

오프셋 파라볼라 안테나를 이용한 1 GHz 이상에서의 전자파 적합성 평가

EMC Measurements above 1 GHz Using an Offset Parabola Antenna System

정 연 춘

Yeon-Choon Chung

요 약

국제적으로 전자파 적합성에 대한 규제 주파수가 보다 높은 주파수로 상향 조정되어 1 GHz 이상의 주파수로 확장되고 있다. 1 GHz 이상에서의 복사 방출 특성은 기존의 1 GHz 이하의 주파수에 비해 전계 강도가 낮고, 복사 패턴이 날카롭고 경사지는 등 매우 다른 복사 특성을 가진다. 본 논문에서는 이중 쇄기형 혼 안테나를 급전기로 사용하는 오프셋 파라볼라 안테나 시스템을 사용하여 1 GHz 이상의 주파수 대역에서 보다 효과적인 측정이 가능함을 확인하였다. 먼저 오프셋 파라볼라 안테나 시스템의 안테나 인자와 전기장 균일도를 계산할 수 있는 간단한 모델을 제시하였으며, 나아가서 표준 노이즈 소스와 제안된 안테나 시스템을 이용하여 1 GHz 이상의 주파수에서 실제적인 복사 방출 및 복사 내성을 평가하였다. 이러한 실험을 통해서 제안된 안테나 시스템이 기존에 널리 사용되고 있는 이중 쇄기형 혼 안테나에 비해 보다 높은 이득과 전력 효율, 그리고 보다 넓은 전기장 균일도를 가지며, 따라서 1 GHz 이상의 전자파 적합성 평가에 효과적으로 이용될 수 있음을 확인하였다.

Abstract

The upper frequency of international EMC regulations is being expanded above 1 GHz. Radiated emissions above 1 GHz are different from those below 1 GHz that is existing upper regulation frequency, and which have lower field strength and sharper and tilted beam-width, relatively. In this paper, an effective evaluation method to be used above 1 GHz is studied using an offset parabola antenna system having a double-ridged horn antenna as a feed. First, simple model is proposed for calculating antenna factor and field uniformity of the parabola antenna system, and then real radiated emission and radiated susceptibility measurements are performed using a constant noise emitter and the suggested antenna system. The results show that the proposed antenna system has higher gain and power efficiency, and wider field uniformity relative to a conventional double-ridged horn antenna. Therefore, it is confirmed that the proposed system can be effectively used for EMC measurements above 1 GHz.

Key words : EMC Measurements above 1 GHz, Offset Parabola Antenna, Radiated Emission, Radiated Immunity

I. 서 론

근래에 들어 보다 높은 클럭(clock) 주파수와 보다 짧은 에지 변화율(edge rates)을 가지는 고속 디지털

시스템의 적용이 보편화됨에 따라 전자파 적합성 규제 주파수도 1 GHz 이상으로 확장되고 있다. 미국의 연방통신위원회(FCC: Federal Communications Commission)에서는 정보 기술 장비(ITE: Information Te-

서경대학교 전자공학과(Department of Electronics, Seokyeong University)

· 논문 번호 : 20100817-112

· 교신저자 : 정연춘(e-mail : ycchung@skuniv.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2010년 10월 6일

chnology Equipment)에 대해서 무선 주파수 발생 장치의 제5 고조파 또는 40 GHz 중에서 보다 낮은 주파수를 선택하여 측정하도록 규정하고 있다^[1]. 따라서 최신 개인용 컴퓨터의 국부 발진기(local oscillator)가 3 GHz까지 이른다고 볼 때 15 GHz까지 측정해야 한다. 또한, 국제무선장해특별위원회(CISPR: International Special Committee on Radio Interference)에서는 정보 기술 장치에 대해서 복사 방출(radiated emission)에 대해서는 6 GHz까지, 복사 내성(radiated immunity)에 대해서는 1 GHz까지 측정하도록 규정하고 있으며^{[2],[3]}, 유럽연합과 일본 등에서 이러한 국제표준화 규격에 근거하여 2010년 10월부터 규제를 시작할 예정이다.

이렇게 전자파 적합성 규제 주파수가 1 GHz 이상으로 상향 조정되면 고속 시리얼 전송 회로의 대책에 큰 어려움을 줄 것으로 예상하는데, 특히 메모리, 버스 등 마이크로프로세서 주변 회로와 SATA(Serial Advanced Technology Attachment) 등의 내부 접속 인터페이스 및 USB, HDMI와 같은 외부 접속 인터페이스에 대한 우려가 높다. 1 GHz 이상의 주파수에서의 전자파 적합성 평가 및 대책 기술은 기존의 1 GHz 이하에서 적용되던 기술에 큰 변화를 줄 것으로 예상하고 있으며, 제기되는 주요 문제점은 다음과 같다^[4]. (1) 1 GHz 이상에서는 자유 공간 조건을 갖추어야 하므로 기존의 시험장의 바닥에 전파 흡수체를 깔아야 하므로 측정 환경의 정비를 위해 추가 비용 부담이 발생한다. (2) 측정 주파수 대역이 늘어나고, 자동 측정에 한계가 있으므로 측정 시간이 종전보다 2배 정도 늘어나게 되고 따라서 개발 기간에 대한 압박을 피할 수 없다. (3) 1 GHz 이하의 전자파 장해 문제는 대개 합체나 케이블 문제로 볼 수 있고, 따라서 필터나 차폐 등으로 비교적 쉽게 대응해 왔다. 그러나 1 GHz 이상에서는 소스(source)가 인쇄회로 기판(PCB)의 배선 등 곳곳에 많이 존재하므로 효과적으로 대응하기 어렵고, 부품 내부 및 실장에 따른 인덕턴스 성분과 커패시턴스 성분 등을 고려한 고속 회로 기판 설계가 보다 중요해질 전망이다. 특히, 1 GHz 이상에서의 복사 방출은 기존의 1 GHz 이하에서의 복사 방출에 비해서 전계 강도가 보다 낮고, 복사 빔 패턴이 보다 뾰족하고 기울어지는 경향이 있는 등 매우 복잡하다^[5]. 따라서 1 GHz 이하의

주파수에서처럼 자동 측정을 할 경우, 스펙트럼 분석기의 소인 시간(swept time) 스텝과 회전 시험대(turn table)의 회전 속도, 수신 안테나의 이동 시간 등에 복사 방출 피크 치를 놓칠 가능성이 있다. 따라서 GHz 이상의 주파수에서 효과적인 측정을 하기 위해서는 이득이 크고, 커버리지(coverage)가 넓은 새로운 측정 방법이 필요하다.

본 논문에서는 광대역 이중 쇄기형(double ridged) 혼 안테나를 급전기(feed)로 사용하는 오프셋 리플렉터 안테나 시스템을 사용하여 1 GHz 이상의 복사 방출과 복사 내성을 효과적으로 평가할 수 있음을 연구한 결과를 기술하였다. 마이크로파 무선 통신 안테나 분야에서 폭 넓게 사용되어온 오프셋 파라볼라 안테나는 비교적 넓은 크기의 시험 체적(test volume)과 우수한 전기장 균일도(field uniformity)를 제공할 뿐만 아니라 보다 높은 이득과 비교적 낮은 봉쇄(blockage) 손실을 가지며, 급전기로 사용한 이중 쇄기형 혼 안테나는 비교적 광대역 특성과 적절한 빔 폭을 가진다. 따라서 이러한 두 안테나의 적절한 조합을 통해 1 GHz 이상의 주파수에서 높은 이득과 비교적 큰 시험 영역, 보다 높은 전력 효율을 얻을 수 있으며, 따라서 복사 방출은 물론 복사 내성 평가에도 효과적으로 이용될 수 있음을 확인하였다.

II. 오프셋-급전 파라볼라 안테나 시스템

2.1 파라볼라 안테나 시스템

마이크로파 무선 통신 안테나 분야에서 폭 넓게 사용되어온 오프셋 파라볼라 안테나는 그림 1에서 볼 수 있는 것처럼 급전기로부터 나온 구면 파형(sph-

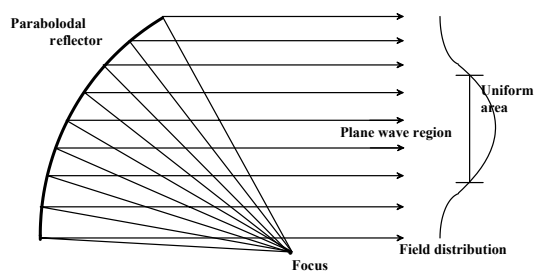


그림 1. 오프셋-급전 파라볼라 안테나를 이용한 평면파의 발생

Fig. 1. Plane-wave generation using an offset parabolic reflector.

rical waveform)을 파라볼라 반사 판으로 집속하여 특정 거리에서 평면 파(plane wave) 전기장을 만든다.

비교적 작은 크기의 반사판을 갖는 파라볼라 안테나를 사용하면 기계적 안정성과 낮은 제작 비용의 장점이 있지만, 보다 큰 스퍼오버(spillover) 손실과 보다 낮은 이득을 가지므로 적절한 크기의 파라볼라를 선택하는 것이 필요하다. 한편, 무선 통신용으로 전형적으로 사용되는 좁은 빔 폭의 급전기를 사용하면 시험 영역이 보다 적은 크기의 시험 체적을 얻게 되어 부적절하다. 반면에 보다 넓은 빔 폭을 가지는 급전기를 사용하면 시험 체적에서 보다 우수한 전기장 균일도를 제공하지만, 반사판의 테두리에서의 전자파 산란에 의해 과도한 기생 복사(stray radiation)를 초래할 수 있다⁶⁾. 그러나 전자파 적합성 평가는 단지 피시험 장비의 최대 방출(maximum emission)과 최소 내성(minimum immunity)을 측정하는 것이므로 피시험 장비를 포함할 수 있을 정도의 빔 폭과 비교적 넓은 주파수 특성을 가지는 파라볼라 안테나 시스템의 설계가 필요하다.

2.2 실험에 사용된 오프셋-급전 파라볼라 안테나 시스템

실험 장치는 상용 파라볼라 안테나와 이중 쇄기형 혼 안테나를 급전기로 사용하여 그림 2와 같이 구성하였다. 사용된 오프셋-급전 파라볼라 안테나의 특성은 그림 11에서 볼 수 있는 것처럼 다음과 같다. $f=1.12$ m, $\psi_p=33.3^\circ$, $\psi_a=57.5^\circ$, $d=1.35$ m.

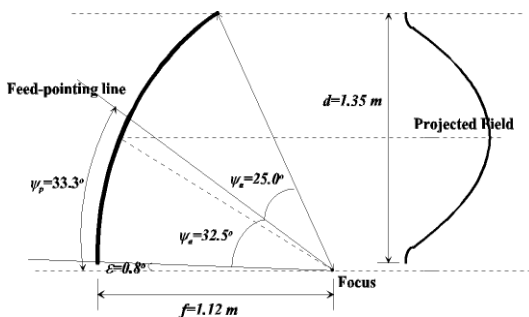


그림 2. 실험에 사용된 오프셋-급전 파라볼라 안테나 시스템

Fig. 2. An offset-fed parabola antenna system used for experiments.

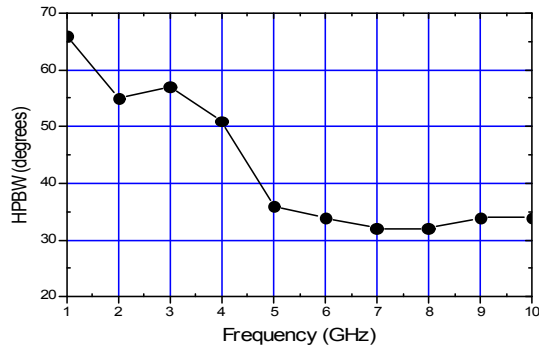


그림 3. 급전기로 사용된 이중 쇄기형 혼 안테나의 전기장-평면 복사 패턴(HPBW)

Fig. 3. The E-plane radiation pattern(HPBW) of the double-ridged horn antenna used as a feed.

2.3 이중 쇄기형 혼 안테나의 복사 패턴

시험 체적에서의 전자기적 특성을 계산하기 위해서는 급전기의 복사 패턴에 관한 정확하면서도 간단한 수학적 모델이 필요하다. 전형적인 무선 통신용 파라볼라 안테나 시스템에서는 대개 코리게이트드 혼(corrugated horn)이 급전기로 사용되고 있지만, 본 연구에서는 이중 쇄기형 혼 안테나 EMC03115를 급전기로 선택하였는데, 광대역 특성과 비교적 값이싼 장점이 있으며, 위상 중심이 오프셋-급전 파라볼라의 초점에 위치하도록 설치하였다. 급전기로 사용된 EMC0 3115의 복사 패턴은 HPBW(Half Power Beamwidth) 자료⁷⁾로써 그림 3과 같으며, 1~10 GHz의 주파수 대역에서 66°~32°의 빔 폭을 가짐을 알 수 있다.

III. 복사 방출 측정 특성

3.1 안테나 인자(Antenna Factor)

복사 방출 측정을 위해서는 측정용 안테나의 안테나 인자(antenna factor)를 반드시 알아야 한다. 안테나 인자는 다음과 같이 수신 전압을 전계 강도 단위의 복사 방출 레벨로 바로 변환할 수 있기 때문에 전자파 적합성 분야에서 매우 유용하게 사용되는 개념이다.

$$E(dB\mu V / m) = AF(dB / m) + V(dB\mu V) \quad (1)$$

오프셋 파라볼라 안테나의 안테나 인자는 가역성을 이용하여 반사판에 투영된 개구부(projected aperture)

에 걸친 진폭 테이퍼(amplitude taper)를 고려함으로써 결정될 수 있다. 파라볼라 안테나의 반사판은 급전기의 구면파를 집속하여 매우 짧은 거리에 평면파 전자기장을 형성하는 전자기장 소스처럼 동작한다고 생각할 수 있다. 만약 평면파가 집속 구역(collimated region)에서 균일한 전력 밀도를 가지는 것으로 가정하면 개구부에서의 근사적인 전력 밀도를 계산할 수 있다. 근사는 급전기의 복사 패턴으로부터 유도된 보정 계수(Correction Factor: CF)로 수정될 수 있다.

$$S_d = \frac{P_o}{\pi d^2} \cdot CF \tag{2}$$

여기에서, S_d 는 개구부에서의 전력 밀도, P_o 는 급전기의 입력 전력, d 는 집속 구역의 직경, 그리고 CF 는 집속 구역에서의 전자기장 분포에 대한 보정 계수이다.

동일한 입력 전력과 적절한 이득을 가지는 안테나로 동일한 전력 밀도를 정해진 거리 R 에서 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$S_d = \frac{P_o G_o}{4\pi R^2} \tag{3}$$

여기에서, G_o 는 웁셋 파라볼라 안테나의 유효 이득(effective gain), R 은 전자기장 소스로부터의 거리이다.

식 (2)와 식 (3)으로부터 거리 R 과 관련된 웁셋 파라볼라 안테나의 유효 이득을 구할 수 있으며, 또한 유효 이득과 안테나 인자 간의 관계식^[8] 및 가역성(reciprocity)을 적용하여 거리 R 과 관련된 안테나 인자로 다음과 같이 변환될 수 있다.

$$AF(dB/m) = 20 \log f_{MHz} + 10 \log(A_p / R^2) - 40.77 + CF(dB) \tag{4}$$

여기에서, f_{MHz} 는 MHz로 표현된 주파수, A_p 는 투영된 면적의 크기이다. 또한 거리 R 은 웁셋 파라볼라 안테나로부터의 관측 점까지의 거리이다.

비록 웁셋 파라볼라 안테나의 복사 패턴이 여러 가지 방법^{[9],[10]}으로 분석될 수 있지만, 전자기장 분포 함수는 투영된 개구부를 가로지르는 진폭 테이퍼를 고려함으로써 간단하게 분석할 수 있다. 시험 구역에서의 전자기장 분포는 급전기 패턴과 급전기와 반사판 사이의 공간 감쇠량에 영향을 받으며, 또한

웁셋 급전에 의해 비대칭 함수를 갖는다. 따라서 이러한 비균일 전자기장 분포를 고려하기 위해 보정 계수가 도입될 수 있으며, 다음과 같이 수치 적분을 통해 계산될 수 있다.

$$CF = \int_{\psi_{a1}}^{\psi_{a2}} f(\sin^n \psi) d\psi \tag{5}$$

여기에서, f 는 적분 구간으로 규격화된 비대칭 전자기장 분포함수이며, ψ_{a1} 과 ψ_{a2} 는 최대 전력 밀도를 가지는 각도를 기준으로 -30 dB의 진폭 테이퍼를 갖는 각각 아래 쪽 및 위 쪽 테두리의 개구 각도이다. 이러한 계산에는 급전기로 사용된 EMC03115 이중 쇄기형 혼 안테나의 복사 패턴에 관한 적절한 수학적 모델이 필요한데, 그림 3에 보인 EMC03115의 HPBW 특성을 Kelleher의 근사^[11]에서처럼 정현 함수의 멱 급수로 표현하고 피팅(fitting)하여 식 (5)에서의 지수 n 을 결정하였다. 계산에 사용된 HPBW는 1~10 GHz의 주파수 대역에서 66°, 55°, 57°, 51°, 36°, 34°, 32°, 32°, 34°, 34°이다.

그림 4는 실험에 사용된 웁셋 파라볼라 안테나의 보정 계수를 보여주는데, HPBW가 10°에서 80°로 변화할 때, 보정 계수는 0.7 dB에서 7.5 dB로 변화함을 알 수 있다. 보다 넓은 HPBW가 집속 구역에서 보다 균일한 전자기장 분포를 가지므로 보다 낮은 보정 계수를 가짐을 알 수 있다.

거리 3 m에서의 웁셋 파라볼라 안테나의 안테나 인자는 식 (6)과 같이 피시험 안테나와 표준 안테나 간에 측정되는 전압 차와 표준 안테나의 교정된 안

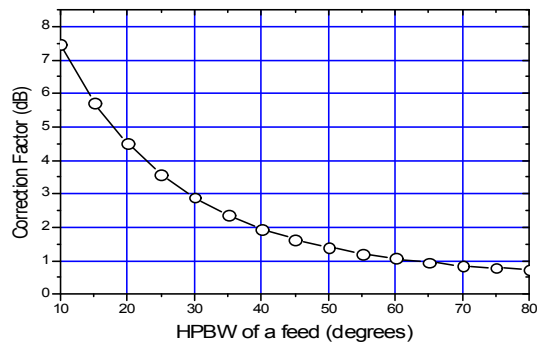


그림 4. 급전기의 HPBW에 따른 보정 계수
Fig. 4. Dependence of correction factor on the HPBW of the feed.

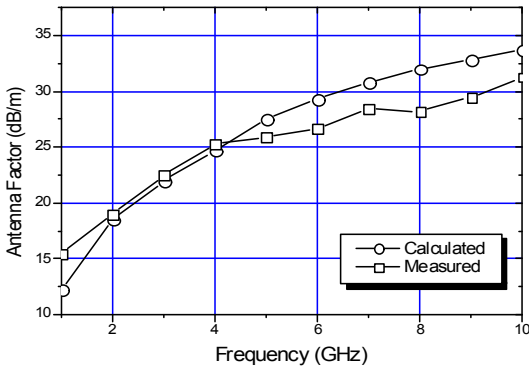


그림 5. 실험에 사용된 옹셋 파라볼라 안테나 시스템의 안테나 인자 계산치와 실험치의 비교
Fig. 5. Comparison of the measured and calculated results for the experimental system.

테나 인자를 사용하여 결정할 수 있다^[12]. 본 실험에서는 표준 안테나로서 교정된 이중 쇄기형 혼 안테나를 사용하였다.

그림 2에 보인 반사판과 EMC03115 이중 쇄기형 혼 안테나를 급전기로 활용한 옹셋 파라볼라 안테나 시스템에 대해 안테나 인자를 측정하였으며, 그 결과를 식 (4)에 의한 계산 결과와 비교하여 그림 5에 보였다. 그림 5로부터 계산 및 측정된 안테나 인자가 1~10 GHz의 주파수 대역에서 각각 12.2~33.7 dB/m 및 15.5~31.3 dB/m이고, 두 결과가 비교적 잘 일치함을 알 수 있다.

$$[AF(dB/m)]_{ORA} = [V_r(dB\mu V)]_{DRG} + [AF(dB/m)]_{DRG} - [V_r(dB\mu V)]_{ORA} \quad (6)$$

여기에서, $[V_r(dB\mu V)]_{DRG}$ =이중 쇄기형 혼 안테나의 수신 전압

$[V_r(dB\mu V)]_{ORA}$ =옹셋-급전 파라볼라 안테나의 수신 전압

$[AF(dB/m)]_{DRG}$ =이중 쇄기형 혼 안테나의 교정된 안테나 인자

그림 5로부터 옹셋 파라볼라 안테나가 산업체에 널리 사용하고 있는 이중 쇄기형 혼 안테나에 비해 안테나 인자가 6~10 dB 정도 좋으며, 따라서 옹셋 파라볼라 안테나가 현저히 개선된 감도(sensitivity)를 제공함으로써 마이크로파 대역의 복사 방출 측

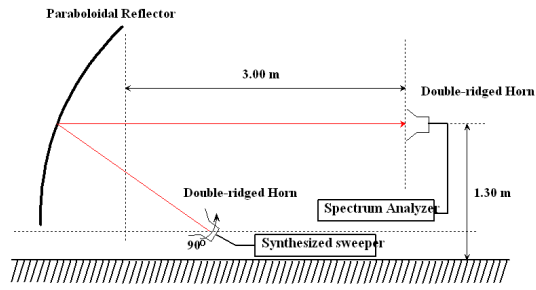


그림 6. 교차 편파 측정 장치의 구성
Fig. 6. Test setup for cross-polarization measurement.

정에 효과적으로 활용될 수 있다.

3-2 교차 편파(Cross Polarization) 특성

실험에 사용된 파라볼라 안테나 시스템은 반사판의 표면에서 편파 변환(depolarisation) 효과^[13]가 발생할 수 있는데, 국제무선장해특별위원회에서는 EMC 측정용 안테나는 평행 편파(parallel polarization) 레벨보다 최소 20 dB 이하의 교차 편파(cross-polarization) 특성을 가져야 한다고 규정하고 있다^[14].

측정은 그림 6에 보인 측정 셋업을 이용하였으며, 평행 편파 신호를 기준 레벨로 잡고 안테나를 전파 방향에 대해 전기장-평면(E-plane)에서 90° 회전시켜 교차 편파 신호를 측정하였을 때 기준 레벨보다 -20 dB 이하가 되어야 한다. -20 dBm의 교차 편파 성분은 0 dBm의 동일 편파 신호에 대한 전자기장의 세기에서 ±0.9 dB의 오차를 유발할 수 있다.

그림 7은 실험에 사용된 옹셋 파라볼라 안테나의 시스템의 교차 편파 측정 결과이며, 이러한 교차 편파 레벨은 이중 쇄기형 혼 안테나의 경우보다 약간 높게 나타난 것으로 반사판 표면에서의 교차 변환 효과에 기인하는 것으로 판단된다. 그림 7로부터 옹셋 파라볼라 안테나의 교차 편파 레벨이 -20 dB 이하임을 알 수 있으며, 따라서 CISPR 요구 사항을 만족하므로 1 GHz 이상의 복사 방출 측정에 활용될 수 있다.

3-3 복사 방출(Radiated-Emission) 측정

우리는 앞에서 옹셋 파라볼라 안테나 시스템의 복사 방출 측정용 안테나로서의 특성에 대해 살펴보았으며, 여기에서는 실제적인 복사 방출 측정을 통해 활용 가능성을 검증한 결과를 기술하였다. 실험

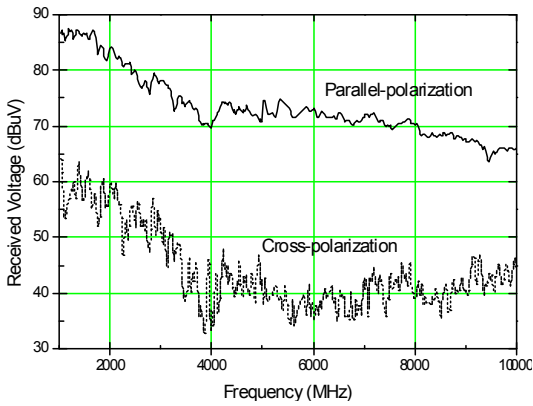


그림 7. 실험 셋업의 교차 편파 측정 결과
Fig. 7. Cross-polarization characteristics of the experimental test setup.

의 반복성을 도모하기 위해 일정한 크기의 전자파를 안정되게 방출하는 CNE-VII^[15]를 모의 노이즈 발생기로 사용하였다. 이러한 모의 발생기는 배터리로 동작하고 접지판 위에 작은 크기의 원뿔 모양의 안테나가 고정되어 있으며, 출력 안정도는 ± 1.5 dB이고, 자기장-평면(H-plane)에서 거의 등방성의 복사 패턴을 가진다.

실험 셋업은 그림 8과 같다. CNE VII는 1.5~7 GHz의 주파수 대역에서 일정한 크기의 전자기장을 복사하고, 구성된 파라볼라 안테나 시스템은 그 복사 방출을 이중 쇄기형 혼 안테나로 집속하며 스펙트럼 분석기를 사용하여 수신 레벨을 측정한다. 여기에서, 파라볼라 반사기의 초점과 이중 쇄기형 안테나의 위상 중심과 일치하는 것으로 간주할 수 있으며, 이 값은 주파수에 따라 조금씩 변화하며 지면으로부터 0.57~0.63 m의 높이에 위치한다. CNE VII

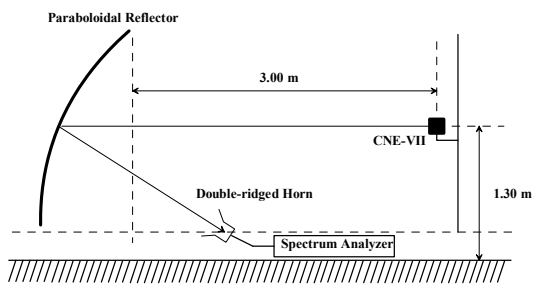
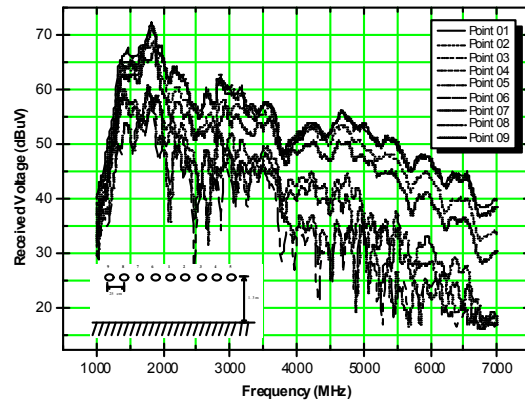


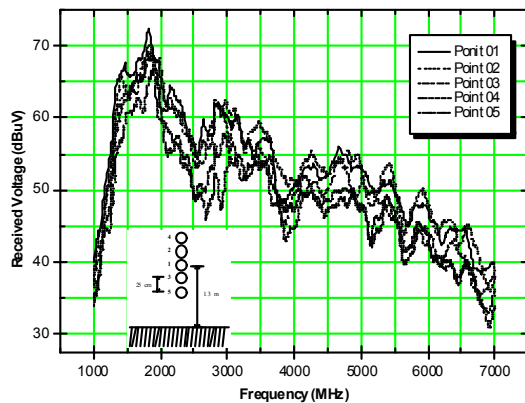
그림 8. 복사 방출 측정 장소로서의 특성 평가 장치
Fig. 8. Test set-up for measuring performance as a radiated-emission measurement site.

의 높이는 지면으로부터 1.3 m에 위치시켰으며, 이러한 높이는 이중 쇄기형 안테나의 최대 빔 패턴이 파라볼라 반사판에 투영되는 각도, $\psi_p = 33.3^\circ$ 에서의 높이와 같다. 스펙트럼 분석기의 분해 대역폭(resolution bandwidth)과 영상 대역폭(video bandwidth)은 모두 CISPR 16^[12]과 일치하도록 1 MHz에 맞추었다.

그림 9는 CNE VII는 파라볼라 개구면의 중심으로부터 3 m 거리에 위치하고, 높이를 지면으로부터 1.3 m의 높이를 기준으로 좌우, 상하로 25 cm씩 변화시키면서 수평면 및 수직면에 대한 측정 시스템의 수신 전압의 변화를 보여 준다. 시험 지점이 중심으로부터 벗어남에 따라 수신 전압이 급격하게 줄어들을



(a) 수평면
(a) For horizontal plane



(b) 수직면
(b) For vertical plane

그림 9. 실험에 사용된 측정 시스템에서의 수신 전압 변화

Fig. 9. Received-voltage variations of the experimental setup.

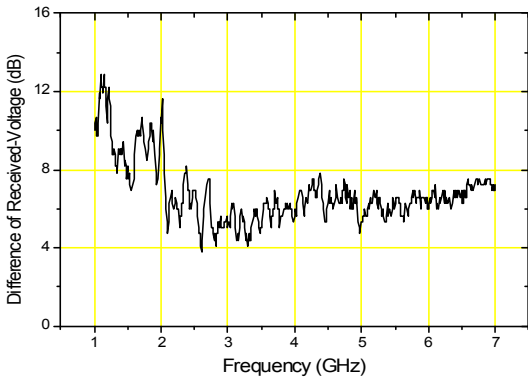


그림 10. 실험에 사용된 측정 시스템과 이중 쇄기형 안테나 간의 수신 전압 차이의 비교

Fig. 10. Comparison of the difference in received-voltages between the experimental setup and the double-ridged horn antenna.

볼 수 있다. 이러한 거동은 측정 시스템의 뽀족한 복사 패턴에 따라 발생되며, 주파수가 증가할수록 이러한 거동은 보다 커진다. 수평 및 수직면에 대한 수신 전압은 중심으로부터 ±25 cm 이하의 구역에서 ±2.5 및 ±5.0 dB 이내에서 잘 일치한다.

이러한 거동은 수평면에서 보다 심한데, 그 이유는 CNE-VII의 복사 패턴이 자기장-평면에서는 거의 등방성이지만 전기장-평면에서는 등방성이 아니기 때문이다. 그리고 그림 9(b)에서 아래쪽 방향의 위치에서의 수신 전압이 위쪽 방향의 위치에서보다 약간 더 높음을 알 수 있는데, 이러한 거동은 파라볼라 초점으로부터 약 60 cm의 높이에서 전체 감쇠량이 최소가 되기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 판단은 4-1에서 기술된 내용에 근거한다.

이러한 측정 시스템의 장점과 단점을 파악하기 위해 산업체에서 널리 사용하는 이중 쇄기형 혼 안테나와 수신 전압을 비교하였다. 그림 10은 옹셋 파라볼라 안테나와 이중 쇄기형 혼 안테나 간의 수신 전압을 비교한 결과를 보여 준다. 그림 10으로부터 옹셋 파라볼라 안테나가 1~7 GHz의 주파수 대역에서 이중 쇄기형 혼 안테나보다 약 6~10 dB 정도 더 큰 수신 전압을 가짐을 볼 수 있다. 이러한 결과는 앞에서 확인한 옹셋 파라볼라 안테나의 안테나 인자가 이중 쇄기형 혼 안테나보다 약 6~10 dB 정도 더 우수하다는 사실이 복사 방출 실측에서도 잘 나타나고 있음을 보여 준다.

EMC 측정용 안테나로서 옹셋 파라볼라 안테나의 단점은 복사 패턴이 뽀족하기 때문에 피시험 장비의 높이에 따라 수신 전압이 크게 변한다는 점이다. 그러나 이러한 단점은 최대 복사 방출을 얻기 위해 피시험 장비의 높이를 조절함으로써 쉽게 극복될 수 있는데, 그 이유는 1 GHz 이상에서 기준시험장으로서 자유 공간에서 측정용 안테나를 스캔하는 대신에 피시험 장비의 높이를 제어함으로써 최대화(maximization) 작업이 보다 쉽게 수행될 수 있기 때문이다.

IV. 복사 내성 측정 특성

4-1 전기장 균일도(Field Uniformity)

복사 내성 평가를 위해서는 피시험 장비에 노출되는 전기장의 균일도를 알아야 한다. 옹셋 파라볼라 안테나의 전기장 균일도는 가역성에 의해 안테나 인자와 마찬가지로 반사판에 투영된 개구부에 걸친 진폭 테이퍼를 고려함으로써 쉽게 결정될 수 있다. 진폭 테이퍼는 급전기의 복사 패턴과 급전기와 반사판 표면 사이에서의 공간 감쇠량에 기인하며, 시험 체적에서의 전기장 분포에 기여한다.

급전기의 복사 패턴에 기인하는 파라볼라 반사판의 임의의 지점에서의 전력 레벨은 급전 지점에서의 전력 레벨에 대한 복사 패턴 각도 ψ 의 함수로서 표현될 수 있다. 초점에서의 값을 기준으로 임의의 지점에서의 공간 감쇠량에 기인하는 전력 레벨은 급전점으로부터 임의의 지점까지의 거리 ρ 와 초점 길이 f 의 비로서 표현될 수 있다. 따라서 임의의 지점에서의 상대적인 전력 레벨 A_t 는 다음의 두 항의 합, 패턴 인자 A_p 와 공간 감쇠량 A_s 으로 표현된다^[16].

$$A_t = A_p + A_s \tag{7}$$

여기에서, $A_p (dB) = 3 \left(\frac{2\psi}{HPBW} \right)^n$,

$$A_s (dB) = 20 \log \left(\frac{\rho}{f} \right)$$

여기에서, 지수 n 은 Kelleher의 근사^[11]에서처럼 급전기의 복사 패턴을 dB 단위로 포물선으로 가정하여 정현 함수의 n 거듭수로 표현하여 구한다.

시험 구역의 직경은 옹셋 각도 및 급전기의 빔 폭

이 클수록 커진다. 웁셋 급전은 비대칭 감쇠를 제공하고, 반사판의 투영된 개구 상에서 비대칭적인 전기장을 형성하며, 최대 전력 밀도를 의미하는 최소 전체 감쇠량이 웁셋 지점 아래에서 만들어짐을 알 수 있다. 본 논문에서는 최소 감쇠량 지점을 기준으로 -30 dB의 진폭 테이퍼를 갖는 지점 간의 거리를 시험 구역의 직경으로 선택하였다.

웁셋 급전에 의한 비대칭 감쇠는 급전기의 축을 적절하게 방향을 잡음으로써, 즉, 급전기를 반사판의 위쪽 모서리 쪽으로 약간의 각도 δ 만큼 기울임으로써 극복될 수 있다. 이러한 급전기 기울임(feed tilt)은 웁셋 반사판의 원역장 효율을 개선하기 위해 사용되는 전형적인 방법이다. 요구되는 기울임 각도(tilt angle)는 급전기의 복사 패턴뿐만 아니라 웁셋 각도에 의존한다. 만약 급전기를 각도 $\psi_p (= \psi_0 + \delta)$ 로 향하게 한다면, 시험 구역의 중심을 다음과 같이 웁셋 각도로부터 결정되는 높이에 둘 수 있다^{[9],[15]}.

$$h = 2f \sqrt{\frac{1 - \cos \psi_0}{1 + \cos \psi_0}} \quad (8)$$

여기에서, h 는 시험 구역 중심의 높이이다. 이 높이는 복사 내성 시험에서 최대 노출을 의미하는 최소 감쇠량을 가지는 높이이다.

계산된 시험 구역의 성능은 그림 11과 같다. 그림 11로부터 1~10 GHz의 주파수 대역에 대해서 시험 구역 직경은 0.67~1.22 m로 변화하고, 시험 구역의 중심은 초점으로부터 높이 0.53~0.63 m로 변화함을

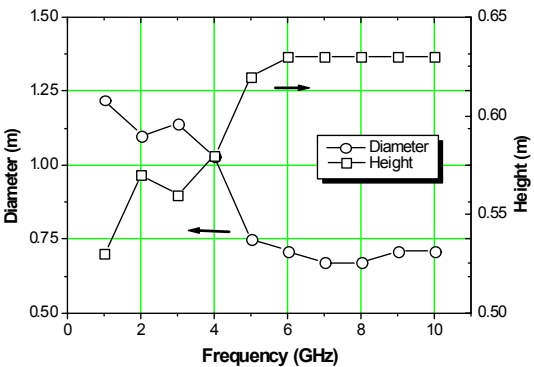


그림 11. 실험에 사용된 측정 시스템의 시험 구역의 직경과 높이에 대한 계산 결과
Fig. 11. Calculated diameter and height of the test zone of the experimental setup.

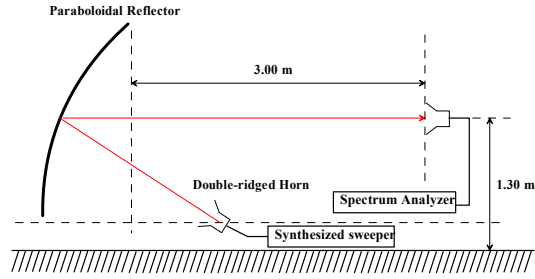


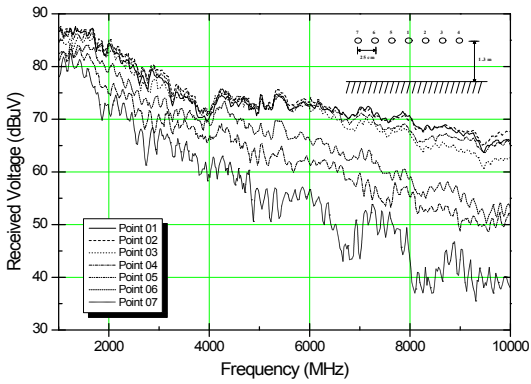
그림 12. 복사 내성 측정 장소로서의 특성 평가
Fig. 12. Test set-up for measuring performance as a radiated-immunity measurements site.

알 수 있다. 또한, 주파수가 증가함에 따라 시험 구역의 중심 높이는 증가하는 반면에 시험 구역의 직경은 줄어들고, 6 GHz 이상에서는 거의 일정하게 유지됨을 알 수 있다.

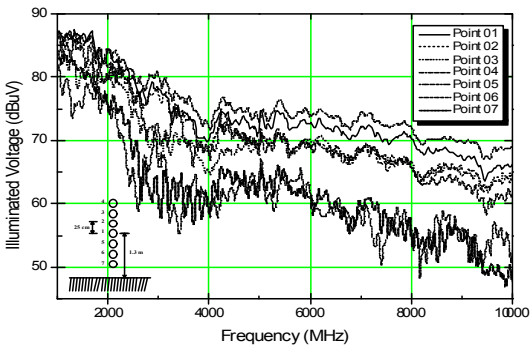
4-2 복사 내성(Radiated-Immunity) 측정

우리는 앞에서 웁셋 파라볼라 안테나 시스템의 복사 내성 시험 환경으로서의 특성에 대해 살펴 보았으며, 여기에서는 실제적인 복사 내성 측정을 통해 활용 가능성을 검증한 결과를 기술하였다. 가역성의 원리에 따라 복사 방출의 경우와 유사한 성능을 가질 것으로 기대된다. 그림 12는 복사 내성 시험 성능을 측정하기 위한 실험 셋업을 보여 준다. 노출 레벨을 측정하기 위한 프로브로 사용된 이중 쇄기형 혼 안테나의 기준 높이는 지면으로부터 1.3 m이다. 이러한 높이는 복사 방출 측정 시와 마찬가지로 이중 쇄기형 안테나의 최대 빔 패턴이 파라볼라 반사판에 투영되는 각도, $\psi_p = 33.3^\circ$ 에서의 높이와 같다.

그림 13은 사영된 개구면의 중심에서 지면으로부터 1.3 m 높이를 기준으로 좌우 및 상하로 상하로 25 cm씩 변화시키면서 수평면과 수직면에서의 측정 시스템의 수신 전압의 변화를 보여준다. 3 m 거리에서 웁셋-급전 파라볼라 안테나에 의한 복사 전기장에 의한 수평 및 수직 평면 상의 노출 전압(illuminated-voltage) 변화를 보여 준다. 노출 레벨을 측정하기 위한 프로브로서 이중 쇄기형 혼 안테나가 사용되었으며, 측정 결과 내에 그 안테나의 복사 패턴이 특성이 포함된다. 그림 13으로부터 최대 노출-전압이 웁셋 지점 아래에서 발생되며, 시험 구역의 계산된 전기장 균일도와 높이는 측정 결과와 잘 일치함을 알 수



(a) 수평면
(a) For horizontal plane



(b) 수직면
(b) For vertical plane

그림 13. 실험에 사용된 측정 시스템에서의 노출 전압의 변화

Fig. 13. Illuminated-voltage variations from the experimental setup.

있다.

웁셋 파라볼라 안테나의 복사 내성 시험 환경에서의 장점을 확인하기 위해 전형적인 이중 쇄기형 혼 안테나와 노출 전압을 비교하였다. 비교 결과, 웁셋 파라볼라 안테나가 보다 큰 노출 전압과 보다 좁은 시험 구역 크기를 제공함을 확인하였다. 그림 14는 웁셋 파라볼라 안테나와 이중 쇄기형 혼 안테나 간의 노출 전압 차이를 보여준다. 이러한 거동은 웁셋 파라볼라 안테나가 이중 쇄기형 혼 안테나에 비해 보다 높은 이득과 보다 좁은 빔 폭을 가짐에 기인한다. 그림 14로부터 웁셋 파라볼라 안테나가 이중 쇄기형 혼 안테나보다 약 5~9 dB 정도 더 큰 수신 전압을 가짐을 볼 수 있다. 여기에서 강조하고자 하는 것은 웁셋 파라볼라 안테나가 이중 쇄기형 혼 안테나보다

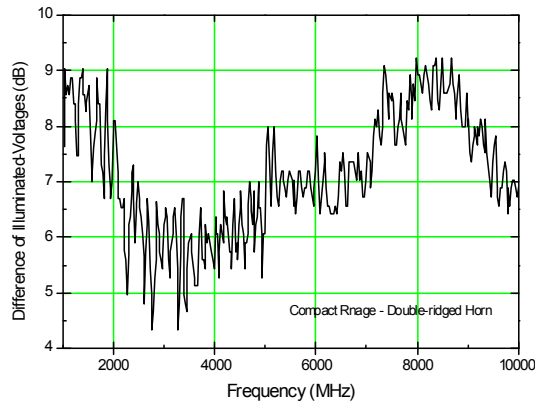


그림 14. 실험에 사용된 측정 시스템과 이중 쇄기형 안테나 간의 노출 전압 차이의 비교

Fig. 14. Difference of illuminated-voltages between the experimental setup and the double-ridged horn antenna.

약 5~9 dB 정도 더 큰 노출 전압을 가지며, 따라서 송신기 출력 요구 사항이 3~8배 정도 줄어들고 결과적으로 큰 비용 절감을 얻을 수 있다는 점이다.

V. 결 론

웁셋 파라볼라 반사판과 이중 쇄기형 혼 안테나를 급전기로 사용하여 1 GHz 이상의 주파수에서 전자파 적합성 평가에 효과적으로 사용할 수 있는 웁셋 파라볼라 안테나 시스템을 구현할 수 있음을 논의하였다. 복사 방출 및 복사 내성을 평가하는데 적용되는 안테나 인자와 전기장 균일도를 평면과 근사, 집속 구역에서의 전기장 분포 보정 계수, 급전기의 복사 패턴과 공간 감쇠량을 고려하여 결정하는 방법을 제안하였으며, 이러한 접근 방법이 측정 결과와 잘 일치함을 확인하였다.

웁셋 파라볼라 안테나의 안테나 인자가 1~10 GHz의 주파수 대역에서 이중 쇄기형 혼 안테나의 경우보다 약 6~10 dB 적으며, 따라서 보다 우수한 개선된 감도를 가진다. 마찬가지로 웁셋-급전 파라볼라 안테나가 복사 내성 시험에서도 기존의 표준 안테나보다 5~9 dB 정도 더 큰 전기장의 세기를 노출시키며, 따라서 송신기 출력 요구 사항이 3~8배 줄어들고, 결과적으로 큰 비용 절감을 얻을 수 있다.

웁셋 파라볼라 안테나는 높은 방향성을 가지므로 측정 셋업에 매우 민감하며, 따라서 최대화 작업에

미세한 배치가 요구된다. 또한 오프셋 급전이 공간적으로 비대칭적인 감쇠량을 주며, 따라서 시험 구역에 비대칭적인 전기장 분포를 일으킨다. 그러나 이러한 단점은 기준 시험장으로 사용되는 자유 공간 내에서 안테나 높이를 스캔하는 대신에 피시험 장비의 높이를 조절함으로써 보다 쉽게 수행될 수 있다.

참 고 문 헌

[1] FCC Part 15, "Radio frequency devices", 2006년 8월.
 [2] CISPR 22 Ed. 6.0, "Information technology equipment-radio disturbance characteristics-Limits and method of measurement", 2009년 9월.
 [3] CISPR 24 Ed. 1.0, "Information technology equipment-Immunity characteristics-Limits and method of measurement", 2002년 10월.
 [4] Mayuko Uno, "1 GHz를 경계로 달라지는 EMI 국제 규격 개정 잇달아", *Nikkei Electronics*, 2009년 10월.
 [5] York EMC Services Ltd., "Practical limits for EMC emission testing at frequencies above 1 GHz", *Final Report AY3601(Appendix 7) for The Radiocommunications Agency*, Oct. 2000.
 [6] P. S. Excell, M. Rousseau, "A broadband compact range for radiative EMC testing", *IEE Colloquium on Calibration of Antennas for Close Range Measurements*, Digest, no. 18, pp. 6/1-4, 1990.
 [7] <http://www.ets-lindgren.com/EMCantenna>

[8] Society of Automotive Engineers, Inc., "EMC antennas and antenna factors: How to use them", in *Aerospace Information Report*, AIR 1509, SAE, Inc., Warrendale, PA, Jan. 1978.
 [9] A. W. Rudge, "Offset parabolic reflector antennas", *Annales des Telecommunications*, vol. 39, no. 1-2, pp. 3-33, Jan. 1984.
 [10] M. J. Pagones, "Gain factor of an offset-fed paraboloidal reflector", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-16, no. 5, pp. 536-541, Sep. 1968.
 [11] K. S. Kelleher, G. Hyde, "Reflector antennas", in *Antenna Engineering Handbook*, chapter 17, McGraw-Hill: New York, 1984.
 [12] Y. C. Chung, A. C. Marvin, and A. J. Rowell, "Antenna factor of compact antenna range for EMC measurements above 1 GHz", *IEE Electronics Letters*, vol. 37, no. 8, 475-476, Apr. 2001.
 [13] P. J. Wood, "Depolarization in reflector antennas", *Marconi Review*, vol. 42, no. 212, pp. 48-72, 1979.
 [14] CISPR 16-1 Edition 1.1, "Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods, Part 1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus", in *CISPR Publications*, Jan. 1998.
 [15] <http://www.yorkemc.co.uk/instrumentation/>
 [16] R. C. Johnson, "Some design parameters for point-source compact range", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-34, pp. 845-847, Jun. 1986.

정 연 춘



1984년 2월: 경북대학교 물리학과 (이학사)

1986년 2월: 경북대학교 물리학과 (이학석사)

1999년 8월: 충남대학교 전자공학과 (공학박사)

1985년 12월~2001년 5월: 한국표준과학연구원 전자기환경그룹 그룹장, 책임연구원

2000년 3월~2001년 2월: Univ. of York, Visiting Academics

2001년 6월~2002년 2월: (주)익스펜전자 중앙연구소장

2002년 2월~현재: 서경대학교 전자공학과 교수

2005년 6월~2008년 11월: 한국전자진흥협회 EMC 기술지원센터장(겸임)

[주 관심분야] EMI/EMC 측정 및 대책 기술, 전자파 재료