

안테나 프레넬장 측정 기술

오순수

한국전자통신연구원
전파기술연구부

I. 서론

무선 통신 서비스의 발달에 따라 안테나의 종류도 매우 다양해졌으며, 방사 성능을 평가하기 위한 측정기술도 다양하게 존재한다. 안테나의 방사 성능을 측정하기 위한 측정 기술은 크게 직접 측정법과 간접 측정법으로 분류할 수 있다. 직접 측정법은 평가하고자 하는 안테나(Antenna Under Test: AUT)에 평면파가 도달하여 방사 성능을 직접 측정하는 방법이다. 원역장(far-field) 측정법과 컴팩트 레인지(compact range) 측정법이 이 분류에 해당한다. 원역장 측정법은 소스 안테나와 AUT간의 거리를 Rayleigh의 원역장 조건인 $D_{far}=2L^2/\lambda$ 보다 멀리 이격시켜 측정한다. 여기서 L 은 개구면 지름이고 λ 는 자유 공간 파장이다. 그러나 L 이 크거나 λ 가 작은 경우 $2L^2/\lambda$ 가 매우 크게 되어 무반사실의 크기가 증가하는 문제점이 발생한다. 이를 해결하기 위하여 컴팩트 레인지 방법을 활용할 수 있는데, 소스 안테나를 바닥면에 위치시키고 반사판을 무반사실의 전면부에 배치하여 Rayleigh의 조건보다 가까운 거리에서 quiet zone이 생성되도록 할 수 있다. 그러나 고정 밀도의 반사판이 요구되므로 시스템 구축 및 유지 보수에 많은 비용이 소요된다^{[1]-[3]}.

간접 측정법은 AUT로부터 방사된 파를 측정한 후 정교한 수학적식을 기초로 한 변환을 통하여 방사 패턴과 이득 등을 획득하는 방법이다. 근역장(near-field) 측정법이나 프레넬장(fresnel-field) 측정법이 해당된다. 주요 특징은 Rayleigh의 조건보다 가까운 거리에서 전계를 측정하므로 무반사실의 크기가 상대적으로 소형이다. 단점은 다양한 변수가 존재하므로 안테나

측정 시 파라미터 설정에 주의를 기울여야 한다는 것이다. 근역장 측정법은 전계를 주사(scanning)하는 방법에 따라 평면 주사법, 원통 주사법, 구형 주사법으로 분류를 한다. 주사면에서 측정된 전계를 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform: FFT) 변환을 통하여 원역장 패턴을 구한다. 즉 FFT 변환을 통한 영역(domain)간 변환을 수행한다. 이때 주사 간격은 반파장 이하로 선정하지 않으면 에러가 발생한다^{[1],[4]}.

최근 활발히 연구되고 있는 프레넬장 측정법은 프레넬 영역에서 전계를 측정한 후 원역장 방사 패턴으로 변환시키는 방법이다^{[4]-[12]}. Near-field 영역은 reactive near-field 영역과 radiating near-field 영역으로 분류된다. Radiating near-field 영역을 fresnel-field 영역이라고도 부른다^[2]. 근역장 측정법에 비교하여 프레넬장 측정법은 FFT를 통한 서로 다른 영역(domain)간의 변환을 수행하지 않으며, 프레넬 영역의 전계값의 곱과 합을 통하여 원역장 값을 구해낸다^{[1],[5]-[12]}. 일반적으로 근역장 측정법은 프로브와 AUT 간격이 멀어짐에 따라 변환에 필요한 데이터의 수는 급격하게 증가를 한다. 따라서 통상적으로 AUT와 프로브는 3~10 λ 정도 이격시켜서 측정을 수행한다. 반면에 프레넬장 측정법은 프로브가 AUT에 멀어짐에 따라 변환에 필요한 데이터의 수는 감소한다. 일반적으로 전기적 대형 안테나를 원역장 측정 시설에서 측정할 경우 소스 안테나와 AUT간의 거리는 Rayleigh 원역장 거리의 반 또는 그 이상일 경우가 대부분이다. 이러한 거리에서 평면 주사법이나 원통 주사법을 활용하여 근역장 측정을 수행할 경우 변환에 필요한 데이터를 충분히 확보하지 못하여 이득이나 방사 패턴의

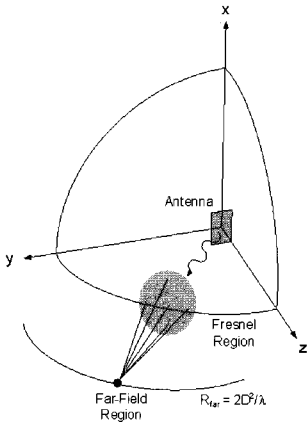
정확도가 낮아진다. 구형 주사법을 활용할 경우 앞 절에서 설명한 내용에 따라 필요한 데이터가 매우 많아 FFT 변환에 많은 시간이 소요된다. 그러나 프레넬장 측정법을 수행할 경우, 수 개의 데이터를 활용하여 원역장 전계값을 빠르게 구할 수 있다.

본 논고에서는 먼저 프레넬장 측정 기술에 대한 기본 이론을 다룬다. 그리고 α -변화법^{[1],[5],[8]}, 높이 변화법^[9], ϕ -변화법^[10]의 세가지 주사법의 이론, 장점과 단점에 대하여 다룬다. 주요한 측정 파라미터를 설정하는 방법^[11]에 대해 다룬 후 결론으로 본 고를 마무리 한다.

II. 기본 이론 및 주사법

2-1 기본 이론

프레넬장 측정법의 기본 이론은 1985년 Evans가 1차원 안테나에 대하여 제안하였다^{[1],[5]}. 이를 2차원으로 확장한 연구가 진행되었다^{[6]~[8]}. [그림 1]은 프레넬장 측정법의 기본 원리를 설명하고 있다. 회색의 직사각형으로 도시된 안테나로부터 방사된 파는 프레넬 영역에 도달하게 되며, Huygens 원리에 의하여 새로운 파원(wave source)을 형성하게 된다. 따라서



[그림 1] 프레넬장 측정법의 기본 원리

원역장 영역의 파는 가중치(weighting factor)를 도입하여 프레넬 영역의 파로부터 유추할 수가 있다.

[그림 2]는 본 고에서 사용한 좌표계 시스템이다. $L_x \times L_y$ 크기의 회색 부분은 안테나 개구면이다. 안테나로부터 거리 R 떨어진 지점의 전계 E_R 에 대하여 α 는 y - z 평면으로부터 각도이며, β 는 x - z 평면으로부터 각도이다. 또한 θ 와 ϕ 는 각각 z 축과 x 축으로부터의 각도이다.

[그림 2]로부터 거리 R 에서 전계 $E_R(\alpha, \beta)$ 은 식 (1)과 같다.

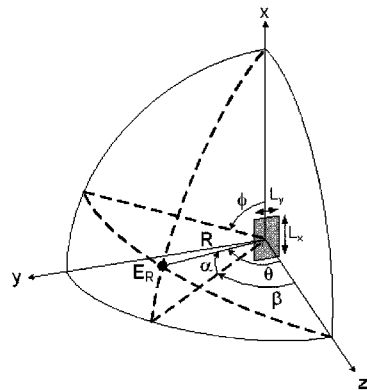
$$E_R(\alpha, \beta) = \iint_S h(x, y) e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}\rho} dx dy \quad (1)$$

여기서 $h(x, y)$ 는 개구면의 전류분포이며, ρ 는 안테나 개구면의 한점 (x, y) 로부터의 전계 $E_R(\alpha, \beta)$ 까지의 거리로써, 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\rho = \sqrt{(R \sin \alpha - x)^2 + (R \cos \alpha \sin \beta - y)^2 + (R \cos \alpha \cos \beta - 0)^2}$$

이차항 표현식과 함께 α 와 β 가 작은 값이라는 가정을 적용하여 위 식을 정리하면 식 (2)와 같다.

$$\rho = R - (x \sin \alpha + y \cos \alpha \sin \beta) + \frac{x^2 \cos^2 \alpha + y^2 \cos^2 \beta}{2R} \quad (2)$$



[그림 2] 좌표계 시스템

식 (2)를 식 (1)에 대입하고 $f(x,y) = h(x,y)e^{-j2\pi \lambda/R}$ 를 적용하면 식 (3)과 같다.

$$E_R(\alpha, \beta) = \iint_S f(x,y) e^{+j\frac{2\pi}{\lambda}(x \sin \alpha + y \sin \beta \cos \alpha)} e^{-j\frac{\pi}{\lambda R}(x^2 \cos^2 \alpha + y^2 \cos^2 \beta)} dx dy \quad (3)$$

위 식 (3)에서 원역장 영역의 매우 큰 R 에 대하여 x^2/R 과 y^2/R 은 무시할 수 있다. 따라서 원역장에서 전개값은 식 (4)와 같이 간략화 할 수 있다.

$$E_{far}(\alpha, \beta) = \iint_S f(x,y) e^{+j\frac{2\pi}{\lambda}(x \sin \alpha + y \sin \beta \cos \alpha)} dx dy \quad (4)$$

식 (3)과 식 (4)의 관계를 찾기 위하여 식 (5)와 같은 푸리에 급수를 활용한다.

$$e^{+j\frac{\pi}{\lambda R}(x^2 \cos^2 \alpha + y^2 \cos^2 \beta)} = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} k_{mn} e^{+j\frac{2\pi}{L_x} mx} e^{+j\frac{2\pi}{L_y} ny} \quad (5)$$

여기서 k_{mn} 은 푸리에 계수로써 식 (6)과 같다.

$$k_{mn} = \frac{1}{L_x L_y} \int_{-L_x/2}^{L_x/2} \int_{-L_y/2}^{L_y/2} e^{+j\frac{2\pi}{L_x} mx} e^{-j\frac{2\pi}{L_y} ny} dx dy \quad (6)$$

여기서 c^2 는 $\pi/\lambda R$ 이다.

식 (5)를 식 (3)에 대입한 후 식 (4)와 비교하면 아래 식 (7)과 같은 관계식을 유도할 수 있다.

$$E_{far}(\alpha, \beta) = \sum_{m=-M}^{+M} \sum_{n=-N}^{+N} k_{mn} E_R(\alpha + m\Delta\alpha, \beta + n\Delta\beta) \quad (7)$$

여기서 $\Delta\alpha = \lambda/L_x$ 이며 $\Delta\beta = \lambda/L_y$ 이다. 식 (7)이 의미하는 바는 원역장 값 E_{far} 은 프레넬장 값 E_R 과 계수 k_{mn} 의 합과 곱으로부터 구할 수 있다는 것이다. 식 (7)에서 푸리에 급수의 지수는 무한대가 아니라 유한하다. 그 이유는 지수 m 또는 n 이 증가함에 따라 k_{mn} 의 절대값이 감소하기 때문에 일정 값의 지수

까지만 의미를 갖기 때문이다.

[그림 3]은 한 개의 원역장 값에 대하여 요구되는 프레넬장 값을 점으로 표시한 것이다. 이 점을 주사하는 방법에 따라 α -변화법, 높이 변화법, ϕ -변화법으로 나누며, 보유하고 있는 시스템에 따라 최적의 주사법을 선택한다.

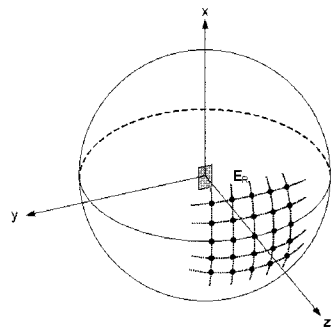
2-2 α -변화법

α -변화법은 먼저 [그림 4](a)와 같이 각도 α 를 변경하면서 주사하는 방법이다. [그림 4](b)는 α -변화법을 적용할 수 있는 측정 시스템의 대표적인 구성도이다.

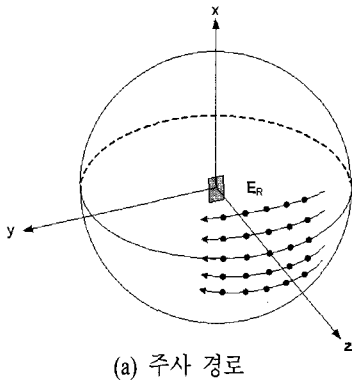
[그림 4](b)의 측정 시스템에서 소스 안테나는 고정된 상태에서 고도각 퍼지셔너를 위아래로 변경하면서 턴 테이블을 회전하면 [그림 4](a)와 같은 주사 경로를 따라 프레넬장 값을 측정할 수 있다. 그러나 [그림 4](b)에서 쉽게 예상할 수 있듯이 고중량의 AUT를 아래로 기울일 경우 바닥면으로 추락할 수 있으므로 고용량 퍼지셔너를 갖추어야 한다. 또한 바닥면 흡수체로부터 반사되어 오는 파를 모두 수신하게 되는 문제점을 가지고 있다.

2-3 높이 변화법

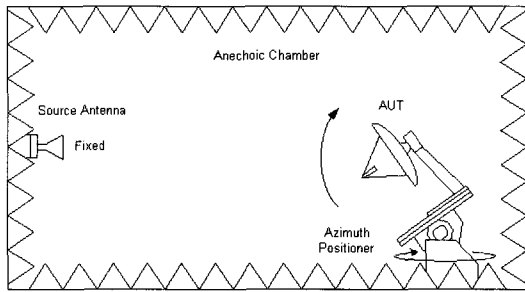
위 절에서 설명한 α -변화법은 고도각을 변화시



[그림 3] 한 개의 원역장 값에 대하여 변환에 필요한 프레넬장 값



(a) 주사 경로



(b) 측정 시스템의 구성도

[그림 4] α -변화법

킬 수 있는 고용량 퍼지서너가 필요하다. 높이 변화법은 고중량의 AUT를 기울이지 않고 높이를 변화시키는 방법으로써 기울이는 것보다 안정성이 높다. [그림 5](a)는 높이 변화법의 주사 경로를 보여주고 있으며, [그림 5](b)는 지수 m 의 관점에서 바라본 주사경로이다. 먼저 흰색 원 위치의 프레넬장 값을 측정 후 검은 원 위치의 프레넬장 값으로 보정을 수행한다. 따라서 높이 변화법의 변환식은 식 (7)을 수정하여 식 (8)과 같이 유도할 수 있다.

$$E_{far}(\alpha, \beta) = \sum_{m=-M}^{+M} \sum_{n=-N}^{+N} k_{mn} E_D(\alpha + m\Delta_\alpha, \beta + n\Delta_\beta) C_{m,S} C_{m,R} \quad (8)$$

여기서 E_D 는 소스 안테나로부터 거리 D 만큼 떨어진 위치의 전개값이다. $C_{m,S}$ 는 소스 안테나의 방사 패턴이 완전하게 등방성이 아니므로 보상을 해주는

항이다. $C_{m,R}$ 은 ΔR 만큼 보상을 해주는 항으로써 식 (9)와 같다.

$$C_{m,R} = (1 + \Delta R / (R - \Delta R)) \angle(k\Delta R) \quad (9)$$

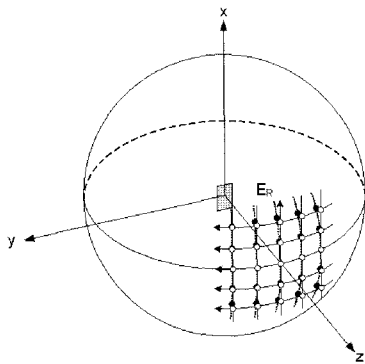
여기서 k 는 파수(wave number)이다. [그림 5](b)에서 필요한 높이 변화 Δh_m 는 식 (10)과 같이 구할 수 있다.

$$\Delta h_m = D \times \tan(\Delta\alpha \times |m|) \quad (10)$$

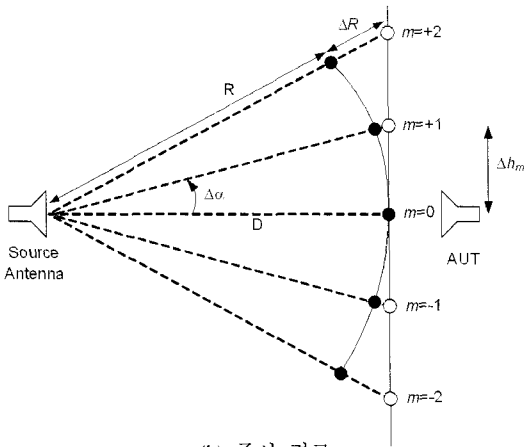
AUT가 중심으로부터 위나 아래로 멀어짐에 따라 ΔR 이 커지고 식 (9)의 $C_{m,R}$ 오차도 증가하지만 무시될 수 있다. 왜냐하면 $C_{m,R}$ 과 곱해지는 k_{mn} 값이 AUT가 중심으로부터 멀어짐에 따라 급격하게 작아지기 때문이다.

[그림 5](a)와 (b)의 주사 경로를 따라 프레넬장 값을 측정하기 위하여 [그림 5](c)와 같이 소스 안테나는 고정시키고 AUT의 높이를 변화시키면서 턴 테이블을 회전한다.

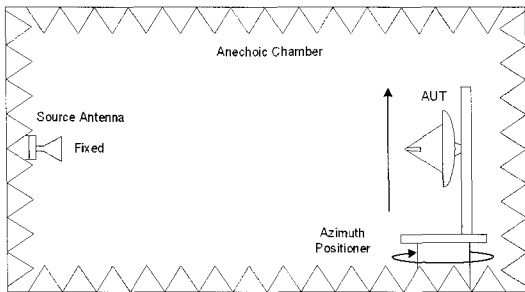
높이 변화법을 검증하기 위하여 한국전자통신연구원(ETRI)의 챔버에서 SGA-110 혼 안테나에 대한 측정을 수행하였다. 혼안테나의 개구면 크기는 152.4 mm×108.4 mm이고, 측정 주파수는 10 GHz이다. 따라서 Rayleigh의 원역장 조건은 2.33 m이다. 프레넬장 값은 원역장의 약 1/5인 거리인 0.5 m에서 [그림 5](c)와 같이 안테나의 높이를 변화시키고 턴 테이블을 회전하여 5개 면에서 획득하였다. 이 값을 식 (8)을 이용하여 원역장 패턴으로 변환하였다. 보상을 취한 원역장 패턴과 보상을 취하지 않은 원역장 패턴을 [그림 6]에 도시하였다. 또한 중형 원역장 챔버에서 획득한 기준 원역장 패턴도 비교를 위하여 함께 도시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 보상을 취하지 않은 높이 변화법의 변환된 원역장 결과는 이득에서 큰 오차를 보인다. 그러나 보상을 취한 높이 변화법의 변환된 원역장 결과는 기준 원역장 결과와



(a) 주사 경로



(b) 주사 경로

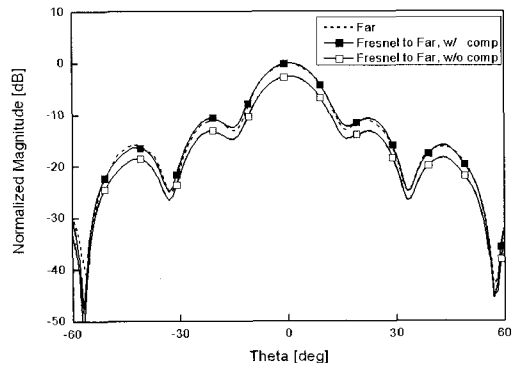


(c) 측정 시스템의 구성도

[그림 5] 높이 변화법

거의 유사함을 알 수 있다.

높이 변화법을 적용하기 위해서는 [그림 5]와 같이 AUT 또는 소스 안테나의 높이를 변화시킬 수 있는



[그림 6] 원역장 1/5배 거리에서 높이 변화법을 적용하여 변환한 원역장 방사 패턴

장치가 필요하다. 따라서 간단한 기계 구조물을 제작하여 수동으로 높이 변화를 시키거나, EMC 무반사실 챔버나 근역장 챔버 내의 Y-스캐너 등의 형태를 활용하여 자동으로 변화시킬 수 있다.

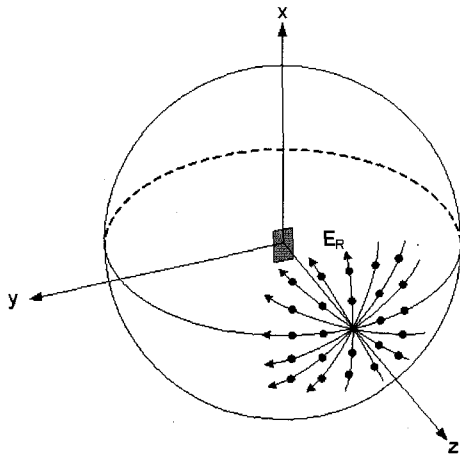
2-4 ϕ 변화법

높이 변화법은 α-변화법과 달리 고도각을 변화시킬 수 있는 고용량 퍼지셔너가 필요하지 않는 반면에 AUT 또는 소스 안테나의 높이를 변화시킬 수 있는 장치가 필요하다. 그러나 현재 가장 많이 보급되어 있는 형태의 원역장 측정 시스템은 3축 시스템으로써 소스 안테나 퍼지셔너, AUT 퍼지셔너, Azimuth 퍼지셔너(턴 테이블)가 구동하는 형태이다. 이러한 원역장 측정 시스템에는 본 절에서 설명하는 파이 변화법이 최적이라고 할 수 있다.

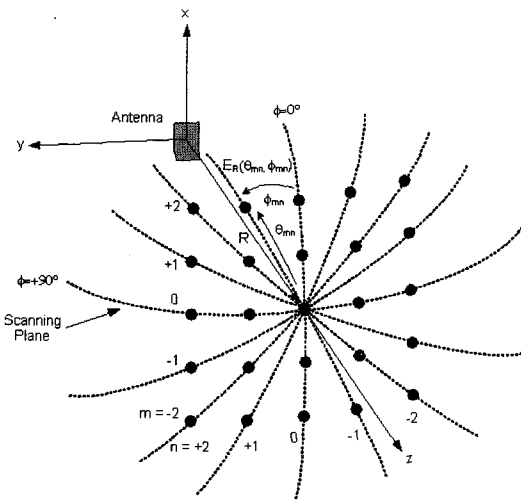
ϕ 변화법은 [그림 7](a) 및 (b)와 같이 프레넬장 값의 주사를 ϕ 각도를 변화시키면서 수행한다. 따라서 ϕ 변화법이라고 명명하였다. 이 값들은 식 (11)에 의하여 원역장 값으로 변환된다.

$$E_{far}(\theta, \phi) = \sum_{m=-M}^{+M} \sum_{n=-N}^{+N} k_{mn} E_R(\theta_{mn}, \phi_{mn}) \quad (11)$$

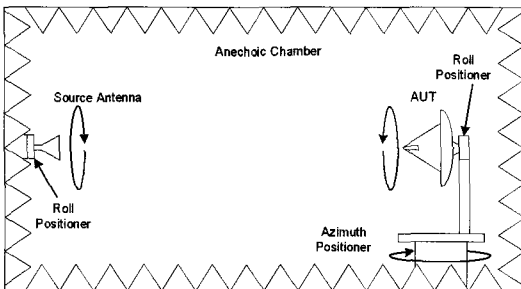
식 (7)과 식 (11)의 연관성은 직각 좌표계와 구좌



(a) 주사 경로



(b) 주사 경로



(c) 측정 시스템의 구성도

[그림 7] 파이 변화법

표계간의 관계에 의하여 식 (12)와 같이 유도할 수 있다.

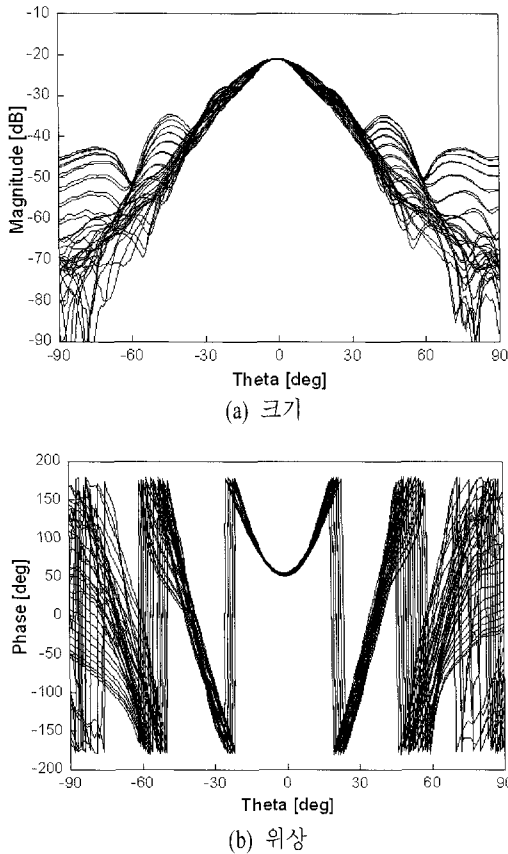
$$\theta = \cos^{-1}(\cos \alpha \cos \beta)$$

$$\phi = \tan^{-1}(\cot \alpha \sin \beta) \quad (12)$$

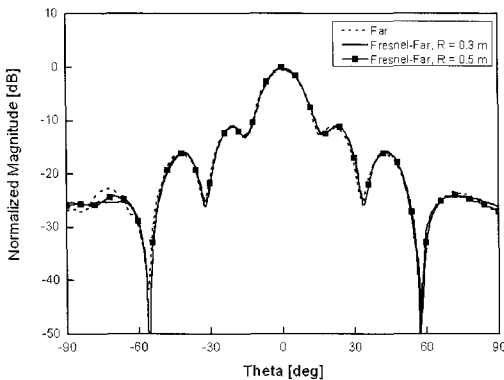
각도 ϕ 변화법을 활용하기 적합한 측정 시스템의 구성도는 [그림 7](c)와 같다. 소스 안테나와 AUT를 지지하고 있는 roll positioner가 회전하여 ϕ 각도를 변화시킨다. 아울러, azimuth positioner가 회전하여 θ 각도를 변화시킨다. 여기서 AUT와 소스 안테나를 연결하는 가상 직선을 z축으로 설정하여 각도 ϕ 와 θ 를 정의하였다.

α 변화법은 [그림 4](a)와 같이 측정해야 하는 프레넬장 값이 일정한 간격으로 위치하고 있으나, ϕ 변화법은 [그림 7](a)와 같이 불규칙한 간격을 유지하고 있다. 따라서 정확한 위치를 주사하기 위해서는 장시간이 소요되는 문제점이 존재한다. 이를 해결하기 위한 첫번째 방법으로 주사를 등간격으로 촘촘하게 한 후 식 (11)을 적용할 때 최단 거리에 있는 프레넬장값을 취하는 것이다. 두번째 방법은 Cubic 내삽법이나 Spline 내삽법을 활용하여 미지의 값을 수치적으로 계산하는 방법이다. 모의 실험 및 실제 실험 결과에 의하면 두 가지 모두 정확도가 높는데, 그 이유는 프레넬장 영역에서는 위치에 따른 값의 변화가 완만하기 때문이다.

ϕ 변화법의 정확도를 검증하기 위하여 SGA-110 혼 안테나에 대하여 실제 실험을 수행하였다. 주파수 10 GHz에 대하여 Rayleigh 원역장 거리인 2.33 m의 1/5 거리(0.5 m)와 1/8거리(0.3 m)에서 프레넬장 값을 획득하였다. [그림 8]은 1/8 거리인 0.3 m에서 ϕ 각도를 변화시키면서 주사한 프레넬장 값을 보여주고 있다. 이 값들은 식 (11)을 활용하여 [그림 9]에 도시한 것과 같이 원역장 방사 패턴으로 변환되었으며, 기준 원역장 방사 패턴과 비교하였을 때 거의 일치함을 알 수 있다.



[그림 8] 원역장 1/8배 거리에서 ϕ 변화법을 적용하여 측정된 프레넬장 값



[그림 9] 원역장 1/5배 및 1/8배 거리에서 ϕ 변화법을 적용하여 변환한 원역장 방사 패턴

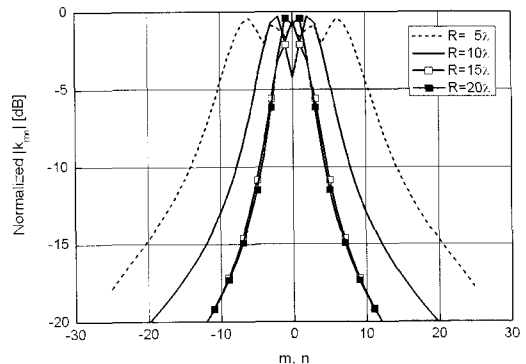
2.5 파라미터 결정

식 (7), (8), (11)에서 한 개의 원역장 값을 구하기 위하여 필요한 프레넬장 값의 개수는 $(2M+1) \times (2N+1)$ 이다. 여기서 M 이나 N 의 개수를 증가시키면 측정에 소요되는 시간이 증가하므로 높은 정확도를 유지하면서 시간이 단축되는 최적화 개수를 찾을 필요가 있다.

[그림 10]은 정사각형 개구면의 한 변의 길이 L_x 와 L_y 가 10λ 일 때 소스 안테나와 AUT간의 거리 R 에 따른 k_{mn} 의 절대값을 도시한 것이다. M 과 N 이 증가하면 $|k_{mn}|$ 은 감소한다. 이때 최대값에 비하여 약 15 dB 정도 떨어진 지점의 M 과 N 이 최적 값이라고 할 수 있다. 거리 R 과 개구면 크기를 변화시키면서 관찰한 결과 식 (13)과 같이 최적의 M 과 N 을 결정할 수 있다.

$$\begin{aligned} M_{opt} &= (2M + 1) = 2L_x^2 / \lambda R + 5 \\ N_{opt} &= (2N + 1) = 2L_y^2 / \lambda R + 5 \end{aligned} \quad (13)$$

프레넬장 측정법의 주요 파라미터 중 하나는 소스 안테나와 AUT간의 거리 R 이다. [그림 10]과 식 (13)에서 알 수 있듯이 거리가 가까워지면 변환에 필요한 데이터수가 급격하게 증가한다. 아울러 식 (3)에서 식 (4)로 간략화 시키는 과정에서 무시한 x^2/R



[그림 10] 정사각형 개구면의 한 변의 길이가 10λ 일 때 거리 R 에 따른 k_{mn} 의 절대값

과 y^2/R 를 더 이상 무시할 수 없게 된다. 따라서 식 (7), (8), (11)을 적용할 수 있는 소스 안테나와 AUT 간의 이격 거리는 식 (14)와 같이 허용 오차와 개구면 크기에 따라 결정할 수 있다.

$$R_{0.5dB} \approx \begin{cases} 1.2 \frac{L_x}{\lambda} & \text{for } 5 \leq \frac{L_x}{\lambda} \leq 20, \\ 0.092 \left(\frac{L_x}{\lambda}\right)^2 + 0.43 \frac{L_x}{\lambda} - 22.5 & \text{for } 20 < \frac{L_x}{\lambda} \leq 200, \end{cases} \quad (14)$$

$$R_{0.2dB} \approx \begin{cases} 2.0 \frac{L_x}{\lambda} & \text{for } 5 \leq \frac{L_x}{\lambda} \leq 20, \\ 0.14 \left(\frac{L_x}{\lambda}\right)^2 + 2.50 \frac{L_x}{\lambda} - 60.0 & \text{for } 20 < \frac{L_x}{\lambda} \leq 200, \end{cases} \quad (15)$$

III. 결 론

본 고에서는 안테나의 전기적 크기가 크거나 무반사실의 크기가 작아서 Rayleigh의 원역장 조건을 만족하지 못할 경우 원역장 측정 시스템을 그대로 활용하여 정확한 방사성능을 획득할 수 있는 프레넬장 측정 기술에 대하여 논하였다. 프레넬장 값을 주사하는 방법에 따라 α -변화법, 높이 변화법, ϕ 변화법으로 분류한다. 각 방법은 보유하고 있는 측정 시스템의 특징에 따라 적절하게 선택할 수 있다. α -변화법은 고도각을 변화시킬 수 있는 대용량 퍼지셔너를 보유하고 있는 측정 시스템에 적합하다. 높이 변화법은 AUT 또는 소스 안테나의 높이를 변화시킬 수 있는 장치를 보유하고 있는 EMC 챔버나 근역장 챔버에서 손쉽게 적용할 수 있다. 또한 ϕ 변화법은 소스 안테나와 AUT의 각도 ϕ 를 변화시킬 수 있는 roll 퍼지셔너를 보유하고 있는 측정 시스템에서 활용 가능하다. 현재 국내에서 보급되어 있는 대부분의 원역장 측정 시스템은 roll 퍼지셔너가 구비되어 있으므로 ϕ 변화법이 가장 유리할 것이다. 측정에 소요되는 시간은 α -변화법과 높이 변화법이 상대적으로 짧고 ϕ 변화법은 상대적으로 길다. 그러나 영역간의 변환이 존재하지 않으므로 근역장 측정 기술에 비교

하여 전체 측정 시간은 매우 짧다고 할 수 있다. 단 점으로써 프레넬장 값의 개수 선택과 소스 안테나와 AUT간의 거리 제한 등에 주의를 기울여야 한다는 것이다. 본 고에서 소개한 기술은 프레넬장에서 원역장으로 변환 기술이며, 프레넬장에서 프레넬장으로 변환하는 기술은 참고문헌 [12]에 잘 기술되어 있다. 프레넬장 측정법은 Rayleigh의 조건을 만족하지 못하는 측정 시설에서 빠른 속도로 원역장 방사 패턴과 이득을 구할 수 있으므로 국내의 많은 중소형 챔버에서 전기적 대형 또는 중형 안테나를 측정 시 유용하게 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] G. E. Evans, *Antenna Measurement Techniques*, Boston, Artech House, 1990.
- [2] J. D. Kraus, R. J. Marhefka, *Antennas for All Applications, 3rd Ed.*, Boston, McGraw-Hill, 2002.
- [3] A. W. Rudge, K. Milne, A. D. Olver, and P. Knight, *The Handbook of Antenna Design*, London, IEE, 1986.
- [4] D. Slater, *Near-Field Antenna Measurements*, Norwood, Artech House, 1991.
- [5] G. E. Evans, "Far field correction for short antenna ranges", in *AMTA Symp.*, pp. 34.1-34.9, 1985.
- [6] K. Wu, S. Parekh, "Method of transforming antenna Fresnel region fields to far region fields", in *Proc. AMTA*, pp. 11.9-11.14, 1989.
- [7] K. Wu, S. Parekh, "A method of transforming Fresnel field to far field for circular aperture antennas", in *IEEE APS Dig.*, pp. 216-219, May 1990.
- [8] I. L. Vilenko, A. A. Meduhin, Y. A. Suserov, A. K. Tobolev, and A. V. Shishlov, "Reconstruction of antenna radiation pattern by using data of measurements in a Fresnel region with test facility in-

- tended for far-field measurements", *Antennas* (Russian Journal), vol. 92, no. 1, pp. 46-52, 2005.
- [9] S. -S. Oh, J. -M. Kim, and J. -H. Yun, "Antenna measurement on cylindrical surface in Fresnel region using direct far-field measurement system", *ETRI Journal*, vol. 29, no. 2, pp. 135-142, 2007.
- [10] S. -S. Oh, J. -M. Kim, J. -H. Yun, and S. -Y. Kang, "Antenna measurement method in Fresnel region by ϕ -variation scanning", *IEEE Antennas Propag. Lett.*, vol. 7, pp. 206-209, 2008.
- [11] S. -S. Oh, J. -I. Moon, "Measurement guideline of Fresnel-field antenna measurement method", *ETRI Journal*, vol. 31, no. 1, pp. 68-70, 2007.
- [12] S. -S. Oh, J. -H. Yun, "New method for predicting the electromagnetic field at a finite distance using Fresnel field transformation", *IEEE Antennas Propag. Lett.*, vol. 7, pp. 291-293, 2008.

≡ 필자소개 ≡

오 순 수



1991년 3월~1998년 2월: 인하대학교 전자공학과 (공학사)

1998년 3월~2000년 2월: 인하대학교 전자공학과 (공학석사)

2000년 3월~2003년 8월: 고려대학교 전자공학과 (공학박사)

2003년 9월~2005년 4월: University of Manitoba, Post-Doc. Fellow

2005년 5월~현재: 한국전자통신연구원 선임연구원

2006년 2월: 한국전자통신연구원 디지털방송연구단 우수논문상

2007년 7월: URSI EMT-S 젊은과학자상(Young Scientist Award)

2007년 11월: 한국전자과학회 전파기술상