

제정 기술표준원고시 제2008 - xxxxx호(2008. xx. xx)

전기용품안전기준

K 62233

[IEC 62233 Ed.1.0 : 2005.10]

인체 노출과 관련된 가전제품 및 유사기기의
전기자기장 측정방법

목 차

서 문	3
1. 적용범위	3
2. 인용규격	4
3. 용어정의	5
4. 측정방법의 선택과 한계치 설정	7
5. 측정방법	7
6. 결과의 평가	14
부록	
A(규격) 자속밀도 측정을 위한 시험조건	18
B(정보) 노출 한계치	27
C(규격) 결합 계수의 결정	29
D(정보) 부록 B의 한계치 사용의 예제	35
참고문헌	43

전기용품안전기준(K 62233)

인체 노출과 관련된 가정용 전기기기 및 유사기기류의 전기자기장 측정방법

Measurement methods for electromagnetic fields of household appliances and similar apparatus with regard to human exposure

서 문

본 규격은 국제표준기술 변화에 신속히 대응하고, 현 전기용품안전기준의 운영 및 표준기술 발전을 위해 2005년 10월에 발행된 IEC 62233:Ed 1.0 인체 노출과 관련된 가정용 전기기기 및 유사기기류의 전기자기장 측정방법(Measurement methods for electromagnetic fields of household appliances and similar apparatus with regard to human exposure)을 번역해서 기술적 내용 및 규격의 서식을 변경하지 않고 작성한 안전인증기술기준이다.

1. 적용범위

본 규격은 300 GHz까지의 전기자기장을 다루며 측정거리 및 위치뿐만 아니라 시험조건을 포함하는 가정용 및 유사기기류 주위의 전계 강도와 자속 밀도 평가 방법을 정의한다.

적용 기기는 모터, 가열 소자 또는 이런 복합체를 내장할 수 있으며, 전기 또는 전자 회로를 포함할 수도 있고, 주전원 및 배터리 또는 다른 전기적 전원에서 전원을 공급받을 수도 있다.

가정용 전기기기, 전동 공구, 전기 완구류와 같은 기기도 포함한다.

일반 가정에서 사용되는 것을 의도하지 않았다 할지라도 대중적으로 접근할 수 있거나 일반인이 사용할 수 있는 기기는 본 규격에 적용을 받는다.

본 규격은 다음과 같은 경우에는 적용되지 않는다 :

- 중공업용으로만 설계된 장치;
- 건물의 고정된 전기 설비의 일부분인 장치(퓨즈, 회로 차단기, 케이블 및 스위치 등);
- 라디오와 텔레비전 수신기, 오디오와 비디오 기기, 전자악기;
- 의료용 전기기기;
- 개인용 컴퓨터 및 유사기기;
- 무선 송신기;
- 자동차에만 사용하도록 설계된 장비.

본 규격과 기타 규격의 다른 조항들에 동시에 적용되는 다기능 기기의 해당 분야들은 각각의 항목/규격의 조항을 사용하여 작동 상의 관련된 기능에 대한 평가를 수행한다.

기기의 비정상적인 동작은 고려하지 않는다.

본 규격은 인체 노출을 평가하기 위한 특정요소를 포함한다 :

- 센서에 대한 정의;
- 측정 방법에 대한 정의;
- 시험품의 동작 모드에 대한 정의;
- 측정 거리 및 위치에 대한 정의;

명시된 측정방법은 10 Hz ~ 400 kHz 영역에서 유효하다. 본 규격의 적용범위 내의 기기는 400 kHz 초과 및 10 Hz 미만의 주파수 범위에서는 IEC 60335 시리즈에서 별도로 명시하지 않는 한, 시험 없이 부합하는 것으로 간주한다.

2. 인용규격

다음의 인용규격들은 본 규격의 적용을 위해 필수 불가결한 것이다. 날짜가 명기된 규격에 대해서는 인용된 것만 적용한다. 날짜가 명시되지 않은 규격에 대해서는 기준 문서의(개정안을 포함하여) 최신판이 적용된다.

KS C IEC 60335(전 분야), 가정용 및 이와 유사한 전기 기기의 안전성

IEC 61786, Measurement of low-frequency magnetic and electric fields with regard to exposure of human beings - Special requirements for instruments and guidance for measurements

IEC 62311*, Assessment of electronic and electrical equipment related to human exposure restrictions for electromagnetic field (0 Hz ~ 300 GHz)*

주* 발간될 예정임.

KS C CISPR 14-1, 전기자기 적합성(EMC) - 가정용 전기기기, 전동공구 및 유사기기류의 요구 조건 - 제1부 : 전기자기 장해

3. 용어정의

본 규격을 위해 다음의 용어와 정의를 적용한다. 국제적으로 적용되는 SI-단위는 규격 전반에 걸쳐 사용된다.

3.1 물리적 양과 단위

양	표시	단위	규정 단위
도전율	σ	Siemens per metre	S/m
전류밀도	J	Ampere per square metre	A/m ²
전기장 강도	E	Volt per metre	V/m
주파수	f	Hertz	Hz
자계강도	H	Ampere per metre	A/m
자속밀도	B	Tesla	T(Wb/m ² or Vs/m ²)

3.2 용어정의

3.2.1 기본 제한(기본 한계), (basic restriction(basic limitations))

생물학적인 영향에 근거를 두고 안전 요소까지 포함하는 시간 함수의 전기, 자기 및 전기자기장 노출에 대한 제한. 전류밀도의 기본 제한은 J_{BR} , 내부 전기장 강도의 기본 제한은 E_{BR} 임.

3.2.2 결합 계수(coupling factor($a_c(r_1)$))

측정거리 r_1 에서의 기기 주변의 전기자기장 불규칙성, 센서의 측정 영역 및 작동자의 몸통이나 머리 면적을 고려한 계수

3.2.3 푸리에 변환(Fourier transformation)

시간 함수로부터 주파수 함수를 도출하는 수학적 절차 (IEV 101-13-09 참조)

3.2.4 고속 푸리에 변환(fast Fourier transformation)

FFT

최적화된 푸리에 변환 속도

3.2.5 칩점(hot spot)

불균일한 전기자기장 분포에서 전기자기장이 최대인 지점

3.2.6 측정 거리(measuring distance)

r_1

기기의 표면에서 센서 표면의 최근접점까지의 최단 거리(부록 A 참조)

3.2.7 측정 위치(measuring positions)

3.2.7.1 주변(around)

센서로부터 일정한 거리를 두고 제품의 모든 주변과 사람이 위치할 만한 곳을 움직이며 측정한다.

비고 부록 A 그림 .2 참조

3.2.7.2 윗면(top)

센서를 제품의 상단 표면으로부터 명시된 일정 거리를 두고 움직이며 측정한다.

비고 부록 A 그림 1 참조

3.2.7.3 전면(front)

센서를 제품의 전면에서 일정한 거리를 두고 움직이며 측정한다.

3.2.8 기준 레벨, 최대 허용 노출 레벨(reference level, maximum permissible exposure level(B_{RL}))

최악조건 시(예, 균일장 노출), 기본 제한으로부터 산출된 전기자기장 레벨

비고 기본 한계치를 만족시킨다 해도 기준레벨은 초과될 수 있다.

3.2.9 응답 시간(response time)

측정을 위해 측정장비를 필드에 놓고 난 후 측정 장비에 최종값의 특정 퍼센트가 표시될 때까지 필요한 시간

3.2.10 가중 결과치(Weighted result)

W

주파수 관련 기준레벨을 적용한 측정의 최종결과.

4. 측정 방법과 제한치 설정

적절한 한계치를 선택해야한다.

발생되는 전기자기장의 스펙트럼에 관계없이 모든 기기에 대해, 5.5.2 절차를 적용한다. 논란이 있는 경우, 이것이 기준 방법이다.

최대 허용 노출 레벨 또는 기준레벨이 초과되는 경우에는 필드, 인체 위치 또는 측정 배치의 특정 상황에서 기본 제한의 부합성이 고려되어야 한다.

5.5.3의 절차는 기본 주파수와 기본 주파수의 고조파만으로 구성되는 선 스펙트럼을 발생하는 기기에 적용될 것이다.

전원 주파수와 그것의 고조파에서만 중요한 필드가 발생하는 기기에 대해서는, 5.5.4의 대체 측정방법중의 하나를 사용할 수 있다.

전체 구동 주기가 1초 미만인 기기는 IEC 62311에 따라서 펄스 필드의 경우로 측정되어야 한다; 그러나 동작 조건, 측정 거리 그리고 결합 계수는 본 규격에서 주어진다.

가장 쉬운 방법에서 더 복잡한 방법까지 단계적인 절차가 적용될 수 있다. 그림 1의 순서도 참조.

5. 측정 방법

5.1 전기장

측정방법은 고려 중이다.

만약 내부의 변압기 또는 전자 회로를 가진 기기가 1 000 V 미만에서 작동된다면, 그 기기들은 시험없이 기준에 부합하는 것으로 간주한다.

5.2 주파수 범위

해당 주파수의 범위는 10 Hz ~ 400 kHz 대역이다. 1절의 범위 참조.

만약 한번의 측정으로 주파수 범위 전 대역을 측정하는 것이 불가능하다면, 각 측정 주파수 범위의 가장 결과치들이 추가되어야 한다.

5.3 측정 거리, 위치, 동작 모드

측정 거리, 센서 위치, 동작 조건은 부록 A에 기술되어 있다.

측정 시의 구성 및 동작 모드는 시험 성적서에 기록되어야 한다.

5.4 자기장 센서

자속 밀도의 측정값은 각 방향의 100 cm² 면적에서 평균화 된다. 기준 센서는 3개가 서로 직각을 이루며 측정영역은 100 cm² ± 5 cm²의 등방성 민감도를 가지는 동심원 코일로 구성되어 있다. 기준센서의 외곽 지름은 13 cm를 초과할 수 없다.

결합 계수의 결정을 위해서 부록 C에 설명된 것과 같이 3 cm² ± 0.3 cm²의 측정영역을 가지는 등방성 센

서가 사용된다.

비고 1 적절한 합산 방법과 결합되는 경우, 단 방향 센서(등방성이 아닌)를 사용할 수 있다.

비고 2 자속밀도의 최종값은 각 방향에서 측정된 값의 벡터 합이다. 이것은 측정값이 자기장 벡터의 방향에 독립적임을 보장한다.

5.5 자기장 측정 절차

5.5.1 일반사항

측정 신호를 평가할 때에는 주파수 함수로 평가해야한다. 독립된 전기자기장 발생원을 고려하여, 최고 측정치가 채택되어야 한다.

예를 들어 스위칭 동작시의 200 ms이하 지속시간을 가지는 일시적 자기장은 무시된다.

만약 스위칭 동작이 측정 중에 발생하는 경우에는 다시 측정해야한다.

측정기기의 최대 잡음 레벨은 한계치에 대해 5 %이어야 한다. 최대 잡음 레벨보다 낮은 측정결과는 무시된다.

환경 잡음은 한계치의 5 % 미만이어야 한다.

측정기기가 최종 값의 90 % 에 도달하는 응답시간은 1초가 넘어서는 안 된다.

자속밀도는 1 초의 평균 시간으로 결정된다.

만약 10 Hz ~ 400 Hz 신호에서 전기자기장 발생원이 1초 이상의 주기로 일정하다면, 샘플링 시간은 더 짧아질 것이다.

최종 측정을 하는 동안에 센서는 안정적이어야 한다.

5.5.2 시간영역 평가

독립적인 형태의 신호인 경우, 시간영역에서 자속밀도를 측정할 수 있다. 여러 주파수 성분을 가진 자기장의 경우, 기준 레벨의 주파수에 따른 변화량은 주파수 함수로써 표현되는 기준 레벨의 역함수인 전달함수 A에 의해 계산된다.

그림 2는 기준레벨의 주파수 의존성의 예를 나타낸다.

전달함수 A는 기준 레벨 B_{RL} 의 역이고 B_0 로 정규화 된다. 정규화는 주파수 f_0 에서 수행되어야 한다.

비고 1 정규화를 위해 전원 주파수를 사용하는 것을 추천한다.(예 $f_0 = 60$ Hz)

전달함수 A는 1차 필터를 사용하여 구현된다. 그림 3은 전달함수의 특성의 예를 보여준다.

전달함수의 공식은 다음과 같다 :

$$A(f) = \frac{B_{RL}(f_{CO})}{B_{RL}(f)} \quad (1)$$

전달함수의 시작지점은 $f=10$ Hz이어야 한다. 전달함수의 종료지점은 $f=400$ kHz이어야 한다.

비고 2 전달함수의 수치값의 예는 부록 D. 표 1과 2 참조

다음의 절차로 측정한다 :

- 각각의 코일 신호를 측정한다.
- 전달함수를 이용하여 각각의 신호에 가중치를 적용한다.
- 가중치를 제공한다.
- 제공된 신호를 더한다.
- 합을 평균한다.
- 평균의 제곱근을 취한다.

결과는 자속밀도의 가중치 실효값이 된다.

이러한 절차는 그림 4에 개략적으로 나타낸다.

비고 3 전달 함수 A (그림 4의 밑줄 친 선)는 미분 특성과 필요한 적분을 공급하기 위한 고유 특성을 가지는 코일과 “지연발생요소”를 가지는 저역통과 필터를 포함한다. 결과는 $B(t)$ 로부터 직접적으로 비례하는 신호이며 이것은 그림 3에 나타낸 전달 함수 A 에 의해서 평가된다. “지연발생요소”의 경계 주파수는 그림 3의 전달 함수와 같다.

비고 4 시간영역 신호에 적용될 수 있는 전달함수의 다른 형태로는 전자회로에서의 아날로그 필터, 미리 프로그램된 DSP 칩, 신호 분석기, 또는 회계처리 프로그램 또는 맞춤형 프로그램을 포함하는 디지털 컴퓨터 계산 등이 있다.

비고 5 50/60 Hz 의 전원 주파수와 고조파 및 한계치를 가지는 많은 제품들은 관심 주파수와 독립적인 주파수의 자기장 강도 한계치를 적용받으므로, 이 방법은 전달함수 없이 적용될 수 있다. 이것은 예를 들어 20 Hz부터 759 Hz의 주파수 대역에 대해서 자속 밀도의 일정한 최대 노출 허용치(MPE)를 가치는 IEEE C95.6-2002 안전규격으로 가능한 것이다. 이러한 경우에 순수한 RMS 측정은 관심 주파수 범위에서 수행될 수 있고 측정결과는 한계치(예 :MPE)와 직접적으로 비교될 수 있다.

실제 측정된 값은 60 Hz에서의 자속 밀도의 기준레벨 B_{RL} 과 직접적으로 비교되어야 한다. 높은 전기자기장이 형성된 곳의 기기에 대해서는 부록 C의 계산을 통해 주어지는 결합 계수 $a_c(r_1)$ 을 취한 후에 측정을 해야한다. 주파수 f_0 에서 B_{RL} 이 사용되어야 한다. 최종 가중치 W 는 아래와 같이 유도된다.

$$W_n = \frac{B_{rms}}{B_{RL}} \quad (2)$$

또는 결합 계수 $a_c(r_1)$ 을 적용하면,

$$W_{nc} = a_c(r_1) \cdot W_n \quad (3)$$

여기서

W_n : 단일 측정에서 가중치

B_{rms} : 자속밀도의 r.m.s 값

B_{RL} : 주파수 f_0 에서 자속밀도의 기준레벨

$a_c(r_1)$: 부록 C 또는 부록 D 표 3에 의한 결합 계수

W_{nc} : $a_c(r_1)$ 을 적용함으로써 비균일 자계의 결합을 고려한 단일 측정에서의 가중 결과치

결정된 가중 결과치 W 는 값 1을 초과해서는 안 된다.

5.5.3 선 스펙트럼 평가

이 방법은 선 스펙트럼만 있을 때에 사용되며 그 예는 기본주파수 60 Hz와 고조파 성분을 가지는 자기장을 들 수 있다. 4절 참조.

자속밀도는 각각의 관련 주파수에서 측정된다. 선스펙트럼은 자속밀도의 시간신호를 기록하고 스펙트럼 성분을 평가하기 위한 푸리에 변환을 사용하여 구할 수 있다.

측정을 위한 절차는 아래와 같다.

- 각각의 코일 신호(x, y, z)를 측정한다.
- $B(t)$ 에 직접적으로 비례하는 값을 얻기 위해 신호를 적분한다.
- 각각의 코일에 대해 이산 주파수 $f(j) = i / T_0$ (T_0 = 관찰시간)에서의 r.m.s 값을 나타내는 이산 스펙트럼 크기 $B(i)$ 를 얻기 위해 이산 푸리에 변환을 수행한다.
- 이산 스펙트럼 $B(i)$ 를 내삽해서 주파수 $f(j)$ 에서 최대값 $B(j)$ 를 찾는다.
- 모든 이산 스펙트럼 라인 $B(j)$ 에 대해 세 방향 모두의 벡터 합을 구한다.

$$B(j) = \sqrt{B_x^2(j) + B_y^2(j) + B_z^2(j)} \quad (4)$$

비교 알고리즘의 마지막 두 가지 단계에서 식(4)의 $B(j)$ 대신 $B(i)$ 로 바꿀 수 있다.

결과치는 감지되는 각 주파수에 대한 자속밀도의 합이다.

측정된 값을 한계치와 비교하기 위해서, 기준 레벨 $B_{RL}(j)$ 를 사용한다. 제품에서 나오는 자기장이 높은 우에는 부록 C에서 주어진 결합 계수 $a_c(r_1)$ 이 고려될 수 있다. 자기장에 여러 주파수가 비율을 차지하면 가중합을 계산해야 한다.

가중 결과치는 아래의 식을 통해 얻어진다 :

$$W_n = \sqrt{\sum_{j=1}^n \left(\frac{B(j)}{B_{RL}(J)} \right)^2} \quad (5)$$

또는 결합 계수 $a_c(r_1)$ 을 적용해서

$$W_n = a_c(r_1) \cdot W_n \quad (6)$$

비고 결합 계수는 주파수에 독립적일 수 있으며, 자세한 것은 부록 C를 참조

$B(j)$: 측정된 스펙트럼의 j 번째 주파수 라인에서의 자속밀도

$B_{RL}(j)$: j 번째 주파수에서의 자속밀도의 기준레벨

$a_c(r_1)$: 부록 C 또는 부록 D 표 3에 의한 결합 계수

W_n : 단일 측정에서의 가중치

W_{nc} : $a_c(r_1)$ 을 적용함으로써 비균일 자계의 결합을 고려한 단일 측정에서의 가중 결과치

결정된 가중 결과치 W 는 값 1을 초과해서는 안 된다.

단지 1과의 비교를 하기 위해서라면, 제곱근을 구할 필요는 없다.

비고 단순 덧셈은 항상 노출의 과대평가 결과를 내고, 높은 주파수 고조파 성분 또는 잡음으로 구성되는 광대역 자기장의 경우에 덧셈 식에 근거한 한계치는 진폭과 동위상이 아니므로 매우 보수적인 방법이다. 대부분의 측정 장비에서 상대적인 위상은 측정되지 않는다.(예를 들어 만약 스펙트럼 분석기가 사용되는 경우에) 그러나 주파수 성분의 RMS 합은 보증될 수 있다. 이것은 완전히 상을 무시하는 것보다 좀더 현실적인 결과를 보여준다.

5.5.4 대체 측정 방법

전원 주파수와 그것의 고조파에서의 자기장만을 방출하게 제작된 기기는 2 kHz 이하의 주파수 범위에서만 측정하면 된다..

기준레벨의 선택에 따라, 이런 기기들에 대한 간단한 측정절차가 적용될 수 있다.

비고 1 이러한 모든 방법은 보수적인 방법중 하나이며, 측정결과가 아닌 적합/부적합만을 평가 해준다. 이러한 절차에서 실패하는 것이 규격의 요구사항을 만족하지 않는 것을 의미하지는 않는다. 이런 경우에 5.5.2 또는 5.5.3의 정밀한 방법이 사용될 수 있다.

비고 2 고조파 전류는 IEC 61000-3-2 규격에 따라서 측정될 수 있다. 많은 경우에 이러한 값들은 미리 알려져 있다.

5.5.4.1 제한된 기울기에 따른 기준 레벨의 감소

만약 조사되는 주파수 범위에서 기준레벨이 $1/f$ 보다 크지 않은 기울기로 감소할 때, 아래의 두 가지 방법 중에 하나가 적용될 수 있다 :

비고 이것은, 예를 들어 부록 B에 주어진 것과 같이 시간에 따라서 변하는 전기장과 자기장이 변하는 일반적인 공공의 노출에 대한 ICNIRP 가이드라인의 기준 레벨의 경우에 해당된다.

5.5.4.1.1 제한된 기울기, 첫 번째 절차

아래의 두 가지 조건을 모두 충족했을 때, 기기는 본 규격의 요구사항에 부합한다 :

- 비 가중 광대역 측정 시(변환 함수를 사용하지 않음), 자속밀도는 전원 주파수에서의 기준레벨의 30 % 미만
- 전원 주파수 진폭의 10 %보다 높은 크기를 갖는 모든 고조파 전류들이 조사된 주파수 영역에서 연속적으로 감소

만약 첫 번째 조건($B < \text{기준레벨의 } 30\%$)이 만족되지 않는 경우에는, 5.5.4.1.2의 절차에 따른 부합성이 확인될 수 있다.

5.5.4.1.2 제한된 기울기, 두 번째 절차

아래의 3 가지 조건을 모두 충족했을 때, 기기는 본 규격의 요구사항에 부합한다 :

- 전원 주파수에서의 자속밀도가 전원 주파수의 기준레벨의 50 %이하
- 비 가중 광대역 측정 시(변환 함수를 사용하지 않음), 조사된 주파수 범위에서의 측정된 자속밀도는 , 전원 주파수에서의 입력이 억제(능동 노치 필터)되는 동안에, 전원 주파수 기준레벨의 15 %미만
- 전원 주파수 진폭의 10 %보다 높은 크기를 갖는 모든 고조파 전류들이 조사된 주파수 영역에서 연속적으로 감소

5.5.4.2 일정 기준레벨

만약 기준레벨이 최소한 전원 주파수의 10 차 고조파까지 일정하고 조사된 주파수 범위보다 더 높은 주파수에서 일정하거나 또는 감소 기울기가 $1/f$ 보다 작은 경우에, 고조파 전류의 추가적 측정 없이 5.5.4.1의 방법을 적용할 수 있다.

비고 이것은, 예를 들어 부록 B에 주어진 0 kHz부터 3 kHz 에서의 인체에 대한 전기장과 자기장의 노출에 관련된 안전레벨을 위한 IEEE 규격에서의 기준레벨의 경우에 해당된다.

이러한 경우의 단순한 시험방법이 아래와 같이 적용되어야 한다.

5.5.4.2.1 일정 기준레벨, 첫 번째 절차

아래의 조건을 충족했을 때, 기기는 본 규격의 요구사항에 부합한다 :

- 비 가중 광대역 측정 시(변환 함수를 사용하지 않음), 자속밀도는 전원 주파수에서의 기준레벨의 30 % 미만

만약 이 조건이 만족되지 않는 경우에는, 아래의 절차에 따른 부합성이 확인될 수 있다.

5.5.4.2.2 일정 기준레벨, 두 번째 절차

아래의 두 가지 조건을 모두 충족했을 때, 기기는 본 규격의 요구사항에 부합한다 :

- 전원 주파수에서의 자속 밀도는 전원 주파수의 기준레벨의 50 %미만
- 비 가중 광대역 측정 시(변환 함수를 사용하지 않음), 조사된 주파수 범위에서의 측정된 자속밀도는 , 전원 주파수에서의 입력이 억제(능동 노치 필터)되는 동안에, 전원 주파수 기준레벨의 15 %미만

5.6 측정 불확도

최대 종합 측정 불확도는 한계치의 25 %를 초과해서는 안 된다. 불확도 평가를 위한 지침은 IEC 6178에 있다.

비고 1 총 측정 불확도는 센서의 위치, 동작 조건, 배경 잡음 또는 측정 기기의 동적인 영역을 넘어서는 신호 등과 같은 것을 포함할 수 있다.

비고 2 만약 측정 불확도가 측정된 값의 25 %를 초과하는 경우에 불확도는 사용되는 한계치에 근거하여 바뀌어야 한다.

결과를 한계치와 비교할 때, 측정 불확도는 아래와 같이 구현되어야 한다.

- 제품이 한계치 이하의 자기장만을 만들어내는 것을 입증하기 위해 측정 불확도는 결과값에 합해져야 하고, 합은 한계치과 비교되어야 한다.

비고 이것은 제조자가 측정을 수행하는 예로 적용한다.

- 제품이 한계치 이상의 자기장을 만들어내는 것을 입증하기 위해 측정불확도는 결과값으로부터 감산되어야하고, 차는 한계치와 비교되어야 한다.

비고 이것은 시장감독 목적을 위한 관리자에 의해 측정이 수행되는 경우의 예로 적용한다.

5.7 시험 성적서

시험 성적서는 최소한 아래의 사항을 포함해야 한다.

- 기기명
- 측정기기의 사양

- 부록 A에 명시되지 않았다면, 동작 모드, 측정 위치와 측정 거리
- 정격 전압과 주파수
- 측정 방법
- 적용할 수 있는 경우 결합 계수로 가중치가 적용된 최대값
- 적용된 한계치
- 측정 불확도(측정된 결과가 한계치의 75 % 이상인 경우)

6. 결과의 평가

본 규격의 요구사항은 아래와 같을 때 만족된다.

- 만약 5.6에서와 같은 측정 불확도를 가지는 측정값이 기준레벨을 초과하지 않거나 또는
- 측정된 값이 기준레벨을 초과할 때 결합 계수는 기본 제한에 만족하는 것을 보여주기 위해서 계산될 수 있다. 특별한 장치를 위해 대응하는 결합 계수 $a_c(r_1)$ 는 부록 C에 나타난 것과 같이 결정될 수 있다. 또는
- 만약 결합 계수를 적용한 측정값이 여전히 기준 레벨을 초과하는 경우, 그 값이 반드시 기본 제한치를 초과하는 것은 아니다. 그 값은, 예를 들어 계산방법에 의해, 기본 제한치를 만족하는지 못하는지 검증되어야 한다.

비고 계산 방법을 위해, IEC 62226이 사용될 수 있다.

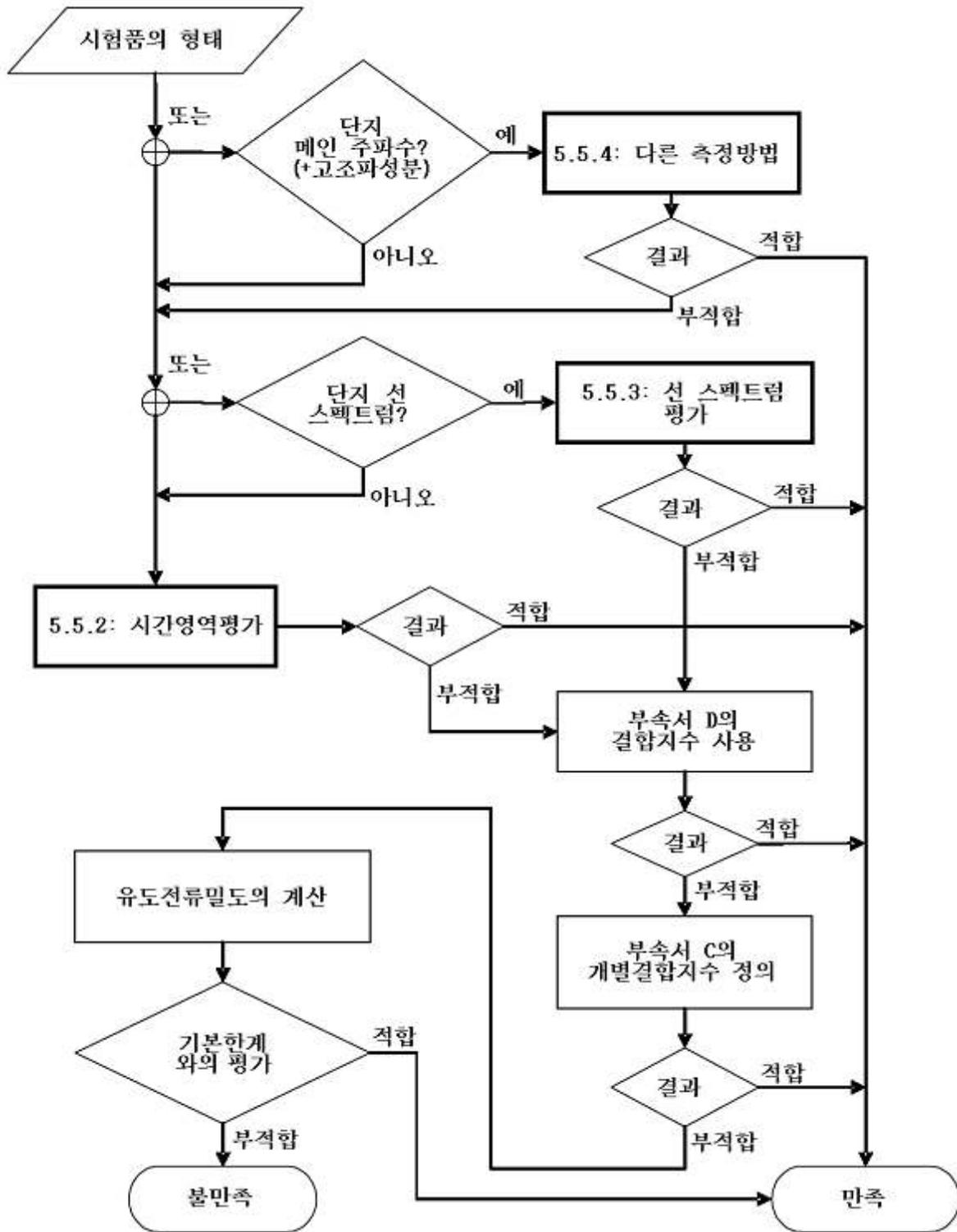
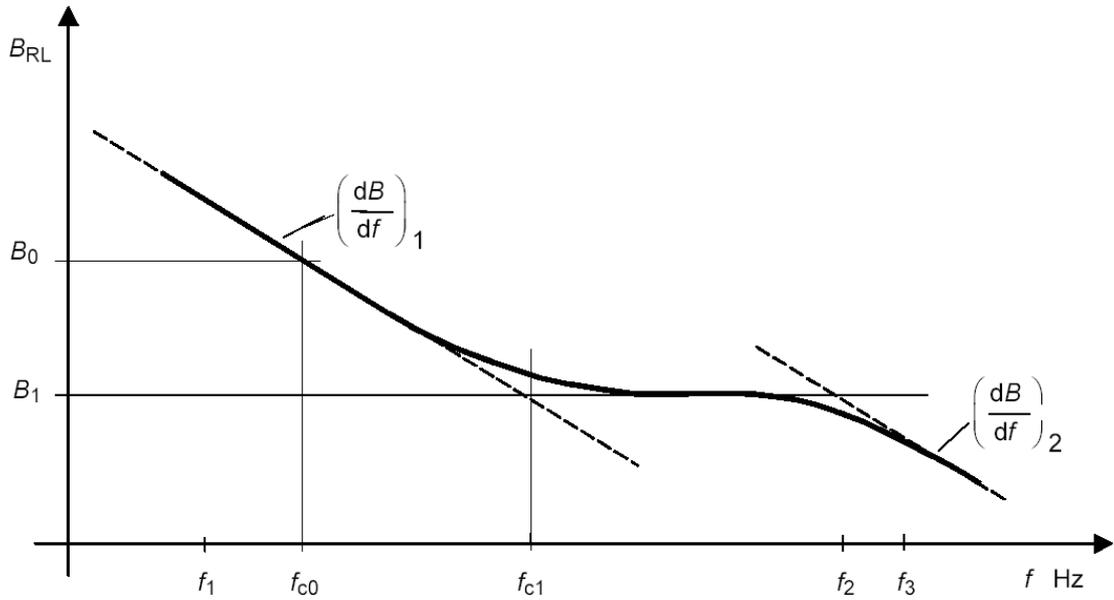
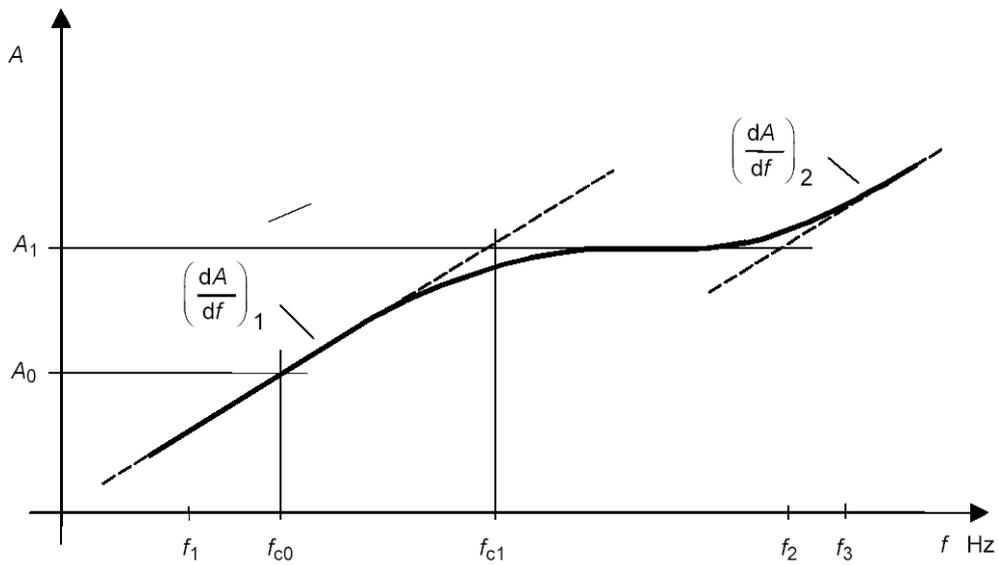


그림 1 기준 레벨에 따른 평가에 대한 시험 방법 선택을 위한 권고



$$B(f_{c0}) = B_0, B(f_{c1}) = B_1, \text{ 그리고 기울기 } \left(\frac{dB}{df}\right)_n$$

그림 2 경계가 완만한 기준레벨의 주파수상의 의존도 예



$$A(f_{c0}) = A_0 = \frac{B_{RL}(f_{c0})}{B_0} = 1; A(f_{c1}) = A_1 = \frac{B_{RL}(f_{c0})}{B_1}; \left(\frac{dA}{df}\right)_n = \left[\left(\frac{dB}{df}\right)_n\right]^{-1}$$

그림 3 그림 2의 기준레벨과 일치하는 전달함수 A의 예

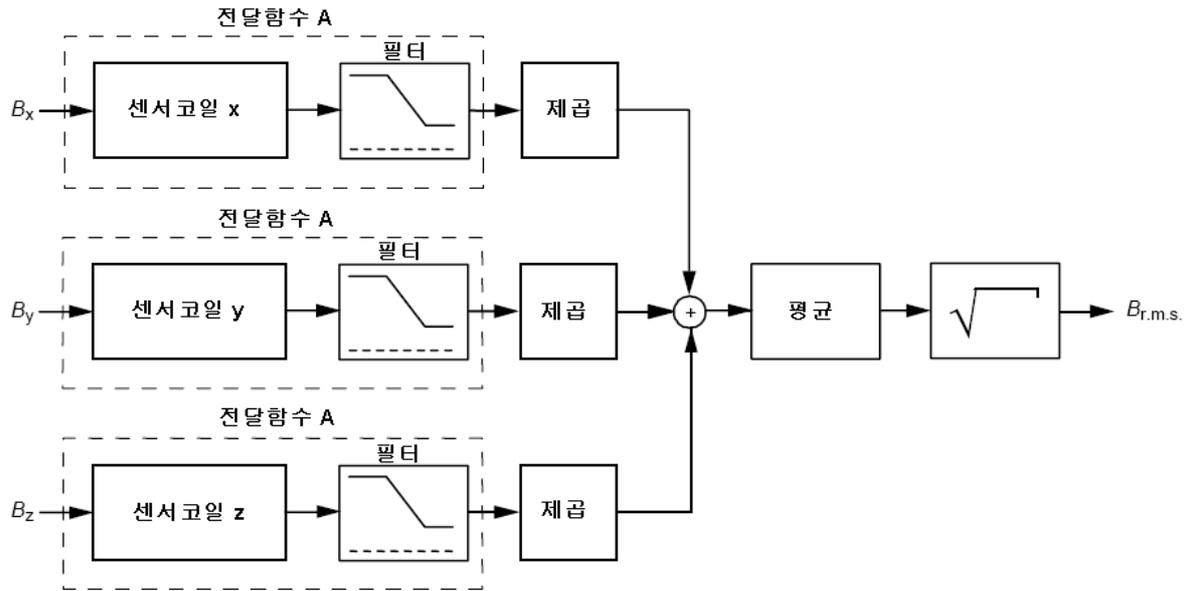


그림 4 기준 방법의 개요도

부록 A (규격)

자속밀도 측정을 위한 시험조건

A.1 일반사항

측정은 부록 A 표 1에 명시된 조건하에서 수행되고, 시험품은 일반적 사용조건과 같이 놓여진다.

만약 시험품이 부록 A 표 1에 명시되지 않거나 다른 동작조건에서 동작하는 경우에 동작조건, 측정거리, 센서의 위치는 인체의 머리와 몸통의 주요 신경계 조직에 미치는 영향으로부터 보호하기 위한 곳이어야 한다. 만약 사용자의 매뉴얼에 동작조건, 설치 그리고 동작위치가 명확하게 설명된 경우, 명시된 조건에 따라 측정하고 그렇지 않은 경우에는 아래를 참조한다.

비고 만약 적용 한계치가 팔다리를 위한 노출 한계치를 포함하는 경우, 팔다리의 측정이 필요하다.

A.1.1 동작조건

a) 최대 설정

b) CISPR 14-1 관련규격에 명시된 동작조건 또는 가능한 경우 무부하의 동작조건

제조자의 명세서에서 단시간 동작에 대해 기술하고 있다면 적용해야 한다.

구동시간은 명시되지 않으나 시험 전에 시험품은 동작조건이 일반적으로 사용하는 것과 같은 것을 확인하기 위해 충분한 시간을 가지고 동작된다.

기기는 기기의 정격 전압의 $\pm 2\%$, 정격 주파수의 $\pm 2\%$ 를 공급하는 기기로부터 전원을 공급받아야 하며, 정상 동작되어야 한다.

만약 전압범위 및 주파수 범위가 표시된 경우에 전압 및 주파수는 제품이 사용될 국가 또는 지역의 공칭 전압 및 주파수가 공급되어야 한다.

기기는 부록 A 표 1에 명시되지 않은 경우 가장 높은 설정에 따라서 동작시킨다. 그러나 제어 조건이 미리 설정되어 있으면 의도된 위치에서 사용한다. 측정은 기기가 전원을 공급받는 동안에 이루어진다.

시험은 $25^{\circ}\text{C} \pm 10\%$ 의 온도에서 수행된다.

A.1.2 측정 거리

a) 신체의 관련 부분과 접촉해서 사용되는 기기: 0 cm

b) 이외의 기기 : 30 cm

A.1.3 센서의 위치

a) 신체의 관련 부분에 접촉하는 기기 : 사용자의 방향(접촉면)

b) 운반할 수 없는 큰 기기 : 전면(동작하는 면)과 사람이 접근할 수 있는 다른 면(부록 A 그림 1 참조)

c) 다른 기기들 : 주위(부록 A 그림 2 참조)

A.2 특별한 기기를 위한 측정거리, 센서의 위치, 동작모드

A.2.1 다기능 기기

본 규격의 각기 다른 절에 동시에 부합되는 다기능 기기는, 만약 내부적인 조정 없이 구현되는 경우, 분리되어 동작하는 각각의 기능으로 시험되어야 한다.

각각의 기능별로 분리하여 시험하는 것이 불가능하거나, 특정기능의 분리하는 것이 기기의 주 기능을 사용하는 것이 불가능하게 되는 결과를 초래하는 기기는, 동작을 위해 필요한 최소한의 기능들만을 동작시킨다.

A.2.2 배터리 동작 기기

만약 기기가 매일 전원에 연결할 수 있는 경우에 이것은 각각의 가능한 모드로 동작시켜서 시험되어야 한다. 배터리 전원으로 동작시킬 때에는, 배터리는 시험 시작 전에 완충되어야 한다.

A.2.3 측정거리와 센서 위치

부록 A 표 1의 측정거리는 신체의 머리와 몸통 등의 주요 신경계 조직에 대한 영향으로부터 보호하기 위해 정상 동작 시키는 동안 사용자의 예상위치에 근거하여 정의되어 있다.

팔다리 노출의 경우에 다른 측정거리와 센서 위치가 적용 될 것이다.

부록 A 표 1 측정 거리, 센서 위치 및 동작 조건

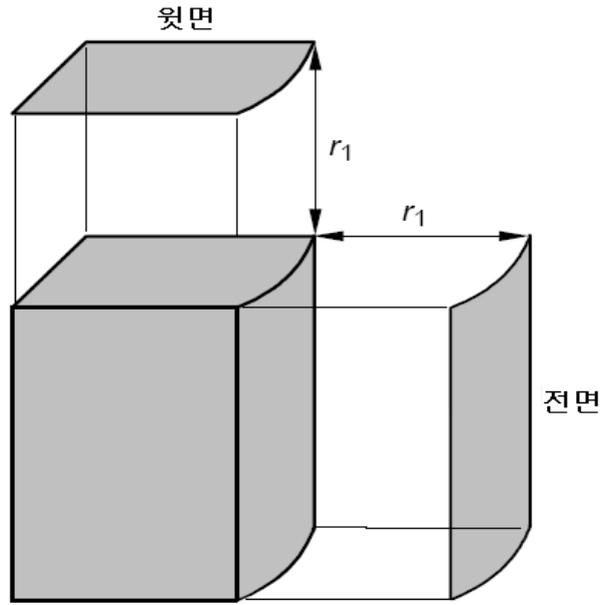
기기의 종류	동작 지시서에 규정되지 않는 경우의 측정거리 r_1	센서 위치	동작 조건
공기 청정기	30 cm	주변	연속 동작
에어컨	30 cm	주변	냉방 모드: 주변온도가 (30 ±5) °C인 경우에 가장 낮은 온도 설정 난방 모드: 주변온도가 (15 ±5) °C인 경우에 가장 높은 온도 설정 주변온도는 실내기로 유입되는 공기의 온도로 정의됨.
배터리 충전기 (인덕터 포함)	30 cm	주변	제조사에 의해 규정된 고속 능력으로 빈 충전지를 충전시키는 동작
음료 제조기	30 cm	주변	연속 동작, 무부하
전기 담요	0 cm	윗면	열 절연체의 시트 위에 펼쳐 놓은 상태로 동작
믹서기	30 cm	주변	연속 동작, 무부하
과즙 압착기	30 cm	주변	연속 동작, 무부하
시계	30 cm	주변	연속 동작

기기의 종류	구동 지침에 규정되지 않는 경우의 측정거리 r_1	센서 위치	동작 조건
커피 메이커	30 cm	주변	IEC 60335-2-15의 3.1.9에 규정된 동작조건
커피 분쇄기	30 cm	주변	IEC 60335-2-14의 3.1.9.108에 규정된 동작조건
대류식 난방기	30 cm	주변	최대 출력 동작
튀김기	30 cm	주변	IEC 60335-2-13의 3.1.9에 규정된 동작조건
치아 위생기	0 cm	주변	IEC 60335-2-52의 3.1.9에 규정된 동작조건
절삭기	0 cm	컷터 반대편	연속 동작, 무부하
식기 세척기	30 cm	윗면, 전면	물이 있고 접시가 없는 세척 모드, 만약 가능하다면 건조 모드에서 동작
달걀 조리기	30 cm	주변	IEC 60335-2-15의 3.1.9에 규정된 동작조건
안면 사우나기	10 cm	윗면	연속 동작
팬	30 cm	주변	연속 동작
팬 히터	30 cm	주변	연속 동작, 최대 열 설정
바닥 광택기	30 cm	주변	광택 브러시 위에 어떠한 기계적 부하가 없는 상태에서 연속 동작
만능 조리기	30 cm	주변	부하가 없는 연속 동작, 최대 속도 설정
음식 보온 캐비닛	30 cm	주변	부하가 없는 연속 동작, 최대 열 설정
발 온열기	30 cm	윗면	부하가 없는 연속 동작, 최대 열 설정
가스 점화기	30 cm	주변	연속 동작
그릴	30 cm	주변	부하가 없는 연속 동작, 최대 열 설정
헤어 커터기	0 cm	컷터 반대편	부하가 없는 연속 동작
헤어드라이어	10 cm	주변	연속 동작, 최대 열 설정
온열 매트	30 cm	윗면	열 절연체의 시트 위에 펼쳐 놓은 상태로 동작
온열 패드	0 cm	윗면	열 절연체의 시트 위에 펼쳐 놓은 상태로 동작
호브	30 cm	윗면, 전면	IEC 60335-2-6의 3.1.9에 규정된 동작조건, 그러나 개별적으로 각각의 히팅 유닛에 최대 설정으로 동작

기기의 종류	구동 지침에 규정되지 않는 경우의 측정거리 r1	센서 위치	동작 조건
아이스크림 제조기	30 cm	주변	부하가 없는 연속 동작, 최대 냉각 설정
투입 전열기	30 cm	주변	가열 요소를 완전히 숨긴 채 동작
유도 열선과 조리용 철판			부록 A.3 참조
다리미	30 cm	주변	IEC 60335-2-3의 3.1.9에 규정된 동작조건
다림 기계	30 cm	주변	IEC 60335-2-3의 3.1.9에 규정된 동작조건
쥬스 추출기	30 cm	주변	부하가 없는 연속 동작
주전자	30 cm	주변	물을 반만 채운 채 동작
주방 저울	30 cm	주변	부하가 없는 연속 동작
주방용 칼	30 cm	주변	부하가 없는 연속 동작
주방기계 및 슬라이서	30 cm	주변	부하가 없는 연속 동작, 최대 속도 설정
안마기	0 cm	안마기 머리부분 반대편	부하가 없는 연속 동작, 최대 속도 설정
전자레인지 (RF 부분은 IEC 60335-2-25에서 다룸)	30 cm	주변	최대 초고주파 전력인 연속 동작. 만약 가능하다면, 일반적인 가열요소를 최대 설정으로 하여 동시에 동작시킴. 부하로는 1l의 물을 선반의 가운데 위치시킴. 물을 담은 용기는 전기적으로 비전도성 물질인 유리 또는 플라스틱으로 함.
믹서기	30 cm	주변	부하가 없는 연속 동작, 최대 속도 설정
유류 난방기	30 cm	주변	연속 동작, 최대 열 설정
오븐	30 cm	윗면, 전면	문이 닫힌 상태에서 오븐은 비어 놓음. 자동온도 조절기는 최대값으로 설정함. 또한 만약 가능하다면, 사용을 위한 설명서에 정의된 세척 모드로 동작
레인지	30 cm	윗면, 전면	개별적으로 각각의 기능으로 동작
레인지 후드	30 cm	아랫면, 전면	최대값으로 설정된 상태에서 제어
냉장고	30 cm	윗면, 전면	문이 닫힌 상태에서 연속 동작. 자동온도 조절기는 최대 냉각으로 조절함. 캐비닛은 비어 놓음. 측정은 정상 조건에 도달한 후에 이루어지며, 그러나 모든 칸막이는 냉각으로 동작됨.

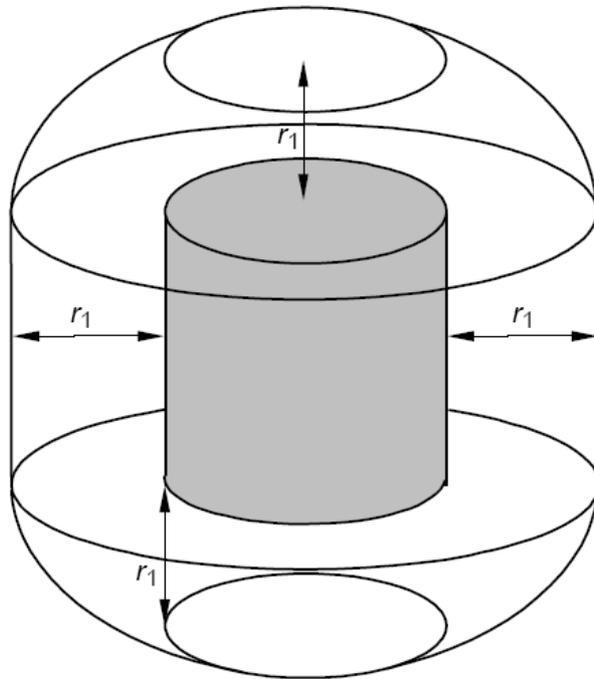
기기의 종류	구동 지침에 규정되지 않는 경우의 측정거리 r_1	센서 위치	동작 조건
밥솥	30 cm	주변	물을 반만 채운 채 동작, 그리고 최대 열 설정
면도기	0 cm	컷터 반대편	부하가 없는 연속 동작
슬라이스 기계	30 cm	주변	부하가 없는 연속 동작, 최대 속도 설정
썬텐기	0 cm 내부 30 cm 외부	전면	연속 동작, 최대 설정
회전 추출기	30 cm	윗면, 전면	부하가 없는 연속 동작
축전 진열기	30 cm	주변	연속 동작, 최대 열 설정
티 메이커	30 cm	주변	연속 동작, 무부하
토스터	30 cm	주변	무부하, 최대 열 설정
공구류, 손잡이형	30 cm	주변, 그렇지 않으면 항상 사용자쪽으로 향하는 동일면	모든 설정, 예를 들면 무부하 상태에서 최대의 속도 설정
공구류, 손유도형	30 cm	주변, 그렇지 않으면 항상 사용자쪽으로 향하는 동일면	모든 설정, 예를 들면 무부하 상태에서 최대의 속도 설정
공구류, 이동 가능형	30 cm	사용자 쪽으로 향하는 윗면, 전면	모든 설정, 예를 들면 무부하 상태에서 최대의 속도 설정
발열소자를 포함하는 공구류	30 cm	주변, 그렇지 않으면 항상 사용자쪽으로 향하는 동일면	최대 온도 설정, 글루 막대를 가진 글루건은 작동 위치에서 동작
장난감을 위한 변압기	30 cm	주변	연속 동작
선로 세트: 전기 및 전자 제어	30 cm	주변	연속 동작
회전 건조기	30 cm	윗면, 전면	예비 세탁된 세탁물을 가진 건조 모드에서 동작, 이 세탁물은 다른 조건에서 거의 0,7 m x 0,7 m 의 크기를 가지며 무게가 140 g/m ² 에서 175 g/m ² 사이인 2단 면으로 된 천을 사용함.

기기의 종류	구동 지침에 규정되지 않는 경우의 측정거리 r ₁	센서 위치	동작 조건
진공청소기, 손잡이형	30 cm	주변	IEC 60335-2-2의 3.1.9에 규정된 동작조건
진공청소기, 몸체 미끄럼형	0 cm	사용자 쪽으로 향하는 모든 표면	IEC 60335-2-2의 3.1.9에 규정된 동작조건
진공청소기, 기타	30 cm	주변	IEC 60335-2-2의 3.1.9에 규정된 동작조건
세탁기 및 탈수기	30 cm	윗면, 전면	세탁물이 없는 조건, 최대 속도의 회전 모드
물침대용 전열기	10 cm	윗면	열 절연체의 시트 위에 펼쳐 놓은 상태로 동작
온수기	30 cm	주변	최대 설정에서 제어, 가능하다면 물이 순환되는 상태
기포발생 육조	0 cm 내부 30 cm 외부	주변	연속 동작



센서는 시험품의 윗면 / 전면으로부터 거리 r_1 만큼 표면에서 이동한다.

부록 A 그림 1 측정 지점: 윗면 / 전면, 3.2.7 참조



센서는 시험품의 표면과 수직으로 거리 r_1 이내에서 사람이 접근할 수 있을 경우 시험품의 모든 면으로 이동한다.

부록 A 그림 2 측정 지점: 주변, 3.2.7 참조

A.3 전자유도가열식 조리기기와 핫플레이트에 대한 시험조건

A.3.1 측정거리

각 조리영역에서의 측정은 센서의 표면과 제품의 경계면으로부터의 30 cm 떨어진 거리에서 네 수직선상 (A, B, C, D)에서 이루어져야 한다(부록 A 그림 3을 참조). 측정은 조리영역의 1 m 위와 0.5 m 아래에서 이루어진다. 만약 벽에 기대서 사용하는 제품의 경우에 제품의 뒷면(D 라인)에서는 측정을 하지 않는다.

A.3.2 동작모드

철제 법랑에 약 절반 정도의 물을 채우고 이것을 측정하고자 하는 조리영역의 중앙에 놓는다.

가장 작은 법랑을 사용하도록 추천한다. 만약 제공되는 그릇이 없는 경우에 조리영역표시가 있는 가장 작은 규격의 법랑이 사용된다. 규격 조리용 법랑의 바닥면 지름은 110 mm, 145 mm, 180 mm, 210 mm, 300 mm이다.

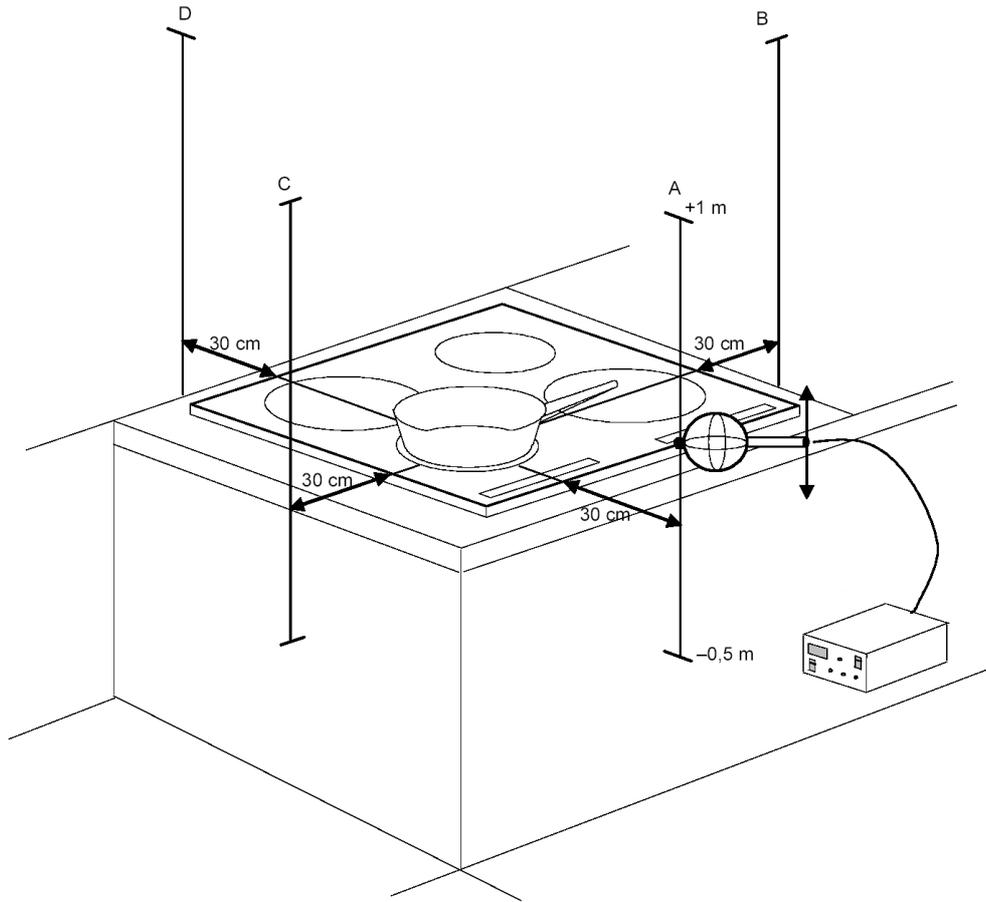
유도 가열기기는 순서대로 동작되고 다른 조리 영역은 포함되지 않는다.

에너지 조절기의 설정은 최대치로 놓는다.

측정은 안정된 동작조건에 도달한 후에 이루어진다.

만약 도달할 수 있는 안정조건이 없는 경우에 변화하는 값이 최대치에 도달하는 것을 확인하기 위해 적절한 관찰시간(약 30초)이 정의될 수 있다.

비고 유도 가열 기기간에 전원을 공유하기 때문에, 가장 높고 연속적인 자기장은 각각의 가열기기가 분리되어 동작될 때 얻어 질 수 있다.



선 A, B, C 및 D는 측정 지점을 나타낸다.

이 그림은 전면 왼쪽편의 동작 조건에서 네 구역의 열선을 가진 유도 가열식 소자를 나타낸다.

부록 A 그림 3 전자유도가열식조리기와 핫플레이트의 측정 거리

부록 B (정보)

노출 한계치

아래에 주어지는 한계치는 정보를 주기 위한 것이고, 이것은 포괄적인 목록은 될 수 없다.

본 규격을 사용 하는 사람은 국가의 규정에 의해 명시된 것과 같은 한계치의 최신판을 사용하였는지를 확인하여야 한다.

B.1 ICNIRP 가이드라인

부록 B 표 1 10 GHz 까지의 주파수 범위에서 시변 전기자기장에
일반적인 공공의 노출에 대한 기본 한계치 - 발췌

주파수 범위	머리와 몸통에 대한 전류밀도 mA/m ² (rms)	전체 몸의 평균 SAR W/kg	국부적인 SAR (머리와 몸통) W/kg	국부적인 SAR (팔, 다리) W/kg
1 Hz까지	8			
1 Hz - 4 Hz	8/ <i>f</i>			
4 Hz - 1 000 Hz	2			
1 kHz - 100 kHz	<i>f</i> /500			
100 kHz - 10 MHz	<i>f</i> /500	0,08	2	4
10 MHz - 10 GHz		0,08	2	4

비고 *f*는 [Hz] 단위의 주파수이다.

부록 B 표 2 시변 전기자기장에 일반적인 공공의 노출에 대한 기준 레벨(평탄한 rms 값) - 발췌

주파수 범위	전계 강도 V/m	자계 강도 A/m	자기장 μT	등가 평면파 전력밀도 S _{eq} W/m ²
1 Hz까지	-	3,2 × 10 ⁴	4 × 10 ⁴	-
1 Hz - 8 Hz	10 000	3,2 × 10 ⁴ / <i>f</i> ²	4 × 10 ⁴ / <i>f</i> ²	-
8 Hz - 25 Hz	10 000	4 000/ <i>f</i>	5 000/ <i>f</i>	-
0,025 kHz - 0,8 kHz	250/ <i>f</i>	4/ <i>f</i>	5/ <i>f</i>	-
0,8 kHz - 3 kHz	250/ <i>f</i>	5	6,25	-
3 kHz - 150 kHz	87	5	6,25	-
0,15 MHz - 1 MHz	87	0,73/ <i>f</i>	0,92/ <i>f</i>	-
1MHz - 10 MHz	87/ <i>f</i> ²	0,73/ <i>f</i>	0,92/ <i>f</i>	-
10 MHz - 400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 MHz - 2 000 MHz	1,375 <i>f</i> ²	0,0037 <i>f</i> ²	0,0046 <i>f</i> ²	<i>f</i> /200
2 GHz - 300 GHz	61	0,16	0,20	10

비고 *f*는 해당 주파수열의 값을 나타낸다.

B.2 IEEE 규격[12]

부록 B 표 3 3 kHz 까지의 주파수 범위에서 인체의 여러 부분에 적용하는
일반적인 공공의 노출에 대한 기본 한계치 - 발췌

노출된 조직	f_c Hz	E_o V/m-rms
두뇌	20	$5,89 \times 10^{-3}$
심장	167	0,943
손, 손목, 발 그리고 발목	3 350	2,10
다른 조직	3 350	0,701

표의 해석은 다음과 같다:
 $E_i = E_o$ for $f \leq f_c$; $E_i = E_o (f / f_c)$ for $f \geq f_c$.
 나열된 제한에 추가하여, 머리와 몸통이 10 Hz 이하의 자기장에 대한 노출은 일반적인 공공환경에서는 최대값이 167 mT 이내로 제한되어야 하며, 관리 환경에서는 500 mT 이하로 제한되어야 한다.

부록 B 표 4 일반적인 공공의 노출에 대한 자기장 한계치: 머리와 몸통의 노출 - 발췌

주파수 범위 Hz	B mT-rms	H A/m-rms
< 0,153	118	$9,39 \times 10^4$
0,153 - 20	$18,1/f$	$1,44 \times 10^4 / f$
20 - 759	0,904	719
759 - 3 000	$687/f$	$5,47 \times 10^5 / f$
3 000 - 100 kHz		164

3 kHz 이상에서의 주파수에 대한 한계치는 3 kHz 이상에 대한 IEEE 규격과 일치함을 기술해야 한다.

부록 C (규격) 결합 계수의 결정

C.1 계산에 의한 결합 계수의 결정

부록 B에서 주어지는 기준레벨 B_{RL} 은 균등한 장에서 정의된다. 본 규격 내에서의 제품 주변의 강한 자기장의 불균일성은 지수 $a_c(r_1)$ 으로 고려된다. 그것은 계산된 자기장 내의 신체 부분의 면적으로 얻어진다.

절차는 집약된 발생원에만 적용될 수 있다. 침점 B_{max} 로부터 $0.1B_{max}$ 까지의 자기장의 분포는 연속적이다. 기준레벨 B_{RL} 과 비교되는 보정된 측정값 $B_{mc}(r_1)$ 는 측정값 B_m 으로부터 아래와 같이 얻어진다.

$$B_{mc}(r_1) = a_c(r_1) B_m \text{ and } W_{nc} = a_c(r_1) \cdot W_n \quad (C.1)$$

지수 $a_c(r_1)$ 은 운용주파수에 기본을 둔 4단계과정으로부터 얻어진다.

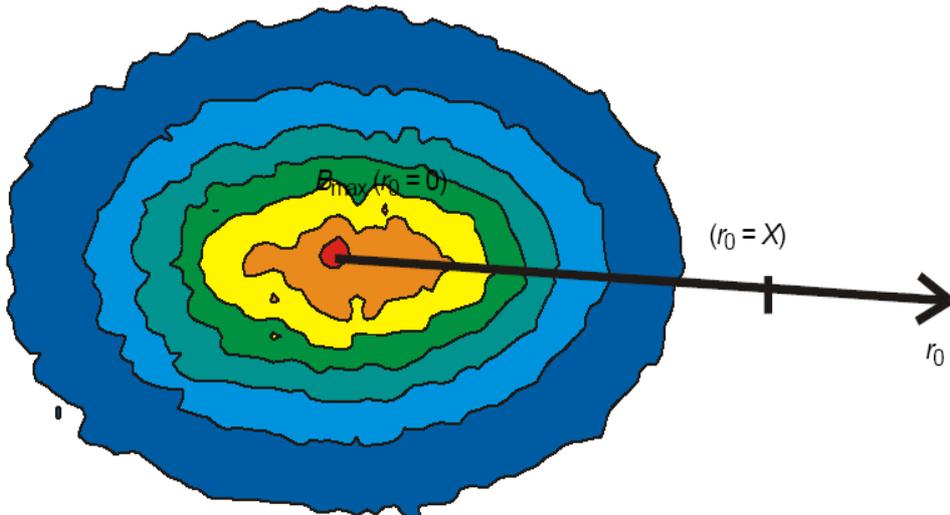
- 1단계 침점 범위의 평가

자속 밀도 $B(r_0)$ 는 침점 $r_0=0$ 에서 시작되어서 가장 낮은 기울기 선의 표면으로 접선 방향에 따라 측정된다. 측정은 부록 C 그림 1과 2에 보인 것과 같이 자속밀도가 침점 최대값의 10%로 감소하는 지점 $r_0=X$ 에서 멈춘다. 측정하는 포인트 간의 거리는 0.5 cm부터 1 cm로 한다.

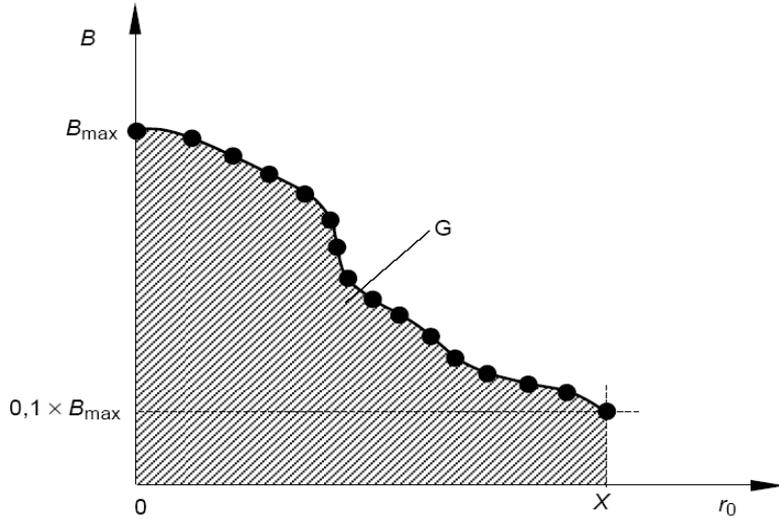
비고 1 결합 계수의 평가는 동작 주파수의 경우에 협대역이 될 수 있다.

비고 2 5.4에 설명된 3 cm^2 의 측정영역 센서와 같은 작은 센서의 사용이 권장된다.

$$\frac{B(r_0 = X)}{B(r_0 = 0)} = 0.1 \quad (C.2)$$



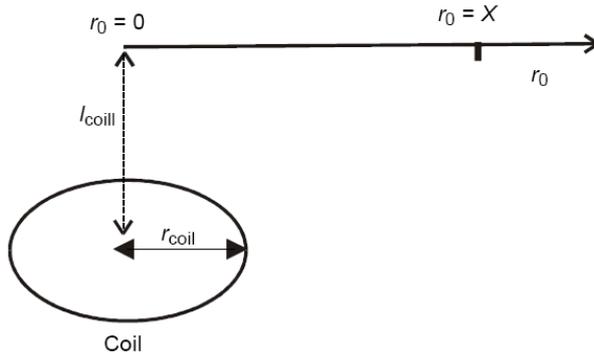
부록 C 그림 1 침점



부록 C 그림 2 선속 밀도의 기울기와 적분 G

• 2단계 등가코일의 결정

1단계에서의 측정결과는 유사 적분 G 는 주는 등가코일의 반지름을 결정하는 것에 사용된다. 이 코일은 제품내부의 자기장원의 위치에 따른 침점으로부터 거리 l_{coil} 에 위치되는 것으로 가정된다.



부록 C 그림 3 등가코일의 위치

측정된 선속밀도의 표준화된 적분은 단일값 G 의 결과를 내고 이것은 등가코일(부록 C 표 1)의 반지름 r_{coil} 을 결정하는데 사용될 수 있다. 선형 삽입은 l_{coil} 을 초과할 수 없는 r_{coil} 의 다른 값을 얻기 위해서 사용된다.

비고 1 작은 제품에 대해, 자기장 발생원은 제품의 중앙부로 가정된다. 큰 제품의 경우에는 각각 자기장 발생원의 위치가 제품의 검사를 통해서 결정되어진다.

비고 2 집중된 발생원의 경우에만 절차를 적용할 수 있다. 침점으로부터의 B_{max} 부터 $0.1B_{max}$ 까지의 전기자기장의 분포는 연속적이다.

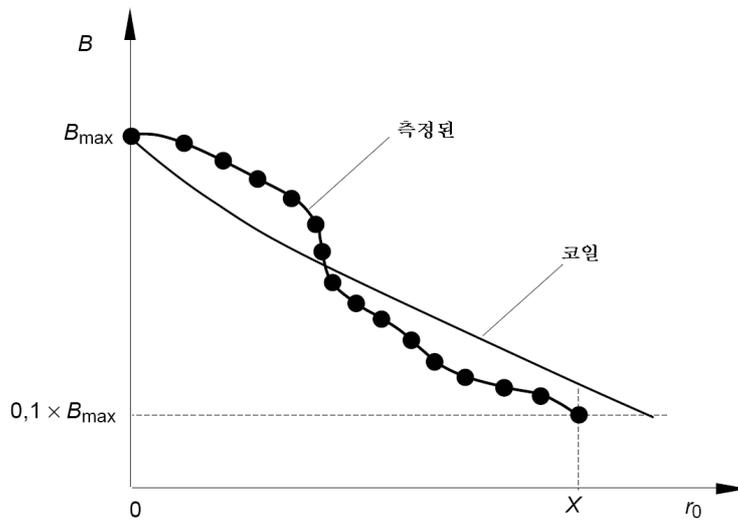
값 G 는 아래의 공식으로부터 계산된다.

$$G(r_{coil}, l_{coil}) = \int_{r_0=0}^{r_0=X} \frac{B(r_0)}{B(r_0=0)} dr_0 \quad (C.3)$$

부록 C 표 1 다른 코일의 G [m] 값

거리 I_{coil} (mm)	반경 r_{coil} (mm)					
	10	20	30	50	70	100
10	0.013 54					
15	0.015 62					
20	0.018 48	0.027 03				
25	0.021 68	0.028 80				
30	0.025 11	0.031 17	0.040 51			
35	0.028 61	0.033 90	0.042 17			
40	0.032 22	0.036 89	0.044 29			
50	0.039 55	0.043 34	0.049 41	0.067 50		
70	0.054 48	0.057 18	0.061 64	0.075 35	0.094 44	
100	0.077 11	0.079 05	0.082 19	0.092 13	0.106 44	0.134 93
200	0.153 17	0.154 15	0.155 73	0.160 85	0.168 45	0.184 20
300	0.229 53	0.230 12	0.231 19	0.234 61	0.239 71	0.250 54

비고 최악조건인 경우를 포함하는 코일은 주어진 G 값에 대해 코일 반경이 가장 작은 것이다.



부록 C 그림 4 선속밀도의 기울기와 코일

- 3 단계 : 계수 k의 결정

코일의 반지름 r_{coil} 은 거리 r에서 등가원(코일)과 인체사이의 인수 $k(r, r_{coil}, f, \rho)$ 를 결정하는데 사용된다.

$$r = r_1 + I_{coil} \quad (C.4)$$

r_1 : 측정하는 거리(3.2.6 참조)

I_{coil} : 등가코일과 표면까지의 내부거리

비고 추가는 같은 단위로 만들어져야 한다.

$$k(r, r_{coil}, f, \sigma) = \frac{J_{\max}(r, r_{coil}, f, \sigma)}{B_{\max, sensor}(r, r_{coil}, A_{sensor})} \quad (C.5)$$

J_{\max} : 몸체에서 가장 높은 전류밀도

A_{sensor} : 센서의 측정영역

주파수와 연관되는 계수 k 는 인체의 균일모델 전기 전도도 σ 과 센서의 크기와 마찬가지로 코일과 인체의 거리 r 에 따른다. 주파수에 따른 값은 기본 제한치 대신에 기준레벨을 재평가하는 것으로 보상될 수 있다.(단계 4 참조)

비균일 전기자기장에 대해서는 σ 값은 가장 높은 값이 인체의 표면에서 발생한 이래로 0.1 S/m 이다(부록 D.2.2 참조). 다음의 계산은 5.4에 설명된 기준센서를 사용하는 값에 근거를 둔다. 부록 C 표 2는 전신에서의 계수 k 의 값을 목록화 했다.

부록 C 표 2 - 주파수 50 Hz에서 전신에 대한 계수 $k[\frac{A/m^2}{T}]$ 의 값

거리 r cm	반경 r_{coil} mm					
	10	20	30	50	70	100
1	21,354	15,326	8,929	5,060	3,760	3,523
5	4,172	3,937	3,696	3,180	2,858	2,546
10	2,791	2,735	2,696	2,660	2,534	2,411
20	2,456	2,374	2,369	2,404	2,398	2,488
30	2,801	2,735	2,714	2,778	2,687	2,744
40	3,070	2,969	2,933	3,042	2,865	2,916
50	3,271	3,137	3,086	3,251	2,989	3,040
60	3,437	3,271	3,206	3,429	3,079	3,134
70	3,588	3,388	3,311	3,595	3,156	3,216
100	3,940	3,659	3,601	4,022	3,570	3,604

비고 1 계수 k 는 D.2에 서술된 인체를 위한 적당한 수치 모델과 함께 발생원에 코일을 적용함으로써 결정된다. 이것은 균일 전기자기장이 아닌 단지 발생원과 근접한 영역에 적용 가능하다.

2 거리 r 보다 큰 값을 가진 반경 r_{coil} 은 부록 C의 절차에 의해서 결정될 수 없다.

다른 주파수 f 를 위한 계수 k 와 전도도 σ 는 부록 C 표 2의 값으로부터 계산될 수 있다.

$$k^*(r, r_{coil}) = \frac{f}{50Hz} \cdot \frac{\sigma}{0,1 \frac{S}{m}} \cdot k \quad (C.6)$$

- 4 단계 : 결합 계수의 계산

결합 계수 $a_c(r)$ 은 재평가된 계수 k 의 결과이고 아래와 같이 결정될 수 있다.

$$a_c(r, r_{coil}, f, \sigma) = k(r, r_{coil}, f, \sigma) \cdot \frac{B_{RL}(f)}{J_{BR}(f)} = \frac{k(r, r_{coil}, f, \sigma)}{\sigma} \cdot \frac{B_{RL}(f)}{E_{BR}(f)} \quad (C.7)$$

비고 1 E_{BR} 의 용어는 IEEE 규격에 사용되는 기본 한계치에 따라서 적용한다.

비고 2 용어 $B_{RL}(f)/J_{BR}(f)$ 는 8 Hz부터 800 Hz까지와 1 kHz부터 100 kHz까지의 1/에 비례한다. 결과적으로 지수 $a_c(r)$ 은 그 범위 안에서 주파수에 독립적이다.(부록 C 그림 5 참조)

5.5.2와 5.5.3에 따라서 측정하는 경우에 같은 f_0 가 사용된다. 그에 따라 결합 계수 $a_c(r)$ 을 평가한다.

$$a_c(r, r_{coil}, f_{c0}, \sigma) = k(r, r_{coil}, f_{c0}, \sigma) \cdot \frac{B_{RL}(f_{c0})}{J_{BR}(f_{c0})} = \frac{k(r, r_{coil}, f_{c0}, \sigma)}{\sigma} \cdot \frac{B_{RL}(f_{c0})}{E_{BR}(f_{c0})} \quad (C.8)$$

비고 결합 계수 $a_c(r)$ 은 식 C.4를 사용한 부록 C 그림 5로부터 결정될 수 있다.

$r_{coil}=10$ mm인 코일과 몸체가 거리 $r=50$ cm로 떨어져있는 경우 $f=50$ Hz와 $\sigma=0.1$ S/m에서 ICNIRP를 적용해서 재평가하는 경우의 예

$$\begin{aligned} a_c(r = 50cm, r_{coil} = 10mm, f = 50Hz, \sigma = 0.1S/m) &= \\ k(r = 50cm, r_{coil} = 10mm, f = 50Hz, \sigma = 0.1S/m) \cdot \frac{B_{RL}(f = 50Hz)}{J_{BR}(f = 50Hz)} &= \\ 3.271 \frac{A/m^2}{T} \frac{100\mu T}{2mA/m^2} &= 0.1635 \end{aligned}$$

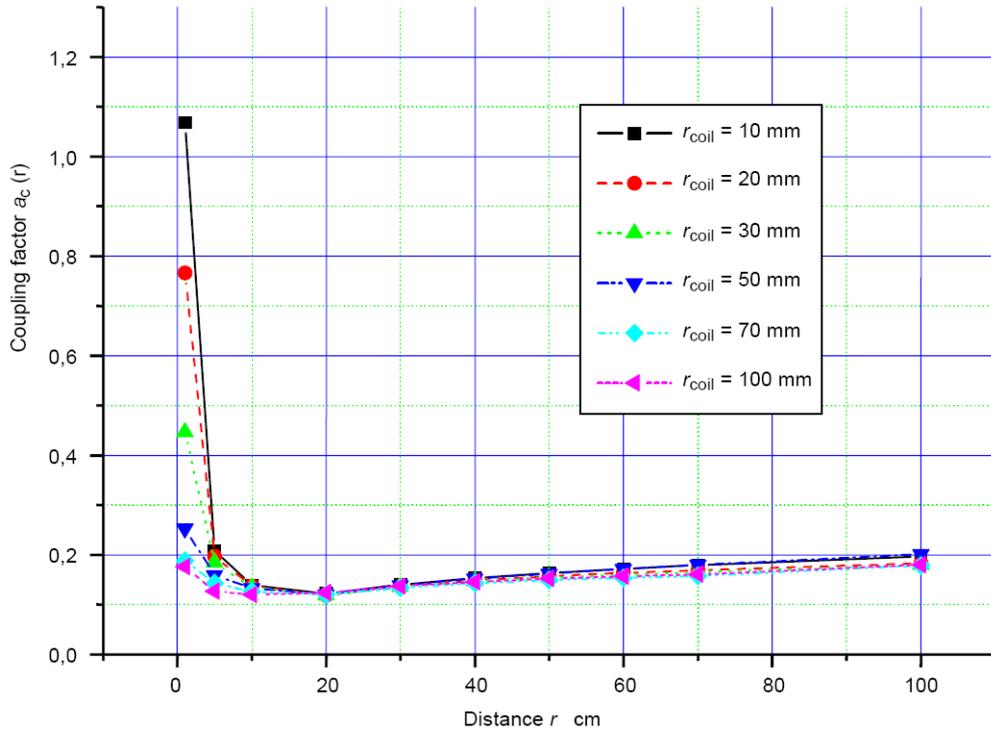
$r_{coil}=10$ mm이고 인체 몸통과의 거리 $r=50$ cm인 경우 $f=60$ Hz, $\sigma=0.1$ S/m일 때의 IEEE 규격을 적용한 한계치의 결합 계수 a_c 계산의 예

$$\begin{aligned} a_c(r = 50cm, r_{coil} = 10mm, f = 60Hz, \sigma = 0.1S/m) &= \\ \frac{k(r = 50cm, r_{coil} = 10mm, f = 50Hz, \sigma = 0.1S/m)}{\sigma = 0.1S/m} \frac{f}{50Hz} \frac{B_{RL}(f = 60Hz)}{E_{BR}(f = 60Hz)} &= \\ \frac{3.271 \frac{A/m^2}{T}}{0.1S/m} \frac{60Hz}{50Hz} \frac{0.904mT}{0.701V/m} &= 0.0506 \end{aligned}$$

C.2 결합 계수의 그래프 평가

결합 계수는 부록 C 그림 5로부터 결정될 수 있다. 이 방법은 등가코일의 반지름(r_{coil})에 따른 결합 계수의 값을 제시한다.

비고 이 방법은 10 mm의 r_{coil} 의 최악의 경우를 가정해서 부록 A 표 1에서의 결합 계수를 결정을 하는 경우에 사용된다.



부록 C 그림 5 인체에 대하여 0,1 S/m를 가진 결합 계수 $a_c(r)$, $A_{\text{sensor}}=100 \text{ cm}^2$
 (ICNIRP의 한계치를 사용하여 다시 정해짐)

거리 $r = r_1 + l_{\text{coil}}$, 여기서 r_1 은 부록 A 표 1에 명시된 측정거리이다.

부록 D (정보)

부록 B의 한계치 사용의 예제

D.1 전달함수

일반적 노출에 대한 ICNIRP 기준레벨 $B_{RL}(f)$ 는 아래와 같이 전달함수를 계산하기 위해 사용될 수 있다. (50 Hz 정규화 지점의 예)

부록 D 표 1 ICNIRP 일반적인 공공 노출에 대한 전달 함수

$(f_1 = 10 Hz) \leq f \leq (f_{C1} = 800 Hz)$	$A(f) = \frac{B_{RL}(f_{C0} = 50 Hz)}{B_{RL}(f)} = \frac{5000/50 \mu T}{5000/f \mu T} = \frac{f}{50 Hz}$
$(f_{C1} = 800 Hz) \leq f \leq (f_2 = 150 kHz)$	$A(f) = \frac{B_{RL}(f_{C0} = 50 Hz)}{B_{RL}(f)} = \frac{5000/50 \mu T}{6.25 \mu T} = 16$
$(f_2 = 150 kHz) \leq f \leq (f_{n=3} = 400 kHz)$	$A(f) = \frac{B_{RL}(f_{C0} = 50 Hz)}{B_{RL}(f)} = \frac{5000/50 \mu T}{920\,000/f \mu T} = \frac{f}{9.2 kHz}$

일반적인 경우(몸통 또는 머리의 노출)에 IEEE 자기 최대 허용노출 레벨(3.2.8 참조) B_{RL} 은 아래와 같이 전달함수를 계산하기 위해 사용될 수 있다. (60 Hz 정규화 지점의 예)

부록 D 표 2 IEEE 일반적인 공공 노출에 대한 전달 함수

$(f_1 = 10 Hz) \leq f \leq (f_{C1} = 20 Hz)$	$A(f) = \frac{B_{RL}(f_{C0} = 60 Hz)}{B_{RL}(f)} = \frac{0.904 mT}{18.1/f mT} = \frac{f}{20 Hz}$
$(f_{C1} = 20 Hz) \leq f \leq (f_2 = 759 Hz)$	$A(f) = \frac{B_{RL}(f_{C0} = 60 Hz)}{B_{RL}(f)} = \frac{0.904 mT}{0.904 mT} = 1$
$(f_2 = 759 Hz) \leq f \leq (f_3 = 3,35 kHz)$	$A(f) = \frac{B_{RL}(f_{C0} = 60 Hz)}{B_{RL}(f)} = \frac{0.904 mT}{687/f mT} = \frac{f}{759 Hz}$
$(f_3 = 3,35 kHz) \leq f \leq (f_4 = 100 kHz)$	$A(f) = \frac{B_{RL}(f_{C0} = 60 Hz)}{B_{RL}(f)} = \frac{0.904 mT}{0.205 mT} = 4.41$
$(f_4 = 100 kHz) \leq f \leq (f_{n=5} = 400 kHz)$	$A(f) = \frac{B_{RL}(f_{C0} = 60 Hz)}{B_{RL}(f)} = \frac{0.904 mT}{205/f T} = \frac{f}{22.68 kHz}$
비고 모든 주파수 f 는 Hz 단위를 사용함.	

D.2 결합 계수

부록 D 표 3 결합 계수 $a_c(r_1)$

시험품의 크기	측정 거리 r_1	결합 계수 $a_c(r_1)$ ICNIRP	결합 계수 $a_c(r_1)$ IEEE (60 Hz)
소형	0 cm	1,00	0,330
대형	0 cm	0,15	0,048
소형	10 cm	0,14	0,043
대형	10 cm	0,16	0,051
소형	30 cm	0,14	0,043
대형	30 cm	0,18	0,056

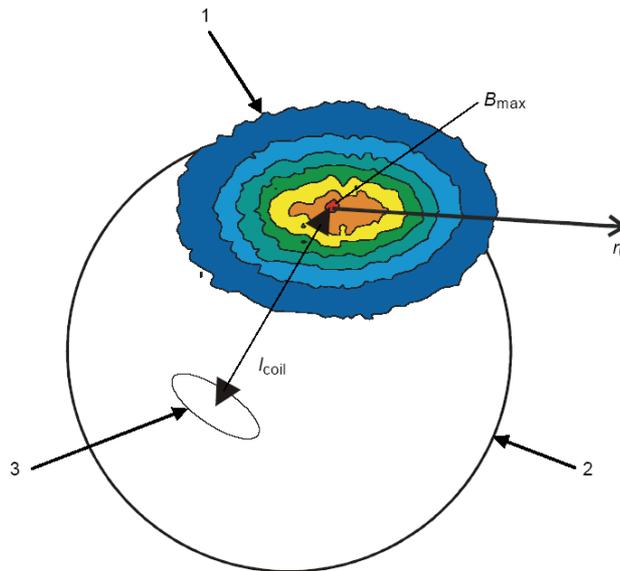
소형: 필드 발생원은 시험품의 내부 하우스징 아래에 직접 위치한다.
 대형: 필드 발생원은 시험품의 내부 하우스징의 표면으로부터 10 cm에서 40 cm까지의 거리를 유지한다.
 비고 1 약조건인 상태를 가정할 때, 전신에 대해 식 C.7에 의해서 계산된다.
 2 비록 ICNIRP과 비교하여 기준레벨이 거의 10배 높다 하더라도, IEEE의 낮은 지수는 다른 조직에 대한 기본 한계치보다 35배 높은 근거를 가진다.

D.3 결합 계수 결정의 예

부록 C에서 시작한 것과 같이 결합 계수 $a_c(r_1)$ 의 결정은 4단계로 얻어진다.

- 1단계 침점의 범위 평가

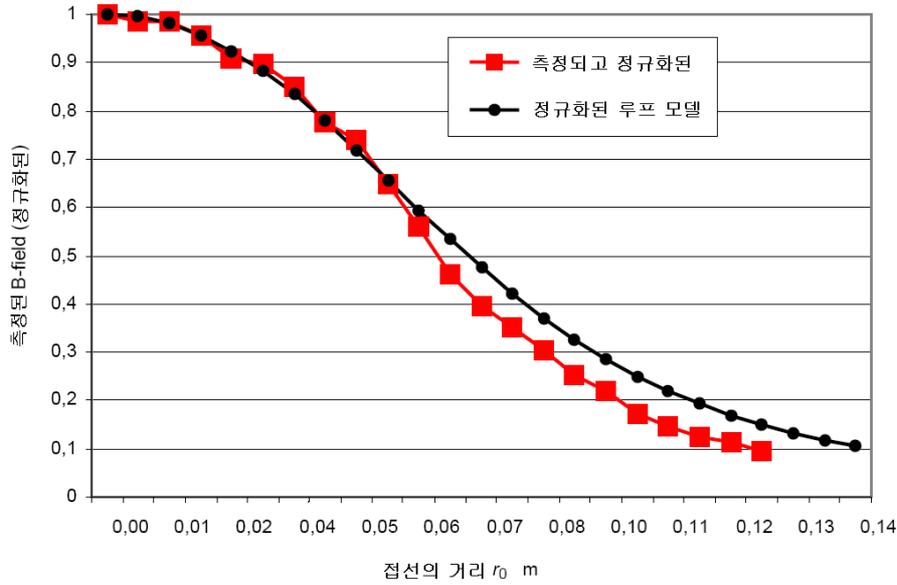
부록 D 그림 1은 측정절차와 측정에 대한 부록 D 그림 2 결과를 보여준다.



- 1 침점 부근에서 접평면위의 측정
- 2 구체로 묘사된 가전제품의 모델
- 3 등가의 필드 발생원인 코일

부록 D 그림 1 자속의 측정

• 2단계 등가코일의 결정



부록 D 그림 2 - 접선의 거리 r_0 에 대한 정규화된 자기장의 분포

축(부록 D 그림 2의 면적곡선)에 따른 정규화 되어 측정된 선속밀도의 적분은 $G=0.07155$ 가 된다.

• 3단계 계수 k의 결정

G 의 값이 결정되면 등가코일의 반지름 r_{coil} 이 결정될 수 있다.(부록 C 표 1) 이 단계를 위해 측정하는 가 정용 기기의 크기에 따른 거리 d_{coil} 을 아는 것이 중요하다. 이것의 예로 $d_{coil} = 70$ mm는 좋은 근사치이다. 부록 C 표 1의 $d_{coil} = 70$ mm 인 열에서, $r_{coil} = 50$ mm 인 행이라면, 계수는 $G = 0.07535$ [m]로 결정될 것이 고, 이것은 이 열에서 정확한 값인 $G = 0.07166$ 에 가장 근접한 것이다. 부록 D 그림 2의 원형 곡선은 언 급된 코일을 나타낸다. 보는 바과 같이 이 코일은 좋은 근사치이다.

계수 k 는, 예를 들어 $r_1=0$ 이면 원하는 모델에 따라 $r=7$ cm, $r_{coil}=50$ mm의 지점을 부록 C 표 2에서 찾아 결 정할 수 있다. 전신의 경우에 가장 가까운 값은 $r = 5$ cm : $k = 3.180$ 이다. ($\sigma = 0.1$ S/m, $A_{sensor} = 100$ cm²)

• 4단계 결합 계수의 계산

1. 5.5.2와 5.5.3에 따라 측정을 하는 경우 50 Hz 의 주파수가 사용되고 적절한 평가가 이루어진다. 그래 서 $\sigma = 0.1$ 일 때의 결합 계수 $a_c(r)$ 은 아래와 같다.

$$a_c(r, \sigma) = k(r, f = 50\text{Hz}, \sigma) \cdot 50 \times 10^{-3} \frac{T}{A/m^2} \quad (D.1)$$

인체 전신에 대해 결합 계수 $a_c(r) = 0.159$ 를 도출해낼 수 있다.

$\sigma \neq 0.1$ S/m 일 때 결합 계수 $a_c(r)$ 을 찾는 경우 결합계수에 $\frac{\sigma}{0.1 \frac{S}{m}}$ 을 곱한다.

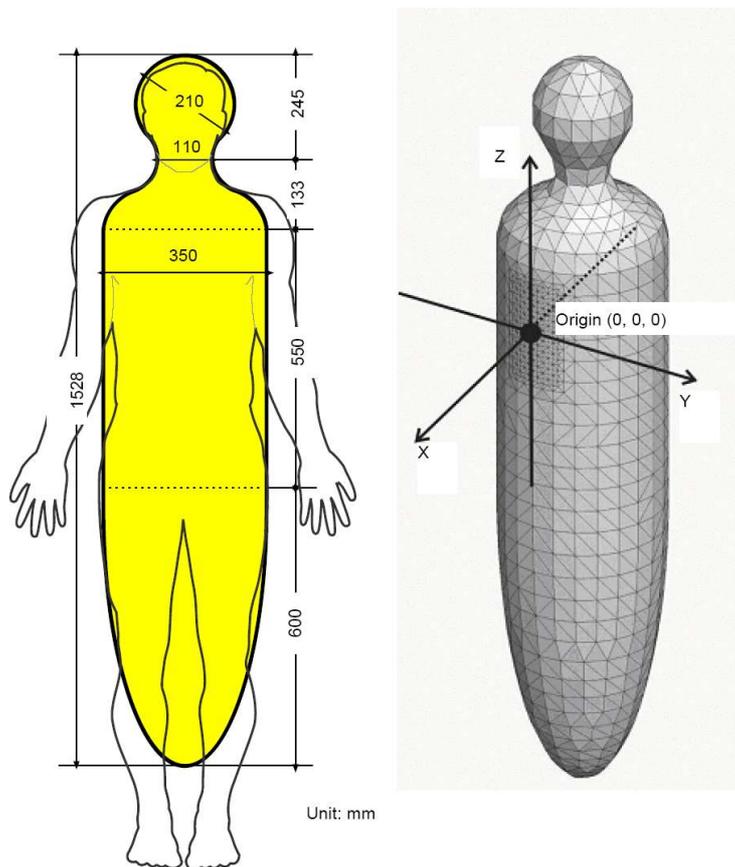
$\sigma = 0.3$ S/m 인 경우에 결합 계수를 결정하는 예는 아래와 같다(인체 전신의 경우).

$$a_c(r)_{\sigma = 0.3S/m} = 0.159 \cdot \frac{0.3 \frac{S}{m}}{0.1 \frac{S}{m}} = 0.477$$

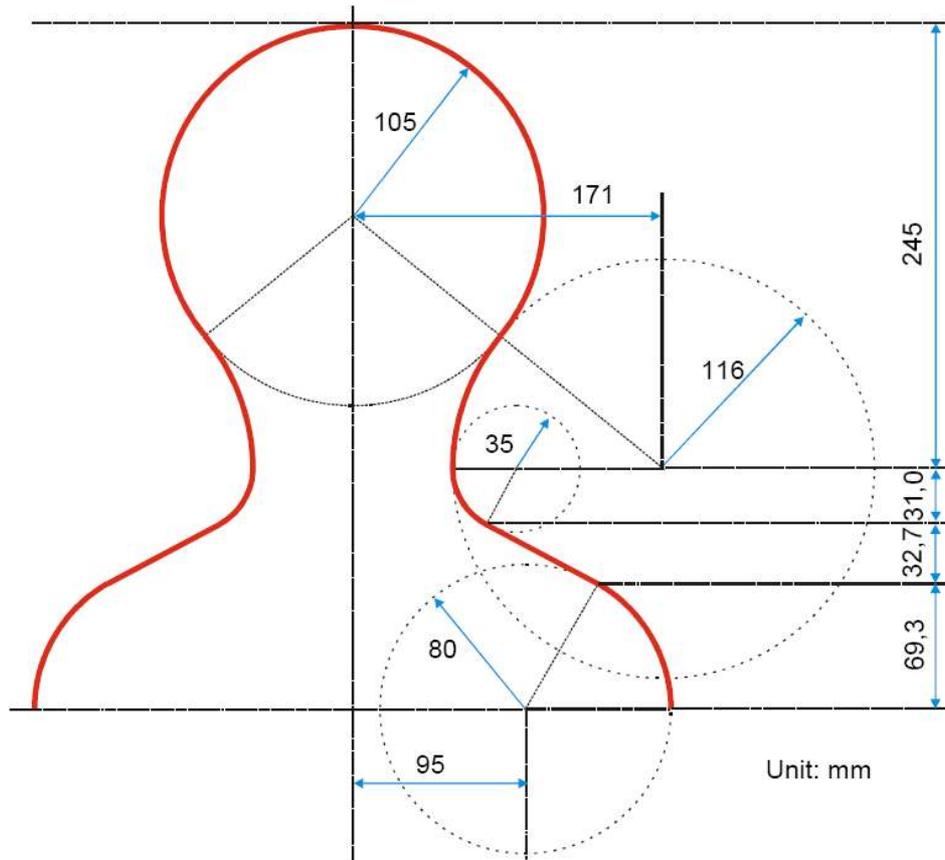
D.4 결합 계수 결정과 관련된 부가적 설명

D.4.1 균일한 인체에 대한 수치적 모델

부록 D 그림 3은 결합 계수의 계산을 위해 균일한 인체에 대해 만들어진 수치적 모델의 면적을 보여준다. 아래쪽 부분은 정강이뼈에서 가장 낮은 전환점을 가지며 이 때의 축이 350 mm/1 200 mm 인 반 타원형이다. 중간 부분은 350 mm 지름을 가지는 원통형이고 머리와 어깨의 세부사항은 부록 D 그림 4에 나타난다.



부록 D 그림 3 균질한 인체의 수치적 모델



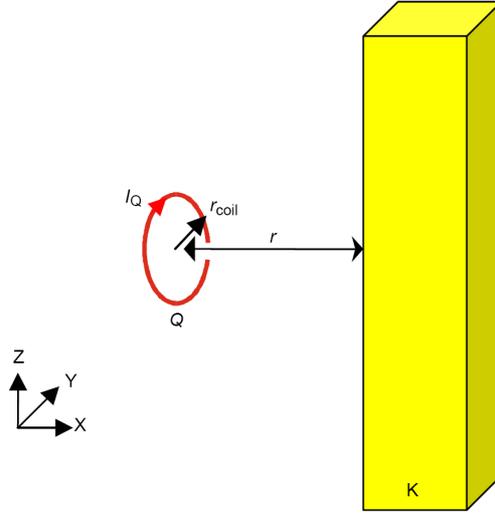
부록 D 그림 4 - 머리와 어깨의 세부구조

D.4.2 비균일 자기장의 다른 발생원과 계수 k 의 계산

비균일 자기장의 발생원에 대한 아래 목록은 완성된 것은 아니고 개략적인 것을 나타낸다.

- 원형 전류 루프
- 직사각형 전류 루프
- 단선 전류
- 원형 전류 코일
- 최소단위 다이폴

그러나 오직 결합 계수를 계산하기 위해서는 원형 전류 루프만 발생원으로써 사용된다. 그래서 여러 가지 지름의 전류 루프는 수치적 모델의 최악의 경우를 고려하는 방법이 된다. 이것은 부록 D 그림 5에서 설명된다.



부록 D 그림 5 모델 K 에 대한 발생원 Q 의 위치

수치적인 계산을 위해 인체 조직의 전기 도전율 σ 는 주파수 f 로 계산된다. 최종적으로 인체 모델 내부의 전기적 전류밀도 J 는 옴의 법칙을 적용해서 평가될 수 있다.

$$J(r, f, \sigma) = \sigma(f) \cdot E_1(r, f) \quad (D.2)$$

계수 k 는 내부의 수치적 모델에서 최대로 유도된 전기적 전류 밀도 J_{\max} 와 같은 위치에서 측정된 최대 자속 밀도와와의 관계를 보여준다. 발생원 전류 I_Q 는 임의로 선택될 수 있으나 J_{\max} 와 $B_{\max, \text{sensor}}$ 의 계산과 같아야만 한다. 계수 k 의 평가는 사용되는 센서에 달려있다. A_{sensor} 의 임의의 센서의 영역에 대해 평균화된 자속 밀도가 계산된다. 최대값 $B_{\max, \text{sensor}}$ 가 구해진다. 주파수 f 와 도전율 σ 는 선형적으로 계수 k 와 연결되기 때문에 이것은 아래와 같이 계산될 수 있다.

$$k(r, f, \sigma) = \frac{J_{\max}(r, f, \sigma)}{B_{\max, \text{sensor}}(r, A_{\text{sensor}})} = \frac{\sigma E_{i, \max}(r, f)}{B_{\max, \text{sensor}}(r, A_{\text{sensor}})} \quad (D.3)$$

균일 전기자기장에서의 균일한 인체 모델의 도전율에 대하여 $\sigma=0.2$ S/m가 선택된다. 그러나 제품주위의 전기자기장의 분포의 강한 불균일성으로 인해 인체 내부로 적절히 침투하게 되고, 또한 $\sigma=0.1$ S/m를 사용하는 것을 가능하게 한다.

비고 인체 표면 근처의 0.1 S/m의 도전율은 인체 도전율과 합쳐져 계산된다.

도전율 σ 에 대한 상세한 값은 결정된다.

측정되는 선속 밀도부터 IEEE 기본 한계치까지의 E 를 계산하기 위해 필요한 계수는 아래와 같이 얻을 수 있다.

$$\frac{k(r, f, \sigma)}{\sigma} = \frac{E_{i, \max}(r, f)}{B_{\max, \text{sensor}}(r, A_{\text{sensor}})} \quad (D.4)$$

부록 C에서 계수 k 의 결정을 위해 수치적 기술과 같은 모멘트법(MoM)이 사용된다.

• 예제 1

거리 $r = 10$ cm이고 발생 전류 $I_Q = 100$ A일 때 반지름 $r_{\text{coil}} = 20$ mm를 가지는 원형 코일의 경우, 결과값은 인체모델($\sigma = 0.1$ S/m, $f = 50$ Hz)에서 발생하는 전기적 전류 밀도 $J_{\max} = 14.956 \mu\text{A}/\text{m}^2$ 이다. 100 cm^2 센서에서의 평균자속 밀도는 $B_{\max, \text{sensor}=100 \text{ cm}^2} = 5.46835 \mu\text{T}$ 가 된다. 계수 k 는 따라서 아래와 같이 계산된다.

$$k\left(r = 10\text{cm}, f = 50\text{Hz}, \sigma = 0.1\frac{\text{S}}{\text{m}}\right) = \frac{14.956\frac{\mu\text{A}}{\text{m}^2}}{5.4683\mu\text{T}} = 2.735\frac{\text{A}/\text{m}^2}{\text{T}} \quad (\text{D.5})$$

(부록 C 표 2를 볼 것; $r = 10\text{ cm}$, $r_{\text{coil}} = 20\text{ mm}$ 인 경우에 지수 k)

• 예제 2

거리 $r = 10\text{ cm}$ 이고 발생 전류 $I_Q = 100\text{ A}$ 일 때 반지름 $r_{\text{coil}} = 20\text{ mm}$ 를 가지는 원형 코일의 경우, 결과값은 인체 머리 모델(구체로 $r_{\text{sphere}} = 10.5\text{ cm}$, $\sigma = 0.15\text{ S/m}$, $f = 60\text{ Hz}$)에서 발생하는 전기적 전류 밀도 $J_{\text{max}} = 19.17\ \mu\text{ A}/\text{m}^2$ 이다. 100 cm^2 센서에서의 평균자속 밀도는 $B_{\text{max, sensor}} = 100\text{ cm}^2 = 5.46835\ \mu\text{T}$ 가 된다. 지수 k 는 따라서 아래와 같이 계산된다.

$$k\left(r = 10\text{cm}, f = 60\text{Hz}, \sigma = 0.15\frac{\text{S}}{\text{m}}\right) = \frac{19.17\frac{\mu\text{A}}{\text{m}^2}}{5.46835\mu\text{T}} = 3.505627\frac{\text{A}/\text{m}^2}{\text{T}} \quad \text{와} \quad (\text{D.6})$$

$$\frac{k\left(r = 10\text{cm}, f = 60\text{Hz}, \sigma = 0.15\frac{\text{S}}{\text{m}}\right)}{\sigma = 0.15\frac{\text{S}}{\text{m}}} = \frac{3.505627\frac{\text{A}/\text{m}^2}{\text{T}}}{0.15\frac{\text{S}}{\text{m}}} = 23.370847\frac{\text{V}/\text{m}}{\text{T}}$$

일반적으로 수치적 계산의 결과값은 인체 모델에서의 전기장 강도 E_i 가 된다.(부록 C 2.3 참조). 현장 전기장 강도 E_i (IEEE 규격에 사용되는 것처럼)는 k 의 평가에서 사용되는 유사 전도도 σ 를 통해 간단하게 계수 k 를 분할함으로써 계산할 수 있다.

현장 전기장 강도 $E_{i, \text{max}}$ 는 그 결과 아래와 같이 계산한다.

$$E_{i, \text{max}} = \frac{k\left(r = 10\text{cm}, f = 60\text{Hz}, \sigma = 0.15\frac{\text{S}}{\text{m}}\right)}{\sigma = 0.15\frac{\text{S}}{\text{m}}} \cdot B_{\text{max, sensor}}\left(r = 10\text{cm}, A_{\text{sensor}} = 100\text{cm}^2\right) \quad (\text{D.7})$$

$$= 23.370847\frac{\text{V}/\text{m}}{\text{T}} \cdot 5.46835\mu\text{T} = 127.8\mu\text{V}/\text{m}$$

비고 수치적인 값은 부록 B에서 찾을 수 있다.

D.4.3 유도되는 전류 밀도의 계산

부록 D 2.1과 2.2의 부분에서 기술된 모델과 절차에 알맞은 어떤 수치적인 방법과 자기장 계산 소프트웨어 패키지가 사용될 것이다. 일반적으로 적용되는 방법은 아래와 같다.

- BEM(경계요소법)
- FDFD(유한차분주파수영역)
- FDTD(유한차분시간영역)
- FEM(유한요소법)
- FIT(유한적분기술)
- MoM(모멘트법)
- SPFD(양적전위유한차분)

- IP(임피던스법)

만약 RF 소프트웨어 코드를 사용하는 경우라면, 주파수 스케일링 방법[4]의 적용은 가능하다. 어떠한 자기 발생원의 경우 더 높은 주파수 f 에서 계산될 수 있다. (0.5 MHz이하에서 자기장의 준 고정 특성이 보장될 수 있도록). 이것의 계산을 위해 인체 조직의 전기 전도도 $\sigma(f)$ 는 주파수 f (f 이 아님)에 대해서 계산되어야 한다. 이 계산으로부터 주파수 f 에서의 전기장 강도 E' 가 산출된다.. 이제 전기장 세기를 스케일링 함으로써

$$\vec{E}(\vec{r}) = f/f' \cdot \vec{E}'(\vec{r}) \quad (\text{D.8})$$

관심주파수 f 에서의 값은 결정될 수 있다. 마지막으로 전류 밀도는 옴의 법칙을 적용하여 값을 구할 수 있게 된다.

$$J(\vec{r}) = \sigma(f) \cdot E(\vec{r}) \quad (\text{D.9})$$

참고문헌

- [1] RUOSS, H-O., SPREITZER, W., NISHIZAWA, S., MESSY, S. and KLAR, M. Efficient determination of current densities induced in the human body from measured low frequency inhomogeneous magnetic fields. Microwave and Optical Technology Letters, May 20, 2001, vol. 29, no. 4, pp. 211-213.
- [2] NISHIZAWA, S., SPREITZER, W., RUOSS, H-O., LANDSTORFER, F. and HASHIMOTO, O. Equivalent source model for electrical appliances emitting low frequency magnetic fields. Proceeding of 31th European Microwave Conference 2001, September 2001, Vol.3, pp.117-120.
- [3] KAMPET, U. and HILLER, W. Measurement of magnetic flux densities in the space around household appliances. In: Proceedings of NIR 99, Nichtionisierende Strahlung, 31. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz, KÖin, 1999, vol. II, pp. 885- 891.
- [4] FURSE, cm and GANDHI, OP. Calculation of electric fields and currents induced in a millimeter-resolution human model at 60Hz using the FDTD method. Bioelectromagnetics, 1998, vol. 19, pp. 293-299.
- [5] JAKOBUS, U. Erweiterte Momentenmethode zur Behandlung kompliziert aufgebauter und elektrisch gossor elektromagnetischer Streuprobleme. Fortschrittsberichte VDI, Reihe 21, Nr.171, 1995, VDI Verlag, Duesseldorf.
- [6] Program EMPIRE, <http://www.imst.de/>
- [7] SHEWCHUCK, JR. An introduction to the conjugate gradient method without the agonizing pain. School of Computer Science, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, 1994
- [8] RUOβ, H-O. and KAMPET, U. Numerical calculation of current densities induced in the human body caused by low frequency inhomogeneous magnetic sources. Kleinheubacher Berichte 2001, Band 144, pp. 155-162.
- [9] Italian National Research Council; Institute for Applied Physics: Calculation of the Dielectric Properties of Body Tissues in the frequency range 10 Hz - 100 GHz. Florence (Italy), 1997-2002; <http://sparc10.iroec.fir.cnr.it/tissprop/htmlclie/htmlclie.htm#atsftag>
- [10] FEKO: EM Software & System, www.feko.co.za
- [11] ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Phys., 1998, vol. 41, no. 4, pp. 449-522
- [12] IEEE C95.6:2002, IEEE Standard for Safety Levels With Respect to Human Exposure to Electromagnetic Fields, 0 - 3 kHz
- [13] BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP and OIML:1995, Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, ISBN 92-67-10188-9.
- [14] NIS 81, The Treatment of Uncertainty in EMC Measurements. United Kingdom Accreditation Service, Teddington, Middlesex, UK, Ed. 1, 1994

- [15] IEC 61786, Measurement of low-frequency magnetic and electric fields with regard to exposure of human beings - Special requirements for instruments and guidance for measurements [16] ORCUTT, Neil and GANDHI, OM P. A 3-D Impedance Method to Calculate Power Deposition in Biological Bodies Subjected to Time Varying Magnetic Fields. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, August 1988, Vol. 35, No. 8.
- [16] GANDHI, OM P., DEFORD, John F. and KANAI, Hiroshi. Impedance Method for Calculation of Power Deposition Patterns in Magnetically induced Hyperthermia. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, October 1984, Vol. BME 31, No. 10.
- [17] DAWSON, T. W., CAPUTA, K. and Stuchly, M. A. Numerical evaluation of 60 Hz magnetic induction in the human body in complex occupational environments. Physics in Medicine & Biology, April 1999, Vol. 44 (4), pp. 1025-1040.
- [18] NISHIZAWA, Shinichiro, LANDSTORFER, Friedrich (University of Stuttgart, Germany) and HASHIMOTO, Osamu (Aoyama Gakuin University, Japan). Study of the magnetic field properties around household appliances using magnetic source models as prescribed by the CENELEC standard EN50366. Submitted in IEIEC Tokyo Japan.
- [19] NISHIZAWA, S., RUOSS, H-O., LANDSTORFER, F. and HASHIMOTO, O. Numerical study on an equivalent source model for inhomogeneous magnetic field dosimetry in the low-frequency range. IEEE Transaction on Biomedical Engineering, Vol. 51, No. 4, April 2004.
- [20] NISHIZAWA, Shinichiro, LANDSTORFERAND, Friedrich, HASHIMOTO, Osamu Dosimetric study of induction heater using the coil source model prescribed by the EN50366. Proceeding of 3rd International Workshop on Biological Effects of Electromagnetic Fields, Volume 2, (October 2004), pp.894-903.
- [21] IEEE C95.1:1999, IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz [23] IEC 62226, Exposure to electric and magnetic fields in the low and intermediate frequency range - Methods for calculating the current density and internal electric field induced in the human body
- [22] IEC 62226-2-1, Exposure to electric and magnetic fields in the low and intermediate frequency range - Methods for calculating the current density and internal electric field induced in the human body - Part 2-1: Exposure to magnetic fields - 2D models