 2 | 58.4 | 59.7 | 58.2 | 59.5 | 58.3 |
| 3 | 58.0 | 59.7 | 58.7 | 59.8 | 58.3 |
| 4 | 58.2 | 57.4 | 58.7 | 60.3 | 59.4 |
| 5 | 58.2 | 59.4 | 58.6 | 58.2 | 59.4 |
| 6 | 58.6 | 59.4 | 58.2 | 58.2 | 59.4 |
| 7 | 58.5 | 59.3 | 58.2 | 58.2 | 59.4 |
| 8 | 58.5 | 59.2 | 58.0 | 58.4 | 58.6 |
| 9 | 58.3 | 58.7 | 60.2 | 58.4 | 58.5 |
| 10 | 58.3 | 58.7 | 60.3 | 58.5 | 58.5 |
| 평균값 | 58.45 | 58.98 | 58.74 | 58.90 | 58.5 |
| 표준편차 | 0.4089 | 0.7192 | 0.8302 | 0.7902 | 0.5072 |
| 평균표준편차 | 0.1296 | 0.2274 | 0.2625 | 0.2498 | 0.1604 |

2) 분석방법 : 일원배치법에 의한 분산분석 실시

| 요약표 | 인자의 수준 | 관측수 | 합 | 평균 | 분산 |
|-----|--------|-----|-------|-------|-------|
| | 13℃ | 10 | 584.5 | 58.45 | 0.167 |
| | 18℃ | 10 | 589.8 | 58.98 | 0.517 |
| | 23℃ | 10 | 587.4 | 58.74 | 0.689 |
| | 28℃ | 10 | 589 | 58.9 | 0.624 |
| | 33℃ | 10 | 588.2 | 58.82 | 0.257 |

| 분산분석 | | | | | | |
|--------|--------|-----|-------|-------|-------|-------|
| 변동의 요인 | 제곱합 | 자유도 | 제곱 평균 | F 비 | P-값 | F 기각치 |
| 처리 | 1.665 | 4 | 0.416 | 0.923 | 0.459 | 2.579 |
| 잔차 | 20.301 | 45 | 0.451 | | | |
| 계 | 21.966 | 49 | | | | |

※ 분산분석(일원배치법)결과:

F비값(0.9226) < F기각치(2.5787) 이므로 95% 신뢰도로 온도변화에 따른 측정결과값에 차이가 있다고 할 수 없다.

5. 습도변화에 따른 측정값의 변화(둔감도: Ruggedness)

시험환경변화(습도 : 50±30%)에 따른 측정값의 변화(둔감도: Ruggedness)를 분석하기 위하여 동일시료(CX-723K-RM)에 대하여 동일시험자가 습도(20%, 30%, 50%, 70%, 80%)를 변화하여 각각 10회씩 반복 시험을 실시하였다.

시험결과는 표5 와 같으며 Data 분석은 "일원배치법"에 의한 분산분석을 실시한 결과 95% 신뢰도로 측정값의 차이가 없음이 확인됨에 따라 습도변화에 따른 시험결과값의 둔감도는 구분되지 않으며, 습도환경범위에서는 습도변화에 영향이 없음이 검증되었다.

1) 시험결과 Data

표5. 시험환경(습도)에 따른 시험결과 Data

| 순번 | 습도 | | | | |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 20% | 30% | 50% | 70% | 80% |
| 1 | 58.3 | 60.8 | 60.4 | 60.0 | 59.2 |
| 2 | 58.3 | 61.4 | 60.6 | 60.0 | 59.3 |
| 3 | 58.2 | 60.8 | 61.0 | 60.3 | 59.3 |
| 4 | 58.2 | 60.1 | 60.0 | 60.2 | 59.3 |
| 5 | 60.2 | 59.9 | 60.1 | 59.8 | 60.0 |
| 6 | 60.3 | 59.6 | 59.8 | 58.3 | 58.9 |
| 7 | 60.0 | 58.8 | 59.8 | 58.2 | 58.8 |
| 8 | 59.6 | 58.9 | 58.5 | 58.0 | 58.8 |
| 9 | 58.9 | 58.4 | 58.4 | 59.2 | 58.8 |
| 10 | 58.9 | 58.8 | 58.4 | 59.2 | 58.2 |
| 평균값 | 59.09 | 59.75 | 59.70 | 59.32 | 59.15 |
| 표준편차 | 0.8621 | 1.0244 | 0.9475 | 0.8791 | 0.4765 |

2) 분석방법 : 일원배치법에 의한 분산분석 실시

| 요약표 | 인자의 수준 | 관측수 | 합 | 평균 | 분산 |
|-----|--------|-----|-------|-------|-------|
| | 0.2 | 10 | 590.9 | 59.09 | 0.743 |
| | 0.3 | 10 | 597.5 | 59.75 | 1.049 |
| | 0.5 | 10 | 597.0 | 59.70 | 0.898 |
| | 0.7 | 10 | 593.2 | 59.32 | 0.773 |
| | 0.8 | 10 | 590.6 | 59.06 | 0.227 |

| 분산분석 | | | | | |
|------|--------|-----|-------|-------|------|
| 변동요인 | 제곱합 | 자유도 | 제곱평균 | F 비 | F기각치 |
| 처리 | 4.2932 | 4 | 1.073 | 1.454 | 2.58 |
| 잔차 | 33.214 | 45 | 0.738 | | |
| 계 | 37.507 | 49 | | | |

※ 분산분석(일원배치법)결과:

F비값(1.45416) < F기각치(2.57874) 이므로 95% 신뢰도로 습도변화에 따른 측정결과값에 차이가 유의하지 않은 것으로 판단된다.

6. 시험시간 비교시험에 의한 숙련도 평가

시험방법의 정밀도 분석을 위해 국방과학연구소와 Y사가 시험시간 비교시험을 시행하였다.(시험가능 공인시험소가 국방과학연구소와 Y사밖에 없음.)

비교시험방법은 이 시험의 개발자인 국방과학연구소를 기준시험소로 하고 Y사를 참여시험소로 하여 동일시료(CX-723K-RM)에 대하여 시험소별 10회 반복 시험을 실시하는 측정비교법(9)을 적용하였다. 시험결과 Data는 표6 와 같으며, 비교시험분석방법의 하나인 En값 검정 및 일원배치법에 의한 분산분석을 실시한 결과 95% 신뢰도로 기준시험소와 차이가 없고 En값 또한 En(0.025) < 1 로서 만족하였다.

1) 시험 Data

표6 시험시간 비교시험결과 Data

| 순번 | 업체 | |
|--------|--------|-------------|
| | 기준시험소 | 참여시험소(Y시험소) |
| 1 | 59.24 | 57.5 |
| 2 | 59.24 | 57.8 |
| 3 | 59.39 | 57.0 |
| 4 | 59.15 | 60.1 |
| 5 | 59.76 | 60.6 |
| 6 | 58.32 | 60.6 |
| 7 | 58.66 | 59.2 |
| 8 | 58.60 | 59.1 |
| 9 | 59.02 | 59.2 |
| 10 | 58.85 | 58.5 |
| 평균값 | 59.023 | 58.96 |
| 표준편차 | 0.4246 | 1.2624 |
| 평균표준편차 | 0.1342 | 0.3992 |

2) 분석방법 : 일원배치법에 의한 분산분석 실시

| 요약표 | | | | | |
|-------|-----|--------|-------|-------|--|
| 인자의수준 | 관측수 | 합 | 평균 | 분산 | |
| 기준시험소 | 10 | 590.23 | 59.02 | 0.180 | |
| 참여시험소 | 10 | 589.6 | 58.96 | 1.594 | |

| 분산분석 | | | | | |
|------|--------|-----|--------|--------|-------|
| 변동요인 | 제곱합 | 자유도 | 제곱평균 | F비 | F기각치 |
| 처리 | 0.0199 | 1 | 0.0199 | 0.0224 | 4.414 |
| 잔차 | 15.967 | 18 | 0.887 | | |
| 계 | 15.987 | 19 | | | |

※ 분산분석(일원배치법)결과:

F비값(0.0223) < F기각치(4.4139) 시험소간 비교 시험결과 이상이 없음.

3) En 값에 의한 숙련도 분석

① En 값에 의한 숙련도 평가 방법

$$E_n = \frac{|x - X|}{\sqrt{U_{lab}^2 - U_{ref}^2}}$$

- x ; 참가시험소 측정결과값
- X ; 기준시험소 측정결과값
- U_{lab} ; 참가시험소 결과의 불확도
- U_{ref} ; 기준시험소의 불확도

· 숙련도 평가 방법

- E_n ≤ 1 : 만족
- E_n > 1 : 불만족

② 비교시험결과에 의한 E_n 값 산출 및 평가

$$E_n = \frac{|x - X|}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}}$$

$$= \frac{|58.96 - 59.02|}{\sqrt{1.781^2 + 1.592^2}}$$

$$= \frac{0.06}{\sqrt{5.71}} \approx 0.025$$

- x = 58.96 (참가시험소 측정결과값)
- X = 59.02 (기준시험소 측정결과값)
- U_{lab} = 1.781

(참가시험소 결과의 불확도 → 측정불확도 추정 참조)

U_{ref} = 1.592 (기준시험소의 불확도)

∴ E_n = 0.025 < 1

이므로 참가시험소의 숙련도는 기준시험소와 차이가 없음

7. 시험자간 비교시험실시에 의한 정밀도 산출 시험방법의 정밀도를 구하기 위해 3개 이상의 시험소가 참여한 공동실험을 수행하여야 하나 시험소의 부재로 인해 기준시료를 설정하여 시험자간 공동비교시험을 실시하였으며, 분석·시험의 허용차 통칙(KS A 0004)에 의거 시험방법의 측정정밀도(반복, 재현)를 산출[7]하였다.

시험자간 비교시험은 기준시료 (CX-723K-RM)에 대하여 Y사의 EMC시험센터 시험원 3명이 공동비교시험을 10회씩 반복 실시하였으며 시험결과 DATA는 표7과 같다.

7.1 시험자간 비교시험 Data 및 분석결과

1) 시험 Data

표7. 시험자간 비교시험결과 Data

| 시험자 순번 | 시험자A | 시험자B | 시험자C |
|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 59.0 | 58.7 | 57.5 |
| 2 | 59.7 | 58.7 | 57.8 |
| 3 | 59.8 | 59.1 | 57.0 |
| 4 | 59.1 | 58.9 | 60.1 |
| 5 | 59.4 | 58.4 | 60.6 |
| 6 | 59.8 | 58.9 | 60.6 |
| 7 | 59.7 | 59.1 | 59.2 |
| 8 | 59.5 | 58.2 | 59.1 |
| 9 | 59.4 | 58.1 | 59.2 |
| 10 | 59.4 | 59.1 | 58.5 |
| 평균값 | 59.48 | 58.72 | 58.96 |
| 표준편차 | 0.2780 | 0.3735 | 1.2624 |
| 평균표준편차 | 0.0879 | 0.1181 | 0.3992 |

2) 분산분석 : 일원배치법

| 요약표 | | | | | |
|-------|-----|-------|-------|-------|--|
| 인자의수준 | 관측수 | 합 | 평균 | 분산 | |
| 시험자A | 10 | 594.8 | 59.48 | 0.077 | |
| 시험자B | 10 | 587.2 | 58.72 | 0.140 | |
| 시험자C | 10 | 589.6 | 58.96 | 1.594 | |

| 분산분석 | | | | | |
|------|---------|-----|-------|-------|-------|
| 변동요인 | 제곱합 | 자유도 | 제곱평균 | F비 | F기각치 |
| 처리 | 3.01867 | 2 | 1.509 | 2.501 | 3.354 |
| 잔차 | 16.296 | 27 | 0.604 | | |
| 계 | 19.315 | 29 | | | |

※분산분석(일원배치법)결과:

F비값(2.5007) < F기각치(3.3541) 이므로 시험자간 측정결과 값의 차이가 95% 신뢰도로 없다고 할 수 있다.

7.2 측정정밀도(반복, 재현) 추정

1) 정밀도 추정방법

표8. 분산 분석표

| 요 인 | S | φ | V | E(V) |
|------|----------|-------------|----------|-------------------------------|
| 실 간 | S_b^2 | ϕ_R | V_R | $\sigma_{RW}^2 + m\sigma_b^2$ |
| 실내재현 | S_{RW} | ϕ_{RW} | V_{RW} | σ_{RW}^2 |
| 계 | S_R | ϕ_T | | |

정밀도의 추정은 분산분석표로부터 다음 공식에 의거 실간분산성분 S_b^2 , 실내표준편차(반복정밀도) S_{RW} , 실간표준편차(재현정밀도) S_R 을 구한다.

$$\hat{\sigma}_b^2 = S_b^2 = \frac{V_R - V_{RW}}{m}$$

$$\hat{\sigma}_{RW} = S_{RW} = \sqrt{V_{RW}}$$

$$\hat{\sigma}_R = S_R = \sqrt{S_b^2 + \frac{S_{RW}^2}{n}}$$

(단, n:시험방법 규격에 정해진 측정 횟수)

2) 시험자간 비교시험 결과로부터 정밀도의 추정

① 실간 분산 성분 σ_b^2

$$S_b^2 = \frac{V_R - V_{RW}}{m} = \frac{1.50933 - 0.60356}{10} = 0.090577$$

② 반복정밀도 : 실내 표준 편차 S_{RW}

$$S_{RW} = \sqrt{V_{RW}} = \sqrt{1.50933} = 1.22855$$

③ 재현정밀도 : 실간 표준 편차 S_R

시험 방법 규격에 정해진 측정 횟수는 n=1 이므로

$$S_R = \sqrt{S_b^2 + \frac{S_{RW}^2}{n}} = \sqrt{0.090577 + \frac{1.50933}{1}} = 1.26487$$

IV. 측정불확도 산출

1. 측정불확도 추정방법 및 절차

차폐효과시험의 측정 불확도(Uncertainty) 보고 및 추정은 ISO에서 발간한 GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement)[10] 및 기술표준원 지침(측정결과와 불확도 산정 및 표현을 위한지침)[11]에 의거 추정하였으며 그 절차 및 방법을 요약하면 다음과 같다.

1) 시험개요 : 차폐효과 측정

“케이블-하네스의 EMI 차폐효과시험방법의 측정 시스템을 이용하여 케이블하네스의 EMI 차폐효과를 측정.

2) 시험방법 : Y사의 “케이블하네스의 EMI 차폐효과 측정 시험방법”

① 측정 SYSTEM 사용장비

- 8566B(Spectrum Analyzer): 교정
- 3324A(Synthesizer Function/Sweep Generator): 교정
- 8657A(Signal Generator): 교정

② 시험환경

- 온도: 23℃ ±10℃
- 습도: 50% ±30%

3) 불확도 요인

- ① B type 불확도 : 시험환경 및 장비에 기인한 불확도 인자 - 측정 시스템의 각 장비의 교정성적서 또는 장비 매뉴얼에서 적용
- ② A type 불확도 : 시험을 실시하는 과정에서 측정시스템 자체에 기인한 불확도를 산출하기 위해 10회 반복측정 실시

4) 불확도 산출

- ① B type 불확도 산출
 - 측정장비의 불확도

따라서 B type의 불확도

$$u_B = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + u_{B3}^2 + u_{B4}^2}$$

$$= \sqrt{0.087^2 + 0.15^2 + 0.5196^2 + 0.5774^2}$$

$$= \sqrt{0.007569 + 0.0225 + 0.26998416 + 0.33339076}$$

$$= \sqrt{0.63344392} = 0.79589$$

② A type 불확도 산출

: 10회 반복 측정에 의한 System의 재현성

| 반복회수 | 측정결과 |
|------|--------|
| 1 | 57.5 |
| 2 | 57.8 |
| 3 | 57.0 |
| 4 | 60.1 |
| 5 | 60.6 |
| 6 | 60.6 |
| 7 | 59.2 |
| 8 | 59.1 |
| 9 | 59.2 |
| 10 | 58.5 |
| 평균값 | 58.96 |
| 표준편차 | 1.2624 |

$$u_A = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{1.2624}{\sqrt{10}} = 0.39921$$

5) 불확도 표현

① 합성 불확도

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$$

$$= \sqrt{0.39921^2 + 0.79589^2}$$

$$= \sqrt{0.15937 + 0.63344} = \sqrt{0.79281}$$

$$= 0.89040$$

② 포함인자 k 및 유효 자유도 계산

$$v_{eff} = \frac{(u_c)^4}{\sum_{i=1}^m \frac{(C_{Ai} u_{Ai})^4}{\nu_{Ai}} + \sum_{j=r+1}^n \frac{(C_{Bj} u_{Bj})^4}{\nu_{Bj}}}$$

$$= \frac{u_c^4}{\sum \frac{u_A^4}{\nu_A}}$$

$$= \frac{0.8904^4}{\frac{0.39921^4}{9}} = \frac{0.62855}{0.00282} = 222.9 \approx \infty$$

∴ 포함인자 k = t(∞, 95.45%) = 2

③ 확장불확도 U = k · u_c

$$U = 2 \times 0.8904 = 1.7808 \text{ [dB]}$$

6) 불확도 표시

$$\pm 1.781 \text{ [dB]} \text{ (k=2, 신뢰수준 95.45 \%)}$$

2. 불확도 추정 보고서

불확도 추정결과를 요약하면 표9와 같다.

표9. 불확도 추정결과 요약표

| 구분 | 불확도 요인(인자) | 형태 | 확률분포 | 불확도 | 표준 불확도 |
|---|--|----|---------------------------|--------|---------|
| 8566B (Spectrum Analyzer) | - Calibrator Amplitude Accuracy | B형 | 직사각형 | 0.15dB | 0.0870 |
| | - Frequency Response | | 정규분포 (k=2) | 0.3dB | 0.1500 |
| 3324A (Synthesizer Function/Sweep Generator) | - Amplitude Accuracy | | 직사각형 | 0.9dB | 0.5196 |
| | 8657A(Signal Generator) | | - Absolute Label Accuracy | 직사각형 | 1.0dB |
| 측정시스템 | 10회 반복 측정에 의한 System의 재현성 $u_A = \frac{s}{\sqrt{n}} = 0.40$ | A형 | 표준편차 | | 0.3992 |
| 합성표준 불확도 (v _{eff} = ∞) | | | | | 0.8904 |
| 확장 불확도 U | | | 정규분포 (k=2) | | 1.781dB |

V. 결 론

시험방법의 유효성검토를 위해 우선 시료의 장기안정성시험을 실시하고 여기서 입증된 시료를 중심으로 반복재현에 의한 측정시스템의 안정성을 검토하였으며, 시험환경(온도, 습도)의 변화에 대한 측정결과값의 변화(둔감도)를 검토한 결과 모두 95%신뢰도로 이상이 없는 것으로 나타났다.

이 시험방법을 적용하는 시험시간 차이유무를 파악하기 위해 비교시험(측정비교법)에 의한 숙련도 평가를 실시한 결과 Y시험소는 기준시험소와 차이가 없음을 확인되었다. 따라서 이러한 사실을 기초로 이 시험방법의 측정정밀도를 산출하기 위해 시험자간 비교시험을 실시하여 95%신뢰도로 시험자간 측정결과에 차이가 없었으며, 반복정밀도 1.23dB, 재현정밀도 1.27dB로서 시험방법의 유효성을 입증하였다. 또한 케이블 하네스의 EMI 차폐효과 시험방법에 의한 불확도 추정모듈을 Y시험소를 기준으로 제시하였다.

따라서 본 논문에서 사례로 제시한 방법이 다른 분야에서도 적용되어 각종 비표준화된 시험방법의 유효성 확인방법으로 이용되길 바라며, 측정불확도 산출에 있어서는 향후 불확도 요소로서 시험치구에 따른 불확도인자의 영향을 고려하여 검토하여야 할 것으로 사려된다.

아울러 이러한 시험방법의 유효성확인 문제 및 측정불확도의 추정은 최근에 더욱 강조되어 시험분야별로 활발히 논의·검토되고 있으며, 향후 시험규격의 개발 및 비표준화된 시험방법에 의한 공인시험기관(KOLAS) 인정을 위해서는 필수요건으로서 더욱 합리적인 기법의 개발을 위한 많은 연구가 기대된다.

참고문헌

- [1] ISO/IEC 17025, "General requirement for the competence of testing and calibration laboratories" ISO, 1999.
- [2] KSA 17025, "시험 및 교정기관의 자격에 대한 일반요구사항", 한국표준협회, 2000.
- [3] 김웅조, 최태인, "케이블하네스의 차폐효과 시험방법 개발", 국방과학연구소, 보고서번호:ATRC-513-92468, 1992.
- [4] Albert R.Martin, "A fast, accurate and Sensitive Method for Measuring Surface Transfer Impedance", IEEE Trans, Electromagn. Compat., Vol EMC-26, pp 66-70, May, 1984.
- [5] Albert R.Martin, "An Introduction to Surface Transfer Impedance", EMC Technology, pp 44-52, July.1982
- [6] Ludwig Huber, "Validation and Qualification in Analytical Laboratories", Agilent Technologies, 1998.
- [7] KSA 0004, "분석·시험의 허용차 통칙", 한국표준협회, 1997.
- [8] "케이블 하네스의 EMI 차폐효과 측정 시험방법 (연합 EMC-513-92468)", 연합정밀(주), 2000.
- [9] "시험소간 비교에 의한 숙련도시험 시행기준", 기술표준원, KOLAS-SR-103, 2000.
- [10] Guide To The Expression of Uncertainty In Measurement. ISO, Geneva, Switzerland 1993.
- [11] "측정결과와 불확도 산정 및 표현을 위한 지침", 기술표준원, KOLAS-R-005, 2000.

저 자 소 개

김 종 상

1987년2월 건국대학교 산업공
학과 졸업

1993년2월 건국대학교 산업대
학원 산업공학과 졸업(공
학석사)

1998년3월 건국대학교 대학원
박사과정 입학

2002년현재

상기대학원 박사과정 수료

인양과학대 테크노경영학부 시
간강사

(재) 한국전자재시험연구원 품질
경영부 선임연구원 재직

KS인증심사원, KOLAS평가사
로 활동중임

조 남 호

건국대학교 산업공학과 교수