

[별표 1-5]

KN 16-1-5

전자파장해 및 내성 측정기구와
방법에 대한 규정

1-5 : 전자파장해 및 내성 측정기구
- 30 MHz ~ 1000 MHz 주파수

범위의 교정시험장 및
기준시험장에 대한 사양 및
유효성확인 절차 -

목 차

1. 적용범위	3
2. 참조규격	3
3. 용어정의	3
4. 30 MHz ~ 1000 MHz 주파수범위의 안테나 교정 시험장의 규격과 유효성 확인 절차	5
부록 A(정보) 교정시험장 요구사항	24
부록 B(정보) 시험안테나 고려사항	27
부록 C(정보) 안테나와 시험장 감쇠량 이론	33
부록 D(정보) 고정길이 다이폴($30\text{ MHz} \leq f \leq 80\text{ MHz}$)의 적용	45
부록 E(정보) C.1.3에 사용된 파스칼 프로그램	46
부록 F(정보) 유효성 확인절차의 체크리스트	51

1. 적용 범위

이 시험방법은 안테나 교정을 수행하는 교정 시험장 및 적합성 시험장 검증을 위한 안테나 쌍 기준시험장 감쇠량 측정에 사용되는 기준시험장에 대한 요구사항을 규정한다. 이 시험방법에는 시험 안테나 특성, 교정 및 기준 시험장 검증 절차와 시험장 적합성 판정기준이 설명되어 있다. 교정 시험장 요구사항, 시험 안테나 고려사항, 안테나 원리 및 시험장 감쇠량에 관한 추가 정보는 부록에 수록되어 있다.

측정장비 규격은 KN 16-1-1과 KN 16-1-4에 수록되어 있다. 일반적인 불확도에 관한 배경 지식 및 기타 정보는 KN 16-4-1에 수록되어 있으며, 이는 안테나 교정과정의 불확도를 평가하는데 도움이 될 수 있다.

2. 참조 규격

다음의 참조규격은 이 시험방법의 적용에 반드시 필요하다. 출판연도가 표기된 참조 규격은 인용된 판만을 적용한다. 출판연도가 표기되지 않은 참조규격은 개정 본을 포함하여 가장 최신판을 적용한다.

KN 14-1 : 가정용 전기기기 및 전동기기류 전자파 장애방지 시험방법

KN 16-1-1 : 전자파 장애 및 내성 측정기구와 측정방법에 대한 규정, 제 1-1부 : 무선장애 및 내성 측정기구- 측정기구

KN 16-1-4 : 전자파 장애 및 내성 측정기구와 방법에 대한 규정 1-4 : 전자파 장애 및 내성 측정기구- 방사성 장애 측정용 보조장비

CISPR 16-4-1 : 2003, 전자파장애 및 내성 측정기구와 측정방법에 관한 규정 4-1 : 불확도, 통계 및 한계치 모델링 - 표준 EMC 시험의 불확도

CISPR 16-4-2 : 2003, 전자파 장애 및 내성 측정기구와 방법에 대한 규정 4-2 : 불확도, 통계 및 제한치 모델링- 측정기기 사용에 있어서의 불확도

IEC60050(161):1990, 국제전기기술용어집(IEV)- 제 161장 : 전자파 적합성

측정학 기본 및 일반 용어 어휘집, 국제 표준화기구(ISO), 제네바, 제 2판, 1993

3. 용어 정의

이 시험방법의 용어정의는 다음과 같다. 이 시험방법에서 규정하는 것 외의 용어는 전파법, 전파법 시행령, 전자파 장애방지 기준 및 전자파 보호 기준, 전자파적합성 관련 국제표준 및 국가표준에서 정하는 바에 따른다.

3.1 교정시험장 (calibration test site : CALTS)

급속 접지면이 있으며 수평 전기장 편파의 시험장 감쇠 성능이 엄격하게 규정되어 있는 야외시험장

주) 이 교정시험장은 높이에 관련된 안테나 인자(antenna factor) 측정에 쓰이며, 표준 시험장 방법으로 자유공간 안테나 인자를 측정한다. 또한 교정시험장은 4.7을 이용하여 수직 편파검증에 사용될 수도 있다. 기준시험장의 관련 정의 참조.

3.2 적합성시험장 (compliance test site : COMTS)

피시험기기를 적합성 허용기준과 비교할 때, 피시험기로부터의 방해 전기장 세기에 대해 유효하고 재현 가능한 측정결과를 확실하게 얻을 수 있는 환경이나 시설

3.3 안테나 (antenna)

규정된 방식으로 전자파를 방사 또는 수신할 수 있도록 설계된 송신 또는 수신시스템의 한 부분

주1) 이 시험방법 중에서, 발룬(balun)은 안테나의 일부분이다.

주2) “와이어 안테나 (wire antenna)” 용어를 참조.

3.4 발룬 (balun)

평형 전송선로나 장치로부터 불평형 전송선로나 장치로 변환하거나, 또는 그 반대로 변환하기 위한 수동 전기회로망

3.5 자유공간 공진다이폴 안테나 (free-space-resonant dipole)

같은 길이를 갖는 두 도선이 동일 직선상에서 그 끝과 끝이 서로 좁은 간극을 사이에 두고 일직선으로 이루어져 있는 와이어안테나. 이 다이폴 안테나가 자유공간에 놓여 있을 때, 간극 사이에서 측정된 입력임피던스가 지정된 주파수에서 실수값을 갖도록 하기 위해서는 각 도선의 길이를 약 1/4 파장 길이로 한다.

주1) 이 시험방법 중에서, 와이어 안테나가 발룬(balun)에 연결되었을 때 이를 “시험안테나”라고도 부른다.

주2) 와이어 안테나를 “동조형 다이폴 안테나(tuned dipole)” 라고도 부른다.

3.6 시험장 감쇠량 (site attenuation : SA)

하나의 안테나를 지정된 높이에 고정시키고 다른 안테나가 지정된 높이 범위에 대하여 수직으로 움직일 때, 시험장에 위치한 두개의 동일 편파 안테나 사이에서 측정된 최저 시험장 삽입 손실

3.7 시험안테나 (test antenna)

자유공간 공진 다이폴 안테나와 규정된 발룬을 조합시킨 안테나

주) 이 용어는 이 시험방법의 목적에만 국한하여 사용한다.

3.8 와이어 안테나 (wire antenna)

전자파의 방사 또는 수신을 위해, 하나 이상의 금속 선 또는 봉으로 이루어진 규정된 구조의 안테나

주) 와이어 안테나는 발룬을 포함하지 않는다.

3.9 시험장 삽입 손실

신호 발생기 출력과 측정 수신기 입력 간의 직접적인 전기 연결을 지정된 지점에 위치한 송신 및 수신 안테나로 대체할 때, 시험장의 지정된 지점에 위치한 한 쌍의 안테나 간의 전송 손실

3.10 기준시험장(reference test site : REFTS)

금속 접지면이 있으며 수평 및 수직 전기장 편파의 시험장 감쇠 성능이 엄격하게 규정되어 있는 야외시험장

주) REFTS의 시험장 감쇠량 측정은 COMTS의 해당 시험장 감쇠량 측정과 비교하여 COMTS의 성능을 평가하는데 쓰인다.

4. 30 MHz ~ 1000 MHz 주파수 범위의 교정시험장 및 기준시험장에 대한 규격과 유효성 확인 절차

KN 16-1-4의 5절에서는 30 MHz ~ 1 000 MHz 주파수범위의 무선방해 전기장 세기 측정을 위해 사용되는 시험장 요구사항을 규정하고 있다. 이러한 시험장은 안테나 교정을 위해서는 적합하지 않을 수도 있다. 본 절에서는 30 MHz ~ 1 000 MHz 주파수범위에서 전도성, 금속평면 상의 안테나 교정에 적합한 시험장 요구사항과 유효성확인 절차를 규정한다. 이러한 엄격한 요구사항을 만족하는 시험장은 KN 16-1-4 의 5.3의 대응 시험장의 유효성확인 절차에 따라 비교 목적의 기준시험장으로 사용될 수도 있다.

4.1 일반 사항

여기서 교정시험장으로 부르는, 안테나를 교정하기 위해 적합한 시험장은 안테나의 자유공간 안테나 인자에 대한 교정을 위해 적절한 환경을 제공하여야 한다. 이 교정은 흔히 수평 편파만 이용하여 반사면 위에서 행해진다. 4.3부터 4.6은 교정시험장의 특성과 정량적인 안테나의 특성, 교정시험장 유효성확인 절차, 성능 판단기준에 대해 규정한다. 4.5에 주어진 교정시험장의 유효성확인 절차에서는 4.4에서 규정된 정량적인 다이폴 안테나를 사용할 필요가 있으며, 따라서 교정시험장의 성능을 측정하기 위한 이론적으로 예견된 시험장 감쇠량과의 비교가 가능하게 된다. 교정시험장의 유효성확인 보고서에 기록해야 할 사항을 4.7에서 요약한다. 부록 A는 4.6에서 규정한 유효성확인 절차에 적합한 교정시험장의 구축을 위한 지침을 제공한다.

교정시험장을 KN 16-1-4의 5절에 따른 시험장의 성능을 검증하기 위한 기준시험장으로 사용하려면, 4.7에 기술되어 있는 바와 같이 기준시험장으로서의 사용 적합성을 판단하기 위해서 수평 및 수직 편파 모두를 이용하여 교정시험장의 유효성을 확인하여야 한다. KN 16-1-4의 5절에 명시되어 있는 복사성 방출 허용기준에 대한 적합성 입증에 쓰이는 시험장은 이 문서에서는 적합성시험장(COMTS)으로 간주되어 있다. 적합성시험장의 유효성 확인은 KN 16-1-4의 5절에 제시되어 있는 이론적 시험장 감쇠량과 비교하거나, 기준시험장에서 측정된 시험장 감쇠량을 동일한 안테나와 동일한 안테나 구성의 기하학적 배치를 이용하여

적합성시험장에서 측정된 해당 시험장 감쇠량과의 비교를 통해 이루어질 수 있다.

이 시험방법의 부록에는 교정시험장의 유효성확인 절차에 사용되는 자유공간 공진 다이폴 (동조 다이폴)에 대한 정량적인 정보를 포함하고 있다. 아울러 이론적인 시험장 감쇠량, 수치계산 예와 유효성확인 절차를 위한 체크리스트 등에 대한 정보를 제공한다.

4.2 안테나 교정시험장 규격

4.2.1 개요

교정시험장은 다음의 주요 부분들로 구성되어 있다.

- 양도체 금속 평면(반사면)
- 반사면 주위에 전자파 장애물이 없는 지역

추가로, 다음의 보조장비가 필요하다.

- 교정시험장의 유효성확인 절차나 안테나 교정절차에 사용되는, 안테나 이동용 마스트 2개
- 이들 안테나를 연결하기 위한 케이블
- 무선주파수 신호발생기 및 측정수신기와 같은 전자장비

교정시험장을 위한 표준 규격은 4.2.2에 설명되어 있고, 부록 A에는 유효성확인 기준에 잘 만족하도록 교정시험장을 구축하고 배치하기 위한 지침과 같은 다양한 정보가 포함되어 있다.

4.2.2 표준 규격

안테나 교정의 경우, 교정시험장은 안테나를 교정해야 할 모든 주파수에서 4.5.3.1에 제시되어 있는 유효성확인 기준에 적합해야 한다. 4.4.3.2의 시험과 4.5.3.2 및 4.5.3.3의 관련 기준은 선택사항이지만, 4.5.3.1의 $T_{SA}(f)$ 가 0.7 dB미만임을 확인하고자 하는 사람들을 위해 포함되어 있다.

4.3 시험 안테나 규격

4.3.1 개요

유효성확인 절차에서 필요한 이론적인 시험장 감쇠량 SA_c 를 수치계산하기 위하여, 정확히 모형화된 안테나가 필요하다. 따라서 시험안테나는 규정된 특성을 갖는 발룬에 연결된 자유공간 공진 다이폴이어야 한다. 표준 시험안테나의 규격은 4.3.2에 기술되어 있으며, 시험안테나의 제작 예는 부록 B에 수록되어 있다.

시험안테나는 발룬과 직경 D_{we} , 길이 L_{we} 로 된 2개의 코리니어(collinear) 와이어안테나 소자(도선)로 구성되어 있다. 이들 소자는 발룬에 있는 2 개의 급전단자(그림 1의 A와 B)에 연결된다. 이들 급전단자 사이의 간극은 폭 W_g 이다. 안테나의 끝과 끝 사이의 길이 L_a

는 $L_a = 2L_{we} + W_g$ 로 주어진다. 시험안테나의 중심점은 2개의 코리니어 와이어 소자의 중심선상에 있는 급전단자 간극의 중간부분이다.

발룬은 2개의 급전단자 A와 B에 하나의 불평형 입력/출력(송신/수신 안테나) 포트와 하나의 평형포트를 갖는다. 예로써, 발룬의 사용 목적이 평형/불평형 변환기로 사용됨을 회로도적으로 그림 1에 보였다.

4.3.2 표준 규격

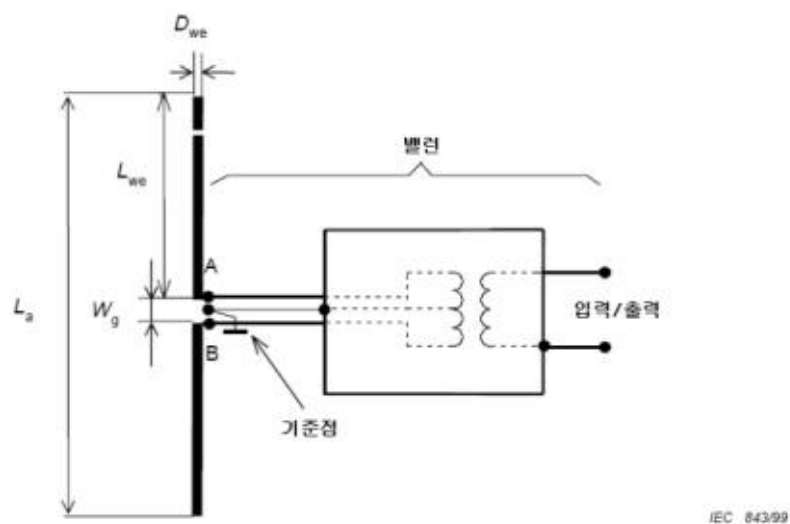
4.3.2.1 시험안테나는, 발룬의 파라미터를 확인할 수 있도록 하기 위해, 발룬과 분리할 수 있는 길이 L_{we} 의 이상적인 와이어안테나 소자를 가져야 하고, 시험장 감쇠량 측정에 사용된 2개 안테나의 발룬이 서로 마주보도록 직결하여야 한다.

4.3.2.2 약 $\lambda/2$ 길이의 와이어안테나의 끝과 끝 사이의 길이 $L_a(f, D_{we})$ 는 지정된 주파수 f 에서 그리고 자유공간 상태에서, 급전단자 입력임피던스의 허수부 절대값이 1Ω 이하이어야 한다.

주1) 일정한 직경과 $D_{we} \ll L_a$ 를 갖는 와이어안테나 소자의 경우, $L_a(f, D_{we})$ 는 부록 C.1.1의 식 (C.2) 로 계산할 수 있다. 직경이 일정하지 않는 경우에는 즉, 그림 2 와 같은 길이 가변형(telescopic) 안테나를 사용하는 경우에는 $L_a(f)$ 는 수치계산으로만 구할 수 있다. 부록 C2.2 참조.

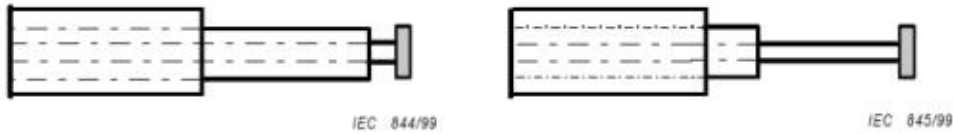
주2) 길이 가변형 안테나를 사용할 때, 이 안테나의 동조 방법은 가장 큰 직경의 소자를 먼저 빼서 사용하는 방법으로(그림 2 참조) 동조시켜야 하고, 수치계산에서도 이 점을 고려해서 계산하여야 한다.

30 MHz에서 80 MHz 사이의 시험주파수에서는, $L_a = L_a(80MHz)$ 인 고정 길이의 다이폴 안테나를 사용할 수 있으나, 이 내용에 대해서는 국제규격이 제정된 후, 검토를 거쳐 적용한다.



주) 시험안테나의 중심점은 2개의 와이어안테나 소자의 중심선상에 있는 간극의 중간부분이다.

그림 1. 시험안테나의 회로도



(a) 맞는 방법.

(b) 틀린 방법.

그림 2. 길이 가변형 와이어안테나 소자를 길이 L_{we} 로 조절하는 방법

4.3.2.3 급전단자 사이 간극은 $W_g \leq 15mm$ 또는 $W_g \leq 0.03\lambda_{\min}$ 중에서 작은 값이어야 한다.

여기서,

$\lambda_{\min} = c_0 / f_{\max}$ 이며,

$f_{\max}$ 는 사용된 시험안테나에서 가장 높은 시험 주파수이며,

c_0 는 진공 중에서 전자파의 속도이다.

4.3.2.4 실제 와이어안테나의 끝과 끝 사이의 길이 $L_a(f)$ 가 이 안테나의 규정된 길이 $L_a(f)$ 의 ΔL_a 내에 있을 경우(표 2 참조), 급전단자 간극의 폭이 4.3.2.3에 적합할 때 이 길이가 타당한 것으로 가정한다.

4.3.2.5 발룬의 평형 포트는 다음과 같아야 한다.

- 외부회로(안테나 급전 케이블) 쪽에서 보았을 때 불평형 포트가 임피던스 Z_e 로 종단되었을 경우, 평형 포트는 정해진 최대 전압정재파비(VSWR)에서 규정 임피던스 Z_{AB} 이어야 한다. (표 2 참조)
- 발룬의 양쪽 급전단자가 발룬 기준점에 대해 임피던스 $Z_{AB}/2$ 로 종단되어 있을 때, 발룬 기준점에 대한 진폭 평형상태가 ΔA_b 보다 양호하여야 한다. (표 2 참조)
- 발룬의 양쪽 급전단자가 발룬 기준점에 대해 임피던스 $Z_{AB}/2$ 로 종단되어 있을 때, $180^\circ \pm \Delta\psi$ B° 의 위상 평형상태이어야 한다. (표 2 참조)

주1) 발룬 단자의 커넥터는 3개의 발룬 포트들에서 무선주파수 측정이 가능해야 한다.

주2) 평형 포트 임피던스 Z_{AB} 는 그림 1의 급전단자 A와 B사이의 임피던스이다. 이 임피던스의 권장 값은 $Z_{AB} = 100\Omega$ (실수) 이다.

주3) 외부회로 쪽에서 본 임피던스 Z_e 의 권장 값은 통상 50Ω 이다.

주4) 진폭 및 위상 평형상태의 요구사항은, 발룬 기준점에 대해 급전단자 A와 B에서의 신호 진폭은 거의 같고 위상은 반대 위상이 되어야 한다. 평형 포트가 이들 요구사항을 만족할 때, 두 급전단자 사이의 무선주파수 격리도(isolation)는 불평형 포트가 임피던스 Z_e 로 종단되었을 경우에 26

dB 이상이 되어야 한다.

주5) 실제로, 발룬을 구성하는 부품들은, 와이어안테나로부터의 동일편파(co-polarization) 반사가 최소가 되는 면을 갖도록 그 방향을 맞추어 배치하여야 한다.

주6) 발룬을 구성하는 부품들은 전기적으로 차폐되어 있어, 그 특성이 주변의 기생적인 영향을 받지 않아야 한다. 발룬 기준점과 출력/입력 포트의 접지단자를 그 차폐 부분에 연결하여야 한다.

4.3.2.6 4.3.2.5에서 요구하는 발룬의 특성은 S-파라미터 측정(부록 B 참조)으로 구할 수 있고, 그리고 부분적으로는 주입 측정방법(부록 B 참조)으로 구할 수 있다.

주1) 발룬의 특성을 이론적인 시험장 감쇠량 SA_c 계산에 포함하였을 경우에, 4.4.4.2 와 4.4.4.4에서 발룬이 서로 마주보도록 직결한 연결을 케이블-케이블 연결로 대체할 수 있다. 이때, 신호발생기 쪽에서 본 포트의 임피던스와 수신기 쪽에서 본 포트의 임피던스 그리고 발룬의 전체 S-파라미터(S_{11} , S_{12} , S_{21} , S_{22}) 는 알려져 있다

주2) S-파라미터와 주입 측정방법은 부록 B에 설명되어 있다.

4.3.2.7 만약 교정시험장의 유효성확인 절차에서, 시험안테나 및/또는 시험장비가 권장 값 100 Ω 및 50 Ω 과는 다르게 각각 Z_{AB} 및/또는 Z_e 로 사용되었을 경우에는, 유효성확인 보고서(4.6 참조)에 명확하게 기록하여야 한다.

4.4 안테나 교정시험장 유효성확인 절차

4.4.1 개요

유효성확인 절차에서, 측정되어질(피측정) 시험장 감쇠량 SA_m 을 이론적으로 계산한 시험장 감쇠량 SA_c 와 비교하여야 한다. 따라서 본 절차는 교정시험장이 SA 계산에서 가정한 특성과 충분히 만족하는 지를 검증하는 것이다. 즉,

- 시험장 평면은 완전히 평탄하고 무한히 크다.
- 시험장 평면의 반사계수의 절대값은 $r=1$ 이다. 그리고
- 시험장 평면에서, 수평편파 전기장의 입사파와 반사파 사이 위상차는 $\psi=\pi$ 라디안이다.
- 보조장비로 인한 영향과 시험장 평면 주위의 영향은 무시한다.

특성을 검증하기 위해서는 두 번의 측정이 필요하다.

- 특성 a), b) 및 d)는 안테나 높이를 고정된 상태로 둔(4.4.4 참조) SA 측정 과정에서 한꺼번에 검증할 수 있으며 그 다음에, 측정된 SA 값과 계산된 SA 값을 비교한다.
- 특성 a), c) 및 d)는 시험안테나들 중 한 안테나의 높이를 조절하여 최대 SA 값이 되도록 하는 측정 과정에서 한꺼번에 검증할 수 있으며 그 다음에, 이 최대 SA 값에 대응하는 안테나 높이 측정값과 안테나 높이 계산값을 비교한다. (4.4.5 참조)

또 다른 방법으로, 후자의 일련의 특성들은 소인 주파수 측정절차(4.4.6 참조)에서도 한꺼번에 검증할 수 있다.

아래에서, $\pm\Delta X$ 란은 유효성확인 절차에서 허용된 파라미터 값 X 의 최대 허용오차를 나타낸다. 허용오차의 정량적 데이터는 표 2 에 요약되어 있다.

4.4.2 시험 배치

4.4.2.1 시험안테나의 중심점과 안테나 마스트, 안테나 동축케이블은 시험장 반사면의 중앙선 상을 통과하는 수직면 내에 있어야 한다.

주) 시험안테나의 중심은 4.3.1에 규정되어 있다.

4.4.2.2 코리니어 와이어안테나 소자는 시험장 반사면에 평행하게 위치(수평편과 안테나의 경우)하고, 4.4.2.1에서 언급한 수직면과 직각 방향으로 배치해야 한다.

주) 주파수 대역의 아래 부분 즉, 30 MHz 부터 40 MHz 까지는 상대적으로 긴 와이어안테나 소자가 밑으로 쳐질 수 있기 때문에 측정결과에 영향을 미친다. 와이어안테나 소자를 물리적으로 받쳐줌으로써 이 영향을 제거할 수 있으며, 또는 시험장 감쇠량의 이론적 계산에서 이 영향을 고려할 수 있다. (4.4.4.3 및 4.5.3.1 참조)

4.4.2.3 시험안테나들의 중심점 사이 수평거리는

$$d = 10.00 \sim m \pm \Delta d \text{ m} \quad (\text{표 2 참조})$$

4.4.2.4 시험장 반사면 상의 송신안테나 중심점 높이는

$$h_t = 2.00 \text{ m} \pm \Delta h_t \text{ m} \quad (\text{표 2 참조})$$

4.4.2.5 시험장 반사면 상의 수신안테나 중심점 높이는 표 1 과 표 2 에서 규정된 바와 같이 높이 $h_r \pm \Delta h_r$ 로 조절하여야 하고, 4.4.5의 요구사항과 같이 높이 범위 $1.0\text{m} \leq h_r \leq 4.0\text{m}$ 내에서 조절할 수 있어야 한다.

4.4.2.6 송신 및 수신안테나의 발룬에 연결된 동축 케이블은 와이어안테나 소자에 직각 방향으로 정렬되어 있어야 하며, 적어도 와이어안테나 소자로부터 1m 거리 이상 시험장 반사면에 평행하게 정렬되어 있어야 한다. 이 거리 이후에, 케이블을 반사면 바닥위에 떨어뜨려 둘 수 있으며, 더 좋은 배선 방법은 반사면 바닥 밑으로 깔아 배선하거나, 또는 와이어안테나 소자에 직각인 방향으로 시험장 반사면 끝에까지 도달하도록 공중에 매달아 둘 수 있다. 공통모드 결합을 피하기 위하여, 발룬에 연결된 동축케이블에 페라이트 부하를 설치하는 것을 권장한다.

주1) 케이블은 낮은 전달 임피던스를 가져야 하며, 이를 통해 유도성 케이블 면전류(sheet current)로 인해 측정 결과에 미치는 영향을 피할 수 있다.

주2) 케이블을 시험장 반사면 바닥 밑으로 깔아 배선하는 경우, 케이블이 이 반사면을 관통할 때 케이

를 외피를 반사면에 본딩 (360° 둘러싸서) 하여야 한다.

4.4.2.7 무선주파수 신호발생기와 무선주파수 수신기가 시험장 반사면으로부터 20 m 이내에 있다면, 이 시험장 반사면 높이보다 높게 위치시키지 말아야 한다.

4.4.2.8 시험장 감쇠량 측정 중에, 무선주파수 신호발생기는 양호한 주파수 안정성과 출력레벨 안정성을 가져야 한다.(4.4.4.5 참조)

주) 측정절차에서, 무선주파수 신호발생기와 무선주파수 수신기는 장시간의 충분한 안정성을 보증할 수 있도록 예열시간(일반적으로 장비 제조자가 명시함)을 둘 필요가 있다.

4.4.2.9 무선주파수 수신기의 선형성은 적어도 50 dB의 동특성 범위에 걸쳐 교정되어 있어야 한다. 수신기 선형성의 불확도는 ΔA_r (4.5.2.2 참조)로 표기한다. 적절한 수신기의 선형성 불확도는 0.2 dB 이다.

주) 만약 선형 동특성 범위가 50 dB 이하인 경우에는, 4.4.4.7에 기술된 바와 같이 교정된 정밀 감쇠기를 이용한 대체방법으로 수행할 수 있다.

4.4.3 시험주파수와 수신 안테나 높이

4.4.3.1 4.2.2의 준수에 따라, 4.4.4에서 설명된 유효성확인 측정은 적어도 표 1 에 주어진 해당 주파수들과 시험장 반사면 상의 수신 안테나의 (해당 주파수들과 대응하는) 고정 중심높이들 $h_r(m)$ 에서 수행하여야 한다.

주1) 중간주파수(IF)에서 교정시험장의 성능에 관련한 정보는 부록 A.2.2 에 설명된 바와 같이 소인주파수 측정법을 사용하여 얻을 수 있다.

주2) 특히, 300 MHz 이상의 주파수에서 Q 응답특성이 높을 경우에는 주의가 필요하다. 이 경우에 소인주파수 측정절차는 규정된 해당 주파수들과 이에 대응하는 높이에서 수행하여야 한다.

4.4.3.2 4.4.4에 설명된 유효성확인 측정에 추가하여, 4.4.5에 설명된 바와 같이 3개의 수신안테나 높이-스캔(height-scan) 측정방법 또는 4.4.6의 3개 주파수-소인(frequency-scan) 측정방법 어느 한쪽을 수행하여야 한다.

- a) 수신안테나 높이-스캔 측정방법의 수행을 선택할 경우, 이들 측정은 주파수 f_s : 300 MHz, 600 MHz 및 900 MHz에서 실시해야 하며, 이때 시험안테나는 해당 주파수 f_s 로 동조시켜야 한다.
- b) 주파수-소인 측정방법의 수행을 선택할 경우, 이들 측정은 수신안테나의 높이 h_{rs} 와 시험안테나 동조주파수 f_s 의 조합 $\{h_{rs}, f_s\} : \{2.65\text{m}, 300\text{ MHz}\}, \{1.30\text{m}, 600\text{ MHz}\}$ 및 $\{1.70\text{m}, 900\text{ MHz}\}$ 에서 실시한다.

표 1. $h_t = 2\text{m}$, $d = 10\text{m}$ 에서 SA 측정을 위한 주파수들과 수신 안테나 고정 높이들의 데이터 (4.4.2.3 과 4.4.2.4 참조)

주파수 MHz	h_r m	주파수 MHz	h_r m	주파수 MHz	h_r m
30	4.00	90	4.00	300	1.50
35	4.00	100	4.00	400	1.20
40	4.00	120	4.00	500	2.30
45	4.00	140	2.00	600	2.00
50	4.00	160	2.00	700	1.70
60	4.00	180	2.00	800	1.50
70	4.00	200	2.00	900	1.30
80	4.00	250	1.50	1 000	1.20

4.4.3.3 방송 송신기로부터 발생하는 것과 같은 협대역성 전자파 잡음 때문에, 4.4.3.1 과 4.4.3.2에서 규정된 주파수들에서 정확하게 측정할 수 없는 경우에는, 이 규정 주파수들에 가능한 가깝게 이용할 수 있는 시험주파수를 선택해야 한다.

규정 주파수와의 차이가 발생한 것에 대한 이론적 근거를 유효성확인 보고서에 기록하여야 한다. (4.6 참조)

4.4.3.4 송신 안테나에 신호를 공급하는 무선주파수 신호발생기의 주파수는 표 1 또는 4.4.3.2에서 규정된 시험주파수의 Δf (표 2 참조) 내에서 조정하여야 한다.

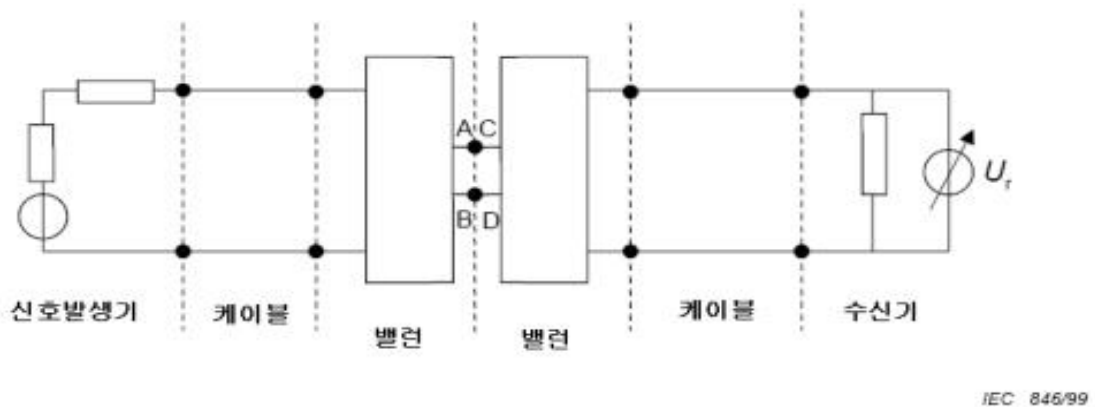
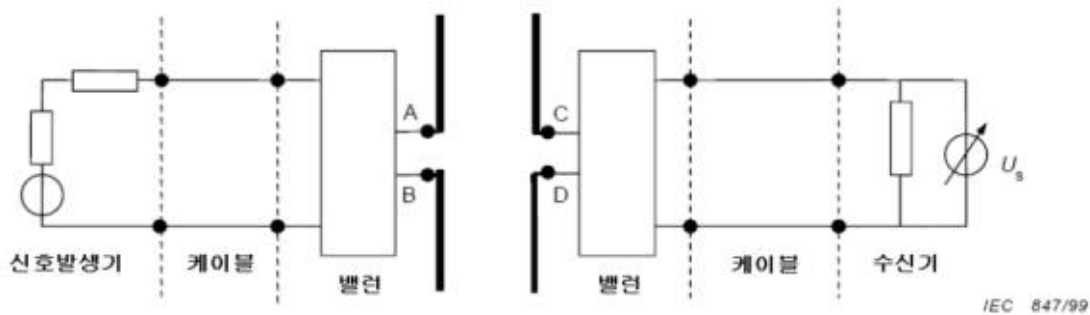
4.4.4 시험장 감쇠량 측정

본 절은 규정된 주파수에서 측정되어질(피측정) 시험장의 감쇠량 SA_m (4.5.3.1 참조)를 구하기 위해 필요한 3가지 측정방법을 설명한다. 평가하고자 하는 시험장 감쇠량은 송신안테나의 급전단자(그림 3 과 4 의 A 와 B)와 수신안테나의 급전단자(그림 3 과 4 의 C 와 D) 사이의 SA 이다.

비고) 발룬의 전체 S-파라미터(S_{11} , S_{12} , S_{21} , S_{22}) 를 이용할 수 있는 경우에(4.3.2.6 참조), 발룬의 특성을 이론적인 시험장 감쇠량 SA 계산에 포함하였다면, 두 케이블/발룬 접속경계 사이의 SA 로 역시 간주할 수 있다. 아래에 주어진 설명에서, 해당되는 경우에 따라 후자의 가능성을 아래 ‘주’에서 설명한다.

주1) 발룬의 특성을 이론적인 시험장 감쇠량 SA_c 계산에 포함하였을 경우에, 4.4.4.2 과 4.4.4.4에서 발룬이 서로 마주보도록 직결한 연결을 케이블-케이블 연결로 대체할 수 있다. 이때, 신호발생기 쪽에서 본 포트의 임피던스와 수신기 쪽에서 본 포트의 임피던스 그리고 발룬의 전체 S-파라미터(S_{11} , S_{12} , S_{21} , S_{22}) 는 알려져 있다

주2) S-파라미터와 주입 측정방법은 부록 B에 설명되어 있다.

그림 3. $U_{r1}(f)$ 또는 $U_{r2}(f)$ 를 구하는 방법그림 4. 지정된 위치에 와이어안테나가 있을 때 $U_s(f)$ 를 구하는 방법

4.4.4.1 측정 1: 규정된 주파수 f 에서 기준전압 $U_{r1}(f)$ 를 구한다. 이 전압으로, 무선주파수 신호발생기 출력포트와 송신용 와이어안테나의 급전단자 사이, 그리고 수신용 와이어안테나의 급전단자와 수신기의 입력포트 사이의 신호 감쇠량을 계산할 수 있다.

다음의 절차에 따라 $U_{r1}(f)$ 가 구해진다(그림 3 참조). 시험안테나의 와이어안테나 소자를 각각의 발문에서 분리한 후에, 두 발문을 4.3.2.3에서 규정한 $\lambda_{\min}$ 을 갖는 $\lambda_{\min}/10$ 이하의 길이로 가능한 한 짧게 하여 서로 마주보도록 직결시킨다. (아래의 주 4. 참조)

무선주파수 신호발생기 레벨은 수신기 지시값가 수신기 전자파 잡음레벨보다 적어도 60dB 이상의 값이 되도록 조정한다(아래의 주 2. 참조). 이때 수신기 지시값를 $U_{r1}(f)$ 로 기록한다.

- 주1) 방출 전기장 레벨은 그 지역의 송신 허용레벨을 초과하지 말아야 한다.
- 주2) 본 절에서, 무선주파수 수신기는 4.4.2.9에 적합하다고 가정한다. 4.4.2.9의 주를 적용한 경우에는 4.4.4.7의 방법을 적용해야 한다.
- 주3) 수신기의 전자파 잡음레벨은 수신기의 대역폭을 줄임으로써 감소시킬 수 있다. 그러나 무선주파수 신호발생기와 무선주파수 수신기가 트래킹 신호발생기 및 스펙트럼 분석기의 경우와 같이 주

파수-잠금(frequency-locked) 기능이 없는 경우, 무선주파수 신호발생기 신호의 주파수 편이 가능성으로 인해 측정결과에 영향을 미치지 않도록 수신기 대역폭이 충분히 커야 한다.

주4) 4.4.4의 주에서 주어진 방법을 수행할 경우, 4.4.4.4의 $U_{r1}(f)$ 과 $U_{r2}(f)$ 를 계산할 때는 전체 시험안테나를 분리하고 2 개의 안테나 케이블을 상호 연결시킨다.

4.4.4.2 특정 주파수에서 4.4.4.1에서 사용된 무선주파수 신호발생기의 진폭 설정상태를 4.4.4.3 과 4.4.4.4에서 설명한 측정동안에 변경하지 말고 유지해야 한다.

4.4.4.3 측정 2: 발문들을 서로 분리하고, 와이어안테나 소자(그림 4 참조)를 이들 발문에 연결하여 규정된 길이 $L_a(f)$ 로 조절한다. 시험안테나를 4.4.2과 4.4.3에서 규정한 위치로 이동시킨다. 기타 모든 부품들의 시험배치는 4.4.4.1과 같다. 4.4.2.2 과 4.4.4.5의 ‘주’를 참조한다.

규정된 시험주파수 f 에서, 규정된 위치에 안테나를 두고, 이때 수신기의 지시값을 $U_s(f)$ 로 기록한다.

4.4.4.4 측정 3: 기준전압(4.4.4.1 참조)의 측정은 동일한 규정 주파수에서 반복한다. 그 값을 $U_{r2}(f)$ 로 기록한다.

4.4.4.5 만약 $U_{r1}(f)$ 와 $U_{r2}(f)$ 가 대수(dB)단위로 표현되었을 경우, 0.2 dB 이상의 차이가 난다면, 시험배치의 안정성을 개선하여야 하고, 앞서 말한 측정 1, 2 와 3 을 반복한다.

주) 불안정의 원인은 온도에 따라 동축케이블 감쇠량이 변할 수 있기 때문이며, 특히 이는 직사 태양 광선 노출 때문이다.

4.4.4.6 시험장 감쇠량 측정값 $SA_m(f)$ 은 다음의 식으로 주어진다.

$$SA_m(f) = 20 \log_{10} \left\{ \frac{U_{ra}(f)}{U_s(f)} \right\} \quad (dB) \quad (1)$$

여기서 $U_{ra}(f)$ 는 $U_{r1}(f)$ 와 $U_{r2}(f)$ 의 평균값이다.

주) 주파수 대역의 아래 부분 즉, 30 MHz, 35 MHz 와 40 MHz 에서 양쪽 시험안테나의 와이어안테나 소자가 늘어지는 것을 방지하기 위한 기구가 없으면, 측정되어질(피측정) 시험장 감쇠량 SA_m (4.5.3.1 참조)을 보정할 필요가 있다.

4.4.4.7 무선주파수 수신기의 동특성 범위가 4.4.2.9에 적합하지 않는 경우에, 발문의 전체 S-파라미터(S11, S12, S21, S22) 를 이용할 수 있고, 발문의 특성을 이론적인 SA 계산에 포함하였다면, 다음의 대체방법을 사용할 수 있다.

a) 4.4.4.3에 따라 수신기 지시값 $U_s(f)$ 를 구하여 기록한다.

b) 시험안테나를 교정된 정밀 감쇠기로 대체하고, 이 감쇠기에 양쪽 안테나 케이블을 연

결한다. a) 단계에서 구해진 값과 같은 수신기 지시값 $U_s(f)$ 가 되도록 감쇠기로 인한 삽입손실을 레벨 $A_{1l}(f)$ 까지 조절한다. $A_{1l}(f)$ 및 이와 관련된 측정 불확도 $\Delta A_{1l}(f)$ 를 기록한다.

c) 4.4.2.8에서 언급한 시험배치의 안정성을 검증하기 위해, a) 단계의 $U_s(f)$ 판독과 b) 단계의 $A_{1l}(f)$ 의 판독 사이에 걸리는 전체시간과 비슷한 시간주기 후에 $A_{2l}(f)$ 를 구하기 위해 b) 단계를 반복한다. 만약 $A_{2l}(f)$ 가 $A_{1l}(f)$ 과 0.2 dB 이상 차이가 나면, 시험배치의 안정성을 개선하여야 하며, 다음에 a) 와 b), c) 단계를 반복한다.

d) 시험배치가 충분히 안정되었다면, 측정되어질(피측정) 시험장 감쇠량은 다음과 같이 주어진다.

$$SA_m(f) = 20 \log_{10} A_{ia} \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

여기서, $A_{ia}(f)$ 는 선형 단위계에서의 $A_{1l}(f)$ 와 $A_{2l}(f)$ 의 평균값이다.

4.4.5 안테나 높이-스캔 측정방법

이 절은 측정되어질(피측정) 시험장 감쇠량이 침두 최대값을 나타내는 곳에서 수신안테나 높이 $h_{r,\max}$ 를 구하기 위해 필요한 3개의 안테나 높이-스캔 측정방법을 설명한다 (4.4.3.2의 a) 단계와 4.5.3.2를 참조). 침두 최대값은 수신안테나에 직접 도달하는 입사파(직접파)와 시험장 반사면에서 반사하여 도달하는 반사파가 서로 소거되기 때문이다.

4.4.5.1 4.4.3.2의 a) 단계에서 규정한 주파수 f_s 에서, 그리고 4.4.2에서 기술한 시험배치에서, 수신용 시험안테나(주파수 f_s 에 동조된)의 높이를 $h_r = 1.0m$ 부터 SA 의 첫 번째 침두 최대값에 대응하는 높이인 즉, 수신기 지시값의 첫 번째 침두 최소값에 대응하는 높이인 $h_{r,\max}(f_s)$ 까지 증가시킨다.

주) 수신기 지시값의 최소값은 관심사가 아니다. 이 지시값은 오직 $h_{r,\max}(f_s)$ 를 찾기 위한 하나의 방법일 뿐이다.

4.4.5.2 높이 $h_{r,\max}(f_s)$ 를 이와 관련된 측정 불확도 $\Delta h_{r,\max}(f_s)$ 와 함께 측정하여 기록한다.

주) $h_{r,\max}(f_s)$ 는 실제 시험안테나의 특성에 상당히 의존하기 때문에, 측정된 $h_{r,\max}(f_s)$ 는 4.4.3.2의 b) 단계에 주어진 바와 같이 $h_{rs}(f_s)$ 와 다를 수 있다.

4.4.6 소인주파수 측정방법

본 절은 측정되어질(피측정) 시험장 감쇠량이 침두 최대값을 나타내는 곳에서 주파수 $f_{\max}$ 를 구하기 위해 필요한 3개의 소인주파수 측정방법을 설명한다(4.4.3.2의 b) 단계와 4.5.3.3 참조). 침두 최대값은 수신안테나에 직접 도달하는 입사파(직접파)와 시험장 반사면에서 반사하여 도달하는 반사파가 서로 (거의 전체가) 소거되기 때문이다.

4.4.6.1 4.4.3.2의 b) 단계에서 규정한 고정된 수신 시험안테나 높이 $h_{rs}(f_s)$ 에서, 그리고 4.4.3.2의 b) 단계에서 기술한 시험배치에서, 무선주파수 신호발생기의 주파수를 f_s 바로 아래의 한 주파수 즉, f_s 보다 100 MHz 낮은 주파수부터 SA 의 첫 번째 침두 최대값에 대응하는 주파수인 즉, 수신기 지시값의 첫 번째 침두 최소값에 대응하는 주파수인 $f_{\max}(h_{rs})$ 까지 소인시킨다.

주) 수신기 지시값의 최소값은 관심사가 아니다. 이 지시값은 오직 $f_{\max}(h_{rs})$ 를 찾기 위한 하나의 방편일 뿐이다.

4.4.6.2 높이 $f_{\max}(h_{rs})$ 를 이와 관련된 측정 불확도 $\Delta f_{\max}(h_{rs})$ 와 함께 측정하여 기록한다.

주) $f_{\max}(h_{rs})$ 는 실제 시험안테나의 특성에 상당히 의존하기 때문에, 측정된 $f_{\max}(h_{rs})$ 는 4.4.3.2의 b) 단계에 주어진 바와 같이 $f_s(h_{rs})$ 와 다를 수 있다.

4.5 안테나 교정시험장 적합성 판정기준

4.5.1 개요

교정시험장에서 안테나 교정을 수행할 경우에 사용되는 모든 주파수에서, 측정된 시험장 감쇠량(4.4.3.1 참조)과 측정된 안테나 높이 또는 측정된 주파수(4.4.3.2 참조)가 계산된 이론값(4.5.3 참조)의 일정 여유분 내에 있을 때, 이 교정시험장이 만족스럽다고 생각된다. 또한 다양한 측정 데이터의 불확도와는 별도로, 이 여유분은 측정배치의 허용오차를 고려하고 있다.

4.5.2에서 설명된 바와 같이 불확도 여유분은, 이론적인 모형을 사용하여 계산된 부분과, 측정되어질(피측정) 시험장 감쇠량을 구하기 위해 사용되는 전압 측정방법에서의 불확도 및 높이 이동 측정방법 또는 소인주파수 측정방법에서의 불확도와 직접 관련이 있는 부분으로 이루어진다.

4.5.2 허용오차와 측정 불확도

4.5.2.1 여러 가지 파라미터들에 대한 최대 허용오차가 표 2 에 주어져 있다.

4.5.2.2 4.4.4.6의 식(1)에서 정의된 바와 같이, 측정되어질(피측정) 시험장 감쇠량 SA_m 에서의 측정 불확도 ΔSA_m 는 다음과 같이 주어진다.

$$\Delta SA_m(dB) = \sqrt{\{\Delta SA_r(dB)\}^2 + \{\Delta SA_t(dB)\}^2} \quad (3)$$

여기서, ΔSA_r 은 4.4.2.9의 ΔA_r 또는 4.4.4.7의 $\Delta A_t(f)$ 중에서 적용가능한 절 중에서 어느 쪽으로도 구해진다. ΔSA_t 는 파라미터 허용오차(최대값은 표 2 에 주어져 있다)에 대한 시험장 감쇠량의 감도(sensitivity)를 설명한다. ΔSA_r 과 ΔSA_t 의 95% 신뢰수준값을 식(3)에서 사용하여야 한다.

주) $\Delta SA_i(95\%)$ 은 부록 C에 주어진 모형을 이용하여 계산할 수 있다.

표 2. $d=10m$ 에서 최대 허용오차

변 수	최대 허용오차	절
L_a	$\pm 0.0025 L_a$ 또는 $L_a < 0.400(m)$ 일 경우 $\pm 0.001(m)$	4.3.2.4
Z_{AB}	VSWR ≤ 1.10	4.3.2.5 a)
A_b	± 0.4 dB	4.3.2.5 b)
ψ_b	$\pm 2^\circ$	4.3.2.5 c)
d	$\pm 0.04m$	4.4.2.3
h_t	$\pm 0.01m$	4.4.2.4
h_r	$\pm 0.01m$	4.4.2.5
f	$\pm 0.001f$	4.4.3.4

주) 와이어안테나 소자의 반경 허용오차 ΔD_{WE} 와 와이어안테나 소자의 배치방법에 관련된 불확도를 고려할 필요성은 국제규격이 제정된 후, 검토를 거쳐 적용한다.

4.5.2.3 파라미터의 허용오차가 표 2에 주어진 값에 적합한 경우, $\Delta SA_i(95\%)=0.2dB$ 를 30 MHz부터 1 000 MHz 까지 전체 주파수 범위에서 사용할 수 있다.

주) $\Delta SA_i(95\%)=0.2dB$ 의 이론적인 근거는 부록 C.1.3.2에 기술되어 있다.

4.5.2.4 4.4.5에서 정의된 바와 같이, 수신안테나의 측정 높이 $h_{r, \max}$ 에서의 측정 불확도 Δh_{rm} 는 다음과 같이 주어진다.

$$\Delta h_{rm}(m) = \sqrt{\{\Delta h_{r, \max}(m)\}^2 + \{\Delta h_{rt}(m)\}^2} \quad (4)$$

여기서 $\Delta h_{r, \max}$ 는 4.4.5.2에 정의되어 있으며, Δh_{rt} 는 파라미터 허용오차(최대값은 표 2에 주어져 있다)에 대한 $h_{r, \max}$ 의 감도를 설명한다.

주) Δh_{rt} 는 부록 C.1.3.3에 주어진 모형을 사용하여 계산할 수 있다.

4.5.2.5 파라미터의 허용오차가 표 2에 주어진 값에 적합한 경우, $\Delta h_{rt}(95\%)=0.025m$ 를 3개의 규정된 주파수에서 사용할 수 있다. 이 경우, Δh_{rt} 을 계산할 필요가 없고 또한 교정 시험장의 유효성확인 보고서에서도 그 계산결과를 기록할 필요가 없다.

주) $\Delta h_{rt}(95\%)=0.025m$ 의 이론적인 근거는 부록 C.1.3.2에 기술되어 있다.

4.5.2.6 4.4.6에서 정의된 바와 같이, 수신안테나의 측정 주파수 $f_{\max}$ 에서의 측정 불확도 Δf_m 는 다음과 같이 주어진다.

$$\Delta f_m(MHz) = \sqrt{\{\Delta f_{max}(MHz)\}^2 + \{\Delta f_t(MHz)\}^2} \quad (5)$$

여기서,

Δf_{max} 는 4.4.5.2에 정의되어 있으며,

Δf_t 는 파라미터 허용오차(최대값은 표 2 에 주어져 있다)에 대한 f_{max} 의 감도를 설명한다.

주) Δf_t 는 부록 C.1.3.4에 주어진 모형을 사용하여 계산할 수 있다.

4.5.2.7 파라미터의 허용오차가 표 2에 주어진 값에 적합한 경우, $\Delta f_t(95\%)/f_c = 0.015$ 를 3개의 규정된 수신안테나 높이에서 사용할 수 있다. 이 경우 Δf_t 을 계산할 필요가 없고 또한 교정시험장의 유효성확인 보고서에서도 그 계산결과를 기록할 필요가 없다.

주) $\Delta f_t(95\%)/f_c = 0.015$ 의 이론적인 근거는 부록 C.1.3.4에 기술되어 있다.

4.5.3 적합성 판정기준

본 절에서 계산에 사용할 파라미터 값들은 측정으로 구한 실제값들이다. 이 실제 파라미터 값들은 충분히 작은 측정 불확도를 갖도록 구한 값들로 가정한다. 따라서 표 2 에 주어진 파라미터 값들은 최대 허용오차 범위 내에 있다고 결론지을 수 있다.

예) 안테나 중심 사이의 규정된 거리가 $d = 10m$ (4.4.2.3 참조) 이고, 실제 SA 측정 동안의 거리가 $d_a = 10.01m$ 일 경우, 후자의 값을 계산에 사용한다. 그러나 $(d - d_a)$ 는 항상 $0.04m$ 보다 작아야 하며(표 2 참조), 한편 d_a 는 $|d - d_a| < 0.04m$ 가 정당하다고 할 수 있을 만큼 작은 측정 불확도를 갖도록 구해진 것이다.

4.5.3.1 안테나 교정을 위해 사용된 모든 주파수에서 다음 식을 만족하면, 교정시험장은 시험장 감쇠량 유효성확인 기준에 적합하다(그림 5).

$$|SA_c(dB) - SA_m(dB)| < T_{SA}(dB) - \Delta SA_m(dB) \quad (6)$$

여기서,

$SA_c(f)$ 는 규정된 주파수에서의 이론적인 SA 이며, 4.3.2.6을 적용한 후에 구해진 시험안테나 데이터를 사용하여, 그리고 실제 기하학적 파라미터값 L_a , d , h_t 및 h_r 을 사용하여 부록 C에서 설명된 바와 같이 계산한다.

$SA_m(f)$ 는 식(1) 또는 식(2) 에 따라서 측정된 SA 이다.(주 참조)

$\Delta SA_m(f)$ 는 4.5.2.2에서 유도된 바와 같이 SA 측정 불확도이다.(95% 신뢰수준값)

$T_{SA}(f)$ 는 SA 에서의 허용오차이다.

교정시험장의 안테나 교정 표준규격에서, 별도의 언급이 없으면, 허용된 허용오차는 30

MHz 부터 1 000 MHz 까지 전체 주파수 범위에 걸쳐 $T_{SA}(f)=1.0dB$ 이다.

최소한 표 1 에 주어진 주파수들에서 교정시험장이 SA 기준에 적합해야 한다는 것을 검증하여야 한다.

주1) 30 MHz 부터 40 MHz 까지 주파수에서, SA_m 값은 와이어안테나의 끝 부분에서 상당히 처질 경우 보정이 필요하다.

a) 30 MHz 에서 4.8m 길이의 긴 다이폴은 끝 부분에서 16cm 처진다. SA_m 와 SA_c 의 비교가 적절하기 위해서는, 다이폴의 높이가 각각 1m, 2m 및 4m 일 때, SA_m 를 0.27 dB, 0.13 dB 및 0.08 dB 씩 증가시켜야 한다.

b) 끝 부분에서의 처짐이 20cm 이상이 될 경우, $SA_m(f)$ 를 수치해석으로 계산하여야 한다(C.2 참조)

주2) 예

만약 $\Delta SA_r(95\%)=0.2dB$ (4.5.2.3을 적용)이고 $\Delta SA_r(95\%)=0.2dB$ 일 경우, 이때 $\Delta SA_m(95\%)=0.3dB$ 이다. 따라서 계산된 시험장 감쇠량과 측정된 시험장 감쇠량 사이의 최대 허용오차는 0.7 dB 이다. 최대 허용오차는 $\Delta SA_r(95\%)$ 의 낮은 쪽 값을 갖는 수신기를 사용함으로써, 다양한 파라미터의 허용오차를 감소시킴으로써, 그리고 $\Delta SA_r(95\%)$ 의 실제값을 고려함으로써 증가시킬 수 있다.

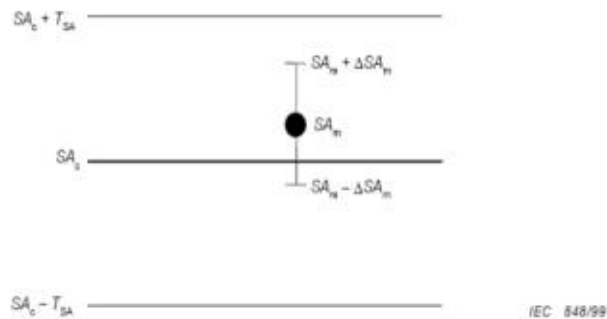


그림 5. SA 적합성 판정기준에 사용된 값들 사이의 관계

4.5.3.2 4.4.3.2의 a)에 주어진 주파수 f_s 에서 다음 식을 만족하면, 교정시험장은 SA 의 최대값에 대응하는 수신안테나 높이 기준에 적합하다.

$$|h_{rc}(m) - h_{r,max}(m)| < T_{hr}(m) - \Delta h_{rm}(m) \quad (7)$$

여기서,

$h_{rc}(m)$ 은 SA 의 최대값이 나타날 수신안테나의 이론적인 높이이며, 4.3.2.7을 적용한 후에 구해지는 시험안테나 데이터를 사용하여, 그리고 실제 기하학적 파라미터값 L_a , d , h_t 및 실제 주파수 f_s 를 사용하여 부록 C에서 설명된 바와 같이 계산한다.

$h_{r,max}(m)$ 은 4.4.5에 설명된 절차에 따라 측정된 수신안테나 높이이다.

$\Delta h_{rm}(m)$ 은 4.5.2.4에서 유도된 바와 같이 수신안테나 높이의 측정 불확도이다.(95% 신뢰수준값)

$T_{hr}(m)$ 은 $h_{r, \max}$ 의 허용오차이다.

교정시험장의 안테나 교정 표준에서, 별도의 언급이 없으면, 허용오차는 $T_{hr}=0.05m$ 이다.
주) 4.5.3.2 또는 4.5.3.3 양쪽 모두 적용 가능하다.(4.4.3.2 참조)

4.5.3.3 4.4.3.2의 b)에 주어진 해당 주파수 f_s 로 동조된 안테나로 수신안테나 높이 h_{rs} 에서 다음 식을 만족하면, 교정시험장은 SA의 최대값에 대응하는 주파수 기준에 적합하다.

$$|f_c(MHz) - f_{\max}(MHz)| < T_f - \Delta f_m(MHz) \quad (8)$$

여기서,

$f_c(MHz)$ 는 SA의 최대값이 나타나는 즉, 신호전달이 최소가 되는 수신안테나의 이론적인 주파수이며, 4.3.2.7을 적용한 후에 구해지는 시험안테나 데이터를 사용하여, 그리고 실제 기하학적 파라미터값 L_a , d , h_t 및 h_{rs} 을 사용하여 부록 C에서 설명된 바와 같이 계산한다.

$f_{\max}(MHz)$ 는 4.4.6에 설명된 절차에 따라 측정된 주파수이다.

$\Delta f_m(MHz)$ 는 4.5.2.6에서 유도된 바와 같이 주파수 측정 불확도이다(95% 신뢰수준값).

T_f 는 $f_{\max}$ 의 허용오차이다.

교정시험장에서의 안테나 교정 표준에서, 별도의 언급이 없으면, 허용오차는 $T_f=0.03f_c$ 이다.

주) 4.5.3.2 또는 4.5.3.3 양쪽 모두 적용 가능하다. (4.4.3.2 참조)

4.6 유효성 확인 보고서

4.6.1 개요

[이 시험방법](#)은 교정시험장을 위한 요구사항, 유효성확인 절차 및 적합성 판정기준을 규정한다. 이 유효성확인 절차는 소위 “교정시험장 유효성확인 보고서”로 불리는 보고서의 편집과 승인으로 완결된다.

본 유효성확인 보고서는 [이 시험방법](#)에서 설명된 교정시험장 요구사항에 적합하다는 것을 규명하고 보증하기 위한 방법이다.

교정시험장 소유자나 다른 관계자들 양쪽은 교정시험장의 유효성을 실제로 입증하기 위한 책임이 있을 수 있다.

교정시험장의 유효성확인 보고서는 4.6.2에 주어진 요구사항에 적합해야 한다.

4.6.2 유효성 확인 보고서 요구사항

교정시험장의 유효성확인 보고서에는 교정시험장의 유효성확인 관점을 다루는 다양한 항목들을 기록하여야 한다. 유효성확인 보고서에 포함되는 각 항목과 정당한 이유에 대해서는 아래에서 설명한다. 각 해당 항목을 위한 요약 체크리스트를 부록 F 에 수록하였다.

a) 일반적인 정보

교정시험장의 위치, 책임 소유자 등과 같은 일반적인 정보가 주어져야 한다.

만일 시험장 유효성확인을 다른 관계자/기관에서 수행하였을 경우, 이들 관계자/기관을 표시하여야 한다.

교정시험장의 구조와 보조 부품들에 대해 그림, 사진, 부품 번호 등을 이용하여 설명하여야 한다.

추가로, 유효성확인 조치의 일자와 유효성확인 보고서의 발행일자를 표시하여야 한다. 유효성확인 보고서의 편집과 승인 책임자의 이름과 서명이 표지의 보이는 곳에 있어야 한다.

b) 유효성확인 평가 주기와 제한 조건

안테나의 교정에 앞서 유효성이 입증되었다는 것을 언급하여야 한다(4.2.2).

따라서, 평가하고자 하는 교정시험장의 유효성확인 예상 주기를 표시하는 것이 중요하다. 교정시험장은 실내 또는 실외시설이 될 수 있기 때문에 교정시험장의 예상 유효성은 다를 수도 있고 환경적인 변화나 케이블 또는 흡수체의 노화와 같은 상이한 파라미터들에 의해 영향을 받을 수도 있다. 교정시험장의 유효성확인 주기에 대해 평가하고 분명히 하는 것은 시설 소유자의 책임이다.

이 유효성 평가에 관련하여, 시설의 사용 중에 변화될 수 있는 항목과 양상에 대해 확인해야 한다: 예를 들어 실외 시험장에서는 환경, 나무, 눈, 지면 습도 등. 일반적으로 케이블 배선, 장비, 안테나와 안테나 마스트의 성능 안정성이 중요하다. 또한 환경 조건, 계측장비나 흡수체의 노화 및 장비교정의 유효성이 교정시험장의 유효성확인 주기를 결정할 수 있다.

교정시험장 성능의 유효성/유사성을 지속적으로 평가하기 위해, 신속한 측정 보조기구 또는 목시검사 절차를 포함시킬 수 있다.

특정 환경이나 구조적인 조건 또는 구조적인 제한에 대해서도 명확하게 언급하여야 한다.

c) 시험안테나 설명과 유효성확인

유효성확인 보고서의 본 항목에서는 안테나 요구사항에 대한 적합성 입증을 다룬다.

시험안테나(안테나 소자와 발룬)는 4.3.2에 기술된 표준 규격과 표 2에 기술된 적용 가능한 값에 적합해야 한다.

표준 규격의 각 항목은 검사와 측정에 의해 적합성을 확인하여야 한다. 적합성 확인 결과는 부록이나 개별 문서(사진, 측정결과, 교정결과, 공급자 설명 등)로 이용 가능해야 한다.

d) 시험배치

유효성확인 보고서의 본 항목에서는 시험배치의 증명을 다룬다. 시험배치는 4.4.2에 기술된 표준 규격과 표 2에 기술된 적용 가능한 값에 적합해야 한다.

표준 규격의 각 항목은 검사와 측정에 의해 적합성을 확인하여야 한다. 적합성 확인 결과는 부록이나 개별 문서로 이용 가능해야 한다.

e) 유효성확인 측정

4.4.4에 기술된 절차에 따라, 그리고 표 1에 기술된 시험 주파수와 안테나 높이에서 수행된 시험장 감쇠량 유효성확인 측정의 결과를 유효성확인 보고서의 본 절에 기술하여야 한다. 추가로, 안테나 높이이동 측정방법(4.4.5 참조) 또는 소인주파수 측정방법(4.4.6 참조) 중 하나의 결과를 본 절에 기록하여야 한다.

f) 시험장 안테나 감쇠량과 허용오차의 계산

유효성확인 보고서의 본 항목은 안테나 길이를 부록 C의 절차를 사용하여 계산하였는지 아니면 수치해석적인 절차를 사용하여 계산하였는지를 표시하여야 한다. 시험장 감쇠량 계산 결과와 전체측정 불확도의 결과는 원래 기본값을 사용하거나 또는 표 2의 허용오차와 편차가 있는 경우에는 계산값을 사용하여 이 항목에 표시해야 한다.

g) 적합성 판정기준의 계산

유효성확인 보고서의 본 항목에서는, SA의 계산 및 측정된 값의 결과와 해당 허용오차와 불확도를 적합성 여부를 결정하기 위해서 주파수의 함수로 식 (6)에서 사용할 것이다. 이와 유사하게, 높이-스캔 측정방법 기준(식(9))에 적합한지 또는 소인주파수 측정방법 기준(식(10))에 적합한지 어느 쪽인지 여부를 결정할 것이다.

h) 적합성의 최종 발표

측정되어질(피측정) 시험장 감쇠량이 모든 주파수에서 식(8)에 적합하고, 높이-스캔 측정방법 기준 또는 소인주파수 측정방법 기준 어느 한 쪽의 조건을 만족할 경우, 평가하고자 하는 교정시험장은 항목 b)에 기술된 유효성확인 주기 요구사항, 언급된 제한 조건과 구조를 고려한 교정시험장 요구사항에 적합하다고 선언할 수 있다.

4.7 기준시험장의 유효성확인

4.7.1 일반 사항

기준시험장은 부록 A의 모든 요구사항을 충족해야 하며 수평 및 수직 편파 모두에 대한 시험장 감쇠량 측정을 통하여 검증되어야 한다. SA 측정을 위한 시험 안테나는 4.3에 명시되어 있다. 수평 편파의 경우, SA 측정은 4.4.3.2, 4.4.5 및 4.4.6을 제외한 4.4의 요구사항을 충족해야 한다. 기준은 4.7.3에 명시되어 있다. 4.5.3.2 및 4.5.3.3에 기술되어 있는 교정시험장에 요구되는 기준은 기준시험장에는 요구되지 않는다. SA 측정을 위한 시험 안테나는 4.3에 명시되어 있다. 수평 편파의 경우, SA 측정은 4.4 ~ 4.6의 관련 요구사항을 충족해야 한다. 수직 편파의 경우, SA 측정은 4.7.3의 요구사항을 충족해야 한다.

4.7.2 수직 편파에 대한 시험장 삽입 손실 측정

4.7.2.1 일반 사항

다음의 사전 조치가 수평 편파 안테나에 대한 요구사항과 더불어 수직 편파 안테나에 적용된다.

4.7.2.2 안테나 설치 및 안테나 마스트(Mast) 요구사항

안테나 간격은 10 m여야 한다. 전송 안테나의 중심 높이는 2 m여야 하며, 단 30 MHz, 35 MHz 및 40 MHz에서는 2.75 m여야 한다. 주파수와 수신 안테나 높이는 표 3에 의거하여 선정해야 한다.

안테나의 하단은 접지면에서 최소한 0.25 m 높이에 있어야 한다. 안테나 마스트는 저밀도 절연 재질이어야 하며, 안테나 응답에 거의 영향을 미치지 않음이 입증되어야 한다. 안테나와 마스트의 수직 부분 간의 거리를 변화시키면서 안테나에 대하여 마스트 위치가 변하는 두 안테나 간의 전송 손실을 측정하여, 마스트와 수평 붐이 안테나 인자(AF)에 미치는 영향을 평가해야 한다.

주) 마스트 효과의 평가 절차는 KN 16-1-4의 5.4.7.2에 보다 자세하게 기술되어 있다.

수평 붐에 안테나를 설치하여 안테나와 마스트의 수직 부분 간의 거리를 넓히는 등과 같이 안테나 마스트의 영향을 최소화하기 위한 노력을 기울여야 한다.

표 3. 안테나 높이

f MHz	h_t m	h_r m	f MHz	h_t m	h_r m	f MHz	h_t m	h_r m
30	2,75	2,75	90	2,0	1,15	300	2,0	2,6
35	2,75	2,4	100	2,0	1,0	400	2,0	1,8
40	2,75	2,4	120	2,0	1,0	500	2,0	1,4
45	2,0	1,9	140	2,0	1,0	600	2,0	1,4
50	2,0	1,9	160	2,0	1,0	700	2,0	1,0
60	2,0	1,5	180	2,0	1,0	800	2,0	1,0
70	2,0	1,5	200	2,0	1,0	900	2,0	1,6
80	2,0	1,15	250	2,0	3,1	1 000	2,0	1,6

h_t 및 h_r 은 각기 전송 및 수신 안테나 높이.

4.7.2.3 케이블 배치

케이블은 안테나 소자와 연계될 경우 기생 반사기 역할을 할 수 있으며, 케이블이 안테나 후방 소자에 0.5 m까지 접근하여 늘어질 경우 시험장 삽입 손실에 ± 1 dB의 변화를 발생시킬 수 있다. SA에 미치는 영향이 무시할 수 있는 정도가 될 때까지 이 수평 거리를 변화시켜 케이블의 영향을 평가할 수 있다. 그러면 측정을 위해 최종 선정된 거리에서는 케이블에 의해 유발되는 모든 영향이 기준시험장의 불확도에 의해 가려지게 된다. 케이블 상에 위치한 클램프온 페라이트는 특히 안테나의 발룬이 불량할 경우에 그 영향을 줄일 수 있다. 케이블이 접지면에 닿기 전에 교정시험장의 경우 최소 5 m, 그리고 기준시험장의 경우 최소 2 m 이상 안테나 뒤로 (안테나 소자에 대하여 직각으로) 케이블을 수평으로 연장하는 것이 바람직하다.

4.7.2.4 접지면 크기

안테나 간의 간격과 야외시험장 접지면 모서리까지의 거리 비율에 따라, 무시할 수 없는 모서리 회절 효과가 나타날 수 있다. 회절 효과의 존재는 소인 주파수 SA 측정 데이터에 중첩된 규칙적인 리플로 관찰될 수 있다. 리플은 SA 데이터의 최소 영역에서 뚜렷해진다. 일부 경우에는 측정 경로가 시험장의 장축이 아닌 단축에 있도록 안테나를 배치하여 리플을

줄일 수 있다.

추가로 철망을 접지면의 주변에 연결하여 접지면을 넓혀 모서리 회절을 줄일 수도 있다. 지면으로 연결할 수도 있는데, 이 경우 지표면의 수분을 높은 상태로 유지해야 효과적이다. 또 다른 해결책은 접지면의 크기를 키우는 것이다.

4.7.3 적합성 판정기준

적합성 판정기준은 30 MHz ~ 1 000 MHz의 주파수 범위에 대하여 식 (6)으로 제시되며, 교정시험장의 경우 $T_{SA}(f) = 1,0$ dB이며 기준시험장의 경우 $T_{SA}(f) = 1,5$ dB이다. 4.5.2에 의거하여 측정 불확도 ΔS_{A_m} 을 이 식에 대하여 평가해야 한다.

4.7.4 유효성 확인 보고서

시험장 유효성 확인 보고서에 대한 요구사항은 4.6.2와 동일하다.

부록 A

(정보)

교정시험장 요구사항

A.1 개요

일반적으로 표준규격에서, 교정시험장은 야외시험장을 의미한다. 그러나 표준규격에서, 교정시험장이 항상 야외시험장이어야만 되는 것은 아니다. 따라서 모든 표준규격이 만족하는 경우에는, 교정시험장은 어디에서도 가능하다.

시험장의 상세 내용은 KN16-1-4의 5에 수록되어 있으며, 추가 정보는 아래에 주어져 있다. 이 규격 사용자에게 참고문헌 리스트를 제공하는 데 특별한 주의를 기울여야 한다. (A.4 참조)

A.2 반사면

A.2.1 반사면의 구성

평면 재질은 고체 금속판 또는 와이어 메쉬(그물망)로 만들 수 있다. 금속판과 와이어 메쉬는 이음매 부위를 연속되게 용접해야 하고, 이음매 사이의 거리는 $\langle \lambda_{\min} / 10$ 이 되어야 한다. 여기서 $\lambda_{\min}$ 은 시험할 최대 주파수의 파장이다. 만약 와이어 메쉬를 선택했다면, 와이어 교차 부위가 서로 양호한 전도성 접촉을 갖도록 주의가 필요하다. 메쉬 폭은 $\langle \lambda_{\min} / 10$ 가 되어야 한다.

반사면 재질의 두께는 기계적 강도와 안정성 요구사항에 의해 결정되며, 도전율은 철의 도전율 이상이면 충분하다. 평면의 형상은 타원형이 아닌 한 그다지 중요하지는 않다(A.2.2 참조). 반사면은 상당한 두께의 보호막으로 덮여서는 안 되며, 이는 보호막으로 인해 반사된 파의 위상이 변화될 수 있기 때문이다. 즉, 4.4.1의 ψ 가 π 라디안[A.4] 과 달라질 수 있기 때문이다. 평면의 편평도와 거칠기에 대한 정보는 KN16-1-4 의 5와 [A.3]을 참조한다. 1 000 MHz까지 측정을 위해서는 통상 $\pm 10\text{mm}$ 의 편평도로 충분하다.

이 평면의 수평 크기는 안테나 교정에 관계된 불확도 여유분에서, 유한한 크기를 갖는 평면의 영향이 충분히 낮도록 커야 한다. 불행히도 안테나 교정결과로서, 규정된 최대 불확도 여유분에 대한 최소 수평면의 크기에 관해서 이용가능한 이론적인 모형은 아직 없다. 가능한 판단기준으로, 제 1 Fresnel 영역이 반사면에 포함되어 있어야 한다는 것이다([A.1], [A.2] 및 [A.3]). 이 때문에 최소 평면 크기가 20m(길이) $\times$ 15m(폭) 로 결정되었으나, 이 보다 작은 크기의 평면도 교정시험장의 요구사항을 만족할 수 있다. 최소 주파수(30MHz)에서 시험 안테나 L_a 의 길이는 약 5m 이다. 따라서 20m $\times$ 15m 평면인 경우에, 평면상의 타당성확인

배치 투영도와 평면 모서리 사이에서의 거리는 30MHz에서 1 000MHz 범위의 모든 주파수에서 적어도 L_a 가 된다.

A.2.2 평면-모서리 효과와 평면 주변

반사면의 크기를 제한할 경우, 이 평면의 모서리에서 매질의 불연속이 발생하여 반사 특성이 달라지므로, 이 모서리에서 전자파가 산란되어 측정결과에 원하지 않는 영향을 미친다. 모서리 회절은 보통 수직편파에 영향을 미치나 수평편파에의 영향은 무시할 수 있다[A.7].

기타 사항으로, 반사면이 주변토양(젖거나 마른 토양의 차이는 이미 알려져 있다[A.5])과 동일 평면 상에 있는지 또는 반사면이 더 높이 있는지(즉, 지붕위에 위치하는지)에 따라 산란량이 달라진다. 이 경우에 모서리의 산란에 의해 발생한 불확도가 누적될 수 있기 때문에, 반사면이 제 1 Fresnel 타원 형태를 가져서는 안된다는 연구결과를 [A.6]에서 알 수 있다.

반사면의 모서리는 주변토양에 다지점 접지가 될 수 있고, 만일 토양이 양호한 도전율을 가졌을 경우 즉, 젖었을 때, 이것은 금속 반사면이 양호하게 확장된 상태로 볼 수 있다[A.7].

만약 잠재적인 반사 장애물이 반사면의 경계로부터 40m 이내에 있을 경우, 이들 장애물의 영향이 무시될 수 있다는 것을 증명하여야 한다. 이 증명은 고정길이 다이폴을 사용한 주파수-소인 측정방법으로 수행할 수 있다. 이 측정은 4.4.6에서 설명한 방법과 유사하다. $h_t=2m$ 에서 송신안테나의 경우에 수신안테나의 고정높이 h_r 및 소인주파수 범위와 관련되어, 고정길이 안테나(주파수 f_r 에 동조된)의 가능한 선택 방법이 표 A.1에 주어져 있다. 광대역 주파수에 대한 접근방법은 NEC와 같은 수치해석 기술을 이용하여 계산할 수 있다 (T.3 참조, [T.5]).

표 A.1. 고정길이 다이폴 안테나, 소인주파수 범위와 수신안테나 높이의 조합 관계

f MHz	Bs MHz	h_r m
60	30 ~ 100	4.0
180	100 ~ 300	1.8
400	300 ~ 600	1.2
700	600 ~ 1 000	1.4

정상적인 경우에, 이 응답특성 곡선은 평활하게 변화할 것이다. 비정상적인 경우에는, 이 응답특성 곡선 내에 비교적 협대역의 공진현상이 중첩되어 나타난다. 이들 공진현상 때문에 장애물로부터 반사가 좋지 않은 주파수들을 정확하게 확인할 수 있다. 의심이 가는 장애물의 위치는 이 장애물 앞에 대형 금속판을 최대 영향을 주는 각도방향으로 두고 그 영향이 커지게 하여 이들 주파수를 확인할 수 있다.

A.3 보조장비

만약 교정시험장을 적합성시험장으로 사용하는 경우에는, 안테나 마스트 재질, 어댑터, 로프, 마스트와 로프의 습기영향, 케이블 지지물, 커넥터, 턴테이블의 존재가능성 등이 측정결과에 영향을 주지 않도록 주의를 기울여야 한다. 또한 이 경우들에서, A.2에서 언급된 바와 같은 소인주파수 측정으로 문제를 해결할 수 있다.

A.4 참고 문헌

- [A.1] ANSI Standard C63.4, 1992, *Methods of Measurement of Radio-Noise Emissions from Low-Voltage Electrical and Electronic Equipment in the range of 9kHz to 40 GHz*, 1992.
- [A.2] *Microwave Antenna Measurements*, Hollis, J.S., Lion T. J. and Clayton L.(Editors), Scientific Atlanta, GA, U.S.A., 1986.
- [A.3] *Transmission and Propagation of Electromagnetic Waves*, Sander K.F. and Reed G.A.L., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1987.
- [A.4] *Note on the Open-Field Site Characterization*, Livshits B. and Harpell K., IEEE EMC Symposium, Denver, pp352-355, 1992.
- [A.5] *Site Attenuation for Various Ground Conditions*, Sugiura A., Shimizu Y. and Yamanaky Y., Trans.IEICE, E73, 9, pp 1517-1523, September 1990.
- [A.6] *Ground-Plane Size and Shape experiments for Radiated Electromagnetic Emission Measurements*, Berquist A.P. and Bennett W.S., EMC/ESD Symposium, Denver, U.S.A., pp 211-217, 1992.
- [A.7] *EMC Antenna Calibration and the Design of an Open-Field Site*, Salter M.J. and Alexander M.J., Meas.Sci. Technol., 2, pp 510-519, 1991.
- [A.8] *Calibration of Antennas used for Radiated Emission Measurements in Electromagnetic Interference(EMI) Control*, ANSI Standard C63.5, 1988.

부록 B (정보) 시험 안테나 고려사항

시험안테나의 예를 B.1에 보였으며, B.2에서는 S-파라미터 측정으로부터, 및/또는 4.3.2.6에서 언급한 주입 측정방법으로부터 발문의 특성 결정을 검토한다.

B.1 시험 안테나의 예

[B.1]에 기초한 시험안테나의 예가 그림 B.1에 주어져 있다. 안테나의 발문은 다음과 같이 구성되어 있다.

- a) 합-포트 (Σ)는 항상 특성부하 임피던스(50Ω 이라고 가정)로 종단되어 있고, 차-포트 (Δ)가 시험안테나의 입력/출력 포트에 되어 있는 180° 의 3dB 하이브리드 커플러
- b) 고품질의 커넥터 즉, SMA 커넥터를 거쳐 하이브리드 커플러의 평행 포트 A, B에 연결된 반-경화(semi-ridged) 동축케이블. 이 케이블은 약 1m의 길이를 가지며, 이 길이는 마스트와 커플러로부터 와이어안테나의 반사를 피하도록 일정 거리를 주기위해 사용된다.
- c) 발문과 여기에 연결된 안테나 케이블에서의 공통모드 전류 발생을 제한하기 위해, 반-경화 케이블 상에 끼운 페라이드 비드(F);
- d) 임피던스 안정화용 또는 정합용 패드(M)로 동작하는, 반-경화 케이블 출력 끝단의 3dB 감쇠기. 여기서 와이어안테나 소자는 SMA 커넥터를 거쳐 이 패드(M)에(3 dB 감쇠기에) 연결된다. 이들 커넥터는 4.4.4와 부록 C에서 언급된 A와 B 포트(또는 C와 D 포트)를 형성한다. 이들 커넥터의 외부도체는 와이어안테나 가까이에 전기적으로 접촉되어 있다. 이 접촉점은 S 파라미터를 측정할 때 발문의 기준점이 된다.

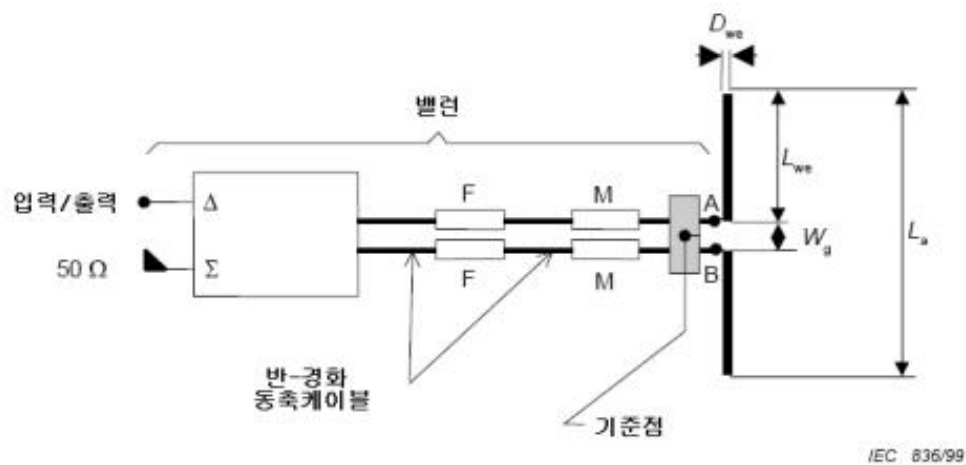
앞서 언급한 발문은 발문 사용의 한 가지 유용한 예임에 주의해야 한다. 다른 형태의 발문 또한 사용될 수 있다. 사실, 4.3.2의 요구사항이 만족된다면 모든 형태의 발문도 사용 가능하다.

와이어안테나 소자를 시험안테나에 부착시킨 후, 이 와이어안테나 소자는 4.3.2.2의 $L_a(f)$ 요구사항에 만족하는 길이를 가져야 한다($L_a(f)$ 의 계산을 위해 C.1.1 참조). 표 C.1에서, $f < 180MHz$ 일 경우 와이어안테나 소자의 직경이 10mm 임을 가정하면, 상대적으로 긴 와이어안테나도 양호한 기계적 강도를 갖는다. 또한 표 C.1에서, $f \geq 180MHz$ 일 경우 와이어안테나 소자의 직경은 3mm 이면 충분하다고 가정한다. $f < 60MHz$ 의 주파수에서 와이어안테나 소자는 길이 가변형 안테나가 될 수 있거나, 또는 고정길이 다이폴 안테나로 만들어진 것을 사용할 수도 있다(부록 D 참조)

B.2 발룬 특성의 결정

B.2.1 이상적인 무손실 발룬

발룬의 3개(그림 B.2 참조) 포트 모두가 자신의 특성 임피던스로 종단되어 있으면, 이상적인 무손실 발룬은 A 와 B 포트가 각각 정확히 동일 진폭이며 180° 역위상인 신호를 갖는 것으로 특성화된다. 동일한 조건하에서, 어느 한 포트도 인입신호를 반사하지 않으며, 포트 2의 인입신호가 포트 3으로(그리고 반대인 경우에도) 전달되지 않는다.



F = 페라이트 비드(ferrite bead)

M = 정합 패드(matching pad)

주) 발룬은 동축형 하이브리드 정크션(coaxial hybrid junction)을 사용한다.

그림 B.1. 시험안테나의 예

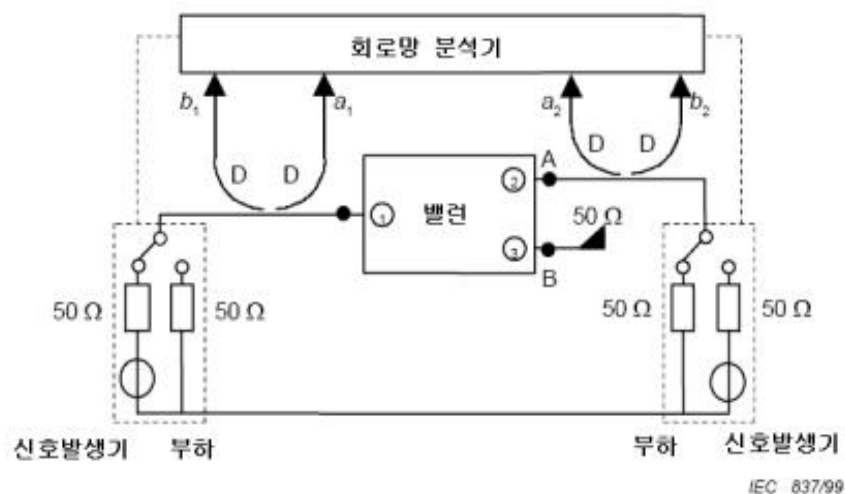


그림 B.2. 신호발생기와 부하를 서로 바꾸었을 때(이 그림에서, 양쪽의 스위치를 반대위치로 전환함으로써), S_{11} 과 S_{12} , 및 S_{22} 와 S_{21} 의 측정도

S 파라미터를 측정하기 위한 기본적인 배치는 그림 B.2에 주어져 있다. 발룬의 불평형 입력/출력 포트는 번호 “1”로 표시되어 있고, 평형 포트는 번호 “2”와 “3”으로 표시되어 있다.

이들 각 3개 포트의 특성 임피던스는 50Ω이라고 가정한다(4.3.2.5 참조). 그림 B.1에 비교하여, 전체 발룬(결합기, 케이블 등을 포함하여) 구조는 그림 B.2에서 “발룬”으로 표시된 단일 사각형으로 표시되어 있다. 그림 B.1의 하이브리드 커플러의 Σ 단자는 항상 자신의 특성 임피던스로 종단되어 있으며 따로 사용하지 않는다.

S 파라미터는 그림 B.2에서 a_1 또는 a_2 로 표현되는 입사파와 b_1 과 b_2 로 표현되는 산란파 사이의 관계를 제공한다. 입사신호 및 산란신호는 방향성 결합기(D)를 통해 회로망 분석기로 측정한다. 포트 3을 50Ω으로 종단시킨 상태에서, 파라미터 $S_{11} = b_1/a_1$ 과 $S_{21} = b_2/a_1$ ($a_2 = 0$ 조건하에서)을 측정한다. 신호발생기와 부하를 서로 바꾸었을 때(그림 B.2에서, 양쪽의 스위치를 반대위치로 전환함으로서), $S_{22} = b_2/a_2$ 과 $S_{12} = b_1/a_2$ ($a_1 = 0$ 조건하에서)를 측정한다. 비슷한 방법으로, 포트 2를 50Ω으로 종단시킨 상태에서, 포트 1과 3에서 S_{11} 과 S_{13} , 및 S_{31} 과 S_{33} 을 측정한다. 마지막으로, 포트 1을 50Ω으로 종단시킨 상태에서, 포트 2와 3에서 S_{22} 와 S_{23} , 및 S_{32} 와 S_{33} 을 측정한다.

이상적인 무손실 발룬의 S파라미터 행렬은 다음 식으로 주어진다.

$$\begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 & 1 & -1 \\ 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (\text{B.1})$$

이 S 행렬에서, 각 포트에서는 반사가 없으므로 $S_{11} = S_{22} = S_{33} = 0$ 이다. 또한, 완전 평형이므로(이 발룬은 무손실이기 때문에 절대값이 같음) $S_{12} = S_{21} = 1$ 이고 $S_{13} = S_{31} = -1$ 이다. 그리고 위상 천이는 정확히 180° 가 된다(음의 부호로 표시됨). 마지막으로, 포트 2와 3 사이의 격리도가 완전하므로 $S_{23} = S_{32} = 0$ 가 된다.

B.2.2 발룬 특성과 S 파라미터 사이의 관계

S 행렬은 발룬의 입력/출력 전류와 전압의 임피던스 행렬로 변환될 수 있다. 포트 1을 50Ω으로 종단시킨 상태에서, 포트 2와 3만을 고려하면 다음 식을 구할 수 있다.([B.2 참조])

$$\begin{pmatrix} Z_{22} & Z_{23} \\ Z_{32} & Z_{33} \end{pmatrix} = \frac{Z_0}{(1-S_{22})(1-S_{33})-S_{23}S_{32}} \times \frac{\begin{pmatrix} [(1+S_{22})(1-S_{33})+S_{23}S_{32}] & 2S_{23} \\ 2S_{32} & [(1-S_{22})(1+S_{33})+S_{23}S_{32}] \end{pmatrix}}{\quad} \quad (\text{B.2})$$

여기서, Z_0 은 측정 임피던스이며, 일반적으로 50Ω 이다.

$$Z_{AB} = \frac{1-S_{22}S_{33}+S_{23}S_{32}-S_{33}+S_{22}}{(1-S_{22})(1-S_{33})-S_{23}S_{32}} 100 = R_{AB} + jX_{AB} \quad (\Omega) \quad (\text{B.3})$$

Z_{AB} 의 측정값은 SA_c (부록 C 참조)의 계산에 필요하다. 계산에 필요한 다른 발문의 임피던스 Z_{CD} 도 유사한 방법으로 구할 수 있다.

관련 전압정재파비(VSWR)는 아래의 조건인 경우 4.3.2.5 a)와 표 2에 적합하다.

$$\frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} < 1.10, \text{ 여기서 } \Gamma = \frac{Z_{AB}-100}{Z_{AB}+100} \quad (\text{B.4})$$

주) 만약 하이브리드 커플러 자체가 식 (B.4)의 요구사항에 적합하지 않을 경우, 매우 낮은 전압정재파비 특성을 갖는 정합 감쇠기(그림 B.1 의 M)를 사용하여 전압정재파비를 낮출 수 있다.

실제 발문의 평형상태와 위상 천이는 다음 식으로 확인된다.

$$\frac{S_{12}}{S_{13}} = \frac{S_{21}}{S_{31}} = r_b e^{j\phi_b} \quad (\text{B.5})$$

진폭 평형상태는 아래의 조건인 경우, 4.3.2.5 b)와 표 2에 적합하다.

$$0.95 < r_b < 1.05 \quad (\text{B.6})$$

그리고 위상 평형상태는 아래의 조건인 경우, 4.3.2.5 c)와 표 2에 적합하다.

$$178^\circ < \left| \frac{180\psi_b}{\pi} \right| < 182^\circ \quad (\text{B.7})$$

실제 발문의 격리도는 S_{23} 과 S_{32} 의 실제값을 고려하여 확인한다. 이것은 아래의 조건인 경우, 4.3.2.5의 주4.에 적합하다.

$$|S_{23}| = |S_{32}| < 0.5 \quad (\text{B.8})$$

실제 발룬이 가질 수 있는 손실은 교정시험장의 유효성확인 절차에서 기준전압 U_r 측정 중에 설명된다. 그림 B.1에서 표현된, 예로 사용된 발룬의 경우에, 중요한 손실이 3dB 정합 패드로부터 발생한다.

B.2.3 삽입손실의 측정

4.3.2.5 b) 와 4.3.2.5 c)에서 정해진 발룬의 사양은 그림 B.3과 B.4에 표현된 삽입손실 측정을 수행함으로써 확인할 수 있다. 이 결과로부터, 소위 발룬 불평형 제거(BUR) 값을 구할 수 있다.

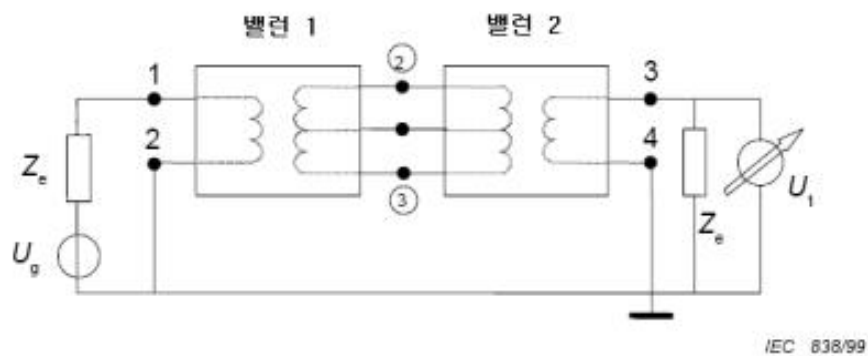


그림 B.3. 삽입손실 $A_1(f)$ 를 구하는 회로도

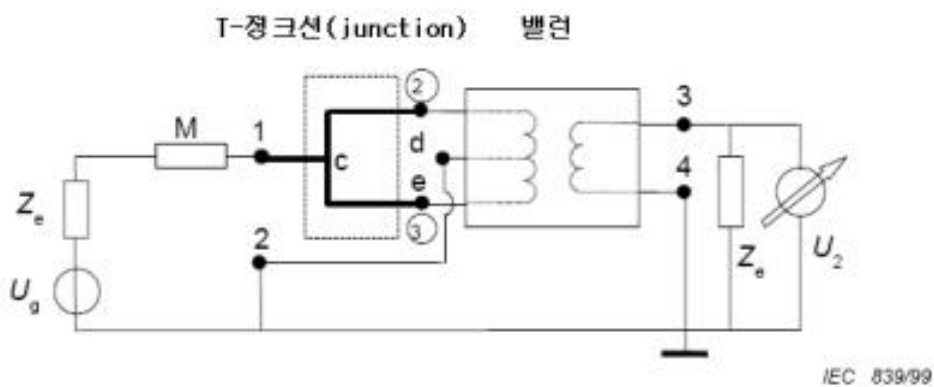


그림 B.4. 삽입손실 $A_2(f)$ 를 구하는 회로도

측정 과정은, 4.4.4.1에서와 같이 서로 마주보고 연결된 2개의 동일한 발룬의 삽입손실 $A_1(f)$ 을 구하는 과정과 평행 포트 2 와 3 이(그림 B.4 참조) 평행하게 연결되었을 때 한 발룬의 삽입손실 $A_2(f)$ 을 구하는 과정으로 이루어진다. A_1 은 2개 동일한 발룬으로부터 구한 값을 가정하면, 공통모드 제거 값으로도 불리우는 발룬 불평형 제거(BUR) 값은 다음 식의 dB 로 표현된다.

$$BUR(f) = A_2(f) - \frac{A_1(f)}{2} \text{ (dB)} \quad (\text{B.9})$$

이 발룬은 앞 결과, $BUR > 28 \text{ dB}$ 일 때 표 2 에 주어진 바와 같이 관련 허용오차 수치값에 적합하다는 것을 알 수 있다.

첫번째의 삽입손실 측정에 있어, 먼저 발룬의 규정 주파수 대역 상에서, 주파수의 함수로서 기준전압 $U_{r1}(f)$ 를 구해야 한다. 그림 B.3에서 2개 발룬을 모두 제거하고 포트 1 과 3 사이를 단락시키고 포트 2 와 4 사이를 단락시킨 측정회로를 구성하여 $U_{r1}(f)$ 를 측정한다. 다음에 그림 B.3 과 같이 2개 발룬을 서로 마주보게 연결하여 삽입한 후에 전압 $U_1(f)$ 를 측정한다(그림 B.3 참조). 따라서 $A_1(f)$ 는 다음 식에 의해 dB 로 표현된다.

$$A_1(f) = 20 \log_{10} \left(\frac{U_{r1}(f)}{U_1(f)} \right) \text{ (dB)} \quad (\text{B.10})$$

두번째의 삽입손실 측정에 있어, 먼저, 발룬의 규정 주파수 대역 상에서, 주파수의 함수로서 기준전압 $U_{r2}(f)$ 를 구해야 한다. 그림 B.4에서 T-접합과 발룬을 모두 제거하고 포트 1 과 3 사이를 단락시키고 포트 2 와 4 사이를 단락시킨 측정회로를 구성하여 $U_{r1}(f)$ 를 측정한다. 다음에, 그림 B.4 와 같이 T-접합과 확인하고자 하는 발룬을 삽입한 후에 전압 $U_{2a}(f)$ 를 측정한다(그림 B.4 참조). 이 측정에서, 반-경화 케이블로 구성된 그리고 T(기계적으로 완전 대칭구조)의 c-d 와 c-e 부분이 전기적으로 동일한 길이를 갖는, 동축형 대칭 T-정크선을 거쳐 포트 2 와 3 (그림 B.2 참조)을 평행하게 연결시킨다. 이 측정에서, d는 포트 2에 연결시키고 e는 포트 3에 연결시킨다. 그림 B.4 에 M 으로 표시된 6 dB 정합 감쇠기 패드를 정재파 영향을 피하기 위하여 추가시켜야 한다.

기생효과에 의한 오차를 피하기 위해, 발룬과 T-정크선 사이의 연결을 반대로 하여 후자의 측정을 반복한다 즉, d는 포트 3에 연결시키고 e는 포트 2에 연결시킨다. 이 측정으로 전압 $U_{2b}(f)$ 를 구할 수 있다. 따라서 $A_2(f)$ 는 다음 식에 의해 dB로 표현된다.

$$A_2(f) = 20 \log_{10} \left(\frac{U_{r2}}{\max\{U_{2a}(f), U_{2b}(f)\}} \right) \quad (\text{B.11})$$

이상적인 발룬인 경우에, 모든 주파수에 있어 $A_2(f) = \infty \text{ dB}$ 이다.

주) T-정크선과 6dB 감쇠기 대신에 교정된 6dB 전력 분배기를 사용할 수 있다. 이 경우, 전력분배기에 의해 발생한 감쇠는 발룬 불평형 제거 값의 계산에 고려하여야 한다.

B.3 참고문헌

- [B.1] *Standard Linear Antennas, 30 -1000MHz*, FitzGerell R.G., IEEE Trans. on Antennas and Propagation, AP-34, 12, pp 1425-1429, December 1986.
- [B.2] *Microwave Impedance Measurement*, Somlo P.I., Hunter J.D., published by Peter Peregrinus Ltd., London, UK, 1985.
- [B.3] *Low Measurement Uncertainties in the Frequency Range 30MHZ to 1GHz using Calculable Standard Dipole Antenna and Reference Ground Plane*, Alexander M.J. and Salter M.J, IEE Proc.Sci.Meas.Technol., Vol. 143, no. 4, pp 221-228, July 1996.

부록 C
(정보)
안테나와 시험장 감쇠량 이론

C.1 해석적 관계

본 절에서는 와이어안테나의 전체길이 $L_a(f)$ 의 계산(C.1.1 참조)과 시험장 감쇠량 SA_c (C.1.2 참조)의 계산에 대한 해석적인 접근 방법을 제공한다. 이 모형에서는 송신안테나와 수신안테나 사이의 상호결합과 반사면에서의 영상 효과를 고려한다. 또한 수신안테나 상의 실제 전자파 분포를 고려한다 즉, 수신안테나에 도래하는 전자파가 평면파라고 가정하지 않는다. 이 접근 방법에서 사용한 유일한 가정은 와이어안테나 상의 전류 분포가 정현 분포라는 것이다.

충분히 반경이 가는 와이어안테나의 L_a 값을 해석적인 접근 방법에서 사용한다면, 이로부터 계산된 SA_c 값은 정확한 수치계산으로부터 구한 SA_c 값과 $\pm 0.01dB$ 오차 내에 있다. [이 시험방법](#)에서, 충분히 가늘다는 의미는 와이어안테나의 반경 R_{we} 가 다음의 조건을 만족하는 것을 의미한다.[C.1]

$$\alpha = 2 \ln \left(\frac{L_a}{R_{we}} \right), \quad \alpha \geq 30 \text{ 일때}$$

반파장 다이폴 안테나 ($L_a = \lambda_0/2$) 에 있어서, 위 조건은 다음 식으로 주어진다.

$$R_{we} = \frac{\lambda_0}{2\sqrt{e^\alpha}}, \quad \alpha \geq 30 \text{ 일때}, \quad (C.1)$$

측정 불확도를 고려한 완전한 수치해석 예가 C.1.3에 주어져 있다. 부록 E는 여러 가지 값들을 계산하기 위한 컴퓨터 프로그램의 예이다.

[다른 방법으로 C.2에 기술되어 있는 수치 해석법을 이용하여 \$SA_c\$ 값을 산출할 수 있다. 수치 해석법은 한층 용도가 다양하며 공진 주파수를 제외하고 본 시험방법에 제시되어 있는 분석 식보다 더 정확한 결과를 제공한다. 공진에서 두 방법의 일치는 0.03 dB 이상이다.](#)

C.1.1 시험안테나의 전체길이

정의에 따르면, 시험안테나의 전체길이 $L_a(f)$ 즉, 주파수 f 에서 자유공간 공진다이폴은 다음의 식에 따른다.

$$X_a(f, R_{we}) = 0 \quad (C.2)$$

여기서

$X_a(f, R_{we})$ 는 자유공간에서 방사되는 다이폴의 임피던스의 허수부이며.

R_{we} 는 와이어안테나 소자의 반경으로, 그 길이 상에서 일정하고(길이 가변형 안테나 소자가 아님) L_a 보다 훨씬 작은 값을 갖는다고 가정한다.

급전점 간극 W_g 는 무한히 작다고 가정하면, X_a 는 다음 식으로 주어진다.([C.2 참조])

$$X_a = \frac{\eta}{4\pi} \times [2S_i(kL_a) + \cos(kL_a) \times \{2S_i(kL_a) - S_i(2kL_a)\} - \sin(kL_a) \{2C_i(kL_a) - C_i(kL_a) - C_i(2kR_{we}^2/L_a)\}] \times \sin^{-2}(kL_a/2) \quad (C.3)$$

여기서

$$\eta = 377 \Omega$$

$$k = 2\pi/\lambda_o$$

λ_o 는 진공에서의 파장 길이.

$S_i(x)$ 와 $C_i(x)$ 는 다음의 식으로 주어진다.

$$Si(x) = \int_0^x \frac{\sin(\tau)}{\tau} d\tau \quad (C.4a)$$

$$Ci(x) = \int_\infty^x \frac{\cos(\tau)}{\tau} d\tau \quad (C.4b)$$

$$Si(x) = \frac{\pi}{2} - f(x) \cos x - g(x) \sin x \quad (x \geq 1)$$

$$Si(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n x^{2n} + 1}{(2n+1)(2n+1)!} \quad (x < 1) \quad (C.5a)$$

그리고 [C.3]으로부터 충분히 정확하게 계산할 수 있다

$$Ci(x) = f(x) \sin x - g(x) \cos x \quad (x \geq 1)$$

$$Ci(x) = \gamma + \ln x + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n x^{2n}}{2n(2n)!} \quad (x < 1) \quad (C.5b)$$

$$f(x) = \frac{1}{x} \left(\frac{x^4 + a_1 x^2 + a_2}{x^4 + b_1 x^2 + b_2} \right),$$

$$g(x) = \frac{1}{x^2} \left(\frac{x^4 + c_1 x^2 + c_2}{x^4 + d_1 x^2 + d_2} \right) \quad (\text{C.5c})$$

$$\begin{array}{llll} a_1 = 7.241163 & b_1 = 9.068580 & c_1 = 7.547478 & d_1 = 12.723684 \\ a_2 = 2.463936 & b_2 = 7.157433 & c_2 = 1.564072 & d_2 = 15.723606 \end{array}$$

표 C.1에서 $L_a(f)$ 는 공식 (C.3)에서 (C.5)을 사용하여 공식 (C.2)에서 유도된다.

C.1.2 이론적인 시험장 감쇠량

시험장 감쇠량 (SA)은 회로망 모형[C.4]을 사용하여 계산된다(그림 C.1 참조). 무선주파수 신호발생기는 송신안테나의 발룬에 있는 급전단자 A와 B에 신호를 공급한다. 수신안테나의 급전단자 C와 D에 도달하는 신호를 수신기 임피던스 Z_r 양단에서 측정한다. 케이블과 발룬은 T형 회로망으로 표현된다.

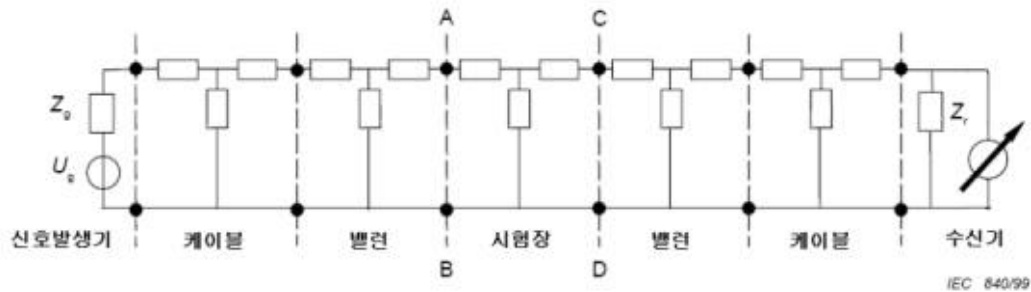


그림 C.1. SA 계산을 위한 회로망 모형

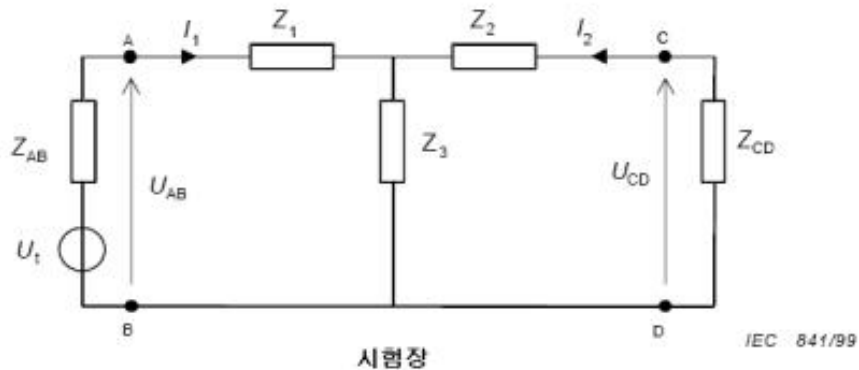


그림 C.2. 그림 C.1 회로망의 등가회로

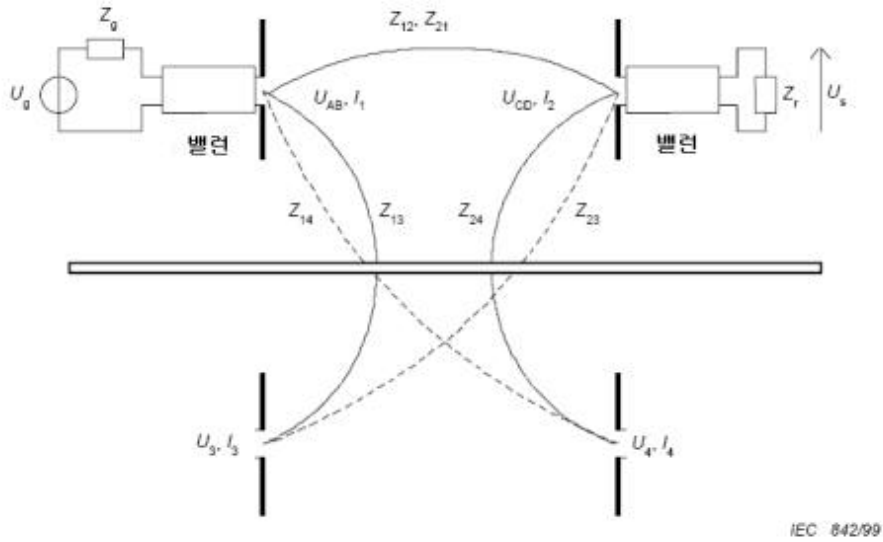


그림 C.3. 상호결합, 급전단자 전압 및 안테나 전류의 정의
(반사면 위의 안테나와 영상 안테나를 고려한)

기준전압 $U_{r1}(f)$ 와 $U_{r2}(f)$ (4.4.4.1과 4.4.4.4 참조)를 측정할 때, 급전단자 A와 C는 무시할 만한 정도의 임피던스를 갖는 짧은 도체로 상호 연결 시킨다. 유사하게, B와 D도 상호연결 시킨다. 와이어안테나를 급전단자에 연결하고 시험안테나가 규정된 위치에 있는 상태로 $U_s(f)$ (4.4.4.3 참조)를 측정할 때, 신호 전달의 시험장 영향은 그림 C.1에 보여진 바와 같이 포트 AB와 CD를 갖는 T형 회로망으로 표현된다.

Z_{AB} 와 Z_{CD} 가 측정된 평형-단자 임피던스(부록 S 참조)일 때, 그림 C.1의 회로는 그림 C.2 회로로 단순화시킬 수 있다. 그림 C.2 회로로부터 기준전압 U_r 을 측정한다. ($Z_1 = Z_2 = 0$ 및 $Z_3 = \infty$ 가 되도록)

$$U_{CD} = U_{CD,r} = \frac{Z_{CD}}{Z_{AB} + Z_{CD}} U_t \quad (C.6)$$

또한 U_s 를 측정할 때 다음을 따른다.

$$U_{CD} = U_{CD,s} = \frac{Z_{CD} Z_3}{(Z_{AB} + Z_1 + Z_3)(Z_{CD} + Z_2 + Z_3) - Z_3^2} U_t \quad (C.7)$$

따라서 계산된 시험장 감쇠량 SA_C 는 다음 식으로 주어진다.

$$SA_C = \frac{U_{CD,r}}{U_{CD,s}} = \frac{(Z_{AB} + Z_1 + Z_3)(Z_{CD} + Z_2 + Z_3) - Z_3^2}{Z_3(Z_{AB} + Z_{CD})} \quad (C.8)$$

다음 단계는, 임피던스 Z_1 , Z_2 및 Z_3 를 그림 C.3에 표현된 실제 상황 즉, 반사면 상의 2개의 시험안테나에 적용하여야 한다.

송신포트 1(급전단자 A와 B)와 수신포트 2사이의 신호 전달 특성은 실제 안테나들과 이들의 영상 사이의 다양한 결합에 의해 영향을 받는다. 그림 C.3에서 이것은 전달 임피던스 $Z_{nm}(n, m: 1 \text{ 에서 } 4, n \neq m)$ 으로 표시된다.

단자전압 U_{AB} 와 U_{CD} 는 그림 C.3의 4개 안테나의 안테나 전류 I_1 부터 I_4 와 다음 식을 통해 수식적으로 관련된다.

$$\begin{aligned} U_{AB} &= Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2 + Z_{13}I_3 + Z_{14}I_4 \\ U_{CD} &= Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2 + Z_{23}I_3 + Z_{24}I_4 \end{aligned} \quad (C.9)$$

이론적인 반사면 상에 서로 평행하게 배열된 수평편파 안테나인 경우에, $I_3 = \rho I_1$ 이며 $I_4 = \rho I_2$ 이다. 여기서 $\rho = re^{j\phi}$ 는 도체 평면의 복소 반사계수이다. 이상적인 경우, 현재 구조에서 $\rho = -1$ 이 된다. 더구나, 가역관계 때문에 $Z_{12} = Z_{21}$ 이며 $Z_{23} = Z_{14}$ 이다. 식 (C.9) 은 다음과 같이 간단하게 된다.

$$\begin{aligned} U_{AB} &= (Z_{11} + \rho Z_{13})I_1 + (Z_{12} + \rho Z_{14})I_2 \\ U_{CD} &= (Z_{12} + \rho Z_{14})I_1 + (Z_{22} + \rho Z_{24})I_2 \end{aligned} \quad (C.10)$$

그림 C.2의 회로로부터, 다음 식과 같이 된다.

$$\begin{aligned} U_{AB} &= (Z_1 + Z_3)I_1 + Z_3I_2 \\ U_{CD} &= Z_3I_1 + (Z_2 + Z_3)I_2 \end{aligned} \quad (C.11)$$

그리고 식 (C.10)에 비교하여, 다음 식을 만들 수 있다.

$$Z_1 + Z_3 = Z_{11} + \rho Z_{13}, \quad Z_2 + Z_3 = Z_{22} + \rho Z_{24} \quad \text{및} \quad Z_3 = Z_{12} + \rho Z_{14}$$

따라서 식 (C.8)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$SA_C = \frac{(Z_{AB} + Z_{11} + \rho Z_{13})(Z_{CD} + Z_{22} + \rho Z_{24}) - (Z_{12} + \rho Z_{14})^2}{(Z_{12} + \rho Z_{14})(Z_{AB} + Z_{CD})} \quad (C.12)$$

식 (C.9)로부터, Z_{11} 과 Z_{22} 는 반사면이 없는 자유공간으로 방사되는 와이어안테나의 입력 임피던스이다. 이 임피던스의 허수부는 식 (C.3)에 따라 $X_{11} = X_{22} = X_a$ 로부터 계산할 수 있고, 실수부는 다음 식에 따라 $R_{11} = R_{22} = R_a$ 이다.

$$\begin{aligned} Ra &= \frac{\eta}{2\pi} \{ \gamma + \ln(kL_a) - C_i(kL_a) \\ &+ \frac{1}{2} \sin(kL_a) \times [S_i(2kL_a) - 2S_i(kL_a)] \\ &+ \frac{1}{2} \cos(kL_a) \times [\gamma + \ln(kL_a/2) + C_i(2kL_a) - 2C_i(kL_a)] \} \times \sin^{-2}(kL_a/2) \quad (C.13) \end{aligned}$$

상호 임피던스 Z_{12}, Z_{13}, Z_{14} 와 Z_{24} 는 로렌츠(Lorentz) 가역정리[C.1, C.2]를 이용하여 계산할 수 있다. 이 계산으로 와이어안테나 상의 실제 전자기장을 고려할 수 있고, 따라서 평면파가 수신안테나에 도달한다는 가정을 할 필요가 없다. $L_a(f) \approx \lambda_0/2$ 와 R_{we} 가 식 (C.1)의 조건을 만족한다면, 유일한 가정은 와이어안테나 상의 전류 분포가 정현 분포라는 것이다.

$Z_{nm} = R_{nm} + jX_{nm}$ ($n = 1, \dots, 4$, $m = 1, \dots, 4$, $n \neq m$)일 경우, 실수부는 다음의 식으로 주어진다.[C.1]

$$\begin{aligned} R_{nm} &= \frac{\eta}{4\pi} \times 2 [2C_i(kr_{nm}) - C_i(ks_3) - C_i(ks_4)] \\ &+ \cos(kL_a) \times [2C_i(kr_{nm}) + C_i(ks_1) + C_i(ks_2) - C_i(ks_3) - 2C_i(ks_4)] \\ &- \sin(kL_a) \times [S_i(ks_1) - S_i(ks_2) - 2S_i(ks_3) + 2S_i(ks_4)] \times \sin^{-2}(kL_a/2) \quad (C.14) \end{aligned}$$

그리고 허수부는 다음으로 주어진다.

$$\begin{aligned} X_{nm} &= \frac{-\eta}{4\pi} \{ 2 [2S_i(kr_{nm}) - S_i(ks_3) - S_i(ks_4)] \\ &+ \cos(kL_a) \times [2S_i(kr_{nm}) + S_i(ks_1) + S_i(ks_2) - 2S_i(ks_3) - 2S_i(ks_4)] \\ &- \sin(kL_a) \times [S_i(ks_1) - C_i(ks_2) - 2C_i(ks_3) + 2C_i(ks_4)] \} \times \sin^{-2}(kL_a/2) \quad (C.15) \end{aligned}$$

여기서, r_{nm} 은 안테나 n 과 m 의 중심사이의 거리이고, 그리고

$$\begin{aligned} s_1 &= \sqrt{r_{nm}^2 + L_a^2} + L_a \\ s_2 &= \sqrt{r_{nm}^2 + L_a^2} - L_a \\ s_3 &= \sqrt{r_{nm}^2 + (L_a/2)^2} + L_a/2 \end{aligned} \quad (C.16)$$

$$s_4 = \sqrt{r_{nm}^2 + (L_a/2)^2} - L_a/2$$

4.5.3.1에서 요구된 바와 같이, SA_c 는 식 (C.12)의 모든 임피던스를 알고 있을 때, 이 식 (C.12)로부터 계산할 수 있다: 즉, Z_{AB} 와 Z_{CD} 는 실험 데이터(부록 B 참조)로부터 알 수 있고, 기타 임피던스는 식 (C.3)과 (C.13)부터 (C.16)으로 계산하여 알 수 있다. 주어진 주파수에서 $SA_c(h_r)$ 을 계산하기 위해, 그리고 4.5.3.2에서 요구된 바와 같이 $h_{r, \max}(f_s)$ 를 구하기 위해, 4.5.2.2와 4.5.3.2에서 요구된 바와 같이 측정 불확도 ΔSA_t 와 $\Delta h_{r, \max}$ 를 계산하기 위해, 위와 동일한 식들을 사용할 수 있다.

C.1.3 수치계산 예

수치계산 예의 결과가 다음과 같이 주어진다: 표 C.1에 L_a 와 SA_c 의 계산; 표 C.2에 ΔSA_t 의 계산; 표 C.3에 h_{rc} 와 Δh_{rt} 의 계산; 그리고 표 C.4에 f_c 와 Δf_t 의 계산. 이들 데이터의 계산을 위한 컴퓨터 프로그램의 예가 부록 E에 주어져 있다.

모든 계산에서 수신안테나의 높이와 송신안테나의 높이, 안테나 중심 사이의 수평거리, 그리고 주파수는 4.4에 규정된 값을 갖는다. 측정 불확도 계산을 수행할 때, 허용오차는 4.5.2.1에 주어진 것을 사용한다.

주파수 대역 $30MHz \leq f < 180MHz$ 에서, 와이어안테나의 반경 $R_{we} = 5.0mm$ 이고, $180MHz \leq f \leq 1000MHz$ 에서 $R_{we} = 1.5mm$ 로 가정한다.

C.1.3.1 L_a 와 SA_c 의 계산(표 C.1)

안테나 길이 $L_a(f)$ 는 식(C.2)로부터 계산된다. $SA_c(f)$ 의 값은 식(C.13)부터 식 (C.16)으로 계산하며, 이때 평형 포트를 갖는 이상적인 발룬의 임피던스는 $(100 + j0) \Omega$ 의 값을 가지며, 이상적인 반사면 즉, $\rho = -1$ 로 가정한다.

C.1.3.2 ΔSA_t 의 계산(표 C.2)

95% 신뢰도를 갖는 측정 불확도 ΔSA_t 는 다음 식으로 계산할 수 있다([C.6] 참조)

$$\Delta SA_t = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\sum_{i=1}^9 \Delta SA_c^2(i)} \quad (C.17)$$

여기서 변수 $\Delta SA_c(i)$ 는 직사각형 확률분포를 갖는 것으로 가정하였고, $p=9$ 인 변수들: h_r , h_t , d , f , Z_{AB} , Z_{CD} , A_b 와 ψ_b 에서의 불확도를 고려하였다(표 20 참조).

첫 번째 6개 변수에 대해, ΔSA_c 는 다음 식으로부터 계산할 수 있다.

$$\Delta SA_c(i) = \text{Max}[\text{Abs}(SA_c - SA(p_i \pm \Delta p_i))] \quad (i=1,2,\dots,6) \quad (\text{C.18})$$

여기서,

SA_c 는 C.1.3.1에서 계산된 시험장 감쇠량의 공칭값

$SA(p_i + \Delta p_i)$ 와 $SA(p_i - \Delta p_i)$ 는 변수 p 에 허용오차 Δp 를 고려하여 계산된 시험장 감쇠량이다.

표 2에서 규정된 Δh_r , Δh_t , Δd 와 Δf 에 의한 ΔSA_c 의 결과가 표 C.2의 3열에서 6열에 주어저 있다.

주) Δf 의 영향을 계산할 때, 안테나 길이 L_a 는 공칭주파수의 L_a 와 동일한 상수로 남는다. 부록 E 에 주어진 컴퓨터 프로그램의 “procedure SA”에서 변수 “ f_0 ” 는 주파수를 표시하는 변수 “ f ” 가 변화할 때 L_a 상수를 그대로 유지한다.

표 C.1. L_a 와 SA_c 의 수치계산 예(C.1.3.1 참조)

f MHz	h_t m	R_{we} mm	L_a m	SA_c dB	f MHz	h_t m	R_{we} mm	L_a m	SA_c dB
30	4.00	5.00	4.803	21.03	160	2.00	5.00	0.885	26.44
35	4.00	5.00	4.112	20.95	180	2.00	1.50	0.797	27.52
40	4.00	5.00	3.594	20.60	200	2.00	1.50	0.716	29.37
45	4.00	5.00	3.192	20.70	250	1.50	1.50	0.572	30.43
50	4.00	5.00	2.870	21.12	300	1.50	1.50	0.476	32.47
60	4.00	5.00	2.388	22.13	400	1.20	1.50	0.355	34.90
70	4.00	5.00	2.043	21.76	500	2.30	1.50	0.283	37.02
80	4.00	5.00	1.785	20.93	600	2.00	1.50	0.236	38.35
90	4.00	5.00	1.585	21.49	700	1.70	1.50	0.201	39.59
100	4.00	5.00	1.425	22.97	800	1.50	1.50	0.176	40.91
120	4.00	5.00	1.185	25.16	900	1.30	1.50	0.156	41.84
140	2.00	5.00	1.013	27.20	1 000	1.20	1.50	0.140	42.71

Z_{AB} 와 Z_{CD} 에 대해서, 표 2는 최대 1.10의 전압정재파비를 규정한다. 이 수치계산 예에서, 양쪽의 임피던스는 임피던스 평면 내의 경계로서 원 ($p = 100 + j0\Omega$ 을 중심으로 하고, 반경이 $\Delta p = 9.5\Omega$ 인 원)을 갖는 것을 의미한다. $p = (100 \pm \Delta p + j0)$ 와 $p = (100 \pm j\Delta p)$ 에 대한 계산을 수행하는 것만으로도 충분하다는 연구가 있었다. 계산결과는 7열과 8열에 주어저 있다. 표 C.2의 7열과 8열에 주어진 ΔSA_c 의 값은 $h_r = h_t$ 일 때만 동일하다는 것에 주의한다.

L_a , A_b 와 ϕ_b 에 관련된 ΔSA_c 는 C.2에서 검토된 바와 같이 오직 수치 해석법 기술을 통해서만 평가될 수 있다. 이 기술을 사용하여 $\Delta SA_c(L_a) < 0.03 \text{ dB}$ 이고 $\Delta SA_c(A_b, \phi_b) < 0.03 \text{ dB}$ 임을 구하였다.

표 C.2의 9열은 앞 열의 6개 ΔSA_c 값들의 제곱합제곱근법(root-sum-square : RSS)에 의한 값인 $\Delta SA_\Sigma = \sqrt{[\sum \{\Delta SA_c(i)\}]}$ 을 제공하고 있다. 10열에 있는 95% 신뢰도 값은 9열의 데이터에 $2/\sqrt{3}$ 을 곱하여 구한 것이다(식 (C.17) 참조). ΔSA_t 의 95% 신뢰도 값은 다음 식으로 구한다.

$$\Delta SA_t(CL=95\%) = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\left\{ \sum_{i=1}^6 \Delta SA_c^2(i) \right\} + \Delta SA_c^2(L_a) + \Delta SA_c^2(A_b, \phi_b)} \quad (C.19)$$

$\Delta SA_c(L_a) = 0.03 \text{ dB}$ 와 $\Delta SA_c(A_b, \phi_b) = 0.03 \text{ dB}$ 를 가정하면, 11열에 주어진 SA_t 값들이 구해진다. 이 예에서, 최대값은 $\Delta SA_t = 0.19 \text{ dB}$ (80MHz에서) 와 같다. 이것이 4.5.3.1에서 $\Delta SA_t = 0.20 \text{ dB}$ 값이 언급된 이유이다.

표 C.2. ΔSA_t 의 수치계산 예 (C.1.3.2 참조)

주파수 MHz	SA_c dB	Δh_t ΔSA_c dB	Δh_t ΔSA_c dB	Δd ΔSA_c dB	Δf ΔSA_c dB	ΔZ_{AB} ΔSA_c dB	ΔZ_{CD} ΔSA_c dB	RSS ΔSA_Σ dB	95% ΔSA_Σ dB	95% ΔSA_t dB
30	21.03	0.023	0.018	0.056	0.031	0.110	0.026	0.13	0.15	0.16
35	20.95	0.028	0.020	0.051	0.007	0.080	0.057	0.12	0.13	0.14
40	20.60	0.025	0.024	0.054	0.005	0.059	0.105	0.14	0.16	0.16
45	20.70	0.013	0.028	0.055	0.013	0.036	0.121	0.14	0.16	0.17
50	21.12	0.001	0.033	0.048	0.016	0.010	0.106	0.12	0.14	0.15
60	22.13	0.002	0.044	0.051	0.005	0.027	0.049	0.09	0.10	0.11
70	21.76	0.019	0.050	0.050	0.038	0.061	0.058	0.12	0.14	0.14
80	20.93	0.014	0.041	0.038	0.039	0.104	0.098	0.16	0.18	0.19
90	21.49	0.011	0.012	0.035	0.011	0.121	0.084	0.15	0.18	0.18
100	22.97	0.007	0.021	0.036	0.027	0.106	0.056	0.13	0.15	0.15
120	25.16	0.008	0.039	0.012	0.018	0.051	0.092	0.12	0.13	0.14
140	27.20	0.043	0.043	0.047	0.029	0.055	0.055	0.11	0.13	0.14
160	26.44	0.030	0.032	0.046	0.023	0.097	0.097	0.15	0.18	0.18
180	27.52	0.021	0.021	0.039	0.029	0.086	0.086	0.13	0.16	0.16
200	29.37	0.015	0.015	0.029	0.017	0.057	0.057	0.09	0.10	0.11
250	30.43	0.035	0.019	0.038	0.027	0.089	0.072	0.13	0.15	0.15
300	32.47	0.010	0.008	0.016	0.020	0.075	0.076	0.11	0.13	0.13
400	34.90	0.042	0.054	0.008	0.016	0.084	0.092	0.14	0.16	0.17
500	37.02	0.005	0.006	0.047	0.009	0.068	0.069	0.11	0.12	0.13
600	38.35	0.000	0.004	0.013	0.012	0.075	0.075	0.11	0.12	0.13
700	39.59	0.002	0.046	0.017	0.008	0.080	0.072	0.12	0.14	0.14
800	40.91	0.004	0.051	0.008	0.009	0.071	0.075	0.12	0.13	0.14
900	41.84	0.005	0.018	0.025	0.009	0.075	0.068	0.11	0.12	0.13
1 000	42.71	0.011	0.062	0.004	0.010	0.079	0.075	0.13	0.15	0.15
$\Delta SA(\text{dB})$ 최대값		0.043	0.062	0.056	0.039	0.121	0.121	0.16	0.18	0.19

주) 이 표의 마지막 줄은 각 열의 최대값을 보인 것이다. 3열부터 8열까지에서 소수점 뒤 3자리 수자는 실제적인 의미는 없고 단지 계산결과의 비교를 위해서만 주어졌다.

C.1.3.3 h_{rc} 와 h_{rt} 의 계산(표 C.3)

본 절은 4.4.3.2 a)와 4.4.5에서 규정된 바와 같이 $h_{r, \max}(f_s)$ 에 대해 고려한다. 이 값은 $h_r > 1m$ 인 경우에, SA 의 첫 번째 침투 최대값을 찾는 절차로 구할 수 있다. 침투 최대값 즉, 수신안테나에서 직접파와 간접파의 상쇄에 관련된 최대값을 구하는데 주의를 기울여야

한다. 4.4.3.2 a)에 규정된 주파수 f_s 에서 h_{rc} (4.5.3.2 참조)의 결과는 표 C.3에 주어져 있다.

또한 측정 불확도 계산 결과가 표 C.3에 주어져 있고, 표 2 에 주어진 허용오차를 사용하여 C.1.3.2에 주어진 것과 유사한 $\Delta h_{r, \max}$ 를 계산해 낸다. $h_{r, \max}$ 의 경우에 허용오차 Δh_t , Δd 와 Δf 부분만이 주목할 만한 역할을 한다. $\Delta h_{rt}(CL=95\%)$ 의 최대값은 0.02m 로 구해진다. 이것이 4.5.2.5에서 0.025 값이 언급된 이유이다.

표 C.3. h_{rc} 와 Δh_{rt} 의 수치계산 예 (C.1.3.3 참조)

주파수 MHz 4.4.3.2 a)	h_{rc} m	Δh_{rc} m	Δd m	Δf m	RSS $\Delta h_{rc\Sigma}$ m	95% $\Delta h_{r,t}$ m
300	2.630	0.014	0.010	0.004	0.017	0.020
600	1.284	0.006	0.005	0.005	0.010	0.011
900	1.723	0.008	0.009	0.002	0.013	0.015
최 대 값	-	0.014	0.010	0.005	0.017	0.020

C.1.3.4 f_c 와 Δf_t 의 계산(표 C.4)

본 절은 4.4.3.2 b)와 4.4.6에 규정된 바와 같이 $f_{\max}(h_r, f_s)$ 을 고려한다. 이 값은 규정된 조합 $\{h_r, f_s\}$ 에 대한 SA의 최대값을 찾는 절차로 구할 수 있다. 첨부 최대값 즉, 수신안테나에서 직접파와 간접파의 상쇄에 관련된 최대값을 구하는데 주의를 기울여야 한다. 4.4.3.2 b)에서 규정된 조합에서 f_c (4.5.3.3 참조)의 결과가 표 C.4에 주어져 있다.

표 C.4. f_c 와 Δf_t 의 수치계산 예 (C.1.3.4 참조)

주파수/높이 MHz/m 4.4.3.2 b)	f_c MHz	Δh_t $\Delta f/f_c$	Δh_t $\Delta f/f_c$	Δd $\Delta f/f_c$	RSS $\Delta f_{\Sigma}/f_c$	95% $\Delta f/f_c$
300/2.65	297.4	0.004	0.006	0.005	0.009	0.010
600/1.30	592.6	0.008	0.005	0.004	0.010	0.012
900/1.70	912.1	0.006	0.005	0.004	0.009	0.010
최 대 값	-	0.008	0.006	0.005	0.010	0.012

또한 측정 불확도 계산 결과가 표 C.4에 주어져 있고, 표 2 에 주어진 허용오차를 사용하여 C.1.3.2에 주어진 것과 유사한 $\Delta f_t/f_c$ 를 계산해 낸다. $f_{\max}$ 의 경우에 허용오차 Δh_t , Δd 와 Δf 부분만이 주목할 만한 역할을 한다. $\Delta f_t(CL=95\%)$ 의 최대값은 $0.012f_c$ 로

구해진다. 이것이 4.5.2.7에서 $0.015f_c$ 값이 언급된 이유이다.

C.2 수치해석법

본 절은 안테나 임피던스, 전체 안테나 길이와 최소 시험장 감쇠량의 계산을 위한 대체 방법을 제시한다. 이 접근방법은 PC상에서 동작될 수 있는 모멘트 법(Method of Moment : MoM)을 기초로 한 상업용 컴퓨터 프로그램을 이용한다. 이러한 프로그램의 예가 MININEC 이다[C.6, C.7]. 이 방법은 와이어안테나 상의 전류분배를 정현 분포로 가정하지는 않는다.

이 프로그램에서는 수치해석을 위해 안테나를 여러 개의 직선 선로 세그먼트들로 분할하여 표현하였다. 정확한 결과를 얻기 위해 이 세그먼트가 파장에 비교하여 너무 길지도 너무 짧지도 않아야 하고 세그먼트의 길이는 그 직경보다는 커야 한다. 반파장 당 약 30 세그먼트 수가 양호한 결과를 나타낸다.

선택된 세그먼트가 적절한지를 확인하기 위하여, 세그먼트의 수를 증가시킬 때 계산된 임피던스와 전류의 수렴 상태를 조사할 수 있다. 프로그램은 무한 크기의 완전도체 접지면을 모형에 포함시킬 수 있으며, 또한 이 프로그램에서는 선로 상의 한 점에 전압을 인가시킬 수도 있고, 선로 상의 한 점에 집중정수 부하임피던스 소자를 연결시킬 수도 있다.

C.2.1 안테나 입력 임피던스

급전점에서 안테나 입력 임피던스 Z_a 를 프로그램 출력에서 읽을 수 있다.

C.2.2 시험안테나의 전체길이

안테나의 길이는 안테나가 자유공간에서 공진하도록(즉, 입력 리액턴스가 '0' 이 되도록) 선택한다. 길이는 반복 계산으로 구한다. 반파장과 같은 안테나 길이에서 시작하여, 입력 리액턴스를 구하도록 프로그램을 동작시킨다. 만약 입력 리액턴스가 양의 값이면, 안테나 길이를 감소시키고, 반면에 음의 값이면 안테나 길이를 증가시킨다. 새로운 안테나 입력 리액턴스를 구하기 위해 새로운 안테나 길이로 다시 프로그램을 동작시킨다.

안테나 길이를 변화시키고 그에 따른 안테나 입력 리액턴스를 계산하는 과정은 입력 리액턴스의 절대값이 1 Ω 이하로 될 때까지 반복 계산한다. 이 단계에서 안테나는 정확한 길이를 갖는다.

C.2.3 이론적인 시험장 감쇠량

모멘트 법의 프로그램에서는 무한 크기의 완전도체 접지면 상에 놓인 2개의 와이어안테나로 구성된 기하학적 구조를 사용하고 있다. 2개의 와이어안테나는 정확한 높이와 거리를 두고

배치되어 있으며, 송신안테나를 나타내는 와이어안테나는 그 중심점에서 $U_f = 1 + j0$ [V]의 전압으로 급전되어 있고, 수신안테나를 나타내는 와이어안테나는 그 중심점에서 Z_{CD} (수신안테나와 수신기의 발룬 및 케이블이 종속 연결된 입력 임피던스, 그림 C.2 참조)와 같은 임피던스의 부하가 걸려 있다. 프로그램 출력에 있어 중요 파라미터는 송신안테나의 입력 임피던스와 부하전류의 진폭이다.

시험장 감쇠량은 다음의 식으로 주어진다.

$$SA_c = 20 \log_{10} \left\{ \frac{U_f}{|I_2|} \left| \frac{Z_a + A_{AB}}{Z_a (Z_{AB} + Z_{CD})} \right| \right\} \quad (C.20)$$

여기서

I_2 는 부하전류이다.(그림 C.2 참조)

Z_a 는 송신안테나의 입력 임피던스이다.(C.2.1 참조)

Z_{AB} 는 송신안테나와 신호발생기의 발룬과 케이블이 종속 연결된 입력 임피던스 그리고

Z_{CD} 는 수신안테나와 수신기의 발룬과 케이블이 종속 연결된 입력 임피던스(그림 C.2 참조).

위의 식은 발룬이 서로 마주보고 직결되어 있을 경우에 적절한 최소 시험장 감쇠량을 제공한다. 이 대신에 신호발생기와 수신기로부터의 케이블을 서로 직결한 경우에는, 측정된 발룬의 S-파라미터를 시험장 감쇠량 계산에 포함하여야 한다.

C.2.4 시험장 감쇠량 값의 예

시험장 감쇠량 값의 예가 표 C.5에 제시되어 있다. 표 C.1과 동일한 안테나 길이 및 반경 L_a 와 R_{we} 를 사용한다. 다른 쌍극 반경을 사용하는 경우, 조작자는 자유공간 공진 길이와 새로운 SA_c 값을 산출해야 한다. 안테나 간격은 10 m이며, 전송 안테나의 중심 높이는 2 m이다. 단, 30 MHz, 35 MHz 및 40 MHz의 경우에는 2.75 m를 그 높이로 선정하였다. 수신 안테나 높이는 높이 변화의 횟수를 줄이면서도 최대 신호를 전송할 수 있는 높이에 가깝게 선정된다. 표 C.2 및 C.5의 SA_c 값은 C.1을 이용하여 산출할 수 있다.

주) 산출된 시험장 감쇠량에 대한 수량 기호가 기이 시험방법과 일치하도록 본 개정판에 “ SA_c ”로 나와 있다. KN 16-1-5의 후속 판에서는, 수량 기호 표시에 대하여 현재의 KN 규격과 일치하도록 수량 기호가 “ A_{sc} ”로 변경될 예정이다.

표 C.5. 수직 편파에 대한 SA_c 의 수치 산출의 예,
 $h = 2$ m, 단 30 MHz, 35 MHz 및 40 MHz의 경우 $h = 2.75$ m

f MHz	h m	SA_c dB	f MHz	h m	SA_c dB	f MHz	h m	SA_c dB
30	2.75	16.48	90	1.15	23.30	300	2.6	33.38
35	2.4	16.97	100	1.0	24.33	400	1.8	35.68
40	2.4	17.83	120	1.0	25.81	500	1.4	37.61
45	1.9	18.66	140	1.0	27.27	600	1.4	39.14
50	1.9	18.90	160	1.0	28.97	700	1.0	40.37
60	1.5	20.14	180	1.0	30.76	800	1.0	41.24
70	1.5	21.05	200	1.0	32.46	900	1.6	43.21
80	1.15	22.28	250	3.1	32.20	1 000	1.6	43.48
h 는 수신 안테나 높이.								

C.3 참고문헌

- [C.1] *High-Frequency Models in Antenna Investigations*, Brown & King, Proc. IRE, Vol. 22, No. 4, pp 457 -480, April 1934.
- [C.2] *Antenna Theory, Analysis and Design*, Balanis C.A., Harper & Row, Section 7.3.2., New York, 1982.(Other text books on antenna theory may provide an expression for the antenna impedance as well.)
- [C.3] *Handbook of Mathematical Functions*, Abramowitz M. and Stegun I.A., Dover, Section 5.2., New York, 1972.
- [C.4] *Formulation of Normalized Site Attenuation in terms of Antenna Impedances*, Sigiura A., Trans. IEEE on EMC, EMC-32, 4, pp 257-263, 1990.
- [C.5] NIST Technical Note 1297, *Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results*, 1994 Edition.
- [C.6] *The MININEC system: Microcomputer Analysis of Wire Antennas*, Rockway J.W>, Logan J.C., Daniel W.S.T. and Li S.T., Artech House, London, 1988.
- [C.7] *Low Measurement Uncertainties in the frequency Range 30MHz to 1 GHz Using a Calculable Standard Dipole Antenna and a National Reference Ground Plane*, Alexander M.J. and Salter M.J., IEE Proc. Sci. Meas. Technol., vol 143, No.4, July 1996.

부록 D

(정보)

고정길이 다이폴($30\text{MHz} \leq f \leq 80\text{MHz}$)의 적용

국제규격이 제정된 후 검토를 거쳐 적용한다. (4.3.2.2 참조)

부록 E

(정보)

C.1.3에서 사용된 Pascal 프로그램

본 부록의 목적은 필요한 계산을 용이하게 수행하기 위한 것이다. 다음의 Pascal 프로그램 (Turbo Pascal 7.0)은 C.1.3에 주어진 결과를 계산하기 위해 사용된다. 이 프로그램을 최적화하기 위한 어떤 시도도 수행되지 않았다.

이 프로그램은 C.1에 주어진 식들에 따라 만들어졌으므로 확인하기 용이하다. PROCEDURE 끝에 있는 *{comment}* 부분은 관련 식을 나타내고 있다. *{Calculation}* 다음에 있는 “actual program”은 오직 L_a 와 SA_c 만을 계산하는 2개 줄로만 구성되어 있다. 이 부분 앞에는 {Input Data}가 있고, 뒤에는 {Output Data}가 있다. 후자의 두 부분은 수행하고자 하는 실제 프로그램에 쉽게 적용될 수 있다.

```
PROGRAM analytical_calculation_SA_OATS;
USES crt,dos;
LABEL impedance, calculate;
VAR f,f0,laf,la0,wr,ht,hr,d,rab,xab,rod,xcd,saf,arc,fir: real;
    yn: char;

PROCEDURE cprod(r1,i1,r2,i2:real; var rz,iz:real);
begin
  rz:= r1*r2-i1*i2; iz:= i1*r2+r1*i2;
end; {cprod, complex product}

PROCEDURE fsc(x:real; var fx: real);
var a1,a2,b1,b2,nom,denom:real;
begin
  a1:= 7.241163; a2:= 2.463936;
  b1:= 9.068580; b2:= 7.157433;
  nom:= x*x*x*x+a1*x*x+a2;
  denom:= x*x*x*x+b1*x*x+b2;
  fx:= nom/denom/x;
end; {fsc, equation (C.5c)}

PROCEDURE gsc(x:real; var gx: real);
var c1,c2,d1,d2,nom,denom:real;
begin
  c1:= 7.547478; c2:= 1.564072;
  d1:=12.723684; d2:=15.723606;
  nom:= x*x*x*x+c1*x*x+c2;
  denom:= x*x*x*x+d1*x*x+d2;
  gx:= nom/denom/x/x;
end; {gsc, equation (C.5c)}

PROCEDURE Si(x:real; var six:real);
var fx,gx:real;
begin
  if x>=1 then
  begin
    fsc(x,fx); gsc(x,gx); six:= Pi/2-fx*cos(x)-gx*sin(x);
  end;
  if x<1 then
  begin
    six:= x-x*x*x/18+x*x*x*x/600-x*x*x*x*x/35280;
  end; {Si, equation (C.5a)}
```

```

PROCEDURE Ci(x:real; var cix:real);
var fx,gx,sum: real;
begin
  if x>=1 then
    begin
      fsc(x,fx); gsc(x,gx); cix:= fx*sin(x)-gx*cos(x);
    end;
    if x<1 then
      cix:= 0.577+ln(x)-x*x/4+x*x*x*x/96-x*x*x*x*x*x/4320+x*x*x*x*x*x*x*x/322560;
    end; {Ci, equation (C.5b)}

```

```

PROCEDURE Ra(f,laf:real; var raf:real);
var kx0,g,k,x,cix,ci2x,six,si2x,ssi,sci:real;
begin
  kx0:= 377/2/Pi; g:= 0.577; k:= 2*Pi*f/3E8;
  Si(k*laf,six); Ci(k*laf,cix);
  Si(2*k*laf,si2x); Ci(2*k*laf,ci2x);
  ssi:= si2x-2*six; sci:= g+ln(k*laf/2)+ci2x-2*cix;
  x:= k*laf;
  raf:= kx0*(g+ln(x)-cix+sin(x)*ssi/2+cos(x)*sci/2)/sin(x/2)/sin(x/2);
end; {Ra, free space, equation (C.13)}

```

```

PROCEDURE Xa(f,laf,wr:real; var xaf:real);
var kx0,k,x,cix,ci2x,cixa,six,si2x,ssi,sci:real;
begin
  kx0:= 377/4/Pi; k:= 2*Pi*f/3E8;
  Si(k*laf,six); Ci(k*laf,cix);
  Si(2*k*laf,si2x); Ci(2*k*laf,ci2x);
  Ci(2*k*wr*wr/laf,cixa);
  ssi:= 2*six+cos(k*laf)*(2*six-si2x);
  sci:= sin(k*laf)*(2*cix-ci2x-cixa);
  x:= k*laf/2;
  xaf:= kx0*(ssi-sci)/sin(x)/sin(x);
end; {Xa, equation (C.3)}

```

```

PROCEDURE la(f,wr:real; var laf:real);
label again;
var del,lat,lao,xat:real;
begin
  del:= 0.1; lat:= 3E8/f/2; lao:= lat;
again:
  Xa(f,lat,wr,xat);
  lat:= lat-del*lat;
  if xat>0 then begin lao:= lat; goto again; end;
  lat:= lao+1.1*del*lao;
  Xa(f,lat,wr,xat);
  if abs(xat)>0.00001 then begin del:= del/10; goto again; end;
  laf:= lat;
end; {la, length antenna (f), equation (C.2)}

```

```

PROCEDURE Ci(x:real; var cix:real);
var fx,gx,sum: real;
begin
  if x>=1 then
    begin
      fsc(x,fx); gsc(x,gx); cix:= fx*sin(x)-gx*cos(x);
    end;
    if x<1 then
      cix:= 0.577+ln(x)-x*x/4+x*x*x*x/96-x*x*x*x*x*x/4320+x*x*x*x*x*x*x*x/322560;
    end; {Ci, equation (C.5b)}

```

```

PROCEDURE Ra(f,laf:real; var raf:real);
var kx0,g,k,x,cix,ci2x,six,si2x,ssi,sci:real;
begin
  kx0:= 377/2/Pi; g:= 0.577; k:= 2*Pi*f/3E8;
  Si(k*laf,six); Ci(k*laf,cix);
  Si(2*k*laf,si2x); Ci(2*k*laf,ci2x);
  ssi:= si2x-2*six; sci:= g+ln(k*laf/2)+ci2x-2*cix;
  x:= k*laf;
  raf:= kx0*(g+ln(x)-cix+sin(x)*ssi/2+cos(x)*sci/2)/sin(x/2)/sin(x/2);
end; {Ra, free space, equation (C.13)}

```

```

PROCEDURE Xa(f,laf,wr:real; var xaf:real);
var kx0,k,x,cix,ci2x,cixa,six,si2x,ssi,sci:real;
begin
  kx0:= 377/4/Pi; k:= 2*Pi*f/3E8;
  Si(k*laf,six); Ci(k*laf,cix);
  Si(2*k*laf,si2x); Ci(2*k*laf,ci2x);
  Ci(2*k*wr*wr/laf,cixa);
  ssi:= 2*six+cos(k*laf)*(2*six-si2x);
  sci:= sin(k*laf)*(2*cix-ci2x-cixa);
  x:= k*laf/2;
  xaf:= kx0*(ssi-sci)/sin(x)/sin(x);
end; {Xa, equation (C.3)}

```

```

PROCEDURE la(f,wr:real; var laf:real);
label again;
var del,lat,lao,xat:real;
begin
  del:= 0.1; lat:= 3E8/f/2; lao:= lat;
again:
  Xa(f,lat,wr,xat);
  lat:= lat-del*lat;
  if xat>0 then begin lao:= lat; goto again; end;
  lat:= lao+1.1*del*lao;
  Xa(f,lat,wr,xat);
  if abs(xat)>0.00001 then begin del:= del/10; goto again; end;
  laf:= lat;
end; {la, length antenna (f), equation (C.2)}

```

```

PROCEDURE Rm(r,f,laf,s1,s2,s3,s4:real; var rmf:real);
var k,fac,kcr,kc1,kc2,kc3,kc4,ks1,ks2,ks3,ks4,t1,t2,t3:real;
begin
  k:= 2*Pi*f/3E8; fac:= 377/4/Pi/sin(k*laf/2)/sin(k*laf/2);
  Ci(k*r,kcr);
  Ci(k*s1,kc1); Ci(k*s2,kc2); Ci(k*s3,kc3); Ci(k*s4,kc4);
  Si(k*s1,ks1); Si(k*s2,ks2); Si(k*s3,ks3); Si(k*s4,ks4);
  t1:= 2*(2*kcr-kc3-kc4);
  t2:= cos(k*laf)*(2*kcr+kc1+kc2-2*kc3-2*kc4);
  t3:= sin(k*laf)*(ks1-ks2-2*ks3+2*ks4);
  rmf:= fac*(t1+t2+t3);
end; {R-mutual, equation (C.14)}

```

```

PROCEDURE Xm(r,f,laf,s1,s2,s3,s4:real; var xmf:real);
var k,fac,ksr,kc1,kc2,kc3,kc4,ks1,ks2,ks3,ks4,t1,t2,t3:real;
begin
  k:= 2*Pi*f/3E8; fac:= 377/4/Pi/sin(k*laf/2)/sin(k*laf/2);
  Si(k*r,ksr);
  Si(k*s1,ks1); Si(k*s2,ks2); Si(k*s3,ks3); Si(k*s4,ks4);
  Ci(k*s1,kc1); Ci(k*s2,kc2); Ci(k*s3,kc3); Ci(k*s4,kc4);
  t1:= 2*(ksr-ks3-ks4);
  t2:= cos(k*laf)*(2*ksr+ks1+ks2-2*ks3-2*ks4);
  t3:= sin(k*laf)*(kc1-kc2-2*k3+2*kc4);
  xmf:= -fac*(t1+t2-t3);
end; {X-mutual, equation (C.15)}

```

```

PROCEDURE Dist(r,laf:real; var s1,s2,s3,s4:real);
var sqr1,sqr2:real;
begin
  sqr1:= sqrt(r*r+laf*laf); sqr2:= sqrt(r*r+laf*laf/4);
  s1:= sqr1+laf; s2:= sqr1-laf;
  s3:= sqr2+laf/2; s4:= sqr2-laf/2;
end; {Distances, equation (C.16)}

```

```

PROCEDURE SA(f,f0,d,ht,hr,arc,fir,rab,xab,rcd,xcd:real; var saf:real);
var r,r11,x11,r12,x12,r13,x13,r14,x14,r22,x22,r24,x24,rc,irc,
    rd,xd,ma,xna,mb,xnb,m,xn,s1,s2,s3,s4,wr0,la0,alpha :real;
begin
    rrc:= arc*cos(fir); irc:= arc*sin(fir); alpha:= 40;
    wr0:= 1.5E8/f0/sqrt(exp(alpha)); la(f0,wr0,la0);
    Ra(f,la0,r11); Xa(f,la0,wr0,x11); r22:= r11; x22:= x11;
    r:= sqrt(d*d+(ht-hr)*(ht-hr)); Dist(r,la0,s1,s2,s3,s4);
    Rm(r,f,la0,s1,s2,s3,s4,r12); Xm(r,f,la0,s1,s2,s3,s4,x12);
    r:= 2*ht; Dist(r,la0,s1,s2,s3,s4);
    Rm(r,f,la0,s1,s2,s3,s4,rd); Xm(r,f,la0,s1,s2,s3,s4,xd);
    cprod(rrc,irc,rd,xd,r13,x13);
    r:= sqrt(d*d+(ht+hr)*(ht+hr)); Dist(r,la0,s1,s2,s3,s4);
    Rm(r,f,la0,s1,s2,s3,s4,rd); Xm(r,f,la0,s1,s2,s3,s4,xd);
    cprod(rrc,irc,rd,xd,r14,x14);
    r:= 2*hr; Dist(r,la0,s1,s2,s3,s4);
    Rm(r,f,la0,s1,s2,s3,s4,rd); Xm(r,f,la0,s1,s2,s3,s4,xd);
    cprod(rrc,irc,rd,xd,r24,x24);
    cprod(r12+r14,x12+x14,rab+rcd,xab+xcd,rd,xd);
    cprod(rab+r11+r13,xab+x11+x13,rcd+r22+r24,xcd+x22+x24,ma,xna);
    cprod(r12+r14,x12+x14,r12+r14,x12+x14,mb,xnb);
    m:= ma-mb; xn:= xna-xnb;
    saf:= sqrt((m*m+xn*xn)/(rd*rd+xd*xd));
    saf:= 20*ln(saf)/ln(10);
end; {SA, Eqs. (C.6) and (C.12)}

```

```

PROCEDURE Rm(r,f,la0,s1,s2,s3,s4:real; var rmf:real);
var k,fac,kcr,kc1,kc2,kc3,kc4,ks1,ks2,ks3,ks4,t1,t2,t3:real;
begin
    k:= 2*Pi*f/3E8; fac:= 377/4/Pi/sin(k*la0/2)/sin(k*la0/2);
    Ci(k*r,kcr);
    Ci(k*s1,kc1); Ci(k*s2,kc2); Ci(k*s3,kc3); Ci(k*s4,kc4);
    Si(k*s1,ks1); Si(k*s2,ks2); Si(k*s3,ks3); Si(k*s4,ks4);
    t1:= 2*(2*kcr-kc3-kc4);
    t2:= cos(k*la0)*(2*kcr+kc1+kc2-2*kc3-2*kc4);
    t3:= sin(k*la0)*(ks1-ks2-2*ks3+2*ks4);
    rmf:= fac*(t1+t2+t3);
end; {R-mutual, equation (C.14)}

```

```

PROCEDURE Xm(r,f,la0,s1,s2,s3,s4:real; var xmf:real);
var k,fac,ksr,kc1,kc2,kc3,kc4,ks1,ks2,ks3,ks4,t1,t2,t3:real;
begin
    k:= 2*Pi*f/3E8; fac:= 377/4/Pi/sin(k*la0/2)/sin(k*la0/2);
    Si(k*r,ksr);
    Si(k*s1,ks1); Si(k*s2,ks2); Si(k*s3,ks3); Si(k*s4,ks4);
    Ci(k*s1,kc1); Ci(k*s2,kc2); Ci(k*s3,kc3); Ci(k*s4,kc4);
    t1:= 2*(2*ksr-ks3-ks4);
    t2:= cos(k*la0)*(2*ksr+ks1+ks2-2*ks3-2*ks4);
    t3:= sin(k*la0)*(kc1-kc2-2*kc3+2*kc4);
    xmf:= -fac*(t1+t2-t3);
end; {X-mutual, equation (C.15)}

```

```

PROCEDURE Dist(r,la0,real; var s1,s2,s3,s4,real);
var sqr1,sqr2,real;
begin
  sqr1:= sqrt(r*r+la0*la0); sqr2:= sqrt(r*r+la0*la0/4);
  s1:= sqr1+la0; s2:= sqr1-la0;
  s3:= sqr2+la0/2; s4:= sqr2-la0/2;
end; (Distances, equation (C.16))

PROCEDURE SA(f,f0,d,ht,hr,arc,fir,rab,xab,rcd,xcd,real; var saf,real);
var r,r11,x11,r12,x12,r13,x13,r14,x14,r22,x22,r24,x24,rrc,irc,
  rd,xd,ma,xna,mb,xnb,m,xn,s1,s2,s3,s4,wr0,la0,alpha :real;
begin
  rrc:= arc*cos(fir); irc:= arc*sin(fir); alpha:= 40;
  wr0:= 1.5E8/f0/sqrt(exp(alpha)); la(f0,wr0,la0);
  Ra(f,la0,r11); Xa(f,la0,wr0,x11); r22:= r11; x22:= x11;
  r:= sqrt(d*d+(ht-hr)*(ht-hr)); Dist(r,la0,s1,s2,s3,s4);
  Rm(r,f,la0,s1,s2,s3,s4,r12); Xm(r,f,la0,s1,s2,s3,s4,x12);
  r:= 2*ht; Dist(r,la0,s1,s2,s3,s4);
  Rm(r,f,la0,s1,s2,s3,s4,rd); Xm(r,f,la0,s1,s2,s3,s4,xd);
  cprod(rrc,irc,rd,xd,r13,x13);
  r:= sqrt(d*d+(ht+hr)*(ht+hr)); Dist(r,la0,s1,s2,s3,s4);
  Rm(r,f,la0,s1,s2,s3,s4,rd); Xm(r,f,la0,s1,s2,s3,s4,xd);
  cprod(rrc,irc,rd,xd,r14,x14);
  r:= 2*hr; Dist(r,la0,s1,s2,s3,s4);
  Rm(r,f,la0,s1,s2,s3,s4,rd); Xm(r,f,la0,s1,s2,s3,s4,xd);
  cprod(rrc,irc,rd,xd,r24,x24);
  cprod(r12+r14,x12+x14,rab+rcd,xab+xcd,rd,xd);
  cprod(rab+r11+r13,xab+x11+x13,rcd+r22+r24,xcd+x22+x24,ma,xna);
  cprod(r12+r14,x12+x14,r12+r14,x12+x14,mb,xnb);
  m:= ma-mb; xn:= xna-xnb;
  saf:= sqrt((m*m+xn*xn)/(rd*rd+xd*xd));
  saf:= 20*ln(saf)/ln(10);
end; (SA, Eqs.(C.6) and (C.12))

```

```

PROCEDURE YesNo(var rk: char);
begin
  repeat
    rk:= readkey; rk:= upcase(rk);
  until (rk= 'Y') or (rk= 'N');
  writeln(rk);
end; (Yes/No)

```

```

BEGIN
  (Input Data)
  clrscr;
  write('Frequency (MHz)= '); read(f); f:= f*1E6;
  write('Radius Wire Antenna (mm)= '); read(wr); wr:= wr*1E-3;
  write('Height Transmitting Antenna (m)= '); read(ht);
  write('Height Receiving Antenna (m)= '); read(hr);
  write('Horizontal Antenna Distance (m)= '); read(d);
  write('Ideal Plane Reflection? (Y/N)= '); YesNo(yn); if yn='Y' then
    begin arc:=1; fir:= Pi; goto impedance; end;
  write('Modulus Reflection Coefficient = '); read(arc);
  write('Phase Refl. Coef. (Degrees)= '); read(fir); fir:= fir*Pi/180;
  impedance:
  write('Ideal Antenna Impedance (Y/N)= '); YesNo(yn); if yn='Y' then
    begin rab:= 100; xab:= 0; rcd:= 100; xcd:= 0; goto calculate; end;
  write('R-AB (transmit) (Ohm)= '); read(rab);
  write('X-AB (transmit) (Ohm)= '); read(xab);
  write('R-CD (receive) (Ohm)= '); read(rcd);
  write('X-CD (receive) (Ohm)= '); read(xcd);

  (Calculations)
  calculate:
  f0:=f;
  la(f0,wr,la0);
  SA(f,f0,d,ht,hr,arc,fir,rab,xab,rcd,xcd,saf);

  (Output Data)
  writeln;
  writeln('f(MHz)= ',f/1E6:3:0,' La(m)= ',la0:3:3,' SAc(dB)= ',saf:3:3);
  writeln;
END.

```

부록 F
(정보)
유효성확인 절차의 체크리스트

표 F.1. 교정시험장(CALTS)의 유효성확인 보고서에 기록되는 항목

참조 4.6.2	항 목	비고
a	일반정보	
a1	주소, CALTS 위치	
a2	주소, CALTS 소유자의 전화/팩스 번호	
a3	주소, CALTS 유효성확인 보고서에 책임이 있는 인원/조직의 전화/팩스 번호	a2와 동일할 수 있음
a4	주소, CALTS 유효성확인을 수행한 인원/조직의 전화/팩스 번호	a2 및/또는 a3과 동일할 수 있음
a5	a2, a3과 a4에 관련된 인원/조직의 서명	
a6	CALTS 유효성확인 중에 사용된 CALTS 구성과 보조장비의 일반 설명	설명을 위해 사진, 도면, 부품번호가 사용될 수 있다.
a7	CALTS 유효성확인 종결일자와 유효성확인 보고서의 발행일자	
b	유효성 평가	
b1	유효성 평가 결과	
b2	당면한 CALTS 유효성확인의 유효성 검토 주기	
b3	제한 조건과 구조의 식별	
c	시험 안테나	
c1	계산가능한 안테나의 식별	형식, 부품번호
c2	적용가능한 규범적 규정에 대한 적합성 확인	4.3.2 참조 및 표2의 값들
c3	사용된 특성 임피던스의 확인	4.3.2.7 참조
d	시험배치	
d1	시험배치의 상세 설명	
d2	적용가능한 표준규격에 대한 적합성 확인	4.4.2 참조 및 표 2의 값들
e	측정	
e1	규정 주파수와의 편차에 대한 적용가능한 이론적인 근거	4.4.3.3 참조
e2	4.4.4와 표 1에 의한 SA 측정 결과와 SA 불확도의 검토	4.4.3.1 및 4.4.4 참조
e3	안테나 높이-소인 측정 또는 주파수-소인 측정의 결과 및 불확도	4.4.3.2 및 4.4.5 또는 4.4.6 참조
f	시험장 감쇠의 계산과 허용오차	4.5.2 참조
f1	SA를 위해 사용된 계산방법의 설명 및 최대 SA를 위한 높이 또는 주파수 판단기준	참조: 부록 C 또는 수치계산 절차
f2	이론적인 SA 및 높이 또는 주파수 판단기준의 결정	
f2	표 20과 차이가 있는 경우 기설정 값 또는 계산값을 사용한 전체 측정 불확도의 결정	식 (5)과 (6) 또는 (7)

g	적합성 판정기준 계산	4.5.3 참조
g1	SA 계산방법과 최대 SA를 위한 안테나 높이 또는 주파수 기준의 설명	
g2	SA의 허용오차와 측정 불확도 사이의 차이 및 안테나 높이 또는 주파수의 결정	
g3	식 (8)과 (9) 또는 (10)을 사용한 적합성 확인	
h	적합성에 대한 최종 진술	
h1	결과의 요약, 유효성 주기를 고려한 적합성 선언 및 언급된 제한 조건과 구성	b 참조