

## Antenna의 Passive IMD 측정

조인귀<sup>0</sup>, 정명영, 최태구  
한국전자통신연구원 부품기술개발부

### The Measurement of Passive Intermodulation Distortion in Antennas

In-Kui Cho<sup>0</sup>, Myung-Yung Jeong, Tae-Goo Choy  
Component Technology Development Department, Electronics and Telecommunications  
Research Institute

#### ABSTRACT

본 논문에서는 안테나의 PIMD 측정에 있어 신뢰성과 재현성에 관한 문제점을 검토하였으며, 향후 새로운 구조의 Anechoic Chamber의 필요성에 대해 기술하였다. 패치 안테나를 일반적인 안테나용 Chamber에서 PIMD를 측정한 결과 재현성에 있어 문제점이 있음을 확인하였으며, 그 원인이 피라미드 구조의 흡수체에 있음을 실험을 통해 확인하였다.

#### I. 서론

오늘날, 이동통신 시스템은 모든 개인 및 기업에 삶과 성장에 있어 매우 중요한 역할을 수행하고 있다. 이동 통신의 수요증가와 시스템 비용 절감의 요구조건을, 만족시키기 위해 상당한 노력이 소요되고 있는 실정이다. 상기 내용의 견지에서, 많은 이동통신 시스템은 동일한 안테나 경로를 통하여 매우 근접된 채널들이 동일 시간에 송수신을 하고 있다.

이 경우, 신호 경로상에 안테나 및 수동소자에 의한 신호들의 혼변조 현상이 발생하게 되는데 이러한 혼변조 신호를 수동소자의 상호변조왜곡신호(PIMD, Passive Intermodulation Distortion)라 하며, 이 PIMD의 수준이 수신단에서 수신 신호의 전력에 따라 다르겠지만 일정 수준이상의 PIMD(-110dBm)가 발생하면 통신 시스템의 음성채널에서는 그 잡음 신호를 Data 신호로, 처리하게 되어 통화 품질이 떨어

지며, Control Channel에서는 Digital Signaling의 오류로 인해 통화가 끊어지는 현상이 발생하게 된다.[1]

이동통신 시스템은 송신단과 안테나, 안테나와 수신단 사이에 수 많은 상호 접합구조의 소자(Cables, Connectors, Filters, Duplexers, Combiners 및 안테나 등)로 형성되어 있다. 이러한 모든 소자 및 부품들은 모두 PIMD를 발생시킬 수 있으므로, 송신 전력과 동작 주파수 대역내에서 간섭의 문제가 발생되지 않는 PIMD 수준이 요구된다.

요구되어지는 성능을 얻기 위해서 일차적으로 각 소자에 관한 PIMD의 신뢰성 있는 측정이 이루어져야 한다.

본 고에서는 RF 부품의 PIMD 측정 중 그 측정 환경에 따라 가장 민감한 측정 결과를 보이며, 신뢰성 있는 측정에 어려움이 많은 안테나의 측정 기술에 대해 기술하고자 한다.[2] 모든 RF 부품의 PIMD 측정에 있어 가장 중요시 되어야 할 부분은 그 측정의 신뢰성이며, 이러한 측정의 신뢰성은 측정에 계

현성(Repeatability)에 있다.[3]

따라서 본 논문에서는 측정기술의 기본적인 RF 부품의 PIMD 속성에 대해 설명하고, 안테나의 PIMD 측정 및 결과에 관한 검토를 하고자 한다.

## II. RF 부품의 PIMD 속성

수동 소자인 RF 부품의 PIMD를 측정하는 것은 능동 소자의 IMD 측정을 수행하는 것과는 그 수준의 차에 의해 상호 측정 방식에 있어 차이점이 있다. PIMD의 경우 그 수준이 매우 낮은 -80dBm에서 -130dBm의 상호 변조된 왜곡신호를 측정해야 하는 어려움이 있다.[4] PIMD 수준은 매우 낮아 측정상의 다양한 특성을 이해하는 것은 측정 기술에 있어 필수적이다.

RF 부품의 PIMD 수준은 다음과 같은 변수의 함수이다. 첫째 정형적인 RF 부품의 PIMD 발생은 RF 경로상에 비선형성 때문이다.[1] 둘째 RF 경로상에 RF 입력 전력의 변화에 따라 PIMD Level은 가변적이다. 이것은 RF 부품의 PIMD 수준이 원 입력 신호의 함수임을 의미하며, 그 RF 경로상의 매질의 손실의 양이 입력전력에 비례하기 때문이며, 이러한 이유로 그 매질의 비선형성에 따라 2.4dB/dB에서 3dB/dB까지 입력신호의 증가에 대한 PIMD의 증가량이 변화한다. 셋째 RF 주파수에 따른 Skin Depth의 차가 있으며, 이 때문에 전류밀도의 변화가 발생되어 주파수에 따른 PIMD Level에 변화를 가져올 수 있다. RF Coaxial cable assembly의 경우 GSM(935 ~ 960MHz) 대역과 DCS(1805 ~ 1880MHz)의 PIMD 수준은 약 9dB차로 GSM 대역에서 낮게 나타난다. 넷째 RF 부품의 PIMD Level은 나쁜 접합구조에서의 주기적인 breakdown에 의한 Burst현상으로 시간에 따라 가변될 수 있다. 이러한 시간에 따른 가변량은 상당히 측정 기술에 어려움을 주는 부분이며, 특히 낮은 수준의 IM 특성을 갖는 소자의 측정에서는 항상 시간에 따른 변화량을 조사할 필요가 있다. 마지막으로, 측정하고자 하는 DUT의 외부 측정 온도에 의해 RF 경로상의 재료의 전도율, 비열, 팽창계수 등이 상이하게 나타남으로 인해 그 PIMD 수준은 가변될 수 있다. 이것은 측정기술 뿐만 아니라 소자의 특성

을 평가하는데 있어 온도에 따른 IM 특성이 필요한 경우에는 반드시 그 측정 환경을 표기할 필요가 있다.

상기와 같은 수동 RF 부품의 PIMD 속성을 정확하게 이해하는 것은 정밀하고 신뢰성 있는 측정기술에 있어 반드시 필요하다.

## III. 안테나의 PIMD 측정 및 결과 검토

안테나의 신뢰성 있는 PIMD 측정을 수행하기 위해 다양한 측정 접근방식으로 측정을 수행하였으며, 측정에 이용된 안테나의 사양은 표 1과 같다.

표 1. PIMD 측정에 이용된 안테나의 사양

규격	ACPS-900-5
Frequency Range	890-960MHz
Gain	5dBi
VSWR	1.5:1
Hori. Beam Width	80°
Vert. Beam Width	80°
Polarity	Vertical
Connector	N-female
Impedance	50 ohms

상기 안테나는 옥내외용 Repeater에 송수신을 위한 패치 안테나로 크기는 155× 240× 100mm이며, 무게는 500grams이다. 안테나의 PIMD 측정을 수행하기 위해 길이 19.5m, 폭 12.2m, 높이 7.5m인 크기와 감쇠량이 1GHz에서 40dB인 Ferrite Combined Pyramids로 구성된 흡수체를 갖는 Anechoic Chamber를 활용하였다.

측정에 사용된 시스템은 SI - 900A로 GSM 대역에 활용되는 RF 소자를 측정할 수 있는 시스템으로 TX 대역이 935 ~ 960MHz이며, RX 대역이 890 ~ 915MHz의 주파수 성능을 갖고 있으며, Low IM Termination을 사용하여 잔류 PIMD는 2개의 신호원 각각을 43dBm의 전력을 송신했을 때 -130dBm을 만족한다. 상기 안테나의 PIMD 측정을 수행하기 위한 측정 구성도는 그림 1과 같다.

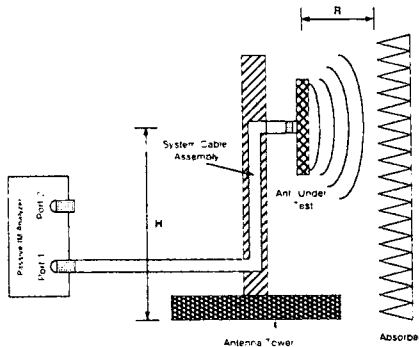


그림 1. 측정 구성도

패치 안테나의 PIMD 측정을 위해 PIMD Analyzer와 안테나를 연결하는 시스템 케이블은 1/2" 동축 케이블을 사용하였으며, 길이는 25m로 시스템 케이블이 연결될 때의 잔류 IM은 -160dBc(@2\*30dBm) 수준이었다. 이것은 DUT인 안테나의 IM 값을 약 -140dBc로 예측할 때 그 측정오차가 ± 1%내에 있음을 의미한다. 또한 측정을 수행하는 동안 II 절에서 언급한 PIMD의 속성 중 시간에 따른 변화가 없는 시스템 케이블을 이용하였으며, 온도 및 습도는 20℃, 60% RH에서 측정을 수행하였다.

안테나의 측정은 그 측정 수준의 재현성에 초점을 두어 안테나의 높이, 안테나와 흡수체 간의 거리, 안테나의 입사각, 금속판에 의한 반사현상에 따라 측정 수준을 기록하였으며, 안테나의 PIMD 측정에 있어 문제점과 그 해결방안에 관해 검토하였다.

안테나와 흡수체 간의 거리를 근역장(Near field) 이상의 거리인 3m로 두고 안테나의 높이 H에 따른 PIMD 값을 그림 2에 나타내었다.

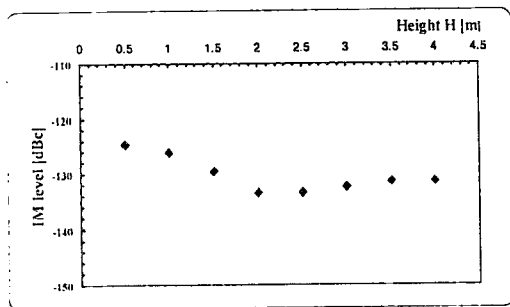


그림 2. 높이 H에 따른 IM 수준

안테나의 높이에 따른 IM 수준은 최대 9dB까지 변화하고 있음을 확인하였으며, 높이 2m에서 3m내에서 가장 낮은 수준의 IM을 나타내었다. 이러한 현상은 IM 측정에 있어 안테나의 높이에 따라 그 IM 수준이 변할 수 있음을 의미한다.

그림 3에서는 높이 H를 2.5m로 고정시킨 상태에서 안테나와 흡수체 간의 거리 R에 따른 IM 수준을 기록한 것이다.

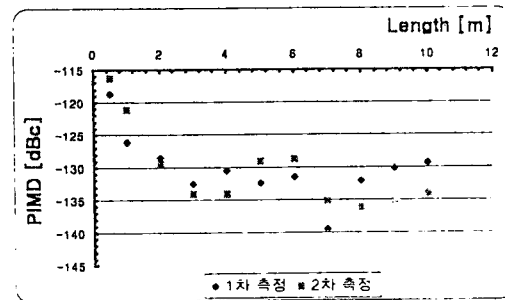


그림 3. 거리 R에 따른 IM 수준

1, 2차를 통한 IM 수준을 기록한 결과, 각 거리에 따른 1, 2차 IM 수준이 최대 5dB까지 변동되고 있으며, 이러한 결과는 측정에 재현성이 보장되지 않음을 설명하고 있다. 이것은 측정기술에 있어 중대한 오차의 여지가 있음을 나타낸다. 안테나에서 발생하는 IM을 일정한 수준의 값으로 분다면, 측정 환경상에서 IM의 수준이 변화되고 있음을 의미한다. 즉, 안테나의 PIMD 측정을 위한 Anechoic Chamber는 주의 깊게 제작되어야 한다.

이러한 IM 측정의 변화를 유발하는 인자는 3가지 가설로 요약될 수 있을 것이다. 그 하나는 안테나에서 방사된 신호 원이 피라미드 흡수체를 통과 후 ferrite 판에서 IM이 발생되어 안테나의 수신 단으로 수신된다. 둘째 안테나에서 방사된 주 신호 원이 흡수체에서 반사되어 안테나에 재 입사 되어 IM을 증가 시킨다. 셋째 안테나에서 방사된 신호 원이 피라미드 흡수체의 비선형성에 의해 IM이 발생된다. 이러한 가설 중 어느 것이 옳은지에 관해 논해 보고자 한다.

이러한 재현성이 결여된 결과의 원인을 찾기 위해 본 측정에서는 거리 R과 높이 H를 각각 3m와

2.5m로 고정시킨 상태에서 입사각( $\theta$ )에 변화를 주면서 측정을 수행하였으며, 그 결과를 표 2에 나타내었다.

표 2. 안테나의 입사각( $\theta$ )에 따른 IM 수준

입사각[ $\theta$ ]	-60	-50	-45	0
PIMD[dBc]	-122.1	-125.4	-128.6	-133.5

여기에서 입사각의 변화량이 증가하면 IM 수준 또한 증가하고 있음을 확인할 수 있다. 첫번째 가설인 피라미드 흡수체 뒷면의 Ferrite 판에서의 IM이 생성된다면, 입사각에 증가에 따른 흡수체를 통과한 에너지는 감소하게 되며, 이 경우 입사각의 증가는 IM의 감소를 의미하나 실제 IM은 증가하고 있음으로 가설 1은 적절치 못하다.

가설 2에 대한 설명을 하기 위해 넓이 45×30cm<sup>2</sup>의 금속 판을 안테나의 전방면에 삽입시켜 반사를 통한 IM 수준을 기록하였다. 이때 안테나의 높이는 1m, 안테나와 흡수체 간의 거리는 2m로 유지하였다.

표 3. 금속판의 거리에 따른 IM

금속판의 거리[cm]	PIMD[dBc]
0	-99.6
10	-115.1
20	-116.2
30	-117.5
100	-117.6
200	-119.1
금속판이 없는 경우	-121.2

표 3에 측정된 결과를 활용하여 가설 2를 설명하면, 금속 판에 의한 원 신호의 반사에 의한 IM 증가는 금속 판의 거리가 증가하면 그 값이 감소하고 있음을 확인할 수 있으며, 이는 피라미드 구조의 흡수체에 의한 반사에 기인된 IM 이 아님을 설명할 수 있다. 또한 판사판이 흡수체에 근접될 때인 거리가 2m에서는 금속판이 없는 구조와 그 IM 수준이 유사하게 나타남으로 흡수체의 반사량이 금속 판에

비해 작기 때문에 가설 2도 적합하지 않다.

상기의 측정과 검토로 미루어 보아 안테나의 IM 수준의 변화는 피라미드 구조 자체에 비선형성에 의한 IM으로 판단된다. 특히 이 피라미드 구조는 Carbon Composite 구조로 전기적으로 비선형성이 내포되어 있다. 따라서 안테나의 PIMD 측정에 있어 신뢰성과 재현성을 갖기 위한 새로운 구조의 Chamber가 필요한 것으로 판단된다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 안테나의 PIMD 측정에 있어 신뢰성과 재현성에 관한 문제점을 검토하였으며, 향후 새로운 구조의 Anechoic Chamber의 필요성에 대해 기술하였다. 패치 안테나를 일반적인 안테나용 Chamber에서 PIMD를 측정해 본 결과 재현성에 있어 문제점이 있음을 확인하였으며, 그 원인이 피라미드 구조의 흡수체에 있음을 확인하였다. 안테나의 PIMD를 정확하고 신뢰성 있게 측정하기 위해서는 새로운 Chamber를 포함한 주의 깊은 측정 환경 구축이 필요한 것으로 판단된다.

#### 참고 문헌

- [1] B. G. M. Helme, "Passive intermodulation of ICT components", *The Institution of Electrical Engineers*, 1998.
- [2] P. L. Lui and A. D. Rawline, "The Design Improvement of PIMD Measurement facilities and the Measurement of PIMD in Antenna Structure", *IEE Colloquium on passive Intermodulation products in Antenna & related Structures, Digest No. 1994*, London, UK.
- [3] IEC technical committee, *RF connectors, connector cable assemblies and cables intermodulation level measurement*, IEC 62037.
- [4] P. L. Lui, "Passive intermodulation interference in communication systems", *Electronics & Communication Engineering Journal*, June 1990.