

# 전자파무반사실에서 안테나 PIM 측정에 관한 연구

## A Study on the Antenna PIM Measurement in Anechoic Chamber

김진태 · 조인귀 · 정명영 · 최태구

Jin Tae Kim · In-Kui Cho · Myung Yung Jeong · Tae Goo Choy

### 요 약

안테나 PIM(Passive Intermodulation) 수준 측정은 안테나가 갖는 송·수신 특성 때문에 신뢰성을 보장받지 못하고 있으며, 전자파무반사실과 같은 측정환경에서 만들어지는 외부 PIM 근원에 의해 상당한 영향을 받는다. 본 논문에서는 안테나 PIM 측정에 이용되는 Reflect 방법에 대한 안테나 PIM 모델을 수립하였다. 모델의 이론적 해석(시뮬레이션)과 실험적 측정결과에서 동시에 관찰되는 PIM 수준의 Null Point 현상을 통해 전자파무반사실의 흡수체에서 발생하는 PIM 근원의 수준과 안테나로 인가되는 PIM 신호의 경로차가 안테나의 PIM 측정 결과에 상당한 영향을 미치고 있음을 확인하였다.

Key words : 수동상호변조, 안테나, 전자파무반사실, Passive Intermodulation, PIM, 안테나 PIM

### Abstract

Antenna PIM(Passive Intermodulation) level measurement results are rarely credited due to the external signal receiving characteristics of antenna, and seriously affected by the external PIM sources such as anechoic chamber absorber and antenna tower. In this paper, antenna PIM model for the Reflect PIM measurement method is presented. Through the null point phenomena of the PIM level obtained by antenna PIM model simulations and experimental results, we concluded that antenna PIM level measurements are greatly affected by the PIM level generated on the anechoic chamber absorber and the path differences of PIM signal reflected to the antenna.

Key words : passive intermodulation, antenna, PIM, reflect method, null point, anechoic chamber, absorber.

### I. 서 론

비선형적 금속접촉, 금속 재료의 강자성 특성과 같은 비선형적 특성에 의해 RF 수동부품에서 발생하는 수동상호변조(Passive Intermodulation; PIM)는 FDD(Frequency division duplexing) 방식을 채용하는 이동통신 시스템의 수신단에서 신호 간섭의 주원인으로 작용하고, 수신신호의 수동상호변조왜곡(PIM Distortion; PIMD)을 유발시켜 신호의 순수성을 현저히 떨어뜨리는 문제점을 발생시키고 있다<sup>[1]</sup>. 따라

서 PIM 수준의 제어와 저감화가 절실히 요구되고 있으며, 그 수준을 정밀하게 측정하려는 노력들이 급증하고 있다<sup>[2]~[4]</sup>.

케이블-어셈블리, 커넥터, 필터와 같은 일반적인 비방사성(Non-radiative) RF 부품은 실험실 환경에서 측정대상 부품의 PIM 수준을 측정하여도 외부전자기파에 대한 영향이 매우 적지만, 안테나와 같은 방사성(Radiative) RF 부품은 외부 전자기파의 간섭이 PIM 측정에 상당한 영향을 미치기 때문에 이를 최소화하기 위해서 전자파무반사실(Anechoic Chamber)

한국전자통신연구원 부품기술개발부(Component Technology Development Department, Electronics and Telecommunications Research Institute)

· 논문 번호 : 20010917-125

· 수정완료일자 : 2001년 11월 6일

과 같은 특별한 측정환경을 요구하고 있다. 하지만 현재 사용되는 전자파무반사실은 사용 주파수와 안테나 위치에 따른 반사계수의 변화와 흡수체의 전자파 산란 또는 반사 현상 그리고 안테나 지지대, 주변 금속물체 등에 의한 전자기파의 Coupling 등과 같은 다양한 외부 환경적 요인으로 인해 측정되는 안테나의 PIM 수준이 많은 영향을 받을 수 있다<sup>[5]</sup>.

안테나 PIM 측정에 있어 위와 같은 불완전한 측정환경의 제공은 안테나 자체의 PIM 수준 측정보다는 안테나 주위의 외부환경에 의한 간섭신호의 측정을 의미하는 경우가 있으며, 심각한 경우 안테나 PIM 측정의 신뢰성과 재현성을 저하시킬 수 있다.

본 논문에서는 안테나 PIM 측정에 활용할 수 있는 Reflect 방법 및 Forward 방법의 장단점들을 살펴보고 측정 시에 발생할 수 있는 PIM 근원(Source)에 대해 고찰하였다. PIM 근원을 이용하여 전자파무반사실의 PIM 모델링을 수립하였다. 상용 안테나의 PIM 수준을 직접 측정하여 그 결과를 안테나 PIM 모델의 예측결과와 비교 분석하였으며, 전자파무반사실 측정 환경이 안테나 PIM 측정에 미치는 영향에 대하여 논의하였다.

## II. 안테나의 PIM 모델

### 2-1 안테나 측정에서의 PIM 근원

RF 수동부품의 PIM 발생은 능동부품과 마찬가지로 두 개 이상의 RF 신호가 비선형 특성을 갖는 RF 부품을 통과할 때 발생한다<sup>[1][6]</sup>. 일반적인 RF 수동부품의 비선형성에는 터널링 효과, 미소방전(Microdischarge), 접촉저항(Contact Resistance)과 같이 커넥터의 금속 접점에서 발생하는 접촉 비선형성(Contact Nonlinearity)과 전송선로의 자기저항(Magneto-resistivity), 열저항(Thermal resistivity), 비선형 히스테리시스(Hysteresis) 등과 같은 물질 비선형성(Material Nonlinearity)이 있다. RF 수동부품의 PIM 발생은 위와 같은 다양한 비선형성이 복합적으로 작용하여 발생되고, 이들 중 가장 큰 수준을 갖는 주요한 PIM 근원 하나만이 거시적으로 나타난다.

안테나에서도 위와 같은 비선형적 특성이 존재하므로 PIM이 발생할 수 있는 근원은 항상 존재한다

<sup>[7]</sup>. 더욱이 안테나는 여타의 RF 수동부품과 달리 외부 전자기파에 의한 간섭에 상당히 민감하기 때문에 안테나가 외부 전자기파로부터 완벽하게 고립되지 않거나 안테나로부터 방사되는 전자기파가 전자파무반사실 벽면에 설치된 흡수체(Absorber)에 완전히 흡수되지 않을 때에는 PIM 측정에 민감한 영향을 받는다. 예를 들면, 흡수체를 구성하는 Ferrite 타일이나 Carbon Fiber 등은 비선형 투자율, 비선형 저항 등의 비선형 특성을 갖는다. 따라서 흡수체에 도달한  $f_1, f_2$  신호와 이들 비선형 요소가 상호 작용하여  $f_{im} = mf_1 \pm nf_2$ 의 PIM 신호를 생성하고 이 신호가 흡수체의 반사 또는 산란을 통해 안테나로 재유입될 때에는 안테나의 PIM 측정에 영향을 미치게 되는 것이다. 이러한 예는 송신 타워에 실제로 설치된 안테나의 PIM 수준을 측정한 결과에서도 보고되고 있다<sup>[5]</sup>.

### 2-2 안테나의 PIM 측정법

일반적인 2 포트 RF 수동부품의 PIM 신호는 입력과 출력 양쪽 방향으로 동일한 크기를 갖고 진행한다. 따라서 측정대상부품(DUT)의 PIM 수준 측정은 Reflected Intermodulation 신호의 세기를 측정하는 Reflect 방법과 Transmitted Intermodulation 신호를 측정하는 Forward 방법 측정으로 나눌 수 있다<sup>[8]</sup>. 이 두 방법을 안테나 PIM 측정에 적용하면 그림 1과 같은 측정시스템 구성이 가능하다.

그림 1의 (a)는 Reflect 방법에 대한 시스템 구성으로써 DUT 안테나의 PIM 신호가 전송선로를 따라 PIM 분석기로 반사되는 PIM 수준을 측정한다. Reflect 방법은 앞서의 논의와 같이 흡수체가 불완전한 흡수 특성을 갖는 경우 흡수체로부터 반사 또는 산란되는 전자기파에 흡수체에서 발생하는 PIM 신호가 실려있는 경우 안테나 PIM 측정에 영향을 미칠 수 있는 가능성이 존재한다. 따라서 Reflect 방법을 통한 안테나 PIM 측정은 상당한 주의를 요한다. (b)에 나타낸 Forward 방법은 DUT 안테나에서 발생한 PIM가 일정거리를 두고 위치하는 수신안테나(Receiving Antenna)로 인가될 때의 PIM 수준을 측정한다. Forward 방법은 Reflect 방법과 달리 DUT 보다 낮은 PIM 수준을 갖는 수신안테나를 필요로

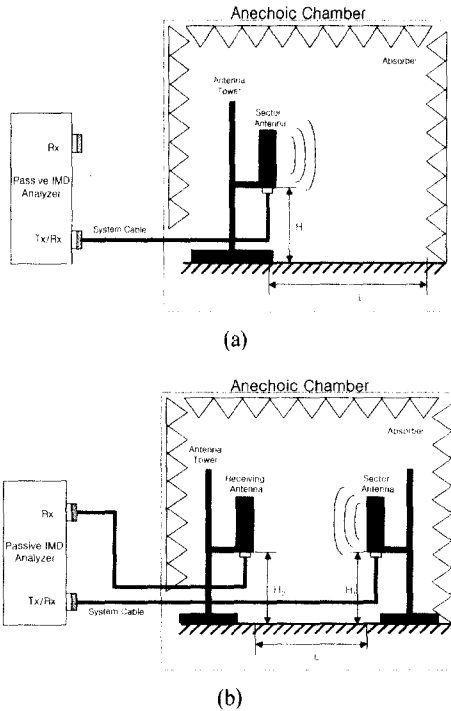


그림 1. 안테나의 PIM 측정 시스템  
(a) Reflect 방법, (b) Forward 방법  
Fig. 1. Antenna PIM measurement system.  
(a) Reflect method, (b) Forward method.

하며, 동시에 낮은 PIM 수준임을 검증해야 하는 전제조건이 따른다. 수신안테나의 PIM 검증은 Reflect 방법에 의해 측정된 PIM 수준으로 판단할 수 있다.

### 2-3 안테나의 PIM 모델

안테나의 PIM 측정은 Reflect 방법 또는 Forward 방법에 의해 가능하다. 그러나 Forward 방법은 Reflect 방법을 통한 수신안테나의 PIM 검증을 필요로 하므로 Reflect 방법에 의한 안테나의 PIM 측정이 Forward 방법보다 중요하다. 따라서 안테나의 PIM 모델에 있어서도 Reflect 방법이 우선적으로 선택된다.

Reflect 방법을 통한 안테나의 PIM 측정에서 발생할 수 있는 PIM 근원을 그림 2와 같이 모델링할 수 있다. 앞서 논의한 바와 같이 RF 수동부품에서는 다양한 PIM 근원이 있지만, 가장 큰 영향을 미치는 근원만을 모델링에 적용한다. 그러면 PIM 신호

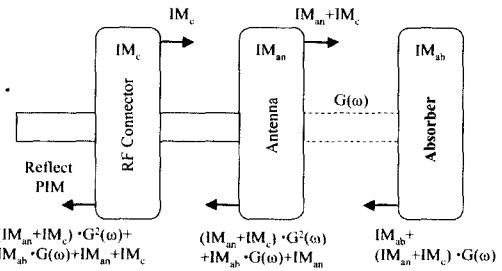


그림 2. Reflect PIM 측정 방법에 대한 안테나 PIM 모델  
Fig. 2. Antenna PIM model for the Reflect PIM measurement method.

가 주요하게 발생할 수 있는 위치는 안테나와 전송선로의 연결부인 커넥터, DUT 안테나 자체, 그리고 흡수체 세 부분으로 나눌 수 있다. 안테나 커넥터에서 발생하는 PIM의 수준을  $\sigma_c$ 라 놓으면, 커넥터에서 발생된 PIM 신호는 다음 식과 같다<sup>[9]</sup>.

$$IM_c = \sigma_c e^{j(2\omega_2 - \omega_1)t} = \sigma_c e^{j\omega_3 t} \quad (1)$$

여기서  $\sigma_c$ 는 커넥터에서 발생하는 PIM 신호의 세기로  $\sigma_c = 10^{dBc/20}$ 로 쓸 수 있고  $\omega_3$ 은 3차 PIM 주파수를 나타낸다. 안테나( $IM_{an}$ )와 흡수체( $IM_{ab}$ )에서 생성되는 PIM을 같은 방법으로 정리하면

$$\begin{aligned} IM_{an} &= \sigma_{an} e^{j\omega_3 t} \\ IM_{ab} &= \sigma_{ab} e^{j\omega_3 t} \end{aligned} \quad (2)$$

이 된다. RF 부품의 PIM 수준은 각 PIM 근원들의 합에 의해 결정됨으로 안테나 PIM 수준도 위 식 (1)과 (2)를 더하면 된다.

전송선로를 통해 전달되는 전자기파 신호는 동일한 경로를 통해 이동한다. 그러나 흡수체로부터 반사되어 안테나로 재유입되는 전자기파는 흡수체의 반사위치에 따라 안테나로 도달하는 경로가 차이를 나타낸다. 따라서 다음 식과 같은 Group Delay 합수를 가정할 수 있다.

$$G(\omega_3) = \sum_{i=1}^{\infty} e^{j\beta l_i} \quad (3)$$

여기서  $\Sigma$ 은 모든 경로를 포함하는 의미이며,  $\beta$ 는 파수  $2\pi/\lambda_3$ ,  $l_i$ 는 전기길이(Electrical Length)이

다. 그림 2와 같이 안테나로부터 방사되는 PIM 신호는 커넥터의 PIM 함수와 안테나의 PIM 함수의 합인  $IM_c + IM_{an}$ 이므로, 흡수체에 도달한 후 다시 안테나로 재유입되는 PIM 신호  $IM_{refG}$ 는

$$IM_{refG} = (IM_c + IM_{an}) \cdot G^2(\omega_3) \quad (4)$$

이 된다. 그리고 흡수체 자체에서 발생하는 PIM 신호 또한 위 Group Delay 함수를 포함하므로

$$IM_{abG} = IM_{ab} \cdot G(\omega_3) \quad (5)$$

이 된다. 따라서 안테나로 유입되는 PIM 신호는 위 두 식의 합인  $IM_{refG} + IM_{abG}$ 이 되고, 이 신호는 다시 안테나와 커넥터가 만드는  $IM_c$ 와  $IM_{an}$ 과 합쳐지므로 Reflect방법에 의해 PIM 분석기로 측정되는 PIM 수준  $IM_{ref}$ 는

$$\begin{aligned} IM_{ref} &= (IM_c + IM_{an}) \cdot G^2(\omega_3) + IM_{ab} \cdot G(\omega_3) \\ &+ IM_{an} + IM_c \\ &= [(\sigma_{an} + \sigma_c) \sum_{i=1}^n e^{2j\beta l_i} \\ &+ \sigma_{ab} \sum_{i=1}^n e^{j\beta l_i} + \sigma_{an} + \sigma_c] e^{j\omega_3 t} \quad (6) \end{aligned}$$

### 2-4 안테나 PIM 모델 시뮬레이션

식 (6)을 통한 안테나 PIM 측정 결과를 예상하기 위하여 다음과 같은 조건을 선정하여 시뮬레이션 하였다. 안테나 PIM 측정이 이루어지는 전자파 무반사실은 3 m/10m Range EMI 측정용으로 내벽이 높이 1.72 m, 흡수체 꼭지점간 거리 0.60 m의 피라미드구조 흡수체로 둘러 쌓여 있다. 안테나와 흡수체간 거리는 5.0 m로 가정하고, 935~960 MHz GSM 주파수 대역에서 주파수 Sweep을 통한 PIM 수준 측정을 가정하였다. Sweep 주파수는 Tx단 주파수  $f_1$ 을 935 MHz에 고정시키고  $f_2$ 를 960 MHz에서 955 MHz로 감소시키는 경우와  $f_2$ 를 960 MHz에 고정시키고  $f_1$ 을 935 MHz에서 937 MHz로 증가시키는 경우의 2가지를 실시하였다. 여기서 3차 PIM 주파수는 910~915 MHz이다. 측정에 사용될 안테나는 0.3 m 간격을 갖는 4개의 다이폴이 1.2 m 높이의 안테나에 정렬하고 있는 섹터안테나이다.

안테나로부터 방사되는 RF 신호가 흡수체의 표

면과 꼭지점에서 대부분 산란 또는 반사된다고 가정하면, 이들 신호는 입사각에 따른 각도 의존성을 갖는다. 그러면, 안테나 정면에 위치하는 흡수체의 PIM 신호의 재유입 확률이 다른 곳에 위치하고 있는 흡수체의 그것보다 높게 된다. 따라서 섹터안테나의 4개 다이폴로 인가되는 외부 PIM 신호는 안테나 정면에 놓인 흡수체로부터 산란 또는 반사되는 신호만을 고려하게 되고, 그 경로는 흡수체 꼭지점간 거리(0.6 m), 흡수체간 거리(5.0 m) 그리고 안테나 내 다이폴의 간격(0.3 m)을 고려한 기하학적 계산에 의해 구해진다. 여기서 동일한 전기길이를 갖는 경로를 무시하면, 흡수체로부터 산란 또는 반사되는 PIM 신호는  $l_1, l_2, l_3$ , 그리고  $l_4$ 의 4개 경로를 통해 안테나로 인가된다.

그림 3은 커넥터와 안테나의 PIM 수준이 -150 dBc로 동일하다고 가정하고 흡수체에서 발생하는 PIM 수준이 변화할 때 Reflect 방법에 측정되는 PIM 수준의 변화를 나타내고 있다. 흡수체에서 발생하는 PIM 수준이 커넥터와 안테나의 PIM 수준보다 크거나 비슷한 경우에는 PIM 주파수 변화에 따라 일정한 PIM 수준을 나타내지만, PIM 수준이 커넥터와 안테나의 것 보다 낮은 경우에는(< -150 dBc) 특정 3차 PIM 주파수에서 PIM 수준이 현저히 낮아지는 Null Point 현상이 발생한다. PIM 측정에

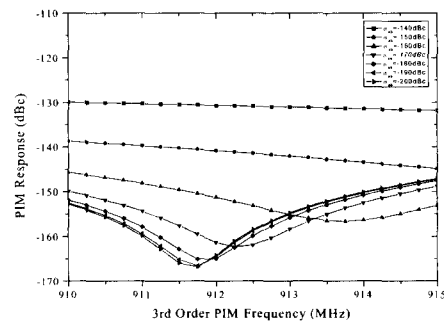


그림 3. 커넥터와 안테나의 PIM 수준이 일정할 때, 흡수체의 PIM 수준 변화에 따른 Reflect PIM 수준 시뮬레이션 결과 ( $\sigma_c = \sigma_{an} = -150$  dBc)

Fig. 3. Simulated result of Reflect PIM level according to the absorber PIM level variation ( $\sigma_c = \sigma_{an} = -150$  dBc).

있어 Null Point의 발생은 측정대상 부품이 한 개 이상의 PIM 근원을 갖고 있음을 의미한다. 즉, 서로 다른 위치에서 발생한 비슷한 수준의 PIM 신호가 서로 다른 위상을 갖고 진행하고, 특정 3차 PIM 주파수에서 벡터적으로 합성됨으로써 Null Point가 발생하는 것이다. 이 Null Point는 흡수체의 PIM 수준이 낮아질수록 보다 뚜렷하게 나타나는 것으로 예상되었고, 커넥터와 안테나의 PIM 수준에 비해 40 dBc 이상 차가 발생할 때는 현저한 변화는 없으므로 나타났다. 이와 같은 결과는 케이블에서 발생하는 Null Point 현상에서 두 PIM 수준의 차가 6 dB 이상일 때 Null Point가 발생되지 않는다는 결론과 상이하다<sup>9)</sup>. 결론적으로 안테나의 PIM 측정에서 Null Point의 발생은 흡수체가 커넥터와 안테나 보다 현저히 낮은 PIM 수준을 발생시키고 있음을 증명한다.

그림 4는 흡수체의 PIM 수준은 -180 dBc로 고정하고 커넥터와 안테나의 PIM 수준을 변화시킬 때 Reflect 방법에 의해 측정되는 PIM 수준을 예상한 그림이다. 여기서 커넥터와 안테나의 PIM 수준은 동일하다고 가정하였다. 그림에서 보는 바와 같이 전반적인 PIM 수준은 커넥터와 안테나에서 발생하는 PIM 수준에 의해 결정되고 있음을 확인할 수 있고

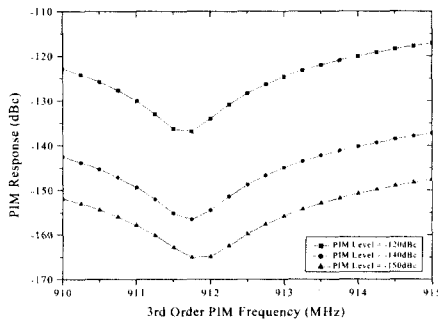


그림 4. 흡수체의 PIM 수준이 일정할 때, 커넥터와 안테나의 PIM 수준 변화에 따른 Reflect PIM 수준 시뮬레이션 결과

$$(\sigma_{cb} = -180 \text{ dBc}, \sigma_c = \sigma_{an})$$

Fig. 4. Simulated result of Reflect PIM level according to the connector and antenna PIM level variation ( $\sigma_{cb} = -180 \text{ dBc}$ ,  $\sigma_c = \sigma_{an}$ ).

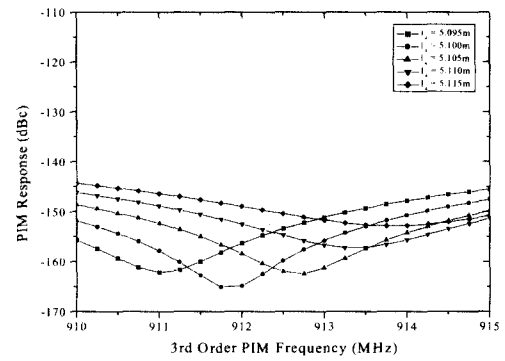


그림 5. 경로 14의 거리 변화에 따른 Reflect PIM 수준 시뮬레이션 결과

Fig. 5. Simulated result of Reflect PIM level according to the path 14 variation.

앞의 그림 3에서와 같이 커넥터와 안테나의 PIM 수준이 흡수체의 PIM 수준보다 낮으므로 Null Point 현상이 발생한다. 커넥터와 안테나의 PIM 수준이 같지 않은 경우에도 전체적인 PIM 수준은 가장 높은 값을 갖는 PIM 수준에 의해 결정이 됨을 확인하였다.

흡수체에서 반사 또는 산란되는 전자기파가 다시 안테나로 유입될 때 발생하는 전자기파의 경로차도 Reflect 방법에 의한 안테나 PIM 수준 측정에 영향을 미친다. 그림 5는 흡수체로부터 안테나로 유입되는 전자기파의 경로를 변화시킬 때 예상되는 PIM 수준 변화를 나타내었다. 특정 경로 14의 길이를 변화시키면 예상한 PIM 수준 변화는 14의 경로가 길어질수록 Null Point 위치는 고주파 방향으로 이동(Shift)하고 있음을 확인할 수 있고, 특정 경로에서는 가장 현저한 Null Point 현상을 나타내기도 한다. 경로차에 의한 PIM 수준의 변화는 전자파무반사실 내에서 안테나의 PIM 수준을 측정할 때 안테나의 위치 변화에 따라 상이한 PIM 특성이 측정될 수 있음을 의미한다.

### III. 안테나의 PIM 측정 및 결과 분석

안테나의 PIM 측정에 대한 흡수체의 영향을 실험적으로 검증하기 위해 앞의 논의에서 가정된 섹터안테나를 이용하여 그림 1의 (a)와 같이 Reflect

표 1. 측정대상 섹터안테나의 사양

Table 1. Characteristics of sector antenna under the test.

| Frequency             | 890~960 MHz |
|-----------------------|-------------|
| Gain                  | 15 dBi      |
| Polarization          | vertical    |
| Horizontal Beam Width | 65°         |
| Vertical Beam Width   | 16°         |
| Front to back ratio   | 30 dB       |
| VSWR                  | < 1.5       |
| Isolation             | > 30 dB     |
| Height                | 1.2 m       |
| Width                 | 0.3 m       |

방법을 이용하여 실험하였다. 사용된 섹터안테나의 사양은 표 1과 같으며, 전자파무반사실의 크기와 안테나 측정위치 또한 가정과 동일하다. 커넥터, 안테나 그리고 흡수체에서 발생하는 PIM 수준이 일정하다고 가정하고 흡수체에서 반사되는 전자기파의 경로변화를 유도하기 위해 안테나의 높이 H를 변화시키며 PIM 수준을 측정하였다. 935~960 MHz의 Tx 대역과 890~915 MHz의 Rx 대역 주파수 범위를 갖는 SI-900A PIM 분석기를 이용하였고, 인가하는  $f_1, f_2$  주파수의 세기는 각각 43 dBm으로 고정하였다. 두 신호 입력에 대한 PIM 분석기의 잔류 PIM 수준은 -163 dBc이다.

주파수 Sweep에 의한 섹터 안테나의 PIM 측정 결과는 그림 6과 같다. 특정 주파수의 PIM 수준이 현저히 낮아지는 Null Point 현상이 관측되었고, 안테나의 높이 변화에 따라 Null Point 위치가 저주파 쪽으로 이동하고 있음을 확인하였다. 이러한 측정의 결과는 그림 3과 같이 흡수체에서 발생하는 PIM 수준이 커넥터와 안테나의 PIM 수준보다 현저히 낮음을 의미하고, 안테나의 높이 변화에 따라 흡수체로부터 반사되는 전자기파의 위치가 변화함에 따라 PIM 신호의 경로에 차이가 발생하여 나타나는 현상으로 판단된다. 안테나 대신 50 Ω 저 PIM Terminator를 연결한 측정결과에서는 Null Point가 발생하지 않았기 때문에 그림 6의 Null Point 현상은 안테나 시스템 외의 PIM 근원이 있음을 의미하고, 흡수체에서 발생하는 PIM 근원이 Null Point를 생성에 가장 큰 영향을 미치고 있음을 의미한다.

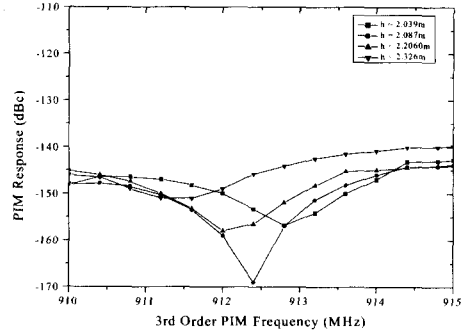


그림 6. 높이 변화에 따른 섹터 안테나의 PIM 수준 변화

Fig. 6. PIM level of the sector antenna according to the height.

그림 7은 실험적 결과와 식 (6)의 이론적 예상을 비교한 그림이다. 이론적 예상과 실험적 결과가 잘 일치하고 있음을 확인할 수 있다. PIM 발생은 다양한 PIM 근원들에 의해 발생하는 현상으로 PIM 모델에서 가정된 커넥터, 안테나 그리고 흡수체 이외에 안테나 지지대, 안테나 주위의 금속물체 등 여타의 외부 PIM 근원에 의해서도 영향을 받는다. 따라서 Null Point의 위치와 수준은 이들 외부 인자에 의해 영향을 받을 수 있고, 그림 7의 경우도 위와 같은 외부 PIM의 영향에 의한 결과이다. 이론적인 해석을 통해 얻은 섹터안테나와 커넥터의 PIM 수준은 -145 dBc였고, 이 때 흡수체에서 발생하는 PIM

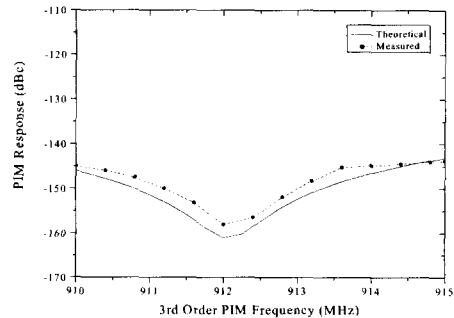


그림 7. 섹터 안테나의 PIM 측정 결과와 이론적 시뮬레이션 비교

Fig. 7. Comparison of sector antenna PIM between experimental result and theoretical simulation.

수준은  $-180$  dBc이다.

커넥터와 안테나의 PIM 수준이 현저히 높은 경우에는 ( $> -125$  dBc) 흡수체의 PIM 수준이 낮은 경우라 하더라도 흡수체에서 반사되는 PIM 수준이 흡수체에서 생성되는 PIM 수준보다 높기 때문에 실제 측정에서는 PIM 수준이 높은 경우에는 Null Point 현상이 발생되지 않는 경우가 있다.

#### IV. 결 론

이동통신 시스템의 통화품질 수준에 영향을 미치는 PIM은 안테나에서도 발생하고 있으며, 안테나의 PIM 수준 측정은 Reflect 방법과 Forward 방법을 통해 측정할 수 있다. Reflect 방법에 대한 안테나 PIM 모델의 해석을 통해 안테나 PIM 측정이 커넥터와 안테나의 PIM 수준에 의해 결정이 됨을 확인하였다. 그러나 흡수체의 PIM 수준이 커넥터와 안테나의 그것보다 낮은 경우에는 특정 3차 PIM 주파수의 PIM 수준이 현저히 낮아지는 Null Point 현상이 발생하였고, 흡수체로부터 반사 또는 산란되는 PIM 신호가 안테나로 유입되는 경로에 차이가 있는 경우 Null Point의 주파수가 이동할 수 있음을 확인하였다.

실제적인 섹터안테나의 PIM 수준 측정 실험을 통한 결과에 있어서 안테나 PIM 모델에 의한 예상과 잘 일치함을 확인하였고, 섹터안테나의 PIM 수준이  $-145$  dBc인 경우, 흡수체의 PIM 수준은 약  $-180$  dBc 임을 확인하였다.

이와 같은 이론적, 실험적 결과는 안테나의 PIM 측정 결과가 커넥터와 안테나 같이 시스템 내부의 PIM 근원 외에 흡수체 같은 외부환경에 의해 발생하는 PIM 근원에도 상당한 영향을 받고 있음을 의미한다. 따라서 안테나의 PIM 측정에 있어서는 이러한 외부적 환경에 대한 영향을 최소화할 수 있어야 하고, 측정 결과에 대한 해석에 있어서도 주의할 요함을 의미한다.

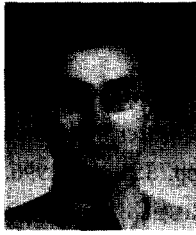
#### 참 고 문 헌

[1] P. L. Lui, "Passive intermodulation interference

in communication systems", *Electronics & Communication Engineering journal*, vol. 2 pp. 109-118, June 1990.

- [2] T. Khattab and A. D. Rawlins, "Principles of low PIM hardware design", *Thirteenth National Radio Science Conference*, pp. 355-362, 1996.
- [3] G. H. Schennum and G. Rosati, "Minimizing passive intermodulation product generation in high power satellites", *IEEE Proceedings of Aerospace Applications Conference*, vol. 3, pp. 155-164, 1996.
- [4] J. A. Jargon, D. C. DeGroot and K. L. Reed, "NIST passive intermodulation measurement comparison for wireless base station equipment", *52nd ARFTG Conference Digest, Computer-Aided Design and Test for High-Speed Electronics*, pp.128-139, 1998.
- [5] P. L. Lui and A. D. Rawlins, "The field measurement of passive intermodulation products", *Fifth International Conference on Mobile Radio and Personal Communications*, pp. 199-203, 1989.
- [6] B. G. M. Helme, "Passive intermodulation of ICT components", *IEE Colloquium on Screening Effectiveness Measurements*, pp.1/1-1/8, 1998.
- [7] P. L. Lui and A. D. Rawlins, "Passive non-linearities in antenna systems", *IEE Colloquium on Passive Intermodulation Products in Antennas and Related Structures*, pp.6/1-6/7, 1989.
- [8] B. Rosenberger, "The measurement of intermodulation products on passive components and transmission lines", *IEEE MTT-S Symposium on Technologies for Wireless Applications*, pp. 57-62, 1999.
- [9] B. Deats and R. Hartman, "Measuring the passive-IM performance of RF cable assemblies", *Microwaves & RF*, pp.108-114, March, 1997.

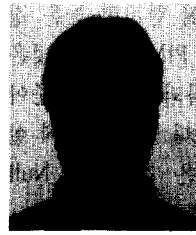
김진태



1996년 2월: 인천대학교 물리학과 (이학사)  
1998년 8월: 고려대학교 물리학과 (이학석사)  
2000년 2월: 고려대학교 물리학과 강사  
2000년 10월~현재: 한국전자통신

연구원 반도체신기술연구소 접속응용부품팀 연구원  
[주 관심분야] RF 수동소자, Passive IMD

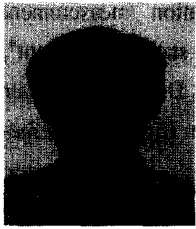
정명영



1982년 2월: 부산대학교 기계공학과 (공학사)  
1984년 2월: 부산대학교 기계공학과 (공학석사)  
2000년 2월: 한국과학기술원 기계공학과 (공학박사)  
1983년 9월~현재: 한국전자통신

연구원 반도체신기술연구소 접속응용부품팀 팀장  
[주 관심분야] Optical & RF Interconnection, Passive IMD

조인귀



1997년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)  
1999년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)  
1999년 5월~현재: 한국전자통신연구원 반도체신기술연구소 접속응용부품팀 연구원

[주 관심분야] RF 수동소자, Passive IMD

최태구



1976년 2월: 고려대학교 물리학과 (이학석사)  
1977년 1월: 고려대학교 물리학과 강사  
1977년 12월: KIST 연구원  
1978년 1월~현재: 한국전자통신연구원 반도체신기술연구소 부품

기술개발부 부장  
[주 관심분야] 이동통신, 마이크로파