

전기용품안전기준

K 00016-1-5

[CISPR16-1-5 Ed.10 / 2003.11]

전기자기적합성(EMC)

- 전기자기장해 · 내성측정 장비 및 측정방법
- 제1부 : 전자기장해 및 내성 측정장비
 - 제5절 : 30 MHz - 1000 MHz의 안테나
교정 시험장

목 차

K 간행물 소개	2
서 문	4
1. 적용범위	4
2. 인용규격	4
3. 용어정의	5
4. 30 MHz - 1 000 MHz 주파수범위 안테나 교정 시험장의 규격과 유효성확인 절차	6
4.1 서론	6
4.2 안테나 교정 시험장 (CALTS) 규격	7
4.3 시험 안테나 규격	7
4.4 안테나 교정 시험장 유효성확인 절차	10
4.5 안테나 교정 시험장 적합성 기준	16
4.6 유효성확인 보고서	20
4.7 수직편파에 대한 교정시험장(CALTS)의 유효성확인	21
부록 A (정보) 교정시험장(CALTS)의 요구조건	23
부록 B (정보) 시험 안테나의 고려사항	26
부록 C (정보) 안테나와 시험장 감쇠량 이론	32
부록 D (정보) 고정길이 다이폴 안테나의 적용 ($30\text{ MHz} \leq f \leq 80\text{ MHz}$)의 적용	43
부록 E (정보) C.1.3에 사용된 파스칼 프로그램	44
부록 F (정보) 유효성 확인절차 체크리스트	51

K 간행물 소개

K 00016-1, K 00016-2, K00016-3, K 00016-4는 가제정비를 쉽게 하기 위해서 아래 표와 같이14편으로 재구성되었다. 새 편들은 번호도 다시 매겨졌다. 아래에 주어진 목록을 참고한다.

구 K 00016 간행물

신 K 00016 간행물

K 00016-1	무선방해 및 내성 측정 장비		K 00016-1-1	측정장비
			K 00016-1-2	보조 장비-전도성 방해
			K 00016-1-3	보조 장비-장해전력
			K 00016-1-4	보조 장비-복사성 방해
			K 00016-1-5	30 MHz - 1 000 MHz 범위의 안테나 교정 시험장
K 00016-2	방해전파 및 내성 측정 방법		K 00016-2-1	전도성 방해 측정
			K 00016-2-2	방해전력의 측정
			K 00016-2-3	복사성 방해 측정
			K 00016-2-4	내성 측정
K 00016-3	CISPR 보고서 및 권고서		K 00016-3	CISPR 기술보고서
			K 00016-4-1	표준 EMC 시험의 불확도
			K 00016-4-2	계측기 불확도
			K 00016-4-3	대량생산제품의 EMC적합성 결정 시의 통계적 고려사항
K 00016-4	EMC측정 불확도		K 00016-4-4	불평 통계와 한계 계산 모델

구 버전의 K 00016-1과 현재의 K 00016-1-4 사이의 관계에 대한 상세한 정보는 본 소개 뒤에 나오는 표(상호참조요약표)에 나와 있다.

계측장치규격서는 K 00016-1의 5개의 새로운 편에 나와 있으며, 측정 방법은 K 00016-2의 4개의 새로운 편에 나와 있다. K 에 대한 추가적인 정보와 배경 지식과 일반적인 방해에 대한 다양한 보고서들이 K 00016-3에 나와 있다. K 00016-4에는 불확도와 통계, 한계 모델링에 대한 내용이 나와 있다.

K 00016-2는 ‘방해전파 및 내성 측정 장비와 방법 규정 - 방해 및 내성 측정방법’이라는 대 제목 아래 다음 편들로 구성된다.

- 제 2-1편: 전도성 방해 측정
- 제 2-2편: 방해전력의 측정
- 제 2-3편: 복사성 방해 측정
- 제 2-4편: 내성 측정

전기용품안전기준(K 00016-1-5)

전기자기적합성(EMC)

전기자기장해·내성 측정장비 및 측정방법

- 제1부 : 전기자기장해 및 내성 측정장비
- 제5절 : 30 MHz - 1000 MHz의 안테나 교정 시험장

Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods -

Part 1-5: Radio disturbance and immunity measuring apparatus- Antenna calibration test sites for 30 MHz to 1000 MHz

서 문

본 규격은 국제표준기술 변화에 신속히 대응하고, 현 전기용품안전기준의 운영 및 표준기술 발전을 위해 2003년 11월판으로 발행된 CISPR16-1-5, Ed.10, Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods -Part 1-5: Radio disturbance and immunity measuring apparatus-Antenna calibration test sites for 30 MHz to 1000 MHz 를 번역해서 원문 수정 없이 작성한 안전인증기술기준이다.

1. 적용범위

K 00016 에 해당하는 부분은 안테나 교정을 위한 교정 시험장 요건뿐만 아니라 시험 안테나의 특성, 교정 시험장 유효성확인 절차 및 시험장 적합성 기준을 규정하는 기본적 기준이다. 교정 시험장 요건, 시험안테나의 고려사항, 안테나 및 시험장 감쇠량 이론에 관한 기타 정보는 참고용 부록에 수록된다.

측정 장비 규격은 K 00016-1-1과 K 00016-1-4에 주어진다. 일반적인 불확도에 관한 배경지식 및 정보는 K 00016-4-1에 수록되며 이는 안테나 교정 과정의 불확도를 구하는데 도움이 된다.

2. 인용규격

K 00014-1 전기자기적합성(EMC) - 가정용 전기기기, 전동공구 및 유사기기류의 요구조건 제1부
- 전기자기장해

K 00016-1-1 전기자기장해·내성측정장비 및 측정방법 - 제1부 : 전기자기장해·내성측정 장비-
제1절 : 측정장비

K 00016-1-4 : 전기자기장해·내성측정장비 및 측정방법 - 제1부 : 전자기장해·내성측정 장비 -
제4절 : 방사장해

CISPR 16-4-1 : 전기자기장해·내성측정장비 및 측정방법 - 제4부 : 측정불확도, 통계 및 한계값 모델링 - 제1절 : 표준화된 EMC 시험의 불확도

CISPR 16-4-2 : 전기자기장해·내성측정장비 및 측정방법 - 제4부 : 측정불확도, 통계 및 한계값 모델링 - 제2절 : 시험장비의 불확도 측정

KS C IEC 60050-161 : 국제전기기술용어 - 제161장: 전기자기적합성, Amd 1, 2

3. 용어정의

K 00016-1-5 의 목적을 위해 KS C IEC 60050(161)의 정의와 함께 다음 정의가 적용된다.

3.1 교정시험장 (CALTS)

금속 접지면을 포함하며 수평 및 수직 전기장 편파에 대하여 엄격하게 규정된 시험장 감쇠량 성능을 갖는 야외시험장.

교정시험장은 안테나의 자유공간 안테나인자를 결정하는데 사용된다.

교정시험장의 시험장 감쇠량 측정값은 적합성 시험장의 성능평가를 위해서 그 적합성 시험장에 상응하는 시험장 감쇠량 측정값과 비교하기 위해 사용된다.

3.2 적합성 시험장 (COMTS)

적합성 한계와 비교하기 위하여, 피시험장비로부터 방출되는 방해전자파의 전기자기장 세기에 유효하고 재현 가능한 측정결과를 보증하는 환경.

3.3 안테나

특정한 방식으로 전기자기파를 내보내거나 받아들이도록 설계된 송신 또는 수신시스템의 한 부분.

주) 1 본 규격에서 발룬은 안테나의 일부이다.

주) 2 "와이어 안테나" 용어 참조.

3.4 발룬

평형 전송선로나 장치로부터 불평형 전송선로나 장치로, 혹은 그 반대로의 변환을 위한 수동 전기 회로망.

3.5 자유공간 공진 다이폴 안테나

끝과 끝이 어떤 작은 간극만큼 떨어진 동일한 길이의 두 공동선형 도체로 구성된 와이어안테나. 다이폴 안테나가 자유공간에 놓여 있을 때 규정된 주파수에서 앞에서 기술한 간극 양단에서 측정된 와이어안테나의 입력임피던스가 실수 값이 되게 하기 위해 각 도선의 길이는 약 1/4 파장으로 한다.

주) 1 이 규격에서 발룬에 연결된 이 와이어안테나를 "시험 안테나"라고도 한다.

주) 2 이 와이어안테나를 "동조다이폴안테나"라고도 한다.

3.6 시험장 감쇠량

시험장 위에 지정된 두 위치 사이의 시험장 감쇠량은 2단자 측정에 의해 결정되는 삽입손실이다. 이때 발생기 출력과 수신기 입력 사이의 직접적인 전기적 연결이 규정된 두 지점에 놓여 있는 송수신 안테나에 의해 대체된다.

3.7 시험 안테나

자유공간 동조 다이폴 안테나와 특정 발룬의 결합체.

주) 본 규격에서만 사용된다.

3.8 와이어 안테나

전자파를 방출시키거나 수신하기 위해 하나 이상의 금속 와이어나 봉으로 구성된 특정 구조물.

주) 와이어 안테나는 발룬을 포함하지 않는다.

4. 30 MHz ~ 1 000 MHz 주파수범위의 안테나 교정 시험장의 규격과 유효성 확인절차

K 00016-1-4 의 조항 5 는 30 MHz - 1 000 MHz 주파수 범위에서의 무선방해파의 세기 측정에 사용되는 시험장의 요건을 규정한다. 그러한 시험장은 안테나 교정을 위해서는 적합하지 않을 수도 있다. 이 조항은 30 MHz - 1 000 MHz 범위의 주파수에서 전도성 금속평면 상의 안테나 교정에 적합한 시험장의 요구조건과 유효성확인 절차를 규정한다. 이러한 엄격한 요구조건을 충족시키는 시험장은 K 00016-1-4의 5.6항에 의한 대체 유효성확인 절차에 따라 비교하기 위한 기준시험장으로 사용될 수도 있다.

4.1 서론

본 규격에서 교정시험장(CALTS)으로 언급되는 안테나 교정에 적합한 시험장은 자유공간 안테나 인자에 맞게 안테나를 교정하기에 적합한 환경을 제공하려는 것이다. 교정은 수평편파만을 사용하여 반사면 상에서 가장 수월하게 행해진다. 부속조항 4.3에서 4.6까지는 CALTS의 특성, 계산 가능한 시험 안테나의 특성, CALTS 검증(유효성확인) 절차 및 성능기준을 명기한다. 부속조항 4.5의 CALTS 유효성 확인 절차를 위해서는 부속조항 4.4에 기술된 대로 계산 가능한 다이폴 안테나를 이용할 필요가 있다. 그러므로 측정된 CALTS 의 성능을 예측된 시험장 감쇠량과 이론적으로 비교할 수 있게 된다. CALTS 의 유효성확인 보고서에 보고되는 항목들을 4.7에 요약한다. 부록 A 에서는 CALTS 를 제작하기 위한 지침을 제공하며, 이 지침은 4.6에 규정된 유효성확인 기준에 적합하다.

K 00016-1-4 의 5항에 적합하도록 시험장 성능의 유효성확인을 위한 기준시험장으로 CALTS 를 이용하기 위해서 다소간의 추가 요건을 규정해둘 필요가 있다. 부속조항 4.7은 추가적인 특성 및 성능 기준을 기술한다. K 00016-1-4 의 5항에 명기된, 복사방해 한계에 대한 적합성 입증에 사용되는 시험장은 본 규격에서는 적합성 시험장(COMTS)으로 불린다. COMTS 의 유효성확인

K 00016-1-4 의 5항(우선조항)에 주어진 이론 시험장 감쇠량과 비교하거나, 기준시험장의 시험장 감쇠량 측정값을 측정환경과 장비(안테나, 케이블, 신호발생기, 수신기 등)를 동일하게 해서 측정한 COMTS 에 대응하는 시험장 감쇠량을 비교함으로써 얻어진다.

본 규격의 부록들은 CALTS와 CALTS 유효성확인 절차에 사용될 계산 가능한 자유공간 공진 다이폴 안테나(동조 다이폴 안테나)의 상세한 규격을 포함한다. 또 이들은 이론 시험장 감쇠량 계산을 위한 모델과 수치적 사례 및 유효성확인 절차를 위한 체크리스트를 제시한다.

4.2 안테나 교정 시험장 (CALTS) 규격

4.2.1 개요

CALTS는 아래 주요 요소들로 구성된다.

- 양도체의 편평한 금속면(반사면)
- 반사면을 둘러싼 전기자기적인 장애물이 없는 영역

또한 다음의 보조장비도 필요하다.

- CALTS 유효성확인 절차나 안테나 교정 절차에 사용되는 안테나를 지지하는 두 개의 안테나 마스터
- 이들 안테나를 연결하는 케이블
- RF 발생기와 측정 수신기와 같은 전자장비

CALTS의 기준 규격은 4.2.2에 주어지며 부록 A는 유효성확인 기준을 충족시킬 수 있도록 CALTS를 건설하고 설치하는 지침으로서 유용한 정보들을 다룬다.

4.2.2 기준 규격

안테나 교정을 위하여 CALTS는 4.5.3항에 주어지는 아래의 유효성확인 기준에 적합해야 한다.

- a) 고정안테나 높이에서의 시험장 감쇠량
- b) 안테나가 교정될 모든 주파수에서의 최대 시험장 감쇠량을 위한 안테나 높이

주) 1 CALTS 유효성확인 절차에서, 장비는 기준 규격에 따른 장비가 사용된다. (4.3과 4.4 참조)

주) 2 CALTS 유효성확인 보고서(4.6)가 그 요구조건들에 대한 적합성이 어떻게 유지되는가에 관한 정보를 포함함으로써, CALTS는 실제 사용되는 동안 요건에 적합하다고 간주된다.

4.3 시험안테나 규격

4.3.1 개요

유효성확인 절차에서 요구되는 이론 시험장 감쇠량 SA_C 의 (수치) 계산을 가능하게 하기 위하여 정확한 모델이 될 수 있는 시험안테나가 필요하다. 그러므로 시험안테나는 지정된 특성을 지닌 발룬에 연결된 자유공간 공진 다이폴 안테나가 되어야 한다. 기준이 되는 시험안테나는 4.3.2항에 주어진다. 시험안테나의 설치 예는 부록 B에 기술되어 있다.

시험안테나는 한 개의 발륜과 각각의 직경 D_{we} 와 길이 L_{we} 인 공동선형으로 연결된 와이어 요소(도체)로 되어 있다. 이러한 요소들은 발륜에서 두 개의 급전단자(그림 1A와 1B)와 연결된다. 급전단자의 간극은 폭 W_g 이다. 안테나의 양끝 사이의 길이 L_a 는 $L_a = 2L_{we} + W_g$ 로 주어진다. 시험안테나의 중심은 공동선형으로 이어진 두 와이어 요소의 중앙선 상의 급전단자 간극 중앙에 위치한다.

발륜은 두 급전단자 A와 B에 불평형 입력/출력(송신 및 수신 안테나) 단자와 평형 단자를 가진다. 그림 1에서는 발륜의 목적이 평형/불평형 변환기에 의해 도식적으로 예시된다.

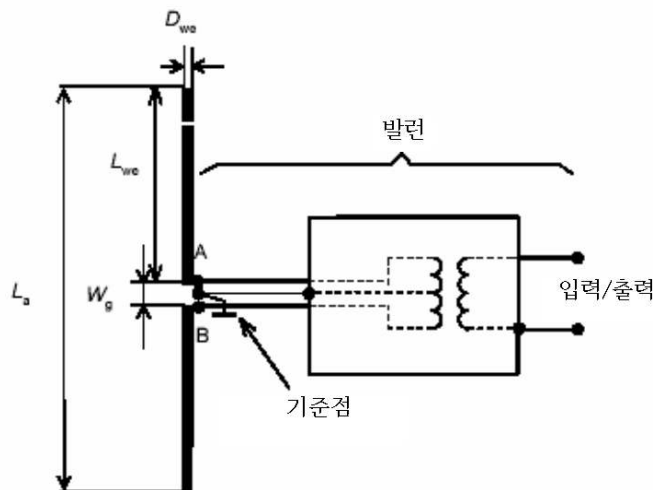
4.3.2 기준 규격

4.3.2.1 시험안테나는 길이 L_{we} 의 동일한 와이어 요소들로 구성되어야 한다. 이들 와이어 요소는 발륜 파라미터들의 유효성확인을 가능하게 하며 시험장 감쇠량 측정에 사용되는 두 안테나의 발륜 헤드들을 함께 연결시켜주기 위해서 발륜에서 분리될 수 있다.

4.3.2.2 대략 $\lambda/2$ 와이어 안테나의 양끝 사이의 길이 $L_a(f, D_{we})$ 는, 지정된 주파수 f 와 자유공간에서 급전단자의 입력 임피던스 허수부의 절대값이 1 Ω 보다 작은 조건에 의하여 결정된다.

주) 1 와이어 요소의 직경이 일정한 경우 그리고 $D_{we} \ll L_a$ 일 경우 $L_a(f, D_{we})$ 는 부록 C의 C.1.1의 방정식 (C.2)으로 계산될 수 있다. 예를 들어, 접이식 안테나처럼 직경이 일정하지 않은 경우 $L_a(f)$ 는 수치적으로만 계산될 수 있다 (C.2.2. 참조).

주) 2 접이식 안테나를 사용할 경우 접이식 요소들은 가장 큰 직경의 요소가 먼저 사용되게 조정되어야 하며 (그림 2 참조), 수치적 계산을 할 때는 이런 접근방법을 고려해야 한다.



주) 시험안테나의 중심은 두 개의 와이어 요소 중앙선의 간극 중앙에 위치한다.

그림 1- 시험안테나의 개념도

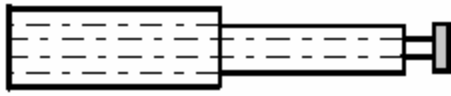


그림 2a - 정확

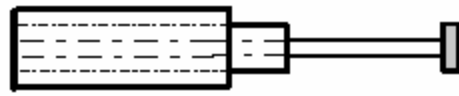


그림 2b - 부정확

그림 2 - 길이 L_{we} 에 따른 접이식 와이어 요소의 조정

검토 중인 사항: 30 MHz - 80 MHz 주파수범위의 시험주파수에서 $L_a = L_a(80 \text{ MHz})$ 고정길이 다이폴 안테나가 사용될지에 대해 현재 검토 중이다.

4.3.2.3 급전단자 간극은 $W_g \leq 15 \text{ mm}$ 와 $W_g \leq 0.03 \lambda_{\min}$ 중 작은 값으로 해야 한다.

여기서,

$$\lambda_{\min} = c_0 / f_{\max},$$

$f_{\max}$ 는 시험안테나가 사용되는 가장 높은 시험주파수,

c_0 는 진공상태에서의 전자파의 전파속도이다.

4.3.2.4 실제 와이어 안테나의 양끝 사이의 길이 $L_a(f)$ 가 그 안테나에 지정된 길이 $L_a(f)$ 의 ΔL_a 이내에 들 경우(표 2 참조) 그 길이는 급전단자 간극의 폭이 4.3.2.3에 적합할 때 유효성이 있는 것으로 추정된다.

4.3.2.5 발룬의 평형 단자는 아래 조건을 필요로 한다.

- 불평형 단자가 외부회로(안테나 급전 케이블)의 임피던스 Z_e 로 종단될 경우, 규정된 최대 VSWR을 가진 임피던스 Z_{AB} 의 규정값은 표 2를 참조한다.
- 두 급전단자가 발룬 기준점에 대해서 임피던스 $Z_{AB}/2$ 로 종단될 경우, ΔA_b dB보다 나은 발룬 기준점에 관한 진폭 평형은 표 2를 참조한다.
- 두 급전단자가 발룬 기준점에 대해서 임피던스 $Z_{AB}/2$ 로 종단될 경우, $180^\circ \pm \Delta \phi_b$ 의 위상평형은 표 2를 참조한다.

주) 1 발룬 단자의 커넥터는 그 3개의 발룬 단자에서 RF 측정이 이루어지도록 해야 한다.

주) 2 평형 단자 임피던스 Z_{AB} 는 그림 1에서와 같이 급전단자 A와 B간의 임피던스이다. 임피던스의 우선값 $Z_{AB} = 100 \Omega$ (실수부)이다.

주) 3 외부회로에 의해 나타나는 임피던스 Z_e 는 50Ω 이며, 우선시되는 값이다.

주) 4 진폭과 위상 평형 요건은 급전단자 A와 B의 신호가 발룬 기준점에 관해서 진폭이 충분히 같으며 위상이 반대임을 보증한다. 평형 단자가 이러한 요건을 충족시키면 불평형 단자가 임피던스 Z_e 로 종단될 때 두 급전단자 사이의 격리도가 26 dB 이상이 될 것이다.

주) 5 가능한 한 실제적으로 발룬 구성요소들은 와이어 안테나에 대해서 최소의 공동 편파된 반사표면이 되도록 방향을 맞추어야 한다.

주) 6 발룬의 구성요소들은 이들의 (기생) 특성이 주변 환경에 영향을 받지 않도록 전기적으로 차폐되어야 한다. 발룬 기준점과 입력/출력 단자의 접지 단자는 그 차폐망에 연결되어야 한다.

4.3.2.6 4. 3.2.5.에서 요구되는 발룬의 특성은 S-파라미터 측정 그리고, 부분적으로는, 주입측정으로도 얻어질 수 있다.

주) 1 4.4.4.2.과 4.4.4.4.의 발룬의 헤드-헤드 연결은 발룬의 특성이 SA_c 계산에 포함되는 조건으로, 신호 발생기와 수신기에 의해 발룬에 나타나는 발룬 S-파라미터와 단자 임피던스의 전체 구성이 알려져 있을 때 케이블과 케이블 연결로 대체될 수 있다.

주) 2 S-파라미터와 주입측정에 관해서는 부록 B에서 기술된다.

4.3.2.7 만약 CALTS 유효성확인 절차에서 시험안테나 또는 시험장비가 각각의 우선값 100 Ω 및 50 Ω과 다른 Z_{AB} 또는 Z_c 와 함께 사용되는 경우, 유효성확인 보고서에 이 사실이 명시적으로 언급되어야 한다.

4.4 안테나 교정시험장 유효성확인 절차

4.4.1개요

유효성확인 절차에서, 측정된 시험장 감쇠량 SA_m 은 이론적으로 계산된 시험장 감쇠량 SA_c 와 비교된다. 그러므로 이 절차는 CALTS가 SA 계산에서 추정되는 특성을 충족시키는지, 즉, 아래와 같은지, 검증한다.

- a) 평면은 완전히 평탄하고 무한히 크다.
- b) 그 평면의 반사계수의 절대값 $r = 1$ 이다.
- c) 평면에 입사 및 반사되는 수평 편파 전자기파의 위상차 $\phi = \pi$ 라디안이다.
- d) 보조 장비와 수평면의 주변 환경의 영향은 무시된다.

특성을 검증하기 위해 아래와 같은 2 종류의 측정이 요구된다.

1) 특성 a), b) 및 d)는 고정된 안테나 높이를 이용하여(4.4.4 참조) SA 측정절차로 동시에 검증한 뒤에 SA 측정치와 계산치를 비교한다.

2) 특성 a), c) 및 d)는 시험안테나 가운데 하나의 높이를 최대 SA 에 맞게 스캔한 후 최대치와 일치하는 안테나의 측정된 높이와 계산된 높이를 비교하는 절차로 동시에 검증된다.

대체방법으로, 2)의 특성은 스캔 주파수 측정절차로 동시에 검증될 수도 있다 (4.4.6 참조).

이하에서, 어떤 양 $\pm \Delta X$ 는 유효성확인 절차에서 허용되는 어떤 매개 변수값 X 의 최대 공차를 나타낸다. 공차의 양적 데이터는 표 2 에서 요약된다.

4.4.2. 시험 장치

4.4.2.1 시험안테나, 안테나 마스트 및 안테나 동축 케이블의 중심들은 반사면에 직각이며 반사면의 중심에 놓이는 평면 내에 위치한다.

주) 시험안테나의 중심은 4.3.1에 정의되어 있다.

4.4.2.2 동일선형으로 이어진 와이어 요소들은 4.4.2.1에 언급된 (수직)평면에 직각이며 그 평면 전체에 걸친 반사면(수평면과 내의 안테나)에 평행하게 놓인다.

주) 예를 들어, 30 MHz ~ 40 MHz 주파수범위의 아래 주파수에서는 상대적으로 긴 와이어 요소가 아래로 쳐져서 측정결과에 영향을 미친다. 이 영향은 와이어 요소들을 물리적으로 지지하여 제거하거나 이론 시험장 감쇠량 계산 시에는 이를 감안할 수 있다 (4.4.4.3과 4.5.3.1 참조).

4.4.2.3 시험안테나의 중심간 수평거리는 아래와 같다.

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

4.4.2.4 반사면 위의 송신안테나 중심의 높이는 아래와 같다.

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

4.4.2.5 반사면 상의 수신안테나 중심의 높이는 표 1과 2에 기술한 대로 높이 $h_r \pm \Delta h_r$ 까지 조정될 수 있어야 하며 4.4.5에서 요구한 대로 높이범위 $1.0 \text{ m} \leq h_r \leq 4.0\text{m}$ 에 걸쳐서 스캔이 가능해야 한다.

4.4.2.6 송신 및 수신 안테나의 발룬에 연결된 동축케이블은 와이어 요소에 직각으로, 그리고 와이어 요소로부터 1 m 이상의 거리에 걸쳐서 반사면에 평행으로 설치되어야 한다. 그런 다음, 케이블은 반사면 위로 떨어뜨려져 (되도록) 평면의 끝에 도달할 때까지 계속해서 와이어 요소에 직각으로 반사면 바로 아래로 또는 바로 위로 설치될 수 있다. 공통모드 결합을 피하기 위해 발룬에 연결되는 동축케이블에 페라이트를 부가하는 것이 좋다.

주) 1 케이블은 그것의 전달임피던스를 통해 케이블에 유도된 면전류(sheet current)의 측정결과에 영향을 미치지 않을 만큼 전달임피던스가 낮아야 한다.

주) 2 케이블이 부분적으로 반사면 바로 아래를 지날 경우 케이블 외피는 그 반사면을 관통할 때 그 면에 (360도 각도로) 붙여져야 한다.

4.4.2.7 RF 발생기와 RF 수신기는 반사면으로부터 20 m 내에 있다면 반사면 레벨 위로 올려져서는 안 된다.

4.4.2.8 RF 발생기는 시험장감쇠량 측정기간 동안에 주파수와 출력 레벨 안정성이 좋아야 한다 (4.4.4.5. 참조).

주) 측정절차 수행 시에 RF 발생기와 RF 수신기의 장기 안정성을 충분히 보증하기 위해서 이들의 예열시간 (대개 장비 제조자가 지정)을 포함시킬 수도 있다.

4.4.2.9 RF 수신기는 적어도 50 dB 이상의 동작범위에 걸쳐 교정하였을 때 선형성을 가져야 한다. 수신기 선형성의 불확도는 ΔA_r 로 표시된다(4.5.2.2 참조). 수신기 선형성의 불확도의 합리적인 값은 0.2 dB이다.

주) 선형동작범위가 50 dB 미만일 경우 4.4.4.7에 기술된 대로 교정된 정밀감쇠기를 이용하는 대체 방법을 따를 수도 있다.

4.4.3 시험주파수와 수신안테나 높이

4.4.3.1 4.2.2를 준수해야 함과 동시에, 4.4.4에 기술된 유효성확인 측정이 적어도 해당 주파수와 표 1 에 주어진 반사면 상의 수신안테나 중심의 연관된 고정높이 h_r (m)에서 수행되어야 한다.

주)1 중간주파수대의 CALTS 성능과 관련된 정보는 A.2.2에 기술된 스캔 주파수 측정을 이용하여 얻어질 수 있다.

주) 2 특히 300 MHz 이상 주파수대의 높은 Q 응답의 경우에는 주의하여야 한다. 그런 경우, 스캔 주파수 절차는 특정주파수대에서 그리고 관련 높이에서 행해져야 한다.

4.4.3.2 4.4.4에 기술된 유효성확인 측정과 더불어, 4.4.5에 기술된 대로 세 개의 수신안테나 높이 스캔 측정이나 4.4.6에 기술된 대로 세 개의 주파수 스캔 측정이 실행되어야 한다.

a) 수신안테나 높이 스캔측정을 수행하기로 할 때는 시험안테나를 관련 주파수 f_s 에 조정된 상태로 f_s 주파수(300 MHz, 600 MHz 및 900 MHz)에서 각각 이런 측정이 수행되어야 한다.

b) 주파수 스캔측정을 수행하기로 할 때 이러한 측정은 수신안테나의 높이 h_{rs} 와 시험안테나 동조 주파수 f_s 의 조합 $\{h_{rs}, f_s\}$: {2.65 m, 300 MHz}, {1.30 m, 600 MHz} 및 {1.70 m, 900 MHz}에서 수행되어야 한다.

표 1 - SA 측정을 위한 주파수와 고정 수신안테나 높이, 여기서 $h_t = 2$ m, $d = 10$ m (4.4.2.3 및 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 생기는 것과 같은 협대역 잡음이 4.4.3.1과 4.4.3.2에 기술된 주파수대에서의 정확한 측정을 방해한다면 그 특정 주파수대와 가급적 가까운 시험주파수를 선택해야 한다. 지정된 주파수로부터의 편차에 대한 이론적 근거는 유효성확인 보고서에 기록되어야 한다. (4.6 참조)

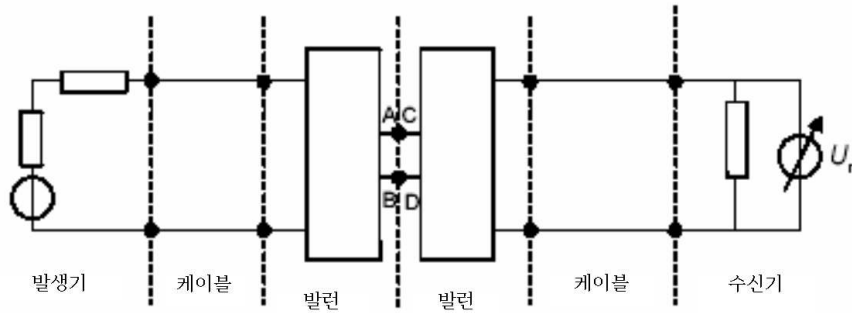
4.4.3.4 송신안테나에 신호를 급전하는 RF 발생기의 주파수는 표 1 또는 4.4.3.2에 명기된 시험주파수의 Δf (표 2 참조) 이내에서 조정되어야 한다.

4.4.4 시험장 감쇠량 측정

이 절에서는 특정 주파수대에서 측정되는 시험장 감쇠량 SA_m (4.5.3.1 참조)을 결정하기 위해 필요한 세 가지 측정방법을 기술한다. 검토 대상인 시험장 감쇠량은 송신안테나의 급전단자(그림

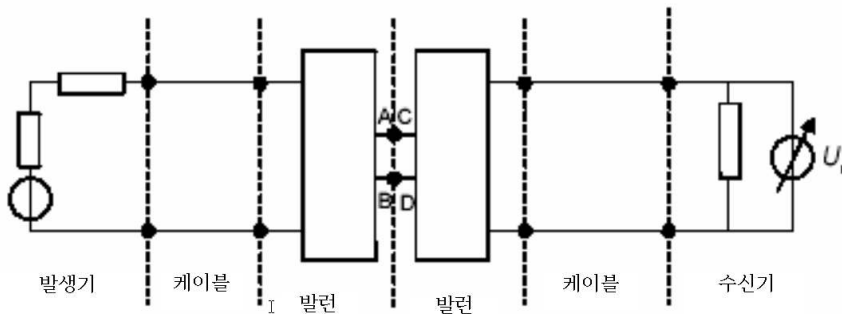
3 과 4의 A 와 B)와 수신안테나의 급전단자 (그림 3과 4의 C 와 D) 사이의 SA 이다.

주) 발룬 S-파라미터의 전체 값들을 이용할 수 있을 경우(4.3.2.6.참조), 발룬 특성이 이론 SA 의 계산에 포함된다면 두 케이블/발룬의 인터페이스 사이의 SA 를 검토할 수도 있다. 아래 주어진 설명에서 후자의 가능성이 있을 경우는 적절한 곳에 주석으로 표시될 것이다.



IEC 846/99

그림 3 - $U_{r1}(f)$ 또는 $U_{r2}(f)$ 의 측정



IEC 846/99

그림 4 - 지정된 위치에 놓인 와이어 안테나의 $U_s(f)$ 측정

4.4.4.1 측정 1: 지정된 주파수 f 에서 기준전압 $U_{r1}(f)$ 를 측정한다. 이 전압은 RF 발생기 출력 단자와 송신 와이어 안테나의 급전단자 사이 혹은 수신 와이어 안테나와 수신기 입력 단자 사이의 신호 감쇠량을 밝힐 수 있게 해준다.

$U_{r1}(f)$ 는 다음과 같이 측정된다(그림 3 참조). 시험안테나의 와이어 요소를 발룬에서 분리하고 두 발룬은 가능한 짧게, 4.3.2.3에서 $\lambda_{\min}$ 이 지정되었을 경우 되도록 $<\lambda_{\min}/10$ 이 되게 헤드와 헤드(아래 주 4 참조)를 연결한다.

RF발생기의 레벨은 수신기의 잡음레벨보다 적어도 60 dB이상 되는 값을 읽을 수 있도록 조정한다(아래의 주 2참조). 수신기의 지시치는 $U_{r1}(f)$ 로 기록된다.

주) 1 방출전자파의 레벨은 지역 송신허용레벨을 초과할 수 없다.

주) 2 본 절에서 RF 수신기는 4.4.2.9에 적합한 것으로 가정한다. 4.4.2.9의 "주)"가 적용될 경우 4.4.4.7에

주어진 방법이 적용되어야 한다.

주) 3 수신기의 잡음레벨은 수신기의 대역폭을 감소시킴으로 축소된다. RF 발생기와 RF수신기는 주파수 잠금 상태가 아니라면, 트래킹 발생기와 스펙트럼 분석기의 경우에서와 같이 수신기 대역폭은 RF 발생기의 주파수신호 드리프트가 측정결과에 영향을 미치지 못하게 충분히 넓어야 한다.

주) 4 4.4.4의 주에 주어진 방법을 따를 경우 4.4.4.4에서 $U_{r1}(f)$ 와 $U_{r2}(f)$ 를 결정할 때 시험안테나 전체는 분리되고 두 안테나 케이블은 서로 연결된다.

4.4.4.2 특정주파수대에서 4.4.4.1에서 사용되는 RF발생기의 진폭 세팅은 4.4.4.3과 4.4.4.4와 관련한 측정 전체에 걸쳐 불변이다.

4.4.4.3 측정 2: 발룬은 서로 분리되며, 와이어 요소들은 각각의 발룬에 연결되고(그림 4 참조) 특정한 길이 $L_a(f)$ 에 조정된다. 시험안테나는 4.4.2와 4.4.3에 규정된 대로 위치시킨다. 시험 장치의 모든 다른 요소들은 4.4.4.1에서와 동일하다. 4.4.2.2와 4.4.4.5의 "주)" 참조
지정된 시험주파수 f 에서, 그리고 안테나는 지정 위치에 놓인 상태에서 수신기 지시치는 $U_s(f)$ 로 기록된다.

4.4.4.4 측정 3: 기준전압(4.4.4.1 참조)의 측정은 동일한 지정 주파수에서 반복된다. 그 값은 $U_{r2}(f)$ 로 기록된다.

4.4.4.5 대수단위로 표현되는 $U_{r1}(f)$ 와 $U_{r2}(f)$ 가 0.2 dB 이상 차이가 나면 시험장치의 안정성은 향상되어야 하며 전술한 측정 1, 2, 3이 반복된다.

주) 불안정의 원인은, 특히 직사광선의 노출되어 있을 경우, 동축케이블 감쇠량의 온도의존성 때문일 수도 있다.

4.4.4.6 측정된 시험장 감쇠량 $SA_m(f)$ 는 다음 방정식으로 주어진다.

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

여기에 $U_{ra}(f)$ 는 $U_{r1}(f)$ 와 $U_{r2}(f)$ 의 평균이다.

주) 30 MHz, 35 MHz 및 40 MHz의 낮은 주파수대에서는 두 시험안테나 와이어 요소의 처짐(droop)을 방지하지 않는다면 측정된 시험장 감쇠량의 보정이 필요할 수도 있다.

4.4.4.7 RF 수신기의 동작범위가 4.4.2.9에 적합하지 않을 경우 발룬 S-파라미터의 전체 값들을 이용할 수 있으며 발룬의 특성이 이론 SA 의 계산에 포함되는 조건으로 아래 대체 방법이 사용될 수도 있다.

a) 4.4.4.3에 기술된 대로 수신기 지시치 $U_{r1}(f)$ 를 측정하여 기록한다.

b) 시험안테나를 교정된 정밀 감쇠기로 대체하고 양 안테나케이블을 감쇠기에 연결시킨다. 감쇠기에 의해 야기된 삽입손실을 레벨 $A_{i1}(f)$ 로 조정하여 위의 a)에서 측정된 것과 동일한 수신기 지시치

$U_s(f)$ 가 나오게 한다. $A_{i1}(f)$ 와 이와 관련한 측정 불확도 $\Delta A_i(f)$ 를 기록한다.

c) 4.4.2.8에 언급된 시험장치의 안정성을 증명하기 위해 위 순서 a)에서의 $U_s(f)$ 와 b)에서의 $A_{i1}(f)$ 지시값 사이의 총시간에 근접하는 시간이 흐른 후 $A_{i2}(f)$ 를 결정하기 위해 순서 b)를 반복한다.

d) 시험장치가 충분히 안정되었으면 측정된 시험장 감쇠량은 아래 식으로 주어진다.

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

여기에 $A_{ia}(f)$ 는 선형 단위로 나타낸 $A_{i1}(f)$ 와 $A_{i2}(f)$ 의 평균이다.

4.4.5 안테나 높이 스캔 측정

본 절에서는 측정된 시험장 감쇠량이 뚜렷한 최대치를 보여주는 (4.4.3.2a와 4.5.3.2 참조)수신기 안테나 높이 $h_{r,\max}$ 측정에 필요한 3-안테나 높이 스캔 측정에 관해서 기술된다. 뚜렷한 최대치는 간접과, 예를 들면, 반사면에서 반사되는 파장에 의해 수신안테나에 도달하는 직접파를(거의 전부) 제거할 때 생긴다.

4.4.5.1 4.4.3.2a)에서 지정되는 주파수대 f_s 에서 4.4.2에서 기술된 시험장치에서 (주파수대 f_s 동조된) 수신기 안테나의 높이는 어떤 높이 $h_r = 1.0$ m에서부터, SA 에서 최초의 뚜렷한 최대치, 즉, 수신기 지시값에서 최초의 뚜렷한 최소치와 일치하는 어떤 높이 $h_{r,\max}(f_s)$ 까지 증가된다.

주) 수신기 지시값의 최소치는 중요하지 않다. 그런 지시치는 $h_{r,\max}(f_s)$ 를 구하기 위한 지표일 뿐이다.

4.4.5.2 높이 $h_{r,\max}(f_s)$ 는 이와 관련한 측정 불확도 $\Delta h_{r,\max}(f_s)$ 와 더불어 측정되고 기록된다.

주) $h_{r,\max}(f_s)$ 는 실제 시험안테나의 특성에도 의존하기 때문에 측정된 $h_{r,\max}(f_s)$ 는 4.4.3.2b)에 주어지는 $h_{rs}(f_s)$ 와 동일하지 않을 수도 있다.

4.4.6 주파수 스캔 측정

본 절에서는 측정된 시험장 감쇠량이 뚜렷한 최대치를 보여주는 (4.4.3.2b와 4.5.3.3 참조) 주파수 $f_{\max}$ 측정에 필요한 세 개의 소인주파수 측정에 관해서 기술된다. 뚜렷한 최대치는 간접과, 예를 들면, 반사면에서 반사되는 파장에 의해 수신기안테나에 도달하는 직접파를(거의 전부) 제거할 때 생긴다.

4.4.6.1 4.4.3.2b)에서 지정되는 고정된 수신기 시험안테나 높이 $h_{rs}(f_s)$ 에서, 그리고 4.4.3.2b)에서 주어지는 관련 주파수 f_s 에 동조된 시험안테나를 갖춘 시험 장치에서 RF 발생기의 주파수는 f_s 보다 훨씬 낮은 어떤 주파수, 가령 f_s 보다 100 MHz 낮은 주파수에서부터, SA 에서 뚜렷한 최대치, 즉, 수신기 지시치의 최소치와 일치하는 어떤 값 $f_{\max}(h_{rs})$ 까지 스캔된다.

주) 수신기 지시치 최소값은 중요하지 않다. 지시치는 $f_{\max}(h_{rs})$ 를 얻기 위한 하나의 지표에 지나지 않는다.

4.4.6.2 주파수 $f_{\max}(h_{rs})$ 는 관련 측정 불확도 $\Delta f_{\max}(h_{rs})$ 와 함께 기록된다.

주) $f_{\max}(h_{rs})$ 는 실제 시험안테나의 특성에도 의존하기 때문에 측정된 $f_{\max}(h_{rs})$ 는 4.4.3.2에 주어진 $f_s(h_{rs})$ 와 같아야 할 필요는 없다.

4.5 안테나 교정시험장의 적합성 기준

4.5.1 개요

CALTS는 CALTS를 필요로 하는 안테나 교정을 수행해야 할 모든 주파수에서 측정된 시험장 감쇠량(4.4.3.1)과 측정된 안테나 높이 또는 측정된 주파수(4.4.3.2)가 계산된 이론값(4.5.3)의 마진 내에 있다면 만족한 것으로 간주된다. 각종 측정데이터의 불확도와는 별도로 이 여유는 측정 장치에서 허용되는 공차도 고려한다.

4.5.2에서 설명한대로 불확도 여유는 이론 모델을 사용하여 계산되어야 하는 어떤 부분과 측정된 시험장 감쇠량이 결정되는 전압측정에서의 불확도와 스캔 높이 또는 소인주파수 측정에서의 불확도가 직접 결합되는 부분으로 이루어진다.

4.5.2 공차와 측정 불확도

4.5.2.1 여러 파라미터의 최대 공차는 표 2에 열거된다.

4.5.2.2 4.4.4.6의 방정식 (1)에서 정의된 대로 측정된 시험장 감쇠량 SA_m 측정 불확도 ΔSA_m 은 다음 식으로 주어진다.

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

여기서, 어떠한 절(항목)이 적용되더라도 ΔSA_r 은 4.4.2.9의 ΔA_r 또는 4.4.4.7의 $\Delta A_i(f)$ 에 의해 주어진다. ΔSA_t 는 매개변수 공차에 대한 시험장 감쇠량의 감도를 설명한다(표 2에 보인 최대값 참조). ΔSA_r 과 ΔSA_t 의 95 % 신뢰도에 해당되는 값이 방정식 (3)에 사용된다.

주 $\Delta SA_t(95 \%)$ 는 부록 C에 주어진 모델을 사용하여 계산될 수도 있다.

표 2 - 최대 공차 ($d = 10 \text{ m}$)

변수	최대공차	부절
L_a	$0.0025 L_a$ 또는 $L_a < 0.400(\text{m})$ 일 때, $0.001(\text{m})$	4.3.2.4
Z_{AB}	$\text{VSWR} \leq 1.1$	4.3.2.5 a)
A_b	$\pm 0.4 \text{ dB}$	4.3.2.5 b)
ϕ_b	$\pm 2^\circ$	4.3.2.5 c)
d	$\pm 0.04 \text{ m}$	4.4.2.3
h_t	$\pm 0.01 \text{ m}$	4.4.2.4
h_r	$\pm 0.01 \text{ m}$	4.4.2.5
f	$\pm 0.001 f$	4.4.3.4
주 와이어 요소의 반경에 대한 공차 ΔD_{we} 와 와이어 안테나의 정렬과 관련한 불확도를 고려할 필요성에 관해서는 현재 검토 중이다.		

4.5.2.3 매개변수 공차가 표 2에 주어진 공차에 적합할 경우 ΔSA_t (95 %) = 0.2 dB는 30 MHz - 1 000 MHz 주파수범위 전체에 이용될 수도 있다. 그런 경우에 ΔSA_t 의 계산이나 CALTS 유효성확인 보고서의 계산결과 보고는 불필요하다.

주) ΔSA_t (95 %)=0.2 dB에 대한 근거는 C.1.3.2에 주어진다.

4.5.2.4 4.4.5에 정의된 대로 수신안테나의 측정된 높이 $h_{r,max}$ 에서 측정 불확도 $\Delta h_{r,m}$ 은 다음 식으로 주어진다.

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

여기서 $\Delta h_{r,max}$ 는 4.4.5.2에서 정의되고 Δh_{rt} 는 매개변수 공차(표 2에 나타난 최대값)에 대한 $h_{r,max}$ 의 감도를 말한다.

주) Δh_{rt} 는 C. 1.3.3에 주어진 모델을 사용하며 계산될 수 있다.

4.5.2.5 매개변수 공차가 표 2에 주어진 공차에 적합할 경우 Δh_{rt} (95 %) = 0.025 m는 세 가지 지정된 주파수에서 이용될 수도 있다. 그런 경우에 Δh_{rt} 의 계산이나 CALTS 유효성확인 보고서의 계산결과 보고는 불필요하다.

주) Δh_{rt} (95 %)=0.025 m에 대한 근거는 C.1.3.3에 주어진다.

4.5.2.6 4.4.6에 정의된 측정주파수 f_{max} 에서 측정불확도 Δf_m 은 다음 식으로 주어진다.

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

여기서,

Δf_{max} 는 4.4.6.2에서 정의된다.

Δf_t 는 매개변수 공차(표2에서 주어진 최대값)에 대한 f_{max} 의 감도를 말한다.

주) Δf_i 는 C.1.3.4에 주어진 모델을 사용하여 계산될 수 있다.

4.5.2.7 매개변수 공차가 표 2에 주어진 공차에 적합할 경우 Δf_t (95 %)/ $f_c = 0.015$ 의 조건은 세 가지 지정된 수신안테나 높이에서 이용될 수도 있다. 그런 경우에 Δf_t 의 계산이나 CALTS 유효성확인 보고서의 계산결과 보고는 불필요하다.

주) Δf_t (95 %)/ $f_c = 0.015$ 에 대한 근거는 C.1.3.4에 주어진다.

4.5.3 적합성 기준

본 절에서, 계산에 사용될 매개변수 값은 측정에서 얻은 실제값이다. 어떤 매개변수가 표 2에 주어진 최대 공차 범위 이내에 든다는 결론을 정당화할 수만 있다면 실제 매개변수 값은 충분히 작은 측정 불확도로 측정되는 것으로 추정된다.

예) 안테나의 중심간의 지정 거리 $d=10.00$ m(4.4.2.3)이며 실제 SA 측정 동안의 그 거리 $d_a = 10.01$ m일 경우 계산에는 d_a 값이 사용된다. 그러나 $(d-d_a)$ 는 항상 0.04 m(표 2)보다 작아야 하는데, $|d-d_a| < 0.04$ 가 정당화될 정도로 작은 불확도로 d_a 가 측정되었으므로 표 2의 조건이 충족된 것으로 추정된다.

4.5.3.1 CALTS는 안테나 교정에 사용되는 모든 주파수(표5)에서 아래 부등식이 성립될 경우 시험장 감쇠량 유효성확인 기준에 적합하다.

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

여기서,

$SA_c(f)$ 는 규정된 주파수의 이론 SA 이며, 이 값은 4.3.2.6.의 적용에 따른 시험안테나 데이터와 실제 기하학적 매개변수 값 L_a , d , h_t 및 h_r 을 이용하여 부록 C에 기술한 대로 계산된다.

$SA_m(f)$ 는 방정식 (1) 또는 방정식 (2)로부터 측정된 SA 이다(주 참조).

$\Delta SA_m(f)$ 는 4.5.2.2.에서 추론된 SA 측정 불확도이다.

$T_{SA}(f)$ 는 SA 에서 용인된 허용오차이다.

CALTS의 사용을 요구하는 안테나교정 기준에서 달리 언급되지 않는 한 $30 \text{ MHz} - 1\,000 \text{ MHz}$ 주파수범위 전체에 걸쳐 허용 공차 $T_{SA}(f) = 1.0 \text{ dB}$ 이다.

최소한으로, CALTS가 표 1에 목록으로 나타낸 주파수대에서 SA 기준에 적합하다는 것이 증명되어야 한다.

주) 1 $30 \text{ MHz} \sim 40 \text{ MHz}$ 주파수범위에서 와이어 안테나의 끝에서 심한 처짐이 있을 경우 SA_m 값은 보정이 필요하다.

a) 30 MHz 에서 4.8 m 길이의 다이폴 안테나는 끝에서 16 cm 만큼 처진다. SA_m 은 그것과 SA_c 를 적절히 비교하기 위해서 다이폴 안테나 높이가 각각 1 m , 2 m , 4 m 일 때 SA_m 은 0.27 dB , 0.13 dB 및 0.08 dB 증가되어야 한다.

b) 끝에서의 처짐이 20 cm보다 크다면 $SA_m(f)$ 의 증가량은 수치적으로 계산되어야 한다. (조항 C.2 참조)

주) 2 예

$\Delta SA_t(95\%) = 0.2 \text{ dB}$ (4.5.2.3의 적용)이며 $\Delta SA_r(95\%) = 0.2 \text{ dB}$ 이면, $\Delta SA_m(95\%) = 0.3 \text{ dB}$ 이다. 결과적으로 0.7 dB는 계산된 시험장 감쇠량과 측정된 시험장 감쇠량 사이의 최대 허용 차이이다. 최대 허용 차이는 $\Delta SA_r(95\%)$ 값이 더 낮은 수신기를 사용하며 각종 매개변수들의 공차를 감소시키며 $\Delta SA_t(95\%)$ 의 실제 값을 고려함으로써 증가시킬 수 있다.

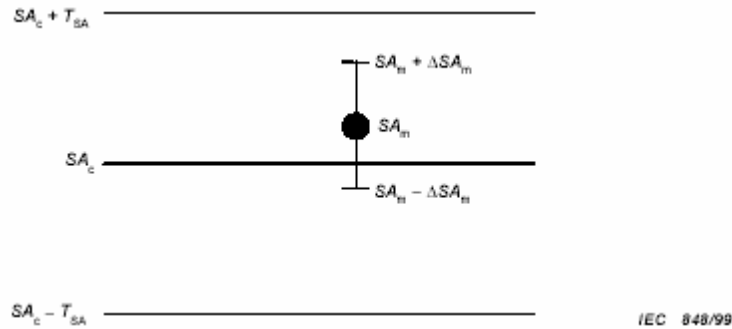


그림 5 - SA적합성기준에 사용되는 각종 양의 관계

4.5.3.2 4.4.3.2a)에 주어진 주파수 f_s 에서 아래 부등식이 성립될 때 CALTS는 SA에서의 최대를 위한 수신 안테나 높이 기준에 적합하다.

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

여기서,

$h_{rc}(m)$ 은 4.3.2.7을 적용한 후에 시험안테나 데이터를 사용하고 실제 기하학상의 매개변수 L_a , d , h_t 와 실제 주파수 f_s 를 사용하여 부록 C에서 기술한대로 계산되며, SA에서 최대치가 발생하는, 즉, 신호전달이 최소치인, 수신안테나의 이론상 높이이다.

$h_{r,max}(m)$ 은 4.4.5에서 기술된 절차 후에 측정된 수신안테나 높이이다.

$\Delta h_{rm}(m)$ 은 4.5.2.4에서 유도되는 수신안테나 높이 측정 불확도(95% 신뢰수준)이다.

$T_{hr}(m)$ 은 $h_{r,max}$ 의 허용공차이다.

CALTS의 사용을 요구하는 안테나교정기준에서 달리 언급되지 않는 한, 허용공차 $T_{hr} = 0.05 \text{ m}$ 이다.

주) 4.5.3.2나 4.5.3.3 중에서 적용 가능하다. 4.4.3.2 참조

4.5.3.3 수신안테나 높이 h_{rs} 에서 4.4.3.2b)에 열거된 관련 주파수 f_s 와 안테나의 동조상태에서, 아래 부등식이 성립하면 CALTS는 SA최대치를 위한 주파수기준에 적합하다.

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

여기서,

$f_c(\text{MHz})$ 는 4.3.2.7을 적용한 후에 시험안테나 데이터를 사용하고 실제 기하학적 매개변수 L_a , d ,

h_t 및 h_{rs} 를 사용하여 부록 C에서 기술한대로 계산되며, SA에서 최대치가 발생하는, 즉, 신호 전달이 최소인, 수신안테나의 이론상 주파수이다.

$f_{\max}$ (MHz)는 4.4.6에서 기술된 절차 후에 측정된 주파수이다.

Δf_m (MHz)는 4.5.2.6에서 유도된 주파수 측정 불확도(95 % 신뢰수준)이다.

T_f 는 $f_{\max}$ 의 허용공차이다.

CALTS의 사용을 요구하는 안테나교정기준에서 달리 언급되지 않는 한, 허용 공차 $T_f = 0.03 f_c$ 이다.

주) 4.5.3.2나 4.5.3.3 중에서 적용 가능하다. 4.4.3.2 참조

4.6 유효성확인 보고서

4.6.1 개요

본 기준은 CALTS를 위한 요건, 유효성확인 절차 및 적합성기준을 상세히 기술한다. 이 유효성확인 절차는 소위 "CALTS 유효성확인 보고서"를 편집하고 승인함으로써 종결된다.

본 유효성확인 보고서는 본 기준에 정해진 CALTS 요건에 대한 적합성을 추적하고 보증하는 수단이 된다.

CALTS의 소유주나 다른 당사자들은 CALTS의 유효성을 실질적으로 증명할 의무가 있을 수도 있다.

CALTS 유효성확인 보고서는 4.6.2에 주어진 요건에 적합해야 한다.

4.6.2 유효성확인 보고서의 요건

CALTS 유효성확인 보고서는 각각의 항목이 CALTS의 유효성확인 측면을 다루는 다수의 항목을 기술해야 한다. 아래에 유효성확인 보고서의 각 항목과 그 항목이 삽입되는 정당한 사유가 기술된다. 항목들을 위한 요약 체크리스트는 부록 F에 주어진다.

a) 일반적인 참고사항

CALTS 위치, 책임소유주 등의 일반적인 정보가 주어져야 한다.

시험장 유효성확인이 다른 당사자/조직에 의해 수행된다면 이들 당사자/조직은 표시되어야 한다.

그림, 사진, 부품번호 등을 이용해서 CALTS의 구성을 보조 부품들과 함께 기술해야 한다.

또한 유효성확인 조치 일자와 유효성확인 보고서 발행일이 주어져야 한다. 유효성확인 보고서의 편집과 인증에 관계된 책임자의 이름을 서명과 함께 겹표지에 나타내야 한다.

b) 유효기간 평가와 제한 조건

안테나교정에 앞서 유효 여부를 입증해야 한다는 것이 언급되어야 한다(4.2.2a 참조).

그러므로 검토 중인 CALTS의 예상 유효기간을 나타내는 일은 중요하다. CALTS는 옥내 혹은 옥외 시설일지 모르기 때문에 CALTS의 예상유효기간은 다를 수도 있고 환경의 변화, 케이블이나 흡수기의 노후 같은 각기 다른 요인에 영향을 받을 수도 있다. CALTS 유효성확인의 유효기간을 평가하여 선언하는 일은 시설소유주의 의무이다.

유효기간 평가와 관련하여 시설 이용 과정에서 변경될 수도 있는 항목과 조건들, 예를 들면, 옥외 환경, 나무, 눈, 지면의 습도 등을 식별해야 한다. 일반적으로 케이블, 장비, 안테나 및 안테나

마스터 등의 성능 안정성은 중요하다. 또 환경조건, 기구나 전파흡수체의 노화, 장비 교정의 유효성 등으로 CALTS의 유효기간을 결정할 수도 있다.

CALTS 성능의 유효성/유사성을 연속적으로 평가하기 위해 신속측정 보조기구나 육안검사 절차가 포함될 수도 있다.

특정 환경과 구성 조건 또는 한계는 명확하게 기술되어야 한다.

c) 시험안테나의 설명과 유효성확인

유효성확인 보고서의 본 항목은 안테나 요건과 함께 적합성의 입증을 다룬다.

시험안테나(요소들과 발문)는 4.3.2에 주어진 기준규격과 표 2에 주어진 적용 값에 적합해야 한다. 기준규격의 각 항목들은 검사 또는 측정 가운데 한 방법으로 적합성을 확인해야 한다. 적합성 검증결과는 부록이나 별도 자료(사진, 측정결과, 교정결과, 급전자진술 등)로 이용할 수 있어야 한다.

d) 시험장치

유효성확인 보고서의 본 항목은 시험 장치에 관한 증명을 다룬다. 시험 장치는 4.4.2에 주어진 기준규격과 표 2에 제시된 적용 값에 적합해야 한다.

기준규격의 각 항목들은 검사나 측정 중의 한 가지 방법에 의해 적합성이 확인되어야 한다. 적합성확인 결과는 부록이나 별도 문서에서 이용할 수 있어야 한다.

e) 유효성확인 측정

4.4.4에 주어진 절차에 적합하게, 그리고 표 1에서 주어진 시험주파수와 안테나 높이에서 수행되는 시험장 감쇠량 유효성확인 측정결과는 유효성확인 보고서의 본 절에서 기술되어야 한다. 또한, 안테나높이 스캔측정(4.4.5)이나 주파수 스캔측정(4.4.6)도 본 항목에서 언급되어야 한다.

f) 시험장 감쇠량과 그의 공차 계산

유효성확인 보고서의 본 항목은 안테나 길이가 부록 C의 절차를 이용하여 계산되는지 여러 가지 수치상의 절차를 이용하여 계산되는지 나타내야 한다. 시험장 감쇠량 계산 결과와 전체 측정불확도 계산 결과는 표 2의 공차에 대한 편차의 경우 기본값 또는 계산값을 이용하여 본 항목에 제시되어야 한다.

g) 적합성기준 계산

유효성확인 보고서의 본 항목에서 SA 의 계산된 값과 측정된 값, 그리고 대응하는 허용 공차와 불확도를 방정식 (6)에 사용하여 주파수 함수로서의 적합성을 결정한다. 높이 기준(방정식 7)이나 주파수 스캔 기준(방정식 8)에 대한 적합성도 비슷한 방식으로 결정된다.

h) 적합성의 최종 선언

측정된 시험장 감쇠량이 모든 주파수에서 방정식(6)에 적합하고 높이나 주파수 스캔 기준조건을 충족시킨다면 고려중인 CALTS는 항목 b)에 제시된 유효기간과 기술된 제한조건 및 구조를 고려하여 CALTS의 요건에 적합함을 선언할 수 있다.

4.7 수직편파에 대한 CALTS의 유효성확인

현재 고려중인 사항임.

4.7.1 개요

4.7.2 시험장 규격

4.7.3 유효성확인 절차

4.7.4 적합성 기준

4.7.5 유효성확인 보고서

부록 A

(정보)

CALTS 요건

A.1 개요

기준규격들에는 일반적으로 CALTS가 야외시험장(OATS)임을 의미한다. 그러나, 기준규격은 CALTS가 항상 야외시험장이 되기를 요구하지는 않는다. 결과적으로, CALTS는 모든 기준규격을 충족하기만 하면 기후로부터 보호되는 큰 소금광산에 위치할 수도 있다.

시험장에 대한 세부규격은 K 00016-1-4의 제5항에 주어져 있다. 부가적인 정보는 아래에 기술된다. 본 기준의 사용자에게 참조목록을 제공하기 위해서 각별한 주의를 기울여왔다. (조항 A.4 참조)

A.2 반사면

A.2.1. 반사면 설치

반사면의 재료는 튼튼한 박판이나 철망이 사용된다. 박판이나 철망은 이음매를 따라 연속적으로 용접되거나, 이음매를 따라 거리 $< \lambda_{\min}/10$ 을 만족하도록 용접되어야 한다. 여기서, $\lambda_{\min}$ 은 검토될 최대 주파수에 상응하는 파장이다. 철망을 선택할 경우 주의를 기울여 교차하는 와이어들이 서로 전도성 접촉이 잘 되게 해야 한다. 망의 폭은 $< \lambda_{\min}/10$ 이다.

재료의 두께는 기계적 강도와 안정성 요건에 의해 결정된다. 철의 전도율 이상이면 충분히 높다. 반사면의 모양은 타원형이 아니라면 그다지 중요하지는 않다 (A.2.2 참조). 반사면은 너무 두터운 보호 층으로 덮여서는 안 되는데, 보호 층이 두터우면 반사파의 위상이 바뀔 수 있기 때문이다. 다시 말하면, 그런 보호층은 4.4.1의 ϕ 를 π 라디안과 달라지게 하기 때문이다[A.4]*. 반사면의 편평도와 거칠기에 관한 사항은 K 00016-1-4의 5항과 [A. 3]을 참조한다. 1 000 MHz까지의 측정에는 통상 ± 10 mm 의 편평도로 충분하다.

안테나 교정과 관련한 불확도 여유에 대한 유한평면 치수의 영향이 충분히 낮을 만큼 반사면의 가로 치수가 커야 한다. 안테나 교정의 결과로서 최소 수평면의 치수를 지정된 최대 불확도 여유와 결부시키는 이론상의 모델이 없어 유감이다. 제 1 프레넬 존이 반사면에 포함되어야 한다는 것이 가능한 기준이다([A.1][A.2][A.3]). 그 결과 최소 치수가 20 m(길이) $\times$ 15 m(폭)인 어떤 평면이 되지만 더 작은 어떤 평면도 CALTS의 요건을 충족시킬 수 있다. 가장 낮은 주파수(30 MHz)에서 시험안테나의 길이 L_a 는 약 5 m이다. 20 m $\times$ 15 m 평면일 경우 30 MHz - 1 000 MHz 주파수 범위에서 평면상의 유효성확인 장치 구성의 투영과 평면의 가장자리 사이의 거리는 L_a 이상이다.

* 각괄호 안의 참고문헌은 A.4 조항에 나오는 참고문헌을 가리킨다.

A.2.2 평면-가장자리 효과와 평면 주변 환경

반사면의 치수를 제한할 경우 반사면의 가장자리는 자동적으로 다른 반사 특성을 지닌 매체로의 천이를 나타내어 전기자기파가 가장자리에서 산란하므로 측정결과에 바람직하지 못한 영향을 미친다. 가장자리 회절은 통상 수직편파 결과에 대해서는 인지되지만 수평편파 결과에 대해서는

무시해도 좋을 정도다[A.7].

산란량은, 무엇보다도, 반사면이 주변 지표면과 같은 평면 내에 있는지 (토양의 건조함과 습함으로 인해 차이가 개입될 수 있음 [A.5]) 또는 지붕 위에 설치된 경우처럼 반사면이 위로 상승하여 있는지에 따라 달라진다. 조사결과는 [A.6]에 나오는데, 가장자리 산란량에 의한 불확도가 누적될 수 있는 경우에서와 같이 반사면이 결코 제1 프레넬 타원의 형상이 되지 않아야 함을 보여준다.

반사면의 가장자리는 주변 토양에 다점접지가 되어 있을 수 있으며 토양의 전도도가 좋을 경우, 예를 들어, 습할 경우에 금속 반사면의 좋은 확장면을 형성한다[A.7].

잠재적인 반사장애물이 일정거리 내, 말하자면, 반사면 경계로부터 40 m 내에 위치할 경우 이러한 장애물의 영향이 무시될 수 있음을 검증하여야 한다. 이 검증은 고정길이 다이폴 안테나를 이용하는 소인주파수 측정에 의하여 수행될 수 있다. 그러한 측정은 4.4.6에 기술된 측정과 비교할 만하다. $h_t = 2$ m인 송신안테나의 경우, (f_r 에 동조된) 고정길이 안테나, 관련 소인주파수범위 및 수신 안테나의 고정높이 h_r 의 가능한 선택 사항이 표 A.1에 주어진다. 광대역 접근법은 NEC와 같은 수치적 기법을 이용하여 계산될 수 있다 (조항 C.3 참조)[C.5].

표 A.1 - 고정길이 다이폴 안테나, 소인주파수 범위 및 수신안테나 높이의 조합

f_r MHz	B_s 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

이상이 없는 경우 응답은 부드럽게 변한다. 이상이 있는 경우 비교적 협대역 공진이 이 응답에 겹쳐져 나타난다. 이러한 공진은 주변 장애물로부터의 반사가 심한 주파수대를 정확하게 찾게 해준다. 의심되는 장애물의 위치는 최대효과를 주는 어떤 각도를 향하게 하여, 장애물 앞에 큰 금속판을 놓고 이들 주파수에서 효과가 과장되게 하여 검증될 수 있다.

A.3 보조장비

CALTS가 COMTS로도 사용될 경우 안테나 마스트 재료, 어댑터, 로프, 마스트와 로프의 습도 효과, 케이블의 유도, 커넥터, 회전반의 존재유무 등이 측정결과에 영향을 미치지 않게 주의를 기울여야 한다. 또한 이러한 경우에는 A.2에서 언급된 소인주파수 측정으로 가능한 문제점을 찾아낼 수 있다.

A.4 참고문헌

- [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 9 kHz to 40 GHz, 1992.
 [A.2] Microwave Antenna Measurements, Hollis, J.S., Lion T.J. and Clayton L. (Editor),

Scientific Atlanta Inc., 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, Livshites B. and Harpell K. IEEE EMC Symposium, Denver, pp 352-355, 1992

[A.5] Site Attenuation for Various Ground Conditions, Sugiura A., Shimizu Y. and Yamanaka 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)

시험안테나 고려사항

시험안테나의 예는 조항 B.1에 기술된다. 조항 B.2는 4.3.2.6에 언급된 S-파라미터 측정 또는 주입 측정으로부터 발룬 특성을 결정하는 방법을 논한다.

B.1 시험안테나의 예

[B.1]*에 기초한 시험안테나의 예를 그림 B.1에 보였다. 안테나의 발룬은 다음과 같이 구성된다.

a) 합()포트 (Σ)가 항상 특성부하 임피던스(50 Ω 으로 가정)로 종단되고 차()단자(Δ)는 시험 안테나의 입력/출력 단자로 된 180° 3 dB 하이브리드 결합기.

b) 고품질의 커넥터, 예를 들어, SMA 커넥터를 통한 하이브리드 결합기의 평형단자 A와 B에 연결된 세미리지드 동축케이블. 케이블 길이는 대략 1 m이며 이 길이는 와이어 안테나를 마스터와 결합기의 반사로부터 격리시키는데 사용된다.

c) 발룬 및 연결 안테나 케이블의 공통모드 전류의 유도를 제한하는 세미리지드 케이블 주위의 페라이트 비드(F)

d) SMA 커넥터를 통해 와이어 요소가 부착되는 임피던스 안정화 또는 정합용 패드로 작용하는 세미 리지드 케이블 출력단의 3 dB 감쇠기. 이러한 커넥터는 4.4.4와 부록 C에서 언급한 A 와 B 단자(혹은 C와 D 단자)를 형성한다. 이들 커넥터의 외부 도체는 와이어 안테나에 근접하여 전기적으로 접촉되어 있다. 접촉점은 S-파라미터 측정을 수행할 때의 발룬 기준점이 된다.

진술한 발룬은 유용한 발룬의 한 예일 뿐임에 유의해야 한다. 다른 형태의 발룬도 사용될 수 있다. 4.3.2의 요건만 충족하면 사실상 모든 형태가 허용된다.

와이어 요소는 부착 후에 시험안테나가 4.3.2.2의 $L_a(f)$ 요건을 충족할 만한 그런 길이가 되어야 한다. ($L_a(f)$ 의 계산에 대해서는 C.1.1 참조). 표 C.1에서 $f < 180$ MHz이면 와이어 요소의 직경은 10 mm 라고 가정하였으므로 상대적으로 긴 와이어 안테나는 기계적으로 충분한 강도를 지닌다. 또 표 C.1에서는 $f = 180$ MHz 주파수에서 3 mm 의 소자 직경이면 충분한 것으로 가정하였다. $f < 60$ MHz 의 주파수에서 소자는 접이식이 되거나 고정길이 다이폴 안테나로 만들어 질 수도 있다(부록 D 참조).

B.2 발룬 특성 결정

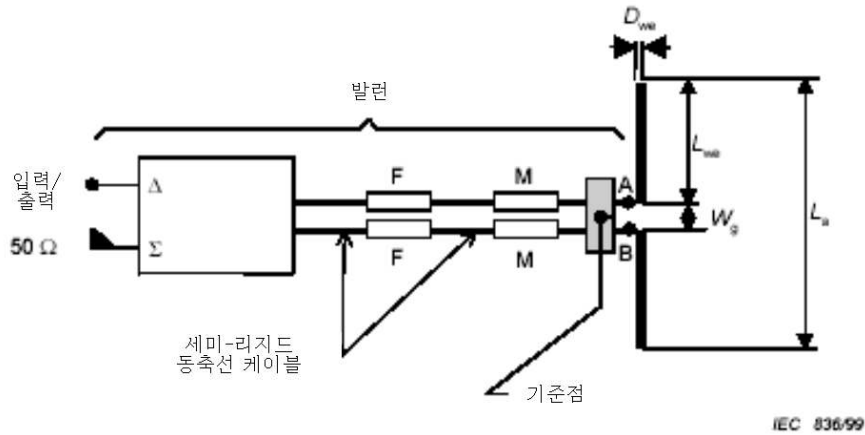
B.2.1 이상적인 무손실 발룬

이상적인 무 손실 발룬은 세 개의 모든 단자(그림B.2)가 특성 임피던스로 종단된 경우 진폭은

정확히 같고 위상은 정확히 180° 차이가 나는 A 및 B 단자에서 신호를 얻어 특성을 알 수 있다.

* 사각괄호 내의 참조는 조항 B.3에 주어지는 참조문헌을 가리킨다.

동일한 조건 하에서 어떠한 단자도 입력신호를 반사시키지 않으며, 단자 2의 입력신호는 단자 3으로 전달되지 않는다. (그 역도 성립함).



F = 페라이트 비드, M = 정합 패드

주 발룬은 동축형 하이브리드 집합을 이용한다.

그림 B.1 - 시험안테나의 예

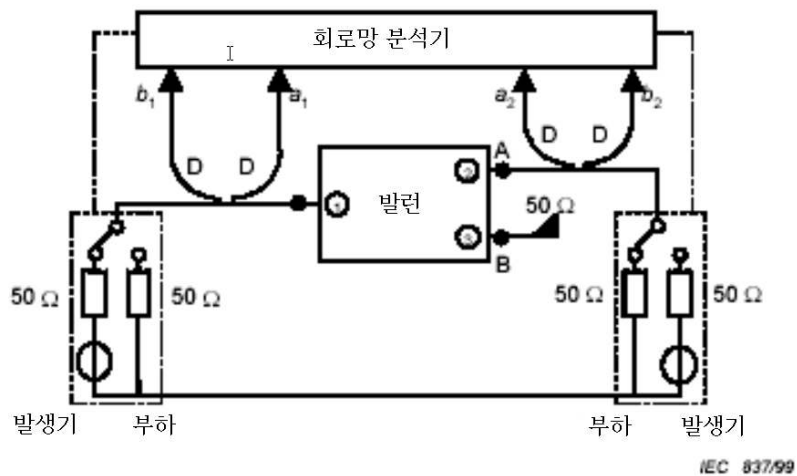


그림 B.2 - 발생기와 부하가 교환될 때 S_{11} 및 S_{12} 그리고 S_{22} 및 S_{21} 의 측정도(그림에서는 두 스위치를 이들의 대체 위치에 두어 교환됨)

S-파라미터를 측정하기 위한 기본적인 장치는 그림 B.2에 제시된다. 발룬의 불평형 입력/출력 단자에는 번호 "1", 평형단자에는 번호 "2"와 "3"이 붙여진다.

이들 세 단자 각각의 특성 임피던스는 50Ω 으로 가정한다(4.3.2.5 참조). 그림 B.1과 비교하면 발룬 일체(결합기, 케이블 등)는 그림 B.2에 "발룬"이라는 표지가 붙은 단일박스로 표시된다. 그림 B.1의 하이브리드 결합기의 합 단자는 항상 이의 특성 임피던스에서 종단되므로 어떤 역할도 수행하지 못한다.

S-파라미터는 그림 B.2에서 a_1 혹은 a_2 로 표시되는 입사신호와 b_1 및 b_2 로 표시되는 산란파 사이의 관계를 규정한다. 입사신호와 산란신호는 지시결합기(D)를 통해 분석기에 의해 측정된다. 매개 변수 $S_{11} = b_1/a_1$ 과 $S_{21} = b_2/a_1$ ($a_2 = 0$ 인 조건에서)은 단자 3을 50 Ω 으로 종단한 상태에서 측정된다. 발생기와 부하를 교환하면(양 스위치의 위치를 변경함으로써), $S_{22} = b_2/a_2$ 과 $S_{12} = b_1/a_2$ ($a_1 = 0$ 인 조건에서)이라는 측정결과를 얻는다. 이와 유사하게 단자 2를 50 Ω 의 부하로 종단하고 단자 1과 3사이를 측정하여 S_{11} 및 S_{13} , S_{31} 및 S_{33} 을 산출한다. 마지막으로, 단자 1을 50 Ω 부하로 종단하고 단자 2과 3사이를 측정하여 S_{22} 및 S_{33} , S_{23} 및 S_{32} 를 (다시) 산출한다.

이상적인 무 손실 발룬의 S-파라미터 행렬은 다음 식으로 주어진다.

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

단자에서 반사가 없기 때문에 위의 S-행렬에서 $S_{11} = S_{22} = S_{33} = 0$ 이다. 평형이 완벽하며 (발룬이 무 손실일 때 동등한 절대값은 1) 위상이동은 정확히 180° ("-" 부호로 표시)이므로 $S_{12} = S_{21} = 1$ 및 $S_{13} = S_{31} = -1$ 이다. 마지막으로, 단자 2와 단자 3 사이의 분리가 완전하기 때문에 $S_{23} = S_{32} = 0$ 이다.

B.2.2 발룬 특성과 S-파라미터 사이의 관계

S-행렬은 발룬의 입력 및 출력 전류와 전압의 임피던스 행렬로 변환될 수 있다. 특성 임피던스에서 단자 1을 종단하고 단자 2와 3만을 고려하면 다음과 같이 표시될 수 있다 ([B.2] 참조).

$$\begin{pmatrix} Z_{22} & Z_{23} \\ Z_{32} & Z_{33} \end{pmatrix} = \frac{50}{(1 - S_{22})(1 - S_{33}) - S_{23}S_{32}} \cdot \begin{pmatrix} (1 + S_{22})(1 - S_{33}) + S_{23}S_{32} & 2S_{32} \\ 2S_{23} & (1 - S_{22})(1 + S_{33}) + S_{23}S_{32} \end{pmatrix} \quad (\text{B.2})$$

그리하여 임피던스 Z_{AB} (4.3.2.5a 참조)는 다음 방정식으로 주어진다.

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

Z_{AB} 의 측정 값은 SA_c 에의 계산에 필요하다(부록 C 참조). 그 계산에 필요한 기타 발룬의 임피던스 Z_{CD} 도 이와 유사하게 결정된다.

아래와 같은 경우 관련 VSWR은 4.3.2.5 a) 및 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) 하이브리드 결합기 자체가 방정식(B.4)에서 공식화된 요건에 적합하지 않을 경우 VSWR은 매우 낮은 VSWR의 정합감쇠기(그림 B.1에서 M)를 이용하여 낮출 수 있다.

실제 발룬의 평형 및 위상변화는 다음 식을 고려하여 검증된다.

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

다음 부등식이 성립할 경우 진폭평형은 4.3.2.5 b) 및 표 2에 적합하다.

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

또 아래 부등식이 성립될 경우 위상평형은 4.3.2.5 c) 및 표 2에 적합하다.

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

실제 발룬의 격리는 S_{23} 및 S_{32} 의 실제값을 고려하여 검증된다. 아래 등식이 성립될 경우 4.3.2.5의 주) 4에 적합하다.

$$|S_{23}| = |S_{32}| < 0.05 \quad (\text{B.8})$$

실제 발룬에서의 가능한 손실은 CALTS의 유효성확인 절차에서 기준전압 U_r 의 측정 중에 밝혀진다. 예)에서 사용되고 그림 B.1에 보인 발룬의 경우, 발룬 손실의 주원인은 3 dB 정합패드에서 비롯된다.

B.2.3 삽입손실 측정

그림 B.3과 B.4에서 보인 주입손실을 측정하여 4.3.2.5 b)와 4.3.2.5 c)에서 규정한 발룬의 규격을 검증할 수도 있다. 그 결과로부터 소위 발룬 불평형 제거(BUR)가 결정될 수 있다.

측정은 4.4.4.1에서와 같이 헤드와 헤드와 연결된 두 개의 동일한 발룬의 삽입손실 $A_1(f)$ 측정과 평형단자 2 와 3 (그림 B.4참조)이 평형으로 연결될 때의 단일 발룬에 대한 삽입손실 $A_2(f)$ 의 측정으로 구성된다. A1이 두 발룬의 동등한 기여분에서 비롯된다고 가정하면 공통모드 제거라고도 하는 발룬 평형 제거 (데시벨로 표현)는 다음 방정식으로 주어진다.

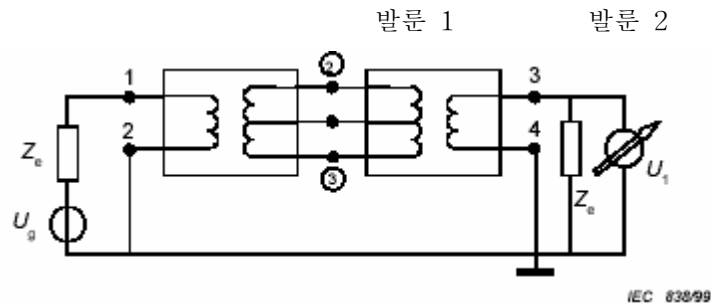


그림 B.3 - 삽입손실 $A_1(f)$ 의 측정 개념도

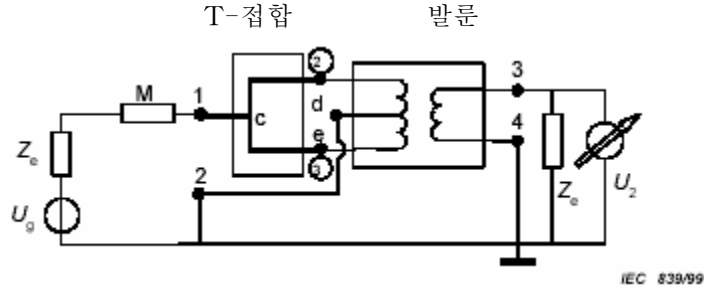


그림 B.4 - 삽입손실 $A_2(f)$ 의 측정 개념도

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

발룬이 앞서 언급한 조항과 $BUR > 28$ dB일 때 표 2에서 주어진 공차의 관련된 값들에 적합함을 보일 수 있다.

첫 번째 삽입손실을 측정할 때는 발룬에 대해서 지정된 주파수대역에 걸쳐 주파수 함수로서의 기준전압 $U_{r1}(f)$ 를 먼저 측정한다. 측정회로는 그림 B.3 회로와 같되, 두 발룬이 없는 상태에서 연결점 1과 3 및 2와 4 사이는 단락된다. 다음으로, 전압 $U_1(f)$ 은 헤드와 헤드가 연결된 두 발룬을 삽입한 후에 측정된다(그림 B.3). 이어서, 데시벨로 표현되는 $A_1(f)$ 는 다음 방정식으로 주어진다.

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

두 번째 삽입손실을 측정할 때는 발룬에 대해서 지정된 주파수대역에 걸쳐 주파수 함수로서의 기준전압 $U_{r2}(f)$ 를 먼저 측정한다. 측정회로는 그림 B.4 회로와 같되, 두 발룬이 없는 상태에서 연결점 1과 3 및 2와 4 사이는 단락된다. 다음으로, 전압 $U_{2a}(f)$ 는 T-접합과 검증할 발룬을 삽입한 후에 측정된다(그림 B.4). 이 측정에서 단자 2와 3 (그림 B.2 참조)은 세미 리지드 케이블로 되어 있고 전기적 길기가 동일한 T의 c-d 및 c-e 부품들을 갖는(완전한 기계적 대칭) 동축형 대칭 T-접합을 통해서 나란히 연결된다. 그림 B.4에 M으로 표시한 6 dB 정합감쇠패드가 정재파효과를 방지하기 위해서 추가되었다.

기생효과에 기인한 오류를 피하기 위해서, 발룬과 T-접합 사이의 연결을 역으로 한 후, 즉, d를 단자 3에 연결하고 e를 단자 2에 연결하고 난 후, 위의 두 번째 측정을 반복한다. 이 측정으로 전압 $U_{2b}(f)$ 를 산출한다. 이어서, 아래 방정식으로 데시벨 단위의 $A_2(f)$ 를 구한다.

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

모든 주파수에서 이상적인 발룬에 대하여 $A_2(f) = \infty$ dB 이다.

주) 이 T-접합과 6 dB 감쇠기 대신에 교정된 6 dB 전력분배기가 사용될 수 있다. 이 경우 BUR 계산 시에는 전력분배기에 기인하는 감쇠가 고려되어야 한다.

B.3 참고문헌

- [B.1] Standard Linear Antennas, 30-1 000 MHz, 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 30 MHz to 1 GHz using Calculable Standard Dipole Antenna and National Reference Ground Plane, Alexander M.J., IEEE Proc. Sci. Meas. Technol., vol. 143, no. 4, pp 221-228, July 1996.

부록 C (정보) 안테나 및 시험장 감쇠량 이론

C.1 해석적 관계

본 조항은 와이어 안테나의 총길이 $L_a(f)$ 의 계산(C.1.1)과 시험장 감쇠량 SA_c (C.1.2)의 해석적 접근방법을 제시한다. 이 모델은 송신안테나, 수신안테나 및 반사면 내의 영상 사이의 상호 결합을 고려한다. 또한, 수신안테나 주위의 실제 전자기장 분포를 설명한다. 즉 수신안테나에 도달하는 전기자기파가 평면파라고 가정하지 않는다. 이 접근방법에서 유일한 가정은 와이어 안테나의 전류 분포가 사인파라는 것이다.

분석적 접근방법으로 계산되는 SA_c 값은 충분히 얇은 와이어 안테나의 L_a 의 값이 해석적 접근에 사용된다면 정확한 수치 계산으로부터 얻어진 SA_c 값의 0.01 dB 범위 내에 있다. 본 규격의 내용에서 '충분히 가늘다'라는 의미는 와이어 안테나의 반경 R_{we} 가 다음의 조건[C.1]*을 충족하는 것이다.

$$\alpha = 2 \ln (L_a / R_{we}) \quad (\alpha \geq 30)$$

반파장 다이폴 안테나($L_a = \lambda_0/2$)에 대해서, 이 조건은 다음 방정식으로 주어진다.

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

측정불확도 고려를 포함하는 완전한 수치의 예는 C.1.3에 주어진다. 부록 E에서 다양한 양을 계산하는 컴퓨터 프로그램의 예를 제시한다.

C.1.1 시험안테나의 총길이

정의에 의해서, 주파수 f 에서 시험안테나, 즉, 자유공간 공진 다이폴 안테나의 총 길이 $L_a(f)$ 는 다음 공식을 풀면 얻어진다.

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

여기서,

$X_a(f, R_{we})$ 는 비속박 매질, 즉, 자유공간으로 복사되는 다이폴 안테나 임피던스의 허수부.

R_{we} 는 와이어 요소의 반경. 길이방향(접이식이 아닌 소자)으로 일정하다고 가정하고 L_a 보다 훨씬 작은 상수로 가정된다.

* 사각괄호 내의 참조는 조항 C.3에 주어지는 참고문헌을 가리킨다.

급전점 간극(feed-point gap)은 무한히 작은 것으로 가정된다. X_a 는 다음 방정식에 의해 주어진다 ([C.2] 참조).

$$X_a = \frac{\eta}{4\pi} \times [2Si(kL_a) + \cos(kL_a) \times \{2Si(kL_a) - Si(2kL_a)\}] \quad (C.3)$$

$$- \sin(kL_a) \{2Ci(kL_a) - Ci(kL_a) - Ci(2kR_{we}^2/L_a)\}$$

$$\times \sin^{-2}(kL_a/2)$$

여기서,

$\eta = 377 \, \Omega$, $k = 2\pi/\lambda_0$, λ_0 는 진공 중의 파장이다. $Si(x)$ 와 $Ci(x)$ 는 아래 방정식으로 주어진다.

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

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

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

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

그리고 [C.3]으로부터 충분히 정확하게 계산할 수 있다.

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

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

$$f(x) = \frac{1}{x} \left(\frac{x^4 + a_1 x^2 + a_2}{x^4 + b_1 x^2 + b_2} \right), \quad g(x) = \frac{1}{x^2} \left(\frac{x^4 + c_1 x^2 + c_2}{x^4 + d_1 x^2 + d_2} \right) \quad (C.5c)$$

여기서 $a_1=7.231163$ $b_1=9.068580$ $c_1=7.547478$ $d_1=12.723684$

$a_2=2.463936$ $b_2=7.157433$ $c_2=1.564072$ $d_2=15.723606$

표 C.1의 $L_a(f)$ 데이터는 (C.3) - (C.5)를 사용하며 방정식 (C.2)로부터 유도할 수 있다.

C.1.2 이론적 시험장 감쇠량

시험장 감쇠량(SA)는 회로망 모델[C.4]을 사용하여 계산된다(그림 C.1참조). RF발생기는 송신안테나의 발룬에서 급전단자 A와 B에 신호를 보낸다. 수신안테나의 급전단자의 C와 D에 도달하는 신호는 수신기 임피던스 Z_r 에서 측정된다. 케이블과 발룬은 T-회로망으로 표시된다.

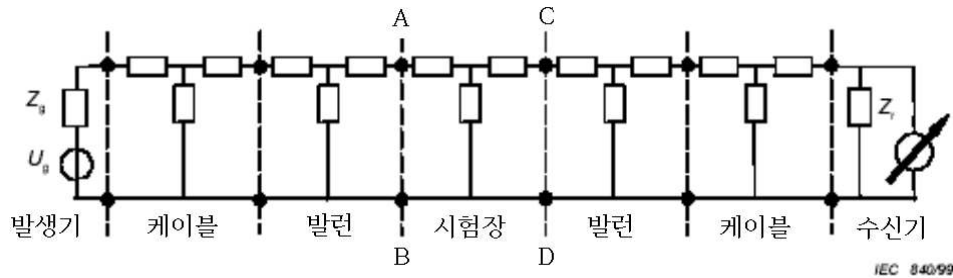


그림 C.1 - SA계산을 위한 회로망 모델

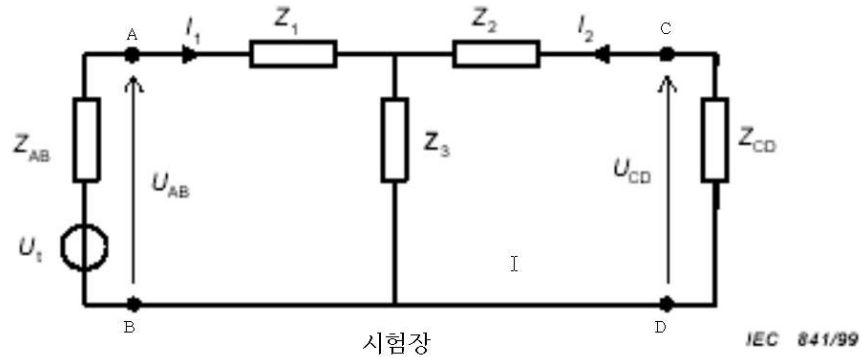


그림 C.2 - 그림 C.1 회로망의 등가회로

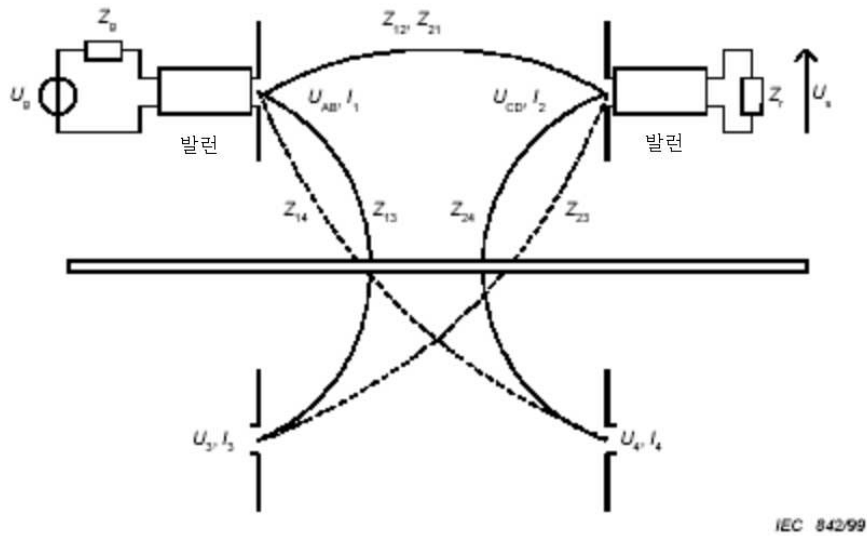


그림 C.3 - 반사면 상의 안테나의 상호결합, 급전단자 전압, 안테나 전류의 정의와 이들의 영상

기준전압 $U_{r1}(f)$ 와 $U_{r2}(f)$ (4.4.4.1과 4.4.4.4 참조)를 측정할 때 급전단자 A와 C는 임피던스가 무시될 정도의 짧은 도선으로 상호 연결된다. B와 D도 같은 방식으로 연결된다. 와이어 안테나를 급전단자에 연결하고 시험안테나를 지정된 위치에 둔 상태에서 $U_s(f)$ 를 측정할 때(4.4.4.3 참조), 신호 전달에 대한 시험장의 영향이 그림 C.1에 나타낸 단자 AB와 CD를 갖춘 T-회로망에 의해서 표시된다.

그림 C.1 회로는 그림 C.2 회로로 단순화되며, 그 회로에서 Z_{AB} 와 Z_{CD} 는 측정된 평형단자 임피던스이다(부록B 참조). 그림 C.2 회로로부터 ($Z_1=Z_2=0$ 그리고 $Z_3=\infty$ 이 되도록 하여) 기준전압 U_r 을 측정할 때 아래 식이 성립된다.

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

U_s 를 측정할 때 아래 식이 성립되는 것도 당연하다.

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

그러므로 시험장 감쇠량 계산치 SA_c 는 아래 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, Z_3 를 그림 C.3에서 보인 대로 실제상황에, 즉, 반사면 위의 두 시험 안테나와 결부시키는 것이다.

송신단자 1(급전단자 A와 B)와 수신단자 2 (급전단자 C와 D)사이의 신호전달은 안테나들과 이들의 상 사이의 다양한 결합에 영향을 받는다. 그림 C.3에서 이는 전달 임피던스 $Z_{nm}(n, m:1 - 4, n \neq m)$ 을 나타낸다.

단자전압 U_{AB} 와 U_{CD} 는 다음 방정식을 통해서, 그림 C.3의 네 안테나의 안테나 전류 $I_1 - I_4$ 와 결부된다.

$$U_{AB} = Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2 + Z_{13}I_3 + Z_{14}I_4$$

$$U_{CD} = Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2 + Z_{23}I_3 + Z_{24}I_4 \quad (C.9)$$

이론적인 반사면과 서로 평행으로 정렬된 수평편파 안테나인 경우 $I_3 = \rho I_1$ 그리고 $I_4 = \rho I_2$ 이다. 여기서 $\rho = re^{j\phi}$ 는 도체면의 복소 반사계수이다. 이상적인 경우 현재의 구조에서 $\rho = -1$ 이 된다. 더욱이 가역성에 의하여 $Z_{12} = Z_{21}$ 그리고 $Z_{23} = Z_{14}$ 이다. 그러므로 방정식 (C.9)는 다음과 같이 표현된다.

$$U_{AB} = (Z_{11} + \rho Z_{13})I_1 + (Z_{12} + \rho Z_{14})I_2$$

$$U_{CD} = (Z_{12} + \rho Z_{14})I_1 + (Z_{22} + \rho Z_{24})I_2 \quad (C.10)$$

그림 C.2 회로에서 다음이 성립한다.

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

그리고 방정식(C.10)과 비교하면 다음의 결과를 얻는다.

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

그러므로 방정식(C.8)은 다음과 같이 고쳐 쓸 수 있다.

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

(C.9)로부터 Z_{11} 과 Z_{22} 는 자유공간(그러므로 반사면이 없음)으로 방사하는 와이어 안테나의 입력 임피던스이다. 이들 임피던스의 허수 부분은 방정식(C.3)에 의해서 주어지는 $X_{11} = X_{22} = X_a$ 로부터

계산될 수 있으며, 실수 부분 $R_{11}=R_{22}=R_a$ 는 아래 식으로 계산될 수 있다.

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

상호 임피던스 Z_{12} , Z_{13} , Z_{14} , Z_{24} 는 로렌츠 가역정리(Lorentz reciprocity theorem)[C.1, C.2]의 도움으로 계산될 수 있다. 이 계산에서 와이어 안테나 상의 실제 전자기장 분포가 고려되므로 수신안테나에 도달하는 평면파를 가정할 필요가 없어진다. 필요한 유일한 가정은 $L_a(f) \approx \lambda_0/2$ 일 경우 그리고 R_{we} 가 방정식(C.1)에 주어진 조건을 만족할 경우에 허용되는 와이어 안테나의 전류 분포가 사인파라는 것이다.

$Z_{nm} = R_{nm} + jX_{nm}$ ($n=1, \dots, 4$, $m=1, \dots, 4$, $n \neq m$)인 경우, 실수부는 다음 방정식에 의해 주어진다[C.1].

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

그리고 허수부는 아래 식으로 주어진다.

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

여기에 R_{nm} 은 안테나 n 과 m 사이의 중심거리이며,

$$\begin{aligned}
s_1 &= \sqrt{r_{nm}^2 + L_a^2} + L_a, \quad s_2 = \sqrt{r_{nm}^2 + L_a^2} - L_a \\
s_3 &= \sqrt{r_{nm}^2 + (L_a/2)^2} + L_a/2, \quad s_4 = \sqrt{r_{nm}^2 + (L_a/2)^2} - L_a/2 \quad (C.16)
\end{aligned}$$

4.5.3.1에서 요구한 대로, 방정식 내의 모든 임피던스를 알고 있으므로 이제 SA_c 는 방정식 (C.12)으로 계산될 수 있다 [Z_{AB} 와 Z_{CD} 는 실험 데이터(부록 B 참조)로부터 알 수 있으며 다른 임피던스들은 방정식 (C.3), (C.13) ~ (C.16)으로 계산될 수 있다]. 4.5.3.2에서 요구하는 대로 $h_{r,max}(f_s)$ 를 결정하며 4.5.2.2와 4.5.3.2에서 요구하는 대로 측정 불확도 ΔSA_t 와 $\Delta h_{r,max}$ 를 계산하기 위해서

동일한 방정식이 주어진 주파수에서 $SA_c(h_r)$ 을 계산하는 데 사용될 수 있다.

C.1.3 수치적 사례

수치적 사례의 결과는 표 C.1(L_a 및 SA_c 계산), 표 C.2(ΔSA_t 계산), 표 C.3(h_{rc} 및 Δh_{rt} 계산), 표 C.4(f_c 및 Δf_t 계산)에서 주어진다. 이러한 데이터를 계산하는 컴퓨터 프로그램의 예는 부록 E에 주어진다.

모든 계산에서, 수신안테나의 높이와 송신안테나의 높이, 안테나간의 수평중심거리, 그리고 주파수들은 4.4에 지정되는 값을 가진다. 측정 불확도 계산을 수행할 때는 4.5.2.1에 주어진 공차가 사용된다.

30 MHz $\leq f < 180$ MHz의 주파수범위에서 와이어 안테나의 반경 $R_{we}=5.0$ mm, 180 MHz $\leq f \leq 1000$ MHz의 주파수범위의 경우 $R_{we}=1.5$ mm로 가정한다.

C.1.3.1 L_a 및 SA_c 계산 (표 C.1)

안테나 길이 $L_a(f)$ 는 방정식(C.2)에서 계산된다. $SA_c(f)$ 의 값은, 균형단자 임피던스가 기준값 (100 + j0) Ω 인 발룬과 이상적인 반사면, 즉 $\rho = -1$ 로 가정하여, 방정식 (C.13) ~ (C.16)으로 계산된다.

C.1.3.2 ΔSA_t 계산 (표 C.2)

95% 신뢰도의 측정 불확도 ΔSA_t (4.5.2.2)는 다음 식으로 계산될 수 있다([C.6] 참조).

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

변수 $\Delta SA_c(i)$ 의 직각확률분포를 가정하고 $p=9$ 개 변수($h_r, h_t, d, f, Z_{AB}, Z_{CD}, L_a, A_b, \phi_b$ (표 2 참조)일 때의 불확도를 계산한다.

앞쪽 6개 변수에 대해서, ΔSA_c 는 다음과 같이 계산된다.

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

여기서,

SA_c 는 C.1.3.1에서 계산되는 바와 같이 시험장 감쇠량의 공칭값이다.

$SA(p_i + \Delta p_i)$ 와 $SA(p_i - \Delta p_i)$ 는 변수 p 에 공차 Δp 를 더한 값과 p 에 Δp 를 뺀 값에 대한 시험장 감쇠량의 계산값이다.

표 2에 지정된 $\Delta h_r, \Delta h_t, \Delta d, \Delta f$ 에 기인하는 결과는 표 C.2의 제 3열에서 제 6열에 주어진다.

주) Δf 의 효과를 계산할 때 안테나 길이 L_a 는 공칭주파수에서 L_a 와 같은 상수로 유지된다. 부록 E에서

주어진 컴퓨터 프로그램의 "procedure SA"에서 주파수를 의미하는 변수 " f "를 변화시킬 때 변수 " f_0 "는 상수 L_a 를 유지한다.

표 C.1 - 수치적 사례, L_a 및 SA_c 의 계산 (C.1.3.1 참조)

f MHz	h_r m	R_{we} mm	L_a m	SA_c dB	f MHz	h_r 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	1000	1.20	1.50	0.140	42.71

임피던스 Z_{AB} 와 Z_{CD} 에 대하여, 표 2에서는 최대 1.10의 VSWR를 규정한다. 해당 수치적 사례에서 이는 두 임피던스가 임피던스 평면 내의 어떤 원(중심 $p=100+j0$ Ω, 중심, 반경 $\Delta p = 9.5$ Ω)이 경계로 됨을 의미한다. $p=(100\pm\Delta p+j0)$ 과 $p=(100\pm j\Delta p)$ 에 대한 계산을 수행하는 것만으로 충분하다는 것이 조사결과로 밝혀졌다. 계산의 결과는 제 7열과 제 8열에 주어진다. 표 C.2 제 7, 8열에 주어진 ΔSA_c 의 값들은 $h_r=h_t$ 일 때만 동등하다는 것에 유의한다.

L_a , A_b , ϕ_b 와 관련한 ΔSA_c 는 조항 C.2에서 논의되었던 것과 같은 수치적 기법을 통해 추산될 수 있을 뿐이다. 이러한 기법을 사용하면 $\Delta SA_c(L_a)<0.03$ dB와 $\Delta SA_c(A_b, \phi_b)<0.03$ dB임을 알 수 있다.

표 C.2 제 9열은 앞 열의 6개 ΔSA_c 값의 제곱합 제곱근(root sum square, RSS)값 $\Delta SA_{\Sigma} = \sqrt{[\sum(\Delta SA(i))]}$ 를 제시한다. 제 10열의 95 % 신뢰수준 값은 제 9열 데이터에 $2/\sqrt{3}$ 을 곱함으로 산출된다(방정식(C.17) 참조). ΔSA_t 의 95% 신뢰수준 값은 다음 방정식으로 얻어진다.

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

$\Delta SA_c(L_a)=0.03$ dB와 $\Delta SA_c(A_b, \phi_b)=0.03$ dB를 가정하면 제 11열의 ΔSA_t 값이 나온다. 이 예에서 최대값은 $\Delta SA_t=0.19$ dB(80 MHz 주파수에서)가 된다. 이 때문에 4.5.3.1에서 $\Delta SA_t=0.20$ dB의 값이 언급된 바 있다.

표 C.2 - 수치적 사례, ΔSA_t 의 계산 (C.1.3.2 참조)

주파수 MHz	SA_c dB	Δh_r 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
ΔSA (dB) 최대		0.043	0.062	0.056	0.039	0.21	0.121	0.16	0.18	0.19
주) 이 표의 마지막 행에는 각 열의 최대값이 주어진다. 3열 - 8열의 소수점 뒤의 세자리 숫자는 실제적인 의미는 없다. 이들은 단지 계산된 결과를 비교하기 위하여 주어졌다.										

C.1.3.3 h_{rc} 와 h_{rt} 계산 (표 C.3)

본 조항은 4.4.3.2a)와 4.4.5에서 지정되는 $h_{r,max}(f_s)$ 를 고려한다. 그 값은 $h_r > 1$ m에 대한 SA 의 첫 번째 뚜렷한 최대값을 찾는 절차에 의하여 구해질 수 있다. 뚜렷한 최대값(수신 안테나의 직접 및 간접 파장을 상쇄하는 것과 관련한 최대값)을 찾는 데는 주의가 필요하다. 4.4.3.2a)에 지정된 주파수 f_s 에서 h_{rc} (4.5.3.2 참조)의 결과는 표 C.3에서 주어진다.

표 C.3에는 또한 측정 불확도 계산결과도 주어지며 그 결과와 함께 표 2에서 주어진 공차를 이용

하여 C.1.3.2에서 주어진 것과 유사한 $\Delta h_{r,max}$ 를 산출할 수 있다. $h_{r,max}$ 의 경우에 공차 Δh_t , Δd , Δf 만이 주목할 만한 기여를 한다. Δh_{rt} 의 최대치 (CL=95 %)는 0.02 m이다. 이 때문에 Δh_{rt} =0.025 m의 값이 4.5.2.5에 언급된 바 있다.

표 C.3 - 수치적 사례, h_{rc} 와 Δh_{rt} 의 계산 (C.1.3.3 참조)

주파수 MHz 4.4.3.2 a)	h_{rc} m	Δh_t Δh_{rc} m	Δd Δh_{rc} m	Δf $\Delta h_{rc\Sigma}$ m	RSS Δh_{rc} 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
최대값	-	0.014	0.010	0.005	0.017	0.020

C.1.3.4 f_c 와 Δf_t 계산(표 C.4)

본 절은 4.4.3.2b)와 4.4.6에서 규정된 대로 $f_{\max}(h_r, f_s)$ 를 고려한다. 그 값은 특정한 조합 $\{h_r, f_s\}$ 에 대한 SA의 최대값을 찾는 절차에 의하여 구할 수 있다. 뚜렷한 최대값을 찾을 때 즉 수신안테나의 직접 도달과 및 간접 도달과의 상쇠와 관련한 최대값을 찾을 때는 주의를 요한다. 4.4.3.2b)에서 지정된 조합에서 f_c 의 결과 (4.5.3.3 참조)는 표 C.4에 주어진다.

또 표 C.4에는 측정불확도 계산결과도 주어지며 그 결과와 함께 표 2에서 주어진 공차를 사용하여 C.1.3.2에서 주어진 것과 유사한 $\Delta f_t/f_c$ 를 산출할 수 있다. $f_{\max}$ 의 경우에 공차 Δh_r , Δh_t , Δd 만이 주목할 만한 역할을 한다. Δf_t 의 최대치 (CL=95 %)는 $0.012f_c$ 이다. 이 때문에 $0.015f_c$ 의 값이 4.5.2.7에 언급된 바 있다.

표 C.4 - 수치적 사례, f_c 와 Δf_t 의 계산 (C.1.3.4 참조)

주파수/높이 MHz / m 4.4.3.2 b)	f_c MHz	Δh_r $\Delta f_c/f_c$	Δh_t $\Delta f_c/f_c$	Δd $\Delta f_c/f_c$	RSS $\Delta f_{c\Sigma}/f_c$	95 % $\Delta f_t/f_c$
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
최대값	-	0.008	0.006	0.005	0.010	0.012

C.2 수치적 계산

본 절은 안테나 임피던스의 계산, 안테나 전체길이 및 최소 시험장감쇠량에 대한 대체 접근방법을 제시한다. 이러한 접근방법은 상업적으로 이용 가능한 PC에서 운용되는 모멘트 방법에 기초하는 컴퓨터 프로그램을 이용한다. 그러한 프로그램의 예로는 MININEC[C.6, C.7]이 있다. 그 방법은 와이어 안테나의 사인파 전류분포를 가정하지 않는다.

본 프로그램에서 안테나는 분석을 목적으로 세그먼트로 분할되는 직선 와이어에 의해 표시된다. 정확한 결과를 얻기 위해 세그먼트들은 파장과 비교하여 너무 길거나 너무 짧지 않아야 하며 세그먼트의 길이는 그 직경보다 더 커야 한다. 반파장마다 약 30 세그먼트이면 좋은 결과를 얻을 수 있다.

선택된 세그먼트가 적합한지 확인하기 위하여 세그먼트의 수가 증가할 때 임피던스 및 전류 계산치의 집중성을 조사할 수 있다. 본 프로그램은 무한한 완전도체 지반면이 모델에 포함되는 것을 허용한다. 또 프로그램은 전압이 한 와이어의 어떤 지점에 인가되는 것을 허용하며 집중부하 임피던스가 한 와이어의 어떤 지점에 연결되는 것을 허용한다.

C.2.1 안테나 입력 임피던스

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

C.2.2 시험안테나의 총길이

안테나의 총길이는 안테나가 자유공간에서 공진할 수 있게(즉, 안테나의 입력 리액턴스가 0 이 되게) 선택된다. 길이는 반복계산에 의하여 선택된다. 반파장에 해당되는 안테나 길이에서부터 시작하면 프로그램이 실행되어 입력 리액턴스를 결정한다. 입력 리액턴스가 양(positive)이면 안테나 길이는 감소한다. 입력 리액턴스가 음이면 안테나 길이는 증가한다. 프로그램은 새로운 안테나 리액턴스를 결정하기 위하여 새로운 안테나 길이로 다시 실행된다.

안테나 길이를 변경하면서 안테나 입력 리액턴스의 결과를 계산하는 과정은 입력 리액턴스의 계수가 1 Ω 미만이 될 때까지 반복된다. 이 단계에서 안테나의 길이는 옳은 값을 가진다.

C.2.3 이론 시험장 감쇠량

모멘트프로그램 방법에 입력되는 기하학적 형상은 무한한 완전도체 접지면 두 와이어로 구성된다. 두 와이어는 바른 높이와 이격거리를 가진다. 송신 안테나를 나타내는 와이어는 중심에서 $U_f = 1+j0$ V의 전압으로 급전되며 수신안테나를 나타내는 와이어는 Z_{CD} 에 해당되는 임피던스 부하가 장하된다(수신안테나의 발룬과 케이블 및 수신기의 직렬결합의 입력 임피던스, 그림 C.2 참조). 프로그램 출력의 관심 파라미터들은 송신안테나의 입력임피던스와 부하전류의 진폭이다.

시험장 감쇠량은 이제 다음 방정식으로 주어진다.

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

여기서,

I_2 는 부하 전류(그림 C.2 참조),

Z_a 는 송신안테나의 입력임피던스(C.2.1 참조),

Z_{AB} 는 송신안테나의 발룬 및 케이블과 발생기의 캐스캐이드 결합의 입력임피던스,

Z_{CD} 는 수신안테나의 발룬 및 케이블과 수신기의 캐스케이드 결합의 입력임피던스(그림 C.2 참조). 위의 방정식으로부터 발룬 헤드가 서로 연결되었을 경우에 적합한 최소 시험장 감쇠량을 얻을 수 있다. 대신, 발생기와 수신기가 서로 연결되었을 경우 측정된 S-파라미터도 시험장 감쇠량의 계산치로 입력된다.

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.S., Harper & Row, Section 7.3.2., New York, 1982. (안테나 이론을 다루는 다른 서적에서도 안테나 임피던스의 표현식을 찾을 수 있다.)
- [C.3] Handbook of Mathematical Functions, Abramowitz M. and Stegun I.A., Dover, Section 5.2, New York, 1972.
- [C.4] Formulations of Normalized Site Attenuation in terms of Antenna Impedance, Sugiura 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 30 MHz to 1 GHz Using a Calculable Standard Dipole Antennas 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 안테나의 응용 ($30 \text{ MHz} \leq f \leq 80 \text{ MHz}$)

검토 중임 (4.3.2.2 참조).

부록 E

(정보)

C.1.3에서 이용된 파스칼 프로그램

본 부록의 목적은 필요한 계산법에 쉽게 접근할 수 있게 하려는 데 있다. 다음의 파스칼 프로그램 (Turbo Pascal 7.0)은 C.1.3에서 주어진 결과의 산출에 사용되었다. 본 프로그램의 최적화를 위한 시도는 없었다.

프로그래밍은 조항 C.1에서 주어진 방정식을 면밀히 따르므로 그 결과의 점검하기에 유용하다. 어떤 "PROCEDURE"의 끝("end")에 있는 {주석} 부분은 관련 방정식을 가리킨다. {Calculations} 뒤의 "실 프로그램"은 L_a 와 SA_c 를 계산하는 두 행으로만 되어 있다. 그 부분은 {Input Data} 부분 뒤에 오며 {Output Data} 부분을 앞선다. 뒤의 2개 부분은 실제 계산이 실행될 때 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,rcd,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  
    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*(2*ksr-ks3-ks4);
  t2:= cos(k*laf)*(2*ksr+ks1+ks2-2*ks3-2*ks4);
  t3:= sin(k*laf)*(kc1-kc2-2*kc3+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,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);
  rn:= rna-mb; xn:= xna-xnb;
  saf:= sqrt((rn*rn+xn*xn)/(rd*rd+xd*xd));
  saf:= 20*ln(saf)/ln(10);
end; {SA, Eqs.(C.6) and (C.12)}

```

```

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*(2*ksr-ks3-ks4);
  t2:= cos(k*laf)*(2*ksr+ks1+ks2-2*ks3-2*ks4);
  t3:= sin(k*laf)*(kc1-kc2-2*kc3+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,rod,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+rod,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,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*k3-2*k4);
  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*(2*ksr-kc3-kc4);
  t2:= cos(k*laf)*(2*ksr+ks1+ks2-2*ks3-2*ks4);
  t3:= sin(k*laf)*(kc1-kc2-2*k3+2*k4);
  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,rrc,irc,
  rd,xd,rna,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,rna,xna);
  cprod(r12+r14,x12+x14,r12+r14,x12+x14,mb,xnb);
  rn:= rna-xnb; xn:= xna-xnb;
  saf:= sqrt((m*rn+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,laf);
  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)= ',laf:3:3,' SAc(dB)= ',saf:3:3);
  writeln;
END.

```

부록 F
(정보)
유효성 확인절차 체크리스트

표 F.1 - CALTS 유효성확인 보고서에 포함되는 각종 항목.

참조 4.6.2	항 목	비고
a	일반 사항	
a1	주소, CALTS 위치	
a2	주소, CALTS 소유주의 전화/팩스 번호	
a3	주소, CALTS 유효성확인 보고서의 담당자/담당기 관의 전화/팩스번호	a2 이하와 동일할 수 있음
a4	주소, CALTS 유효성확인 수행인/수행기관의 전화/ 팩스번호	a2 또는 a3과 동일할 수 있음
a5	a2, a3, a4에 언급된 개인/기관의 서명	
a6	CALTS의 유효성확인 중 사용된 CALTS의 구조 및 보조부품의 일반적 기술사항	사진,그림,부품번호를 사용하면 설명이 용이해질 수 있음
a7	CALTS 유효성확인의 종료일자와 유효성확인 보고 서의 발행일자	
b	유효성 평가	
b1	유효성 평가 결과	
b2	현행 유효성확인의 유효기간 결정	
b3	제한 조건 및 구성의 식별	
c	시험안테나	
c1	계산 가능한 안테나의 식별형식, 부품번호	
c2	적용 가능한 기준규격에 대한 적합성 점검	4.3.2와 표 2의 값 참 조
c3	사용되는 특성 임피던스의 식별	4.3.2.7 참조
d	시험장비	
d1	시험장비의 상세한 설명	
d2	적용 가능한 기준규격에 대한 적합성 점검	4.4.2와 표 2의 값 참 조

참조 4.6.2	항 목	비고
e	측정	
e1	특정 주파수에서의 차이를 설명하는 적용 가능한 근거	4.4.3.3. 참조
e2	4.4.4에 의거한 SA측정결과와 표 1에 의한 불확도 결정	4.4.3.1과 4.4.4 참조
e3	안테나 높이 스캔 측정 또는 주파수 스캔 측정 및 불확도의 결과	4.4.3.2와 4.4.5 또는 4.4.6 참조
f	시험장감쇠량 및 공차 계산	4.5.2 참조
f1	SA를 위해 사용된 계산 방식과 최대 SA를 위한 높이 또는 주파수 기술	부록 C 또는 수치적 절차 참조
f2	이론상의 SA와 높이나 주파수의 기준결정	
f3	표 2의 편차의 경우 디폴트 값이나 계산된 값을 사용한 총측정불확도	결정방정식 (3)과 (4) 또는 (5)
g	적합성 기준 계산	4.5.3 참조
g1	SA의 계산 및 측정 절대값과 안테나 높이 또는 주파수의 결정	
g2	SA의 허용 공차와 측정 불확도 사이의 차이 그리고 안테나 높이 또는 주파수의 결정	
g3	식(6), (7), (8)을 이용한 적합성 검사	
h	최종 적합성 선언	
h1	결과를 요약하며 유효기간과 기술된 제한조건과 구조를 고려하여 적합성을 선언한다.	참고 b