

기지국 배열안테나의 근역장 프로빙 방법의 개발

임계재*

The Development of Near-field Probing Method on the Base Station Array Antenna

Gye-jae Lim

요 약

기지국 배열안테나의 근역장 프로빙을 통해 원역장 성능을 평가하기 위해 반사판을 갖는 다이폴 배열 안테나와 프로브 사이 높이에 따른 상호 간의 영향을 분석하였다.

기본 개념은 기지국 배열 안테나의 입력단들과 프로브의 입력 port P 에 대한 근역장에서의 상호 높이를 변화시키며 S 파라미터 측정값을 분석하여 상호결합 효과가 가장 적으면서 프로빙 효율이 높은 위치를 결정하는 것이다. 그리고 여기서 얻어진 높이는 기지국 배열안테나의 정밀한 원역장 성능을 구하기 위한 근역장 프로빙 시스템 설계에 적용 가능할 것이다.

ABSTRACT

For the evaluation of far-field performance by using the near-field probing on the base station dipole array antenna, the effects of mutual coupling depending on the heights between the array antenna with reflector and the probe were analyzed.

When the height is varied in the near-field region, S parameters on the input ports of antenna and probe are measured and analyzed to decide the height for the minimum mutual coupling effect and the maximum probing efficiency. This height will be applicable to the near-field probing system design to achieve the precision far-field performance of a base station array antenna system.

Key Word : Base Station, Array antenna, Near-field probing, Mutual coupling effect, Far-field

1. 서 론

기지국 안테나 성능의 고도화에 따라 스마트 안테나 기술 및 적응 빔포밍 기술, 빔 틸팅 기술, 공간 빔 다중화 기술, 간섭제거 기술 등의 배열 소자의 진폭 및 위상제어에 의한 패턴 제어 기술이 일반화되어 가고 있으며, 이에 따라 기지국 안테나의 성능 평가 방법과 시스템이 점차 복잡해지고 정밀해짐에 따라 그 성능시험 소요시간이 증대되고 있다.

일반적으로, 기지국 안테나의 종합적인 복사 패턴 성능시험을 위한 원역장 야외시험장에서 측정에는 아래 표 1 과 같은 각종 요인들과 절차로 인해 개별적인 시험시스템의 구축이 요구되며, 또한 각 과정의 시험 절차에 따라 많은 인력과 시간이 소요된다. 더구나 아래 표 1 의 시험을 위해 넓은 장소의 야외 타워시험장이 필요하며, 이로 인해 1일 성능시험 대수가 제한되어 있어, 만약 현재의 기지국 안테나와 같은 첨단 제품과 같이 그 정밀도 및 구매자의

* 관동대학교 전자정보통신공학부 교수(gjlim@kwandong.ac.kr)

접수일자 : 2009.02.12

완료일자 : 2009.03.11

접수번호 : KIIECT2009-01-15

요구에 따라 전수 검사가 필수적인 경우에는 이 성능시험 시간이 대량 생산 시에 병목현상의 주 원인이 될 수 있다. [1]

따라서 위와 같은 문제점들을 해결하여 양산 체계를 구축하기 위한 통합 성능시험 시스템 구축이 요구되며, 본 연구에서는 이를 위한 기초 연구로써 근거리장 다이폴 프로브의 개발 과정과 기지국 배열안테나에 대한 프로빙 성능을 분석하였다.

II. 본 론

1. 기지국 배열 안테나의 모형

900MHz 대역의 기지국 배열안테나를 그림 1 과 같이 수평 다이폴이 10개 코리니어 배열된 것으로 모형화 하였다. 각 배열 소자는 그림 2 와 같이 반파장 다이폴 소자가 접지면 상에 약 1/4 파장 높이에 수평으로 위치하는 구조로 되어 있으며, 각 부분의 크기는 표 2 와 같다. 또한 이 수평 다이폴의 기본 성능은 표 3 과 같다.

표 1. 기지국 배열안테나의 원격장 성능시험 절차에 따른 필요 시스템 및 문제점

Table 1. The Test process and system of base station array antenna.

시험 절차	필요 시스템	문제점
안테나 설치	다수 인력 및 운송 장비 송, 수신 사이트간 통신기기	장시간의 설치시간 필요 악천후 시 설치 어려움
복사패턴 시험 - 주파수에 따라 - 편파에 따라 - 측정 면에 따라 - 빔틸트 (진폭, 위상) 변화에 따라	아외 타워 시험장 고출력 송신장치 Network Analyzer (NA) Az, θ tracking unit 수신 측 표준 안테나 제어용 및 데이터 처리용 Computer	타워 설치형 아외시험장 필요 악천후 시, 시험 불가능 고출력 송신으로 주위 장애 위험성 수신 표준안테나 교체 필요 방대한 측정 데이터 량으로 분석의 복잡성 증대
반사계수 시험 - 빔틸트 (진폭, 위상) 변화에 따라	Network Analyzer (NA)	복사패턴 시험과 별도로 시험
환경, 항습 시험	환경 챔버 Network Analyzer (NA)	반사계수 성능만을 시험할 수 있으며, 복사패턴 성능 시험은 불가능
진동, 충격 시험	진동, 충격 장치 Network Analyzer (NA)	반사계수 성능만을 시험할 수 있으며, 복사패턴 성능 시험은 불가능

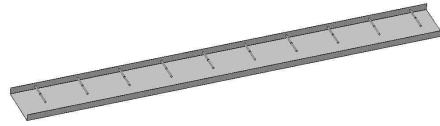


그림 1. 수평 다이폴이 10개 코리니어 배열된 900MHz 대역의 기지국 안테나

Fig. 1. A side-by-side array antenna with 10 dipoles at 900MHz band.

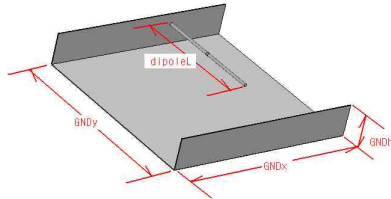


그림 2. 수평 다이폴 단일 소자의 구조

Fig. 2. Configuration of a dipole element.

표 2. 수평 다이폴 단일 소자의 크기

Table 2. Size of a dipole element.

변수	수평 다이폴 설계값
공진주파수 freq	900 MHz
다이폴 길이 dipoleL	143.5 mm
높이 h	61 mm
GND 크기 (가로 X세로)	250 mm X 241 mm
GND wall 높이 h	40 mm

표 3. 수평 다이폴 단일 소자의 전기적 기본 성능

Table 3. basic electrical properties of a dipole element.

성능 항목	수평 다이폴 성능
반사계수	-19.5 dB
위상각	-19.0 도
입력 임피던스 Zin	60.9 - j 4.2 ohm
-10dB 대역폭	0.86 - 0.95 GHz

2. 프로브 모형

프로브는 AUT 정면 상에 위치시켜 AUT 로부터의 복사 특성을 관찰하는 역할을 한다. 따라서 AUT 정면 상에 프로브를 위치시켜도 AUT의 특성에 영향을 미치지 않도록 하여야 한다. 그러나 coupling 현상에 의해 프로브가 없는 경우에 비해, AUT의 공진주파수와 S11, 복사

특성이 변한다. 따라서 이 변화가 최소가 되는 프로브의 형태와 높이를 결정하여야 한다.

프로브의 크기가 작을수록 이 변화가 적을 것으로 예측되나, 프로브의 크기를 작게 하면 프로브가 미소 다이폴로 동작하게 되어 임피던스가 매우 커져, 프로브로서 역할을 다 하지 못하기 때문에 부가적으로 임피던스 정합회로가 요구된다.

이 문제를 해결하기 위해서는,

- 1) 프로브를 미소다이폴로 하고 입력 임피던스 정합 회로를 부가하는 방법과.
- 2) 프로브를 AUT 와 같은 공진주파수로 동작하게 설계하고 coupling 에 의해 필드가 변화된 것을 고려하여, 합격 제품 AUT 의 변화 값과 비교하는 방법이 있다.

본 논문에서는 두 번째 방법을 적용하여 공진 프로브를 설계하였다.

프로브는 접지면이 없는 자유공간에서 사용하기 때문에 앞서 접지면이 있는 다이폴과는 특성 설계에 약간의 차이가 있다. 따라서 자유공간 상태에서 놓인 프로브의 최적 설계를 수행하여야 한다. 공진주파수 900 MHz에서 자유공간 상의 다이폴 최적길이는 153.1 mm 로 앞의 접지면이 있는 경우의 다이폴 길이 보다 약간 길어진다.

이때의 전기적 성능은 아래 표 4 와 같다.

표 4. 다이폴 프로브의 전기적 성능
Table 4. basic electrical properties of a dipole probe.

결과 항목	결과 값
반사계수	-14 dB
위상각	-17.6도
입력 임피던스 Z_{in}	71.7 + j 9.4 ohm
-10 dB 대역폭	0.86-0.95 (0.09GHz)

3. 근역장 조건

900 MHz 의 자유공간 1 파장 길이는 333.33 mm 이므로, 다이폴로부터 높이에 따른 근역장과 원역장의 경계 거리 R 은 [4]

$$R = \frac{2D^2}{\lambda} = 723.5mm$$

여기서 D 는 안테나의 최대 크기로 접지면을 포함한 안테나의 크기를 고려하면 D = 347.25 mm 이다. 원역장의 경계 거리 R 이 약 723.5 mm 로 이 거리는 2.17λ 에 해당된다. 따라서 근역장 내에서 전기장 분포 특성의 기준 데이터를 확보하기 위해서는 1λ 에 대해 약 10개 높이에 대한 샘플링을 확보하여야 하며, 따라서 원역장의 경계거리 R 을 약 2.5λ 로 보면 0.1λ 간격으로 약 25 개의 샘플링 높이에 대해서 각각 E_x, E_y, E_z 성분 에 대한 전기장 공간 분포 샘플링을 확보하여야 한다. 각각의 샘플링 높이 사이의 간격은 약 33.3 mm 간격이다.

4. 기지국 다이폴 단일 소자와 프로브 사이의 관계

2절에서 설계한 다이폴 안테나의 정면 상단 높이 h_2 에 프로브가 위치하는 경우(그림 3), 높이 h_2 에 따라 다이폴 안테나와 프로브 상호간의 coupling 에 의해 서로 특성에 영향을 받는다. 기지국 배열안테나의 한 소자인 다이폴(AUT) 를 port 1 로 두고, 프로브를 port 2 로 두었을 때, S11 과 S22 는 다이폴안테나와 프로브 각각의 입력 반사계수 특성을 나타내며, S21 과 S12 는 상호 간의 전달 특성으로 격리 성능을 나타낸다. [4]

h_2 가 너무 낮으면, 측정 값 S11이 프로브가 없는 단일소자일 때의 측정 값 S11 과 큰 차이가 있을 것으로 예상된다. 따라서 h_2 가 너무 낮아 다이폴 안테나에 상호결합[5]의 영향을 크게 주지 않으면서 동시에 너무 높아 측면 다이폴 안테나들로부터의 영향을 최소로 받으면서 프로브의 수신 감도가 충분한 프로브의 최적 높이 h_2 를 결정하여야 하며, 또한 측면 다이폴 배열안테나들의 위상 변화에 따라 어느 정도의 영향을 받는 지를 결정하여야 한다.

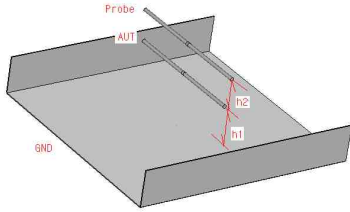


그림 3. 다이폴 안테나의 정면 상단 높이 h_2 에 프로브가 위치하는 경우

Fig. 3. The case that the height between a dipole and a probe is h_2 .

다이폴의 S_{11} 특성을 검토하였을 때, 공진주파수 편이가 가장 작고 반사계수 특성도 양호한 위치는 $probeH = 199.8$ mm (약 0.6λ 높이) 이상으로 나타났으며, 가장 낮은 위치가 좌, 우측 배열 소자의 영향을 가장 적게 받을 것으로 예측된다.

다음에, 높이 변화에 따른 프로브의 영향을 검토해 보면, 프로브의 S_{22} 특성을 검토하였을 때, 공진주파수 편이가 가장 작고 반사계수 특성도 양호한 위치는 $probeH = 266.4$ mm (약 0.8 높이) 이상으로 나타났으며, 가장 낮은 위치가 좌, 우측 배열 소자의 영향을 가장 적게 받을 것으로 예측된다.

마지막으로, 다이폴과 프로브 사이의 높이에 따른 전달(S_{21} 과 S_{12}) 특성은 가까울수록 양호하나, 전체적으로 최소 -12.5 dB 로 프로빙 수신 감도에는 문제가 없을 것이다.

5. 기지국 다이폴 2개 배열과 프로브 사이의 관계

다이폴 소자들이 일정한 간격의 side-by-side 배열(Y 축 방향으로 배치)로 구성되어 있을 때, 프로브 바로 아래에 있는 다이폴의 필드를 측정하는 경우에 높이 h_2 에 따라 측면 다이폴 소자들의 필드 영향을 받게 되어 배열일 때의 측정 값 m_{sr_A} 와 m_{sr_P} 이 단일 소자일 때의 측정 값 m_{sr_A} 와 m_{sr_P} 와 큰 차이가 있을 것으로 예상된다. h_2 가 너무 낮

아 다이폴 안테나에 영향을 크게 주지 않으면서 동시에 너무 높아 측면 다이폴 소자들로부터의 영향을 최소로 받는 높이 h_2 를 결정하여야 하며, 또한 측면 AUT 들의 위상 변화에 따라 어느 정도의 영향을 받을지를 결정하여야 한다.

그림 4 와 같이 다이폴 2개 소자로 구성된 기지국 배열안테나가 있을 때, 각각의 port 를 1 번과 2 번으로 정의하고 프로브의 port를 3 번으로 정의하였으며, 이 경우에 프로브의 높이 h_2 를 $h_2 = 0.1 \lambda$ 부터 1.0λ 까지 0.1λ 간격으로 변화시키며, S_{11} , $S_{21}=S_{12}$, $S_{31}=S_{13}$, S_{22} , $S_{32}=S_{23}$ 특성을 관찰하여 높이 h_2 에 따른 반사손실 값과 위상각 변화 및 위상각 증분량을 그림 5부터 그림 7 에 나타내었다.

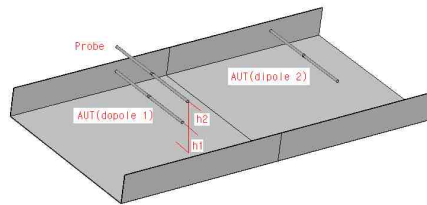


그림 4. 다이폴 2개 소자로 구성된 기지국 배열안테나와 프로브의 배치

Fig. 4.The case of the configuration of 2 dipoles and a probe.

1번 다이폴과 2번 다이폴 사이의 결합특성(S_{21})은 $h_2 = 0.8 \lambda$ 일 때 최소가 되고, 1번 다이폴과 프로브 사이의 결합특성(S_{31})은 $h_2 = 0.8 \lambda$ 에서 약 -12 dB로 충분한 감도를 갖는다. 또한 2번 다이폴과 프로브 사이의 결합특성(S_{32})은 $h_2 = 0.8 \lambda$ 에서 약 -16.5 dB로 비교적 크게 나타나기 때문에 격리(isolation)이 요구된다.

6. H형태의 루프를 이용하여 격리도를 개선시킨 방법

앞서 5 항의 경우에 다이폴 사이의 결합특성을 보다 양호하게 격리(isolation)시키기 위해

그림 8 과 같이 다이폴과 다이폴 사이에 H 형 태의 루프 구조물을 삽입하였다.

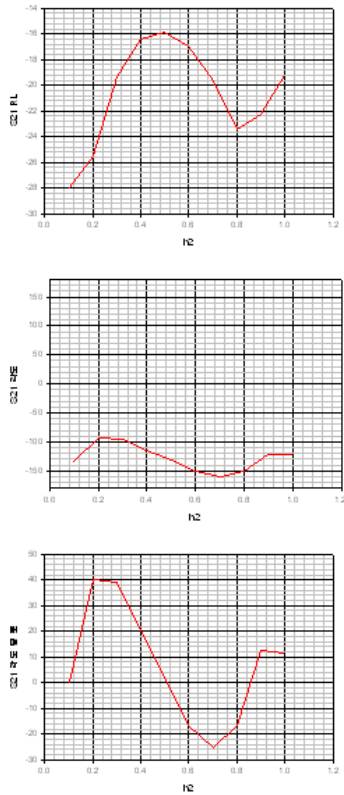


그림 5. S21 : 높이 h2에 따른 반사손실 값과 위상각 변화 및 위상각 증분량
 Fig. 5. S21 : The variation of Reflection coefficients and phase angles, and the incremented phase angles depending on the height h2.

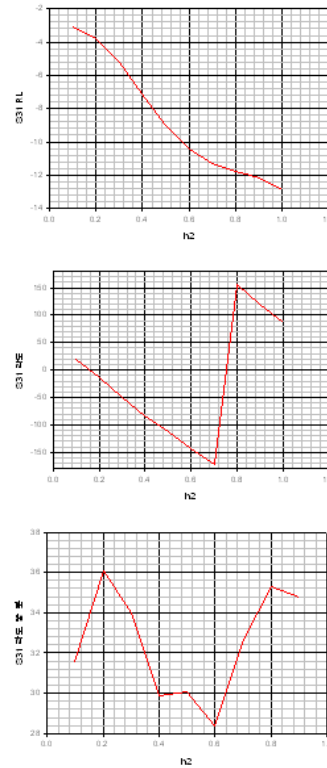


그림 6. S31 : 높이 h2에 따른 반사손실 값과 위상각 변화 및 위상각 증분량
 Fig. 6. S31 : The variation of Reflection coefficients and phase angles, and the incremented phase angles depending on the height h2.

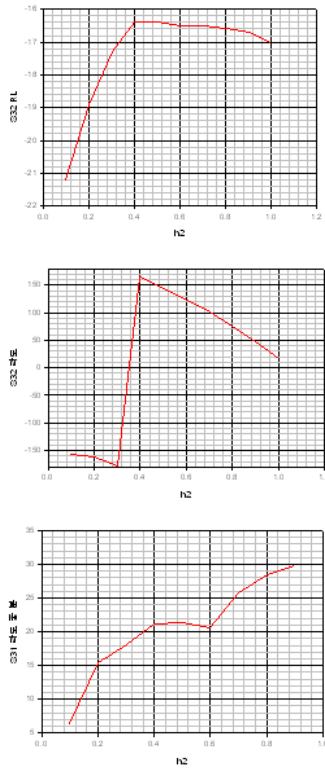


그림 7. S32 : 높이 h2에 따른 반사손실 값과 위상각 변화 및 위상각 증분량
 Fig. 7. S32 : The variation of Reflection coefficients and phase angles, and the incremented phase angles depending on the height h2.

이 경우에, 프로브의 높이 h2 를 h2 = 0.1 부터 1.0 까지 0.1 간격으로 변화시키며, S11, S21=S12, S31=S13, S22, S32=S23, S33 특성을 관찰하였다. 이때 다이폴(AUT)의 port 는 '1' 과 '2' 이며, 프로브의 port 는 '3' 이다.

- S11 : 1번 다이폴 안테나의 입력 반사계수
- S21=S12 : 1번 다이폴 안테나와 2번 다이폴 안테나 사이의 결합특성
- S31=S13 : 1번 다이폴 안테나와 프로브 사이의 결합특성
- S22 : 2번 다이폴 안테나의 입력 반사계수
- S32=S23 : 2번 다이폴 안테나와 프로브 사이

의 결합특성

S33 : 프로브 자체의 반사계수

이 경우에 프로브의 높이 h2 를 h2 = 0.1 λ 부터 1.0 λ 까지 0.1 λ 간격으로 변화시키며, S11, S21=S12, S31=S13, S22, S32=S23 특성을 관찰하여 높이 h2 에 따른 반사손실 값과 위상각 변화 및 위상각 증분량을 그림 9부터 그림 11 에 나타내었다.

결합특성을 5 항의 결과와 비교함으로써, H 형태 루프의 편파 격리 성능이 개선됨을 확인할 수 있었다.

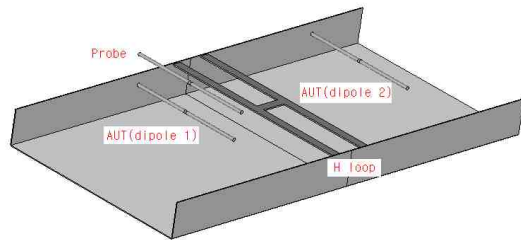


그림 8. 다이폴과 다이폴 사이에 H형태의 루프 구조물을 삽입한 경우

Fig. 8. Configuration of a H loop inserted for isolation of mutual coupling between dipoles.

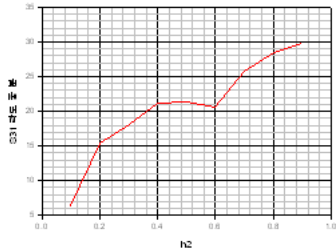
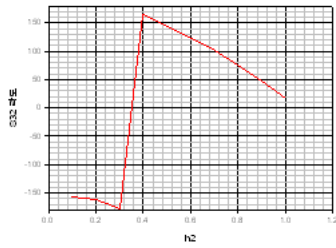
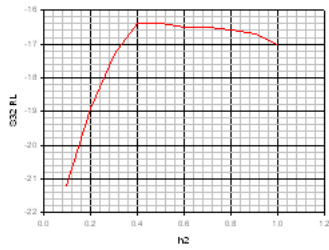


그림 9. S21 : 높이 h2에 따른 반사손실 값과 위상각 변화 및 위상각 증분량
 Fig. 9. S21 : The variation of Reflection coefficients and phase angles, and the incremented phase angles depending on the height h2.

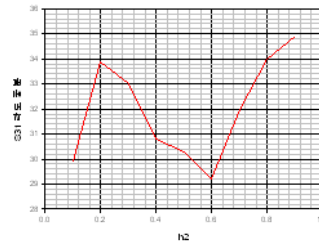
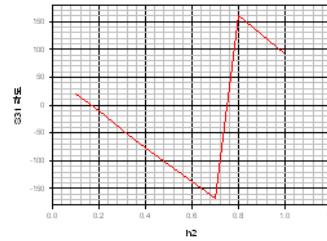
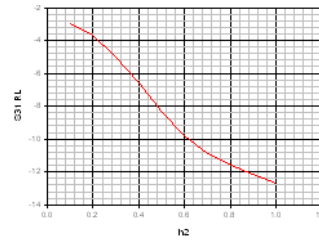


그림 10. S31 : 높이 h2에 따른 반사손실 값과 위상각 변화 및 위상각 증분량
 Fig. 10. S31 : The variation of Reflection coefficients and phase angles, and the incremented phase angles depending on the height h2.

1번 다이폴과 2번 다이폴 사이의 결합특성 (S21)은 $h2 = 0.9 \lambda$ 일 때 최소가 되며 앞서의 H isolation 루프가 없는 경우에 비해 전체적으로 약 3 dB 에서 7 dB 정도 적어지므로써 격리 특성이 좋아졌다. 그리고 1번 다이폴과 프로브 사이의 결합특성(S31)은 $h2 = 0.8 \lambda$ 에서 약 -12 dB로 앞서의 H isolation 루프가 없는 경우와 동일하여 충분한 감도를 갖는다. 또한 2번 다이폴과 프로브 사이의 결합특성 (S32)은 $h2 = 0.8 \lambda$ 에서 약 -18 dB로 앞서의 H isolation 루프가 없는 경우에 비해 1.5 dB 적어져 격리특성이 좋아졌으며 충분한 격리 성능을 갖는다.

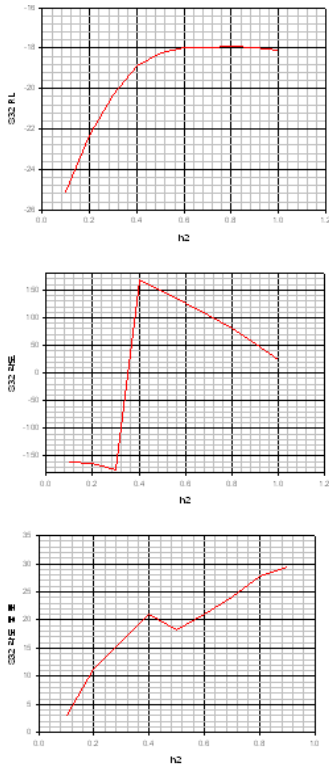


그림 11. S32 : 높이 h2에 따른 반사손실 값과 위상각 변화 및 위상각 증분량

Fig. 11. S32 : The variation of Reflection coefficients and phase angles, and the incremented phase angles depending on the height h2.

III. 결론

기지국 배열안테나와 근역장 프로브를 다이폴로 모형화하여 둘 사이의 거리에 따라 각각이 받는 영향(S11, S22)과 상호 간의 전달 특성(S12, S21) 등을 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 이를 통해 대형 기지국 배열안테나의 성능을 원역장 시험이 아닌 근역장 프로빙 방법을 이용하여 보다 짧은 시간에 확인할 때, 프로브와 AUT 가 최소의 영향을 받고 프로빙 효율이 좋은 높이를 선정하였다.

본 연구는 앞으로 실제의 기지국 안테나와 적절한 프로브를 개발하여 측정을 통해 원역장 성능과 근역장 성능을 비교함으로써 그 타당성을 확인할 예정이다.

참고 문헌

- [1] Hiroyuki Arai, "Measurement of mobile antenna systems," Artech House, 2001.
- [2] Gary E. Evans, "Antenna measurement techniques," Artech House, 1990.
- [3] IEEE Antenna Standards Committee, "IEEE Standard Test procedures for antennas," IEEE, Inc., 1979.
- [4] John D. Kraus, "Antennas - 2nd Ed," McGraw-Hill, 1988.
- [5] M. T. Ma, "Theory and application of antenna arrays," Wiley International Pub., 1974.

저자약력

임 계 재(Gye-Jae, Lim)



1983년 동국대학교 전자공학과 졸업
 1988년 동국대학교 전자공학과 석사
 1993년 동국대학교 전자공학과 박사
 1994년~현재 관동대학교 전자정보통신공학부 교수

<관심분야> 전자장 및 전파전파, 안테나 및 무선 통신공학, 위성통신 공학