

임펄스응답을 이용한 안테나측정 시스템

정회원 고진환*

Antenna Measurement System using Impulse response Sciences

Jinhwan Koh* *Regular Member*

요약

본 연구의 목적은 반사가 심한 환경에서 안테나의 방사패턴을 정확하게 측정하는 것이다. 각도영역과 시간영역의 두가지 임펄스응답을 이용하여 환경을 묘사함으로써 안테나의 방사패턴 측정 시 생길 수 있는 반사, 회절, 굴절에 의한 영향을 최소화 할 수 있다. 시뮬레이션 결과는 기존의 FFT 기반 방법보다 제안된 방법이 우수함을 보여준다.

Key Words : Antenna pattern measurement; Anechoic chamber; Impulse response; reflection

ABSTRACT

The objective of this paper is to investigate a methodology, which can extract approximate results from non-anechoic measurements. Using impulse response both in time and angular domain, the environment has been successfully described. Simulated data has been used to illustrate the applicability of this new methodology and its improved performance over the conventional FFT-based methods.

1. 서론

안테나 패턴은 모든 무선통신의 근간이 되며 통신의 효율을 정하는 가장 중요한 파라미터 중 하나이다. 주파수 대역에 따른 여러 가지 형식의 안테나가 설계되고 또한 그 패턴의 종류에 따라 여러 분야의 연구가 이루어져 왔다. 실제로 안테나의 패턴을 측정하는 것은 실제로 계측기를 통한 실측방법과 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 간접 계측이 있다. 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하는 방법으로 여러 가지 상용 패키지를 사용해 안테나의 패턴을 얻을 수 있다. 그러나 각 시뮬레이션 패키지별로 각기 다른 특성이 있으며 아직까지 모든 경우에 모두 잘 동작하는 소프트웨어 패키지는 존재하지 않는다. 이러한 컴퓨터 시뮬레이션은 어느 정도의 정확도는 줄 수 있으며 실제 계측과 병행하여 사용될 수 있다.

실제의 안테나 패턴의 계측은 무반사실(Anechoic chamber)에서 이루어지며 무반사실은 벽이 전자파를 흡수하는 구조체로 되어있어 안테나에서 방사되는 전자파의 반사를 막아준다. 무반사실은 세계적으로도 각국의 EMC 규정을 만족시키기 위한 필수 설비이며 EMC 규제가 일반화 되어 가면서 점차 각 기업으로부터 수요가 증가하고 있다. 현재 국내 전파무반사실은 기업체가 보유한 곳이 40여곳 있으며 대학 및 연구소에 설치된 것을 포함하면 60-70여 곳, 180개 이상의 무반사실이 있는 것으로 파악된다. 각 무반사실이 최소 7000만원에서 수십억원의 설치비가 필요하므로 시장 잠재성이 매우 큰 산업분야라고 할 수 있다. 그림1은 후지제록스사의 7m 14m 7m급 무반사실의 모습이다.

이러한 무반사실의 벽에 부착된 흡수체는 일정 주파수대역에서만 전자파를 흡수하며 주파수대역이 다르면 흡수효율이 현저하게 떨어져 반사, 굴절, 회절의

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 ITRC연구센터 지원사업의 연구결과 및 (NIPA-2010-(C090-1031-0007)) 신성장동력 핵심기술개발사업의 연구결과로 수행되었음

* 경상대학교 전자공학과, 공학연구원 AWC연구실(jikoh@gnu.ac.kr)

논문번호 : KICS2010-06-273, 접수일자 : 2010년 6월 18일, 최종논문접수일자 : 2010년 9월 28일

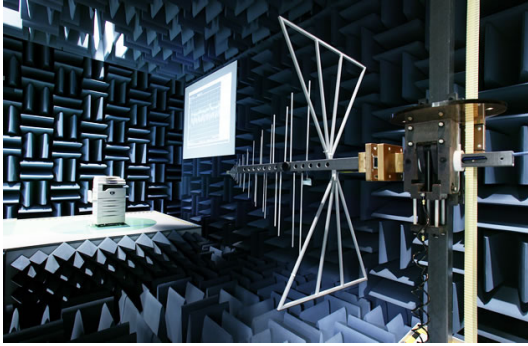


그림 1. 무반사실에서의 측정 [http://www.fujixerox.co.jp]

효과가 커지게 된다. 즉, 무반사실의 안테나의 방사패턴의 측정은 정해진 주파수대역 내에서만 적절한 패턴이 측정 가능하며, 정해진 주파수대역보다 낮거나 높은 안테나의 방사패턴을 측정하고자 한다면 반사파, 회절파, 굴절파 등의 복잡한 오류 원인이 생기게 된다. 그러므로 다른 주파수대역의 안테나를 측정하고자 한다면 적절한 흡수체를 가지는 무반사실을 다시 설계하여야 하는 단점이 있다.

또한 저주파(UHF, VHF) 측정의 경우, 과장이 비교적 크게되어 무반사실의 공간이 수십미터에 달하게 된다. 이러한 큰 공간의 경우에는 안테나의 이동, 유지, 보수문제 등의 이유로 벽면과 천장만 흡수체를 사용하고 바닥에는 흡수체를 사용하지 않는 경우가 많다 (semi-anechoic chamber). 이런 경우는 반사 굴절 및 회절의 영향을 더 받으므로 무반사실보다는 성능이 저하된다.

이러한 문제점들을 해결하고자, 안테나 방사패턴 측정 시 무반사실에서의 반사, 회절, 굴절과 등의 영향을 최소화하고자 하는 연구가 진행되어 왔다¹³⁾. 스페인 Oviedo 대학에서 수행된 S Loredo, M R. Pino, F L Heras, 그리고 T K. Sarkar의 연구가 안테나 패턴복원에 관한 대표적 논문이다¹⁴⁾. 이 연구에서 사용된 안테나측정시스템이 그림 2에 나타나 있다. 이 논문의 목적은 반사판의 영향을 없애고 방사패턴을 복구하는 것으로서 FFT방법을 사용하고 있다. 그림 2에서 보는 바와 같이 AUT(antenna under test)와 probe와의 직선 거리는 7.7m 이며, 반사판을 그 사이에 2m 높이에 두고 AUT를 회전시키면서 네트워크 어널라이저의 s_{21} 파라미터로 안테나방사패턴을 측정한다. 각도 별 s_{21} 파라미터를 데이터로 하여 각 측정 각도별로 역 Fourier 변환을 행하여 시간축 데이터를 얻는다.

그림 2 에서 보는 바와 같이 반사판이 있는 경우,

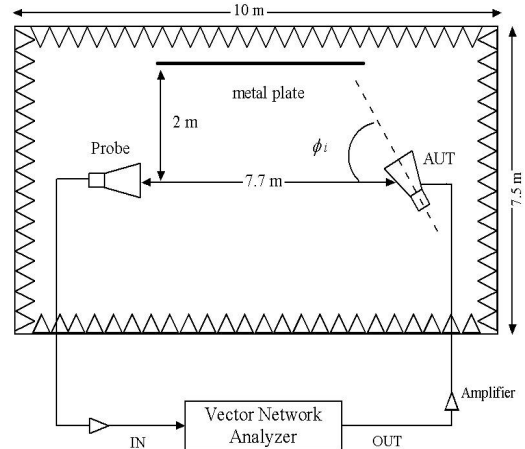


그림 2. Oviedo 대학의 안테나 측정 시스템

반사판에서 반사될 수 있는 최소 거리 이후의 시간응답은 0이라고 생각할 수 있다. 이 경우의 최소거리에 해당하는 시간은 28.9nsec 로 계산된다. 즉, 주파수 데이터로부터 inverse FFT를 사용하여 시간축 데이터를 얻은 후 28.9ns 이후를 0으로 패딩해준다면 원하는 응답을 얻을 수 있다. 이 시간 응답을 얻은 후 다시 주파수 영역으로 변환함으로써 중심주파수의 각도 별 응답을 구하게 된다.

FFT를 이용한 연구의 문제점은 시간영역 결과의 반사판까지의 최소 도달시간 이후에는 응답신호가 전혀 없다고 가정하는데 있다. 즉, 반사판까지의 최단거리 도달 시간이 28.9ns 인데 이 시간후의 시간응답을 모두 무시하고 결과를 도출한다는 점이다. 이것은 반사파가 아닌 7.7m 를 정상적으로 진행하는 신호의 경우에는 적절하지 않은 표현이며 정확하지 않은 결과의 원인이 될 수 있다. 일정 시간영역을 0으로 두게 되므로 프로세싱 후의 에너지는 항상 기준값보다 적게 된다. 또한 이 방법에서는 최소거리에 해당하는 시간을 추정해야하는 단점이 있다. 반사체가 복잡하게 존재하는 경우에는 이러한 최소시간의 추정이 쉽지 않을 수 있다.

본 연구에서는 이러한 제약조건들을 모두 극복하는 완전히 다른 방식을 사용하여 문제를 해결한다. 즉, 반사가 심한 환경에서도 안테나의 방사패턴을 측정할 수 있는 새로운 방식을 제안한다. 안테나의 방사패턴 측정 시 생길 수 있는 반사, 회절, 굴절에 의한 영향을 최소화 하는 알고리즘을 개발하고 검증한다. 반사를 제거하는 알고리즘으로 본 연구에서는 임펄스응답을 이용하며 세부적인 기술은 다음절에서 설명된다.

II. 본 론

먼저 이상적인 pencil 빔을 만드는 AUT (antenna under test)가 있다고 가정한다. 그림 3에서 나타낸것과 같이 AUT의 각도가 θ_1 인 경우 빔은 object1에서의 반사와 object2에서의 반사, 그리고 object1과 2에서의 반사가 모두 복합적으로 더해진 전자기파가 probe에 입사된다. 여기서 object 들은 시간적으로 stationary하다고 가정한다 (time invariant). 즉, AUT의 각도가 θ_1 경우, probe에서 시간영역으로 입사된 전자파는 unique 하다. 그러므로 θ_1 의 각도에서의 probe의 입사신호는 θ_1 의 임펄스응답 (또는 spatial signature)이라고 간주할 수 있다.

여러 물체들에 반사되어 probe 안테나에서 측정된 신호는 이상적인 AUT의 방사패턴과 θ_L 에서의 경로에 의한 convolution 이라고 모델링 할 수 있다. 즉,

$$P_{reflected}(\theta_L, t) = P_{ideal}(\theta_L, t) * A(\theta_L, t) \quad (1)$$

또는

$$P_{reflected}(\theta_L, f) = P_{ideal}(\theta_L, f) A(\theta_L, f) \quad (2)$$

으로 표시 할 수 있다. 여기서,

- $P_{reflected}(\theta_L, t)$ = AUT의 각도가 θ_L 일 경우 여러 경로의 반사를 통한 probing 안테나에서의 시간영역 측정신호. 만일 반사경로가 전혀 없는 경우는 $P_{reflected}(\theta_L, f) = P_{ideal}(\theta_L, f)$ 이다.
- $P_{reflected}(\theta_L, f)$ = AUT의 각도가 θ_L 일 경우 여러 경로의 반사를 통한 probing 안테나에서의 주파수영역 측정신호
- $P_{ideal}(\theta_L, t)$ = AUT의 각도가 θ_L 일 경우 반사가 없는 경우의 probing 안테나에서의 시간영역 측정신호,
- $P_{ideal}(\theta_L, f)$ = AUT의 각도가 θ_L 일 경우 반사가 없는 경우의 probing 안테나에서의 주파수영역 측

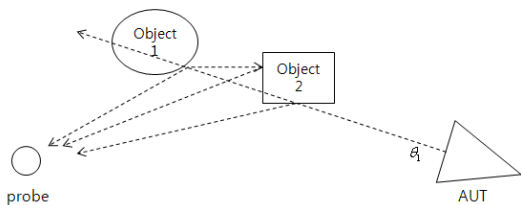


그림 3. 반사체들이 있는 경우의 응답

정신호,

- $A(\theta_L, t)$ = AUT의 각도가 θ_L 일 경우 측정환경의 시간영역 임펄스응답,
- $A(\theta_L, f)$ = AUT의 각도가 θ_L 일 경우 측정환경의 주파수영역 임펄스응답,
- * = 시간영역 convolution operator이다.

$A(\theta_L, t)$ 는 측정환경에 관한내용이며, AUT와는 독립적인 점에 유의한다. 실제로 측정에서는 AUT의 빔패턴은 pencil 빔이 아니므로 (1)과 (2)에 표시된 $A(\theta_L, t)$ 와 $A(\theta_L, f)$ 을 사용할 수 없다. 다시 $\hat{A}(\theta_L, t)$ 을 AUT의 각도가 θ_L 이고 방사패턴이 $P_{ideal}(\theta_L, t)$ 인 경우 측정환경의 임펄스응답이라고 정의하면,

$$P_{reflected}(\theta_L, t) = P_{ideal}(\theta_L, t) * \hat{A}(\theta_L, t) \quad (3)$$

또는

$$P_{reflected}(\theta_L, f) = P_{ideal}(\theta_L, f) \hat{A}(\theta_L, f) \quad (4)$$

이 된다.

방사패턴의 복원에 필요한 정보인 $A(\theta_L, t)$ 와 $A(\theta_L, f)$ 들은 임의의 AUT의 방사패턴에 독립적이며, 환경만의 함수가 되어야 한다. $\hat{A}(\theta_L, f)$ 는 AUT의 normalized된 방사패턴과 pencil 빔을 가정 했을때의 환경에 의한 임펄스응답 $A(\theta_L, f)$ 와의 각도영역의 convolution이 될 것이다. 즉,

$$\hat{A}(\theta_L, f) = \frac{1}{P_{ideal}(\theta_L, f)} P_{ideal}(\theta, f) *_{\theta} A(\theta, f)|_{\theta=\theta_L} \quad (5)$$

여기서 $P_{ideal}(\theta, f)$ = 반사가 없는 경우의 probing 안테나에서의 주파수영역 측정신호,

* $_{\theta}$ = 각도영역에서의 convolution operator 이다. 그러므로 반사가 존재하는 경우 AUT의 방사패턴은 반사가 없는 경우의 AUT의 방사패턴과 환경에 의한 임펄스응답의 각도영역에서의 convolution 이 된다.

식 (4)와 (5)로부터 다음식이 유도된다.

$$P_{reflected}(\theta_L, f) = P_{ideal}(\theta, f) *_{\theta} A(\theta, f)|_{\theta=\theta_L} \quad (6)$$

θ 로 일반화시키면

$$P_{reflected}(\theta, f) = P_{ideal}(\theta, f) *_{\theta} A(\theta, f) \quad (7)$$

그러므로 임펄스응답 $A(\theta, f)$ 는 식(7)를 inverse Fourier transform을 취하여 쉽게 계산할 수 있다. 일단 측정값으로부터 $A(\theta, f)$ 이 구해지면 임의의 안테나의 이상적인 방사패턴 $P_{ideal}(\theta, f)$ 은 측정환경이 동일하다고 가정하는 경우 식(7)로부터 구할 수 있다. 지금까지의 과정을 간단하게 정리하면 다음과 같다.

- 1) 반사가 심한 환경에서의 reference 안테나의 측정값 $P_{reflected}(\theta, f)$ 를 측정한다. 여기서 reference 안테나의 방사패턴 $P_{ideal}(\theta, f)$ 은 알려져 있다고 가정한다.
- 2) (7)식을 사용하여 $A(\theta, f)$ 를 구한다.
- 3) 같은 환경에서 측정하고자하는 AUT의 측정치를 구한다. $P_{AUT}(\theta, f)$ 로 둔다.
- 4) AUT의 방사패턴 $P_{ideal AUT}(\theta, f)$ 는 다음 식을 deconvolution을 사용하여 구할 수 있다.

$$P_{AUT}(\theta, f) = P_{ideal AUT}(\theta, f) *_{\theta} A(\theta, f)$$

Deconvolution으로써는 간단한 Fourier transform을 사용할 수 있다.

III. 시뮬레이션

제안된 내용의 타당성을 보여주기 위해 상용 패키지를 이용하여 시뮬레이션을 수행 하였다. 몇 가지가 정된 사항은 다음과 같다.

- 1) 실제의 측정에서는 여러 가지 신호원이 있을 수 있으나 시뮬레이션에서의 신호원은 오직 AUT에서 출력되는 신호만 있다고 가정한다.
- 2) 반사체는 시간에 따라 변하지 않는다.
- 3) 본 시뮬레이션에서는 2차원측정 및 패턴만 고려한다. 3차원 측정이 더욱 정확한 결과를 줄 것으로 예측한다.
- 4) 반사체들은 far-field 조건을 만족한다.

여기서 사용된 패키지는 TIDE^[5]이며 reference antenna로 비교적 대역폭이 넓은 horn안테나를 사용하였다. Horn안테나의 중심주파수는 9GHz이며 6-12GHz 영역이 simulation 되었다. 사용된 안테나의 모양은 그림 4와 같다.

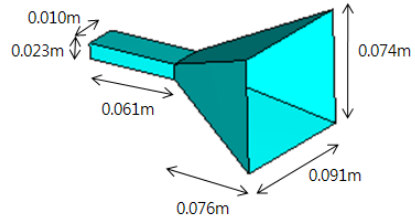


그림 4. Reference 안테나로 사용된 horn안테나의 모습

그림 5는 안테나의 측정 환경이며 인위적인 반사를 만들기 위하여 크기 0.2m×0.5m인 반사판을 중심축에서 0.5m인 위치에 두었다.

그림 6은 horn 안테나의 이상적인 방사패턴을 나타낸 것이며 그림 7은 반사판이 있을 경우의 패턴을 나타낸 것이다. Azimuth 각도가 30도 근처에서 불일치가 일어나는 것을 볼 수 있으며 이것은 반사판의 영향으로 생긴 것이다. 그림 8은 중심주파수인 9GHz 에서의 패턴을 비교한 그림이다.

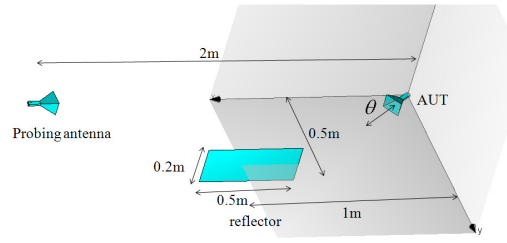


그림 5. 반사판을 포함한 reference 안테나의 측정 환경 (AUT is horn antenna)

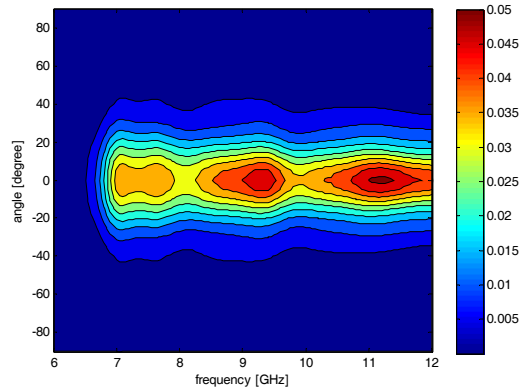


그림 6. 이상적인 Horn 안테나의 $|P_{ideal}(\theta, f)|$

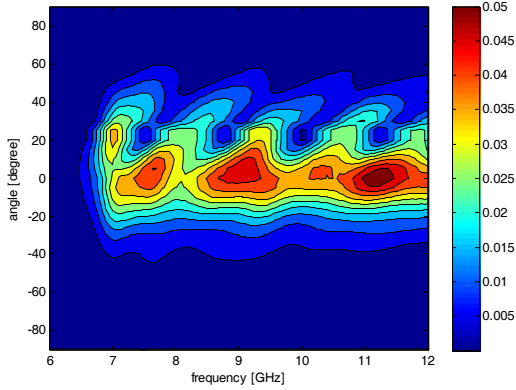


그림 7. 반사판이 있는 경우 Horn 안테나의 $|P_{reflected}(\theta, f)|$

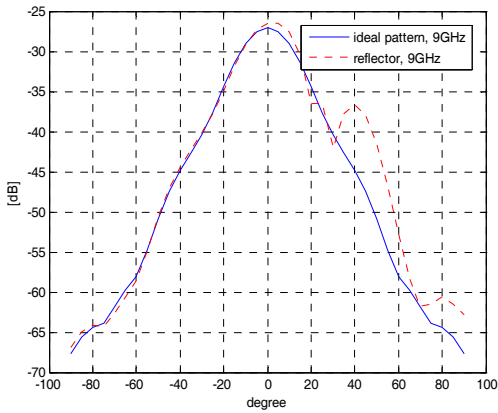


그림 8. 9GHz대역의 Horn 안테나의 방사패턴 비교

그림 9는 식(4)의 $\hat{A}(\theta, f)$ 를 나타낸 것이며 그림 10은 식(7)의 $A(\theta, f)$ 를 나타낸 것이다. $A(\theta, f)$ 가 환경에만 종속된 임펄스 응답임을 알 수 있으며 그림 11에

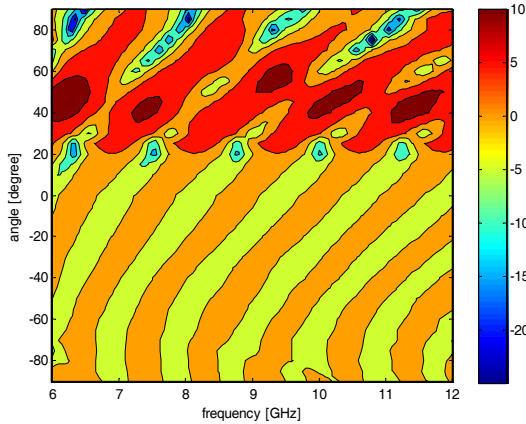


그림 9. dB로 나타낸 $\hat{A}(\theta, f)$

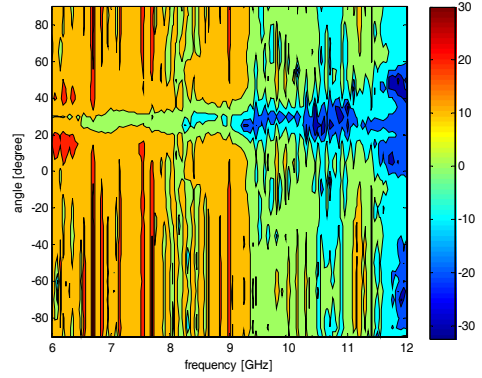


그림 10. dB로 나타낸 $A(\theta, f)$

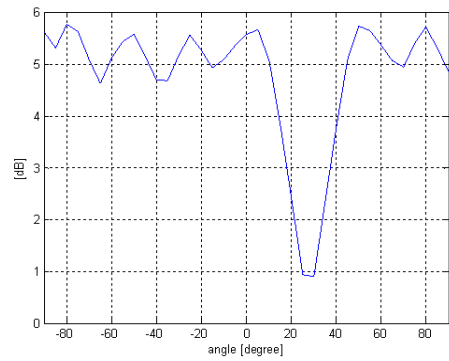


그림 11. 9GHz에서의 $A(\theta, f)$

서도 보여진 것 같이 azimuth 각도가 30도 근처에서만 응답이 있는 것을 관찰 할 수 있다.

일단 $A(\theta, f)$ 를 구한 후 측정할 AUT의 응답을 얻는다. 측정할 AUT는 그림 12에서 보여진 helical 안테나를 사용 하였으며 그림 13는 측정 환경을 보여준

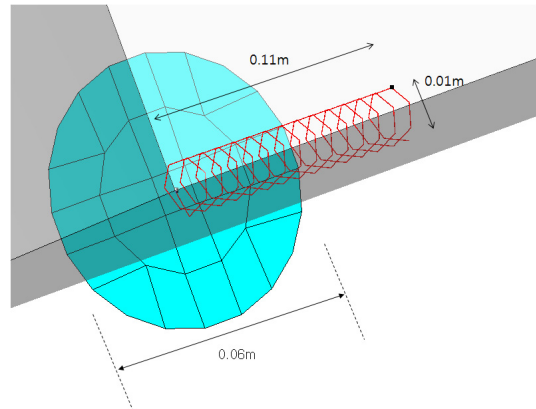


그림 12. 측정될 helical 안테나의 구조 (AUT)

다. 그림 14는 이상적인 환경에서의 helical 안테나의 방사패턴이다.

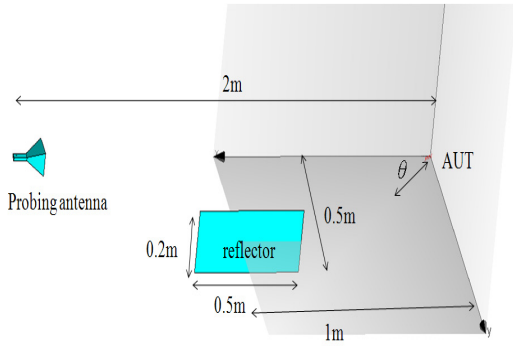


그림 13. 반사판이 있는 경우의 Helical 안테나 측정시스템

그림 15와 그림 16들은 제한된 방식을 사용 하였을 경우의 결과로 나온 패턴을 기존의 방법과 비교하여

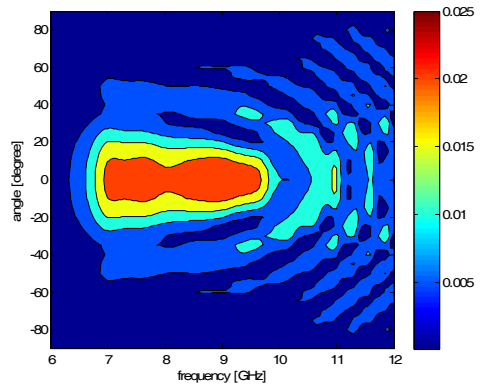


그림 14. 이상적인 Helical 안테나의 방사패턴 (반사판이 없는 경우)

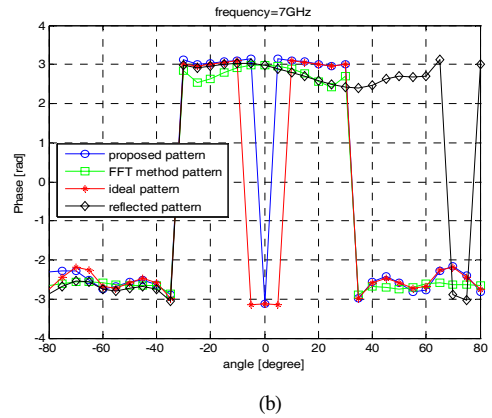
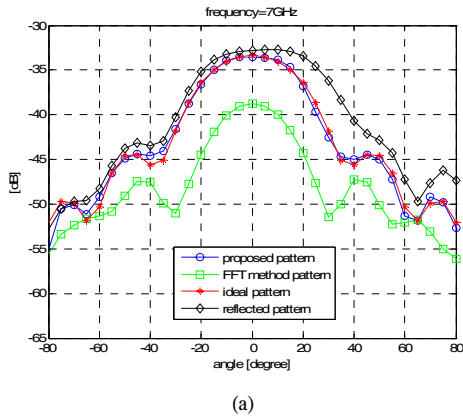


그림 15. (a) Helical 안테나의 방사패턴 at 7GHz

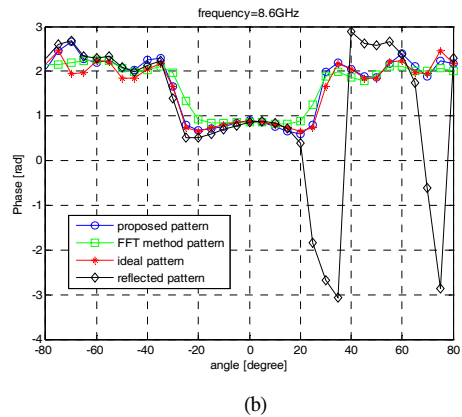
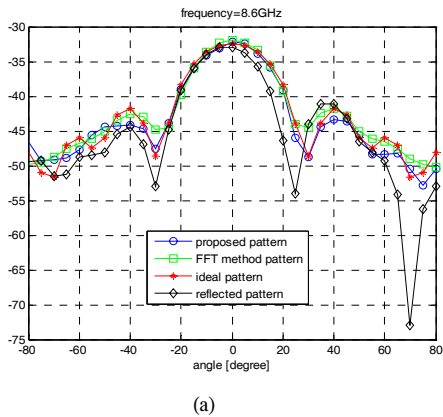


그림 16. Helical 안테나의 방사패턴 at 8.6GHz

도시한 것이다. 제안된 임펄스방법을 사용하였을 경우 이상적인 패턴과 유사한 결과를 도출함을 볼 수 있다. 또한 여러 주파수대역에서 azimuth 각도가 0도를 기준으로 좌측과 우측이 대칭이며 모두 기존의 방법들보다 우월한 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 연구의 목적은 반사가 심한 환경에서 안테나의 방사패턴을 정확하게 측정하는 것이다. 각도영역과 시간영역의 두가지 임펄스응답을 이용하여 환경을 묘사함으로써 안테나의 방사패턴 측정 시 생길 수 있는 반사, 회절, 굴절에 의한 영향을 최소화 할 수 있었다. 레퍼런스안테나로 혼안테나를 사용하였으며 테스트 안테나로 helical 안테나를 사용하였다. 시뮬레이션 결과는 제안된 방법이 기존의 FFT 기반 방법보다 크기와 위상의 비교에서 모두 이상적인 경우에 접근함을 보여준다.

참 고 문 헌

- [1] B. Fourestie, Z. Altman, and M. Kanda.; "Anechoic chamber evaluation using the matrix pencil method", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol.41, No.3, Aug. 1999, pp.169-174.
- [2] B. Fourestie, Z. Altman, and M. Kanda.; "Efficient detection of resonances in anechoic chambers using the matrix pencil method", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol.42, No.1, Feb 2000, pp.1-5.
- [3] B. Fourestie and Z. Altman, "Gabor schemes for analyzing antenna measurements", IEEE Trans. Antennas & Propagation, Vol.49, No.9, Sept. 2001, pp.1245-1253.
- [4] S. Loreda, M. R. Pino, F. L.-Heras, and T. K. Sarkar, "Echo Identification and Cancellation Techniques for Antenna Measurement in Non-Anechoic Test Sites", IEEE Antennas & Propagation Magazine, Vol.46, No.1, Feb. 2004, pp.100-107.
- [5] Parallel Solution of Integral Equation-Based EM Problems in the Frequency Domain, Y. Zhang, T. K. Sarkar June 2009, Wiley-IEEE Press.

고 진 환 (Jinhwan Koh)

정회원



1991년 2월 인하대학교 전자공학과 학사

1999년 12월 시라큐스대학 전기공학과 박사

2003년 3월~현재 경상대학교 전자공학과 교수

<관심분야> 레이더시스템, 전자파측정, 신호처리