

論文95-32A-1-6

국가교정검사기관의 전자파전력 측정정확도의 분석 및 평가

(Analysis and Evaluation of the Accuracy of Electromagnetic Power Measurement at National Calibration and Test Organizations)

姜泰遠*, 姜熊垞*, 朴炳權*

(Tae Weon Kang, Ung Taek Kang, and Byeong Kwon Park)

요약

본 연구는 전자파분야 교정검사기관으로 지정된 13개 기관 중에서 전자파전력 순회평가에 참여한 8개 기관을 대상으로 각 기관들의 측정능력을 평가하고, 표준유지현황을 파악하기 위해서 수행되었다. 평가를 위해 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000 MHz 등 6개의 주파수를 정하여 순회측정방법(round robin test method)으로 KRISS 및 각 기관에서 교정인자를 측정하였다. 측정결과들로부터 표준값에 대한 측정값들의 표준편차를 계산하였다. 그 결과, 참여한 모든 기관은 50 MHz ~ 10 GHz의 주파수범위에서 표준편차가 1.0 % 이내로서 측정능력이 양호함을 알 수 있었다. 반복측정시의 표준편차를 성적서에 명기한 4개의 교정기관에 대하여 총 불확도를 분석한 결과 측정주파수에서 1.9 %이하였다.

Abstract

The aims of this study are to evaluate the measurement capability of the electromagnetic power and to understand the current state of standard maintenance of the eight participants among the thirteen national calibration and test organizations. The calibration factors were measured at six test frequencies, 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000 MHz by organizations and KRISS on the basis of round robin test. The results were analyzed by calculating the standard deviation of the measured values from the standard values. The analysis shows good agreement within 1.0 % for all participants at the measurement frequencies. Therefore, the measurement capability of all participants is good in the frequency range of 50 MHz to 10 GHz. For the four participants which specified standard deviations of repeated measurements in their reports, the total uncertainties is less than 1.9 % at the measurement frequencies.

* 正會員, 韓國標準科學研究院 電子氣研究部
(Korea Research Institute of Standards and
Science, Division of Electromagnetic Met-

rology)

接受日字: 1993年 11月 16日

I. 서 론

현재 국외에서는 물론 국내에서도 이동통신, 위성통신 등 전자파를 이용하는 첨단산업에 대한 관심이 고조되고 있다. 이러한 산업발전의 추세에 부응하여 산업체에서 관련기술을 개발하기 위해서는 전자파분야의 각종 표준량을 정밀정확하게 측정할 수 있어야 함은 물론, 상위 표준기관과의 연계성 내지는 소급성(traceability)을 확보해야 한다. 이를 위하여 국가에서는 전국의 주요한 곳에 국가교정검사기관을 지정하여 운영하고 있으며, 이들 기관에서 국가표준의 유지 및 소급성의 향상을 위하여 노력하고 있다. 특히, 전자파분야의 국가교정검사기관으로는 13개 기관이 지정, 운영되고 있다.

지난 수년 동안 전자파분야의 국가표준을 산업체에 보급해 오면서, 보급된 표준이 실제 산업현장에서 얼마나 정확하게 사용하는가에 대한 평가가 필요하다는 점은 인식했으나 구체적인 연구는 없었다. 이에 여러가지의 전자파측정량 중 가장 중요하고 이용범위가 넓은 전자파전력을 택하여 순회평가를 수행하였다. 본 연구는 국가교정검사기관들을 대상으로 정밀측정능력을 평가하므로써 국가표준의 보급 및 소급이 산업현장에서 얼마나 정확하게 유지, 사용되고 있는지를 파악하는 데에 목적이 있다. 이를 통해 각 기관의 정밀측정능력을 제고하여 국내생산업체의 국제경쟁력을 향상시키는 데에 기여하고자 한다. 금번 순회평가에는 국가교정검사기관으로 운용되고 있는 13개 기관 중 8개의 기관이 참여하였다.

II. 측정 방법

이 장에서는 평가에 적용된 순회측정방법과 평가용 서미스터마운트의 교정법 및 교정인자에 대하여 설명한다.

1. 순회측정

참가기관의 측정능력을 평가하기 위하여 일정한 기간 동안 하나의 피측정기에 대하여 전 기관이 측정을 하는 방법을 채택하였다. 이를 순회측정방법(round robin test)이라고 한다. 순회측정을 시작하기 전에 표준기관인 한국표준과학연구원(KRISS, Korea Research Institute of Standards and Science)에서 측정하고, 그 다음에 정해진 일정에 따라 기관들을 순회하면서 측정하였다. 측정일정은 표 1에 보였다. 표 1에서 기관명을 기록할 때, 구체적인 업체명 대신에 자

료분석 시에 임의로 붙였던 기관명을 그대로 사용하였다.

표 1. 참가기관별 교정일정

Table 1. Calibration duration of the organizations participated.

순번	기관명
1	표준기관
2	기관 8
3	기관 1
4	기관 7
5	기관 2
6	기관 6
7	기관 3
8	기관 5
9	기관 4
10	표준기관

2. 측정방법

여러 기관의 측정능력을 평가하기 위해서는 통일된 하나의 측정방법이 사용되어야만 한다. 이는 당 연구원에서 발행하여 산업체에 배포한 “동축형 서미스터마운트의 표준교정절차(KASTO-EL-2-86)”^[1]에 제시된 방법에 따르도록 하였다. 측정방법은 직접비교법^[2](direct comparison method)이며, 성적서에는 측정시의 실험실 온도와 습도 등의 측정환경을 기록하도록 하였다. 측정에 쓰인 동축형 서미스터마운트의 교정인자(calibration factor)는 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000 MHz의 6개 주파수에서 측정되었다.

순회측정 기간 동안 측정용 서미스터마운트를 각 기관까지 직접 가지고 가서 측정이 완료되면 측정결과와 함께 기기를 회수하였다. 순회측정이 끝나고 KRISS에서 재실험을 할 때 서미스터마운트에 약 10초 동안 전기적인 충격이 가해져서 실효효율의 값이 0.02% ~ 0.96% 정도 변화하였다. 이는 서미스터마운트의 DC전압출력단자에 결선할 때 두 단자들이 서로 단락되어 발생하였다. 표 1의 계획대로라면 10번째 기관인 KRISS의 교정결과를 측정결과분석 시에 고려해야만 했다. 그러나, 서미스터마운트의 전기적인 충격으로 인하여 기기의 특성이 변하였기 때문에 순번 10에 해당하는 측정데이터는 분석에 사용할 수 없었다.

3. 표준서미스터마운트의 교정

서미스터마운트는 고주파수의 전력을 직류대체전압

으로 변환시켜 주는 기기이다. 전자파전력 측정법 중에서 볼로미터마운트(우리나라에서는 서미스터마운트를 널리 사용하고 있으므로 서미스터마운트라고 부름)를 이용하는 DC대체법(substitution method)은 서미스터소자가 일정한 저항값을 유지하게 하는 DC전력과 입사되는 RF전력이 거의 같다고 보아 DC전력을 측정하여 RF전력을 결정하는 것이다. 여기서 서미스터마운트에서 소모되는 RF전력과 DC대체전력의 비를 실효효율로 정의한다. 교정인자 K_b 와 실효효율 η_e , 반사계수 Γ 와의 관계는 다음과 같다.

$$K_b = (1 - |\Gamma|^2) \eta_e \quad (1)$$

그러므로, K_b 는 서미스터마운트의 실효효율과 반사계수의 효과를 고려한 인자이다. KRISS에서는 동축형 마이크로파미소열량계 시스템¹³⁾과 반사계수측정 시스템을 이용하여 서미스터마운트의 실효효율(effective efficiency)과 반사계수의 크기를 각각 측정하고 식 (1)에 의해 교정인자를 결정하였다. 순회측정용 표준 서미스터마운트의 모델명은 HP 8478B이고, 일련번호는 2106A18161이다.

Ⅲ. 측정능력 평가인자의 정의

국가의 측정표준체제를 논의할 때, 소급성(traceability)이라는 용어를 사용한다. 상위 표준기관과 표준을 전달받는 기관의 측정값 사이에 정밀정확도를 서로 연관지을 수 있으면, 표준을 전달받는 기관은 그 측정량이 상위 표준기관에 소급되어진다고 하고 이러한 특성을 소급성이라고 한다.

본장에서는 각 기관의 측정능력을 평가하기 위한 인자를 정의하여 측정결과를 분석할 때에 이용하고자 한다.

1. 전체 참여기관의 평가 인자

본 연구에 참여한 8개 교정기관의 성적서 양식이 상이하여 모든 기관에 일률적으로 적용할 수 있는 평가인자를 정의한다. j번째 기관이 N개의 교정주파수에 대해서 측정했을 경우, $\sigma_{j,KRISS}$ 는 기관의 측정값과 표준값과의 표준편차이다. 또, i번째 주파수에서 교정인자를 측정할 기관이 M개이면 그 교정주파수에서의 기관별 측정값과 당 연구원의 측정값과의 표준편차를 $\sigma_{i,KRISS}$ 라고 하자. 그러면 이 두 값의 추정치(estimate)인 $S_{j,KRISS}$, $S_{i,KRISS}$ 는 다음의 정의식에 의해 구해진다¹⁴⁾.

$$S_{j,KRISS}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (K_{ij} - K_{i,KRISS})^2 \quad (2)$$

$j = 1, 2, \dots, M$

$$S_{i,KRISS}^2 = \frac{1}{M-1} \sum_{j=1}^M (K_{ij} - K_{i,KRISS})^2 \quad (3)$$

$i = 1, 2, \dots, N$

여기서,

M = 순회교정에 참여한 교정기관의 수,

N = 어떤 교정기관에서 교정인자를 측정할 주파수의 수,

K_{ij} = i번째 주파수에서 j번째 교정기관의 교정인자 측정값 혹은 측정값평균,

$K_{i,KRISS}$ = KRISS에서 측정할 i번째 주파수에서의 교정인자 측정값(표준값)

이다.

i번째 교정주파수에서 교정기관들의 측정값평균 $K_{i,ORG}$ 는

$$K_{i,ORG} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M K_{i,j} \quad (4)$$

이다. $K_{i,ORG}$ 와 교정기관의 측정값 사이의 표준편차 $\sigma_{i,ORG}$ 의 추정치 $S_{i,ORG}$ 는 다음의 식에 의해 구해진다.

$$S_{i,ORG}^2 = \frac{1}{M-1} \sum_{j=1}^M (K_{ij} - K_{i,ORG})^2 \quad (5)$$

$i = 1, 2, \dots, N$

이것은 i번째 교정주파수에서 교정기관 전체의 평균과 KRISS측정값과의 일치도 평가를 위한 인자이다. j번째 교정기관이 N개의 주파수에서 측정했을 경우, $\sigma_{i,ORG}$ 는 교정기관의 측정값과 $K_{i,ORG}$ 과의 표준편차라고 할 수 있고, 그 추정치 $S_{i,ORG}$ 는

$$S_{i,ORG}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (K_{ij} - K_{i,ORG})^2 \quad (6)$$

$j = 1, 2, \dots, M$

이다. 이는 j번째 교정기관의 측정값과 $K_{i,ORG}$ 간의 일치도 평가인자이다.

본연구에 참여한 모든 교정기관의 전반적인 측정능력을 평가하기 위하여 $K_{i,ORG}$ 과 표준값과의 차이를 다음과 같이 정의한다.

$$\Delta T_{i,j} = \frac{K_{i,ORG} - K_{i,KRISS}}{K_{i,KRISS}} \times 100 \% \quad (7)$$

2. 표준편차를 명시한 참여기관의 평가인자

8개의 참여기관 중에서 반복측정시의 표준편차를 성적서에 표기한 곳은 기관 2, 4, 5, 6이었다. 상호 비교측정할 때의 편차 Δ 를 다음과 같이 정의한다.

$$S_j = \left[\frac{1}{2} \left(\frac{S_i(ORG)^2}{K_{ORG}} + \frac{S_i(KRISS)^2}{K_{KRISS}} \right) \right]^{1/2} \quad (8)$$

여기서,

$S_i(ORG)$ = 교정기관에서 측정된 값들 간의 표준 편차

$S_i(KRISS)$ = KRISS에서 측정된 값들 간의 표준 편차

K_{ORG} = 교정기관의 교정인자 측정값

K_{KRISS} = KRISS의 교정인자 측정값이다.

교정기관별 오프셋(offset)을 다음과 같이 정의한다.

$$\Delta_{i,j} = \frac{K_{i,j} - K_{i,KRISS}}{2K_{i,KRISS}} \times 100 \% \quad (9)$$

식 (9)의 $\Delta_{i,j}$ 는 i번째 측정주파수에서 j번째 교정기관의 측정값평균이 표준값과 얼마나 잘 일치하는가를 알려 준다.

KRISS의 계통오차를 S 라고 하면 총불확도(total uncertainty)는

$$U_T = S + R_j + R_i = S + 3S_j + 3S_i(ORG) \quad (10)$$

로 표현된다. 여기서, R_j 는 기관 간의 상호 비교로부터 기인하는 불확도이며, R_i 는 교정기관의 측정반복도로부터 기인하는 불확도이다.

IV. 결과 및 분석

1. 전체 참여기관

측정결과를 분석하기 위하여 표 2에서와 같이 6개의

표 3. 기관의 측정값과 K_{KRISS} 와의 차

Table 3. Difference between the measured value of participant and K_{KRISS} .

기관 (MHz)	$K_0 - K_{KRISS}$								K_{KRISS} (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	
50	-0.42	-0.12	+0.38	-	-	-0.02	+0.28	-0.02	99.22
100	+0.27	+0.07	+0.07	-	-0.03	+0.17	-0.13	-0.63	99.33
500	0.10	+0.10	-0.20	+0.18	+0.13	+0.10	+0.10	-	99.30
1000	-0.65	-0.45	-0.45	+0.93	-0.15	-0.15	-0.25	+0.75	99.15
5000	+0.50	0.30	+0.40	-	-	0.00	-0.90	-	98.00
10000	+0.02	-0.58	-0.28	-	-	-1.38	-0.48	+0.12	96.38

측정주파수에 일련번호를 붙이고, 주파수별 참여기관의 수 M 도 보였다. j 는 표 1의 기관명에 부여된 번호이다.

표 2. 교정주파수 및 일련번호와 주파수별 참여기관의 수

Table 2. Calibration frequencies, their serial numbers, and the number of participants for each frequency.

i	1	2	3	4	5	6
f(MHz)	50	100	500	1000	5000	10000
M	6	7	7	8	5	6

기관별 측정값 혹은 측정값평균과 KRISS와의 차를 표 3에 보였다. 단위는 교정인자들 사이의 차이므로 무차원의 상수이다. 표 3의 자료들을 근간으로 하여 각 기관별, 주파수별 표준유지현황 및 측정능력을 평가하였다.

1) 주파수별 분석 및 평가

표 3에서 보는 바와 같이 50 MHz, 100 MHz, 500 MHz에서는 6~7개의 기관에서 교정인자를 측정하였다. 기관의 측정값과 KRISS표준값과는 -0.42 ~ +0.38의 편차를 가지며, 비교적 낮은 주파수이므로 정확하게 측정하였다. 1000 MHz에서는 6개의 제안주파수 가운데서 유일하게 8개의 기관이 모두 참여하여 교정인자를 측정하였고, 표준값과는 -0.45 ~ +0.93의 편차를 보였다. 이 주파수에서는 표준값과 기관평균은 매우 잘 일치하였다.

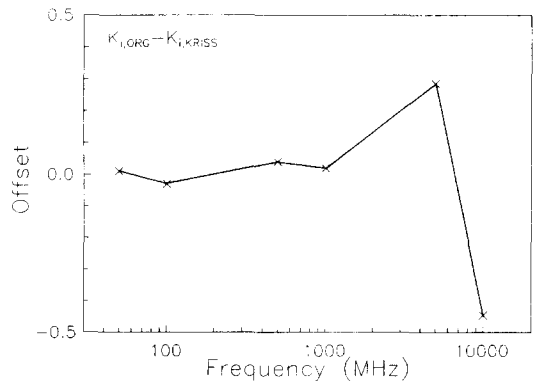


그림 1. 주파수에 대한 $\Delta_{T,j}$ 의 관계.
Fig. 1. $\Delta_{T,j}$ versus frequency.

5000 MHz의 주파수에서는 5개의 기관이 참여하였

고, 표준값과의 편차는 0.00 ~ +0.90이었다. 이 주파수에서 측정을 못한 기관은 3개나 되었고, 그 중 한 기관은 10000 MHz까지 측정이 가능하였으나 순회교정이 실시될 당시에 이 주파수에서 교정인자의 표준을 가지지 못했다. 표준값과 기관평균 간의 편차는 0.28%였다. 10000 MHz에서는 6개의 기관이 참여하였으며, 편차는 -1.38 ~ +0.12로 낮은 주파수에 비해 상당히 크며, 기관평균이 표준값에 비해 0.45% 정도 작아서 이 주파수에서는 측정이 어려울 뿐 만 아니라 각종 오차가 증가함을 알 수 있다. 그림 1은 주파수에 대한 ΔT_i 의 변화를 그린 것이다.

주파수 1000 MHz이하에서는 0.04% 이내에서 매우 잘 일치한다. 5000 MHz에서는 0.29% 이내에서, 그리고 10000 MHz에서는 약 0.45% 이내에서 서로 일치함을 알 수 있다.

주파수를 고정시킨 채로 정의식(3), (5)에 의해 $S_{i,KRIS}$, $S_{i,ORG}$ 를 구하면 국내 교정기관들의 측정능력을 주파수에 따라 파악할 수 있으며, 계산결과를 그림 2에 보였다. 이 그림으로부터 1000 MHz이하의 주파수에서는 $S_{i,ORG}$ 와 $S_{i,KRIS}$ 가 거의 비슷함을 알 수 있다.

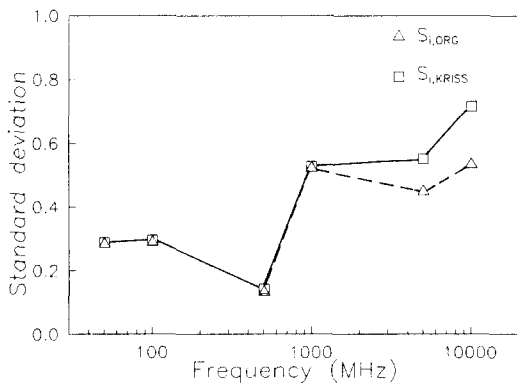


그림 2. 주파수와 $S_{i,KRIS}$ 및 $S_{i,ORG}$ 와의 관계
Fig. 2. $S_{i,KRIS}$ and $S_{i,ORG}$ versus frequency.

일반적인 경우 측정주파수가 낮을수록 연결기(connector)의 특성이 양호하여 편차가 작는데 50 MHz와 100 MHz에서의 값이 1000 MHz에서의 값보다 큰 이유는 각 기관에서 측정시 우연오차(random error)가 컸기 때문이라고 판단된다. 1000 MHz보다 큰 주파수대역에서는 0.5 ~ 0.7% 정도이며, 주파수가 높을수록 표준편차도 증가함을 알 수 있다. 이는 이

주파수범위에서 부정합오차, 연결기 연결 상의 반복도(repeatibility), 측정시스템에 이용된 전송선의 특성 등이 측정의 반복도를 떨어뜨리기 때문이다.

2) 기관별 분석 및 평가

참여기관들 간의 상대적인 비교를 위하여 모든 측정 주파수에 대하여 기관별로 표준편차 $S_{i,ORG}$, $S_{i,KRIS}$ 를 계산하여 그림 3에 보였다.

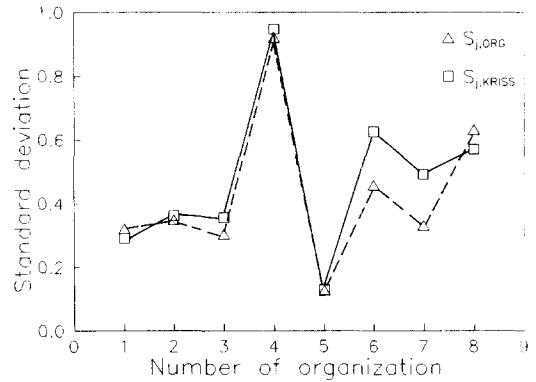


그림 3. 교정기관별 표준편차
Fig. 3. Standard deviation of each participant.

그림 3으로부터 8개의 기관은 측정능력별로 크게 세 군으로 나눌 수 있다. 제 1군에는 기관 1, 2, 3, 5가 속하며, 표준편차가 0.36 이하로서 표준유지가 잘 되고 있다. 그림 3에서 기관 5가 가장 양호하다고 보이나, 이 기관의 측정주파수범위는 2 GHz까지라는 점을 감안한다면 측정능력이 기관 1, 2, 3과 그리 큰 차이가 나지 않는다. 엄밀한 의미에서 기관 5는 제 1군과는 별도로 평가되어야 한다. 제 2군에는 기관 6, 7, 8이 속하며 표준편차는 0.63이하이다. 제 2군에 속하는 기관은 제 1군에 속하는 기관에 비해 측정능력이 상대적으로 약간 떨어지나, 절대적으로는 측정능력이 역시 양호하다. 제 3군에는 기관 4가 속하는데 다른 군에 속하는 기관에 비해 비교적 큰 표준편차인 0.95이다.

절대평가면에서 볼 때 모든 기관이 표준값과의 편차가 1.0%미만이므로, 8개의 기관 모두가 국가표준기관에서 보급한 표준을 잘 유지하고 있다. 그러나, 전 기관을 통틀어서 5 GHz, 10 GHz의 비교적 높은 주파수에서 큰 차이를 보인다. 이는 그 주파수대역에서 신호원과 부하측의 부정합에 의한 오차가 커지고, 연결기 사용시의 반복도도 떨어지기 때문이다.

2. 표준편차를 명시한 참여기관

표준편차를 명시한 곳은 교정기관 2, 4, 5, 6이다. 그림 4는 KRISS와 교정기관에서 반복측정시의 표준편차 $s_t(KRISS)$, $s_t(ORG)$ 를 주파수별로 보인 것이다. 교정기관 4와 6이 눈에 띄게 큰 것외에는 0.1% 정도이다.

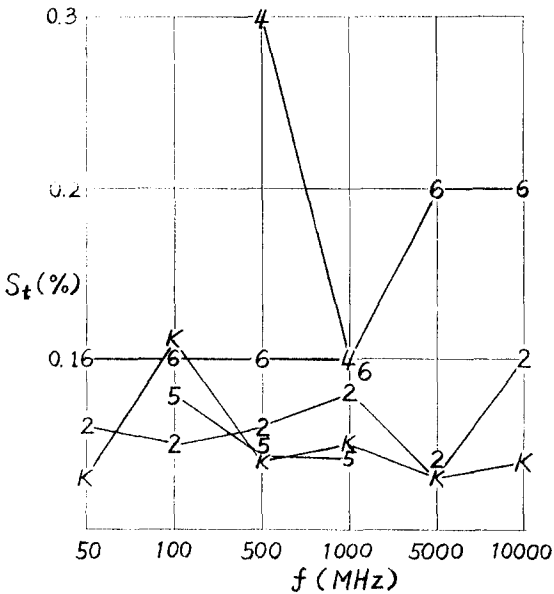


그림 4. S_t 와 주파수와의 관계
Fig. 4. S_t versus frequency.

그림 5는 Δ_0 와 $\Delta_0 \pm 3S_\Delta$ 를 보인 것이며, 윗셋의 범위는 $-1.2\% \sim 0.8\%$ 이다. 이것은 1982년 미국립 표준국(NBS, 지금의 NIST)에서 미국내의 5개 연구소의 측정능력을 평가한 결과인 $-0.9\% \sim 1.2\%$ 와 대등한 수준이다. 윗셋이 큰 경우는 6 GHz이상의 높은 측정주파수에서 종종 발생하는데, 이를 줄이기 위해서는 측정면에서의 부정합불확도가 최소한이 되게 만들어 주어야 한다. 즉, 측정면에서 신호원측을 들여다본 정재파비가 가능한 한 작게 되도록 슬로터드라인(slotted line)과 튜너(tuner)를 연결하여 조정해 주어야 한다. 측정 도중 신호원의 출력전력레벨이 변하지 않게 하기 위하여 전송선로나 기기들이 움직이지 않도록 잘 고정해야 한다. 신호원의 출력안정도가 좋지 않을 때에는 전력안정화회로를 사용하여 출력전력을 일정하게 만들어 주어야 한다¹⁵⁾. 그림 6에서는 총불확도 U_T 를 주파수별, 기관별로 보인 것이다. 그림 6으로부터 총불확도는 1 GHz이하의 주파수에서 기관 4를 제외하고는 1.0%미만이며, 10 GHz까지는 1.7%임

을 알 수 있다.

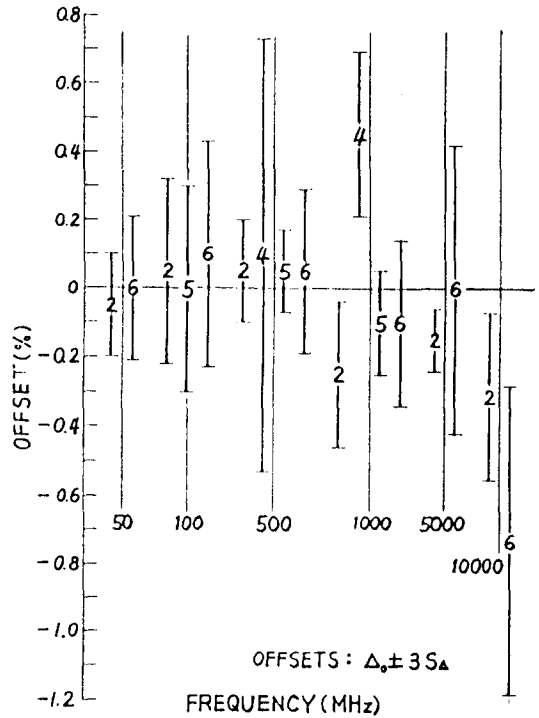


그림 5. 주파수에 대한 기관별 윗셋
Fig. 5. Offsets versus frequency for each participant.

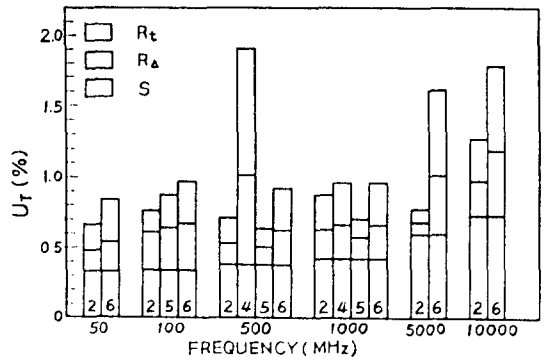


그림 6. 총불확도
Fig. 6. Total uncertainty.

V. 결 론

금년에 전자파분야 교정검사기관의 순회측정검사가 처음으로 이루어졌다. 국가교정검사기관으로 지정된

13개 중에서 8개의 교정기관이 본 연구에 참여하였고, 측정능력을 평가하기 위하여 KRISS에서 제안한 6개의 주파수에 대해서 순회측정을 실시하였다.

측정결과를 분석하여 주파수별, 기관별로 전자파전력정밀측정능력을 평가하였다. 주파수별 평가결과, 모든 기관이 1 GHz이하의 주파수에서는 KRISS표준값과 0.53 %이내에서 일치하였고, 1 GHz~10 GHz의 주파수에서는 0.75 %이내에서 서로 잘 일치하였다. 기관별 평가에서 KRISS표준값과의 표준편차는 기관 1, 2, 3, 5가 0.36이하, 기관 6, 7, 8은 0.63이하, 그리고 기관 4는 0.95정도로 각각 나타났다. 따라서, 금번 순회측정에 참여한 모든 기관의 표준기관과의 소급편차가 1.0 %이내이므로, 측정능력은 양호하다고 평가된다. 반복 측정시의 표준편차를 성적서에 명시한 기관 2, 4, 5, 6 등 4개의 교정기관에 대해서는 별도의 평가인자가 적용되었다. 그 결과 KRISS표준값과의 윗셋은 교정기관의 표준편차를 포함하여 -1.2%~0.8%임이 밝혀졌다. 각 교정기관의 총불확도는 모든 측정주파수에서 1.9%이내였다.

감 사 의 글

본 연구에 참여한 공군 제 9341부대, 삼성전자(주) (구미, 수원), 금성정밀(주), 삼성전자(주) 통신연구

소, 대영전자공업(주), 홍창물산(주), 현대전자산업(주)의 관계자 여러분들께 감사드린다. 연구비를 지원한 한국측정기기교정협회에도 감사드린다.

참 고 문 헌

- [1] 정낙삼, 김정환, 홍기민, "동축형 서미스터마운트의 표준교정절차", KASTO-EL-2-86, 국가교정검사기관협의회, 1986
- [2] A. Y. Rumfelt, "Radio Frequency Power Measurements," Proc. of IEEE, vol 55, no. 6, pp. 837-850, June 1967.
- [3] Nak Sam Chung, Joon Shin, Horst Bayer, and Rolf Honigbaum, "Coaxial and Waveguide Microcalorimeters for RF and Microwave Power Standards," IEEE Trans. on Instr. Meas., Vol. 38, No. 2, pp. 460-464, April 1989.
- [4] J. S. Hunter, D. K. Blythe, "Design of Experiments Course", University of Kentucky, pp. 113-149, 1977.
- [5] 강태원, 정낙삼, "8.2 GHz ~ 18 GHz 주파수 범위에서의 전력표준," 대한전자공학회논문지, 제 30편 A권 제 5호, pp. 24-29, 1993

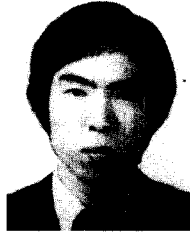
----- 저 자 소 개 -----



姜泰遠(正會員)

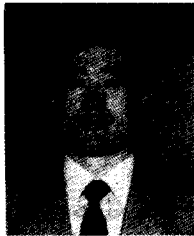
1966년 1월 20일생. 1988년 2월 경북대학교 전자공학과 공학사. 1990년 2월 포항공과대학 전자전기공학과 석사. 1990년 2월 ~ 1994년 5월 한국표준과학연구원 전자기연구부 전자파그룹

연구원. 1994년 6월 ~ 현재 한국표준과학연구원 전자기연구부 전자기환경그룹 선임연구원. 안테나 및 전파전파, 전자파 양립성, 유전율 및 투자율 측정 등 임.



姜熊垞(正會員)

1989년 2월 대전공업대학 전자과 졸업. 1978년 10월~현재 한국표준과학연구원 전자기연구부 전자파그룹 근무. 전자파 표준, 안테나 및 전파전파



朴炳權(正會員)

1959년 1월 13일생. 1981년 2월 충남대학교 전자과 졸업. 1983년 2월 충남대학교 대학원 전자과 석사. 1983년 5월 ~1987년 8월 한국표준연구소 전자파연구실 연구원. 1987년 9

월~현재 한국 표준과학연구원 전자기연구부 전자파그룹 선임연구원. 1993년 10월~현재 한국표준과학연구원 전자파그룹리더 안테나 및 전파전파, 전자파 표준