

RF DIN Connector의 Passive IMD 개선에 관한 연구

Study on the Passive IMD Improvement of RF DIN Connectors

고윤선*, 정재필**, 오창현***, 신동욱***

Yun-Sun Ko*, Jae-Pil Chung**, Chang-Heon Oh***, and Dong-Uk Shin***

요 약

최근 이동통신 서비스가 확대됨에 따라 인접 기지국간의 간섭문제가 증가하게 되었으며, 그에 따라 CDMA 시스템의 active IMD뿐만 아니라 PIMD(Passive Inter-Modulation Distortion)에 대한 문제도 시스템 설계 시 고려되어야 한다. 본 논문에서는 RF connector 중 대표적 connector인 7/16" DIN connector를 통하여 동축선에서의 PIMD 발생원인 분석을 위한 다양한 표면조도 및 도금두께, 도금재질을 갖는 어댑터를 설계, 제작하여 PIMD 발생 정도를 분석하였고, PIMD 개선 방안을 제안하였다. 첫째, 대부분의 전류가 통과하는 경로에는 표면조도가 좋은 금속이 전도율이 좋아 유리하며, 둘째, RF 에너지가 충분히 한 매질에서 통과할 수 있도록 최소 $5\mu\text{m}$ 이상으로 도금을 해야 함을 알 수 있었다. 셋째, 도금 재료의 노화현상 방지를 위해 비열이 높고 전도율이 높은 금속 선택이 필수적이며, 비용절감 면에서는 삼원합금 등 대체 도금 재질 개발이 요구됨을 알 수 있었다. 현재 국내 PIMD 규격인 KTF -150 dBc를 만족시키기 위해서는 7/16" DIN connector의 경우 도금재질에 관계없이 표면조도 6S, 도금두께 $5\mu\text{m}$ 일 때 KTF의 PIMD 규격을 만족시킬 수 있음을 알 수 있었다.

ABSTRACT

Recently, as the range of mobile communication services is extended, the interference between adjacent base-stations is increased. Nowadays, one of the important factors causing interference is IMD (Inter-Modulation Distortion) problems. Not only active IMD but also passive IMD effects must be considered to design a CDMA system. In this study, we design and implement 7/16" DIN connectors which have a various intensity of surface illumination, thickness and quality of plating material to analyze the effects of PIMD. And propose the methods for improving the PIMD characteristics: First, it is more profitable to use the metal which has good intensity of surface illumination where most of all electric currents passes through it. Secondly, we should plate metals more than $5\mu\text{m}$ for RF energy enough to propagate in a medium. Thirdly, it is necessary to select a metal having high conductivity and specific heat to protect the aging phenomenon of plate material. And it is required to develop a new plating material to replace the current materials, such as the alloy of three components for cost reduction. We have to know that the plate which has intensity of surface illumination 6 S and the thickness of plating material $5\mu\text{m}$ satisfy the domestic PIMD specification (KTF) -150 dBc, regardless of the plate material in case of 7/16" DIN connector.

* 동양 E&C(주) (Dongyang E&C Co., Ltd)

** 가천길대학 전자통신과(Dept. of Electronic Communication, Gachon Gil College)

*** 한국기술교육대학교 정보기술공학부(School of Information Technology, Korea University of Technology and Education)

· 논문번호 : 2002-11-03

· 접수일자 : 2002년 10월 10일

I. 서 론

이동통신의 발전을 위한 중요한 요소는 서비스 용량의 증대와 통화품질의 개선이다. 이러한 용량증대와 통화품질의 개선시 채널간의 간섭이 중요한 문제이며, 이 간섭 문제 중 중요한 요소가 상호변조왜곡(IMD : Inter-Modulation Distortion)이다.

IMD란 두 개 이상의 신호 주파수들이 서로 간섭 현상을 일으켜 원치 않는 기생 신호를 발생시키는 것으로 이와 같은 현상이 수동 소자에서 나타날 때 PIMD(Passive IMD)라고 한다. PIMD는 능동 소자에서 발생하는 active IMD와 달리 얼마 전까지만 해도 위성통신과 같은 고 전력 통신시스템에서만 고려되었던 현상으로 상용 이동통신에서는 거의 무시되어져 왔다. 하지만, 이동통신 서비스가 확장됨에 따라 인접 기지국간의 간섭문제가 증가하게 되었으며, 그에 따라 CDMA 시스템의 active IMD 뿐만 아니라 PIMD에 대한 문제도 중요시되고 있다. Active IMD는 오래 전부터 꾸준한 연구 대상이었던 부분이 큰 문제가 없으나, PIMD의 경우 근래까지 통신 시스템 구축에 있어 고려되지 않은 요소라 더욱 큰 문제를 야기시키고 있다[1].

이러한 수동소자에서 발생하는 PIMD는 그 정도와 발생영역이 명확하여 제어 및 예측이 가능한 active IMD와는 달리 그 발생영역이 모든 RF 경로상에 있으며, 정도 또한 예측하기가 어려운 실정이다. PIMD의 발생은 그 정도가 심각한 경우 예측하지 못했던 통화 품질의 저하와 call drop까지 일으키게 된다[2]. 실제로 유럽의 이동통신 시스템인 GSM에서는 이와 같은 문제로 2개의 채널을 비워 서비스 채널에서 문제가 발생하면 비워둔 채널로 주파수 대역을 옮겨 PIMD에 의한 장애를 피하고 있다. 이는 주파수 자원 이용 측면에서 심각한 자원 낭비이고, 서비스 업체들의 측면에서는 사용자 한 사람에게 할당되는 주파수 대역이 증가하여 그 만큼의 손실을 입게 된다. 향후 위성 시스템에서도 문제가 있을 것으로 예측되며, 이는 위성에서 보내는 신호의 전력(100 W)이 매우 커 안테나 부분의 작은 비선형성에서도 큰 PIMD의 발생이 있을 수 있기 때

문이다. 이러한 이유 때문에 유럽 등 선진국의 통신업체에서는 RF 부품의 PIMD 특성에 대한 우수한 성능과 엄격한 관리를 요구하고 있다[3]. 그러나, 국내에서는 아직까지 깊이 있는 연구가 수행되고 있지 못하며, RF 부품의 PIMD 성능이 별로 우수하지 못하다. 이를 해결하기 위하여 재료와 구조적인 측면 등 다양한 방법으로 노력 중이지만, 많은 업체에서 PIMD의 발생원인이나 개선 방법은 물론 측정 방법조차 모르고 있어서 향후 RF 부품의 수출에 큰 영향을 받을 것으로 예상된다.

따라서, 본 연구에서는 RF connector 중 대표적 connector인 7/16" DIN connector를 통하여 동축선에서의 PIMD 발생원인 분석을 위한 다양한 표면조도, 도금두께 및 도금재질을 갖는 어댑터를 설계, 제작하여 PIMD 발생 정도를 분석하였고, PIMD 개선 방안을 제안하였다.

II. PIMD 발생원인

상호변조란, 비선형 소자를 통한 RF 신호 처리과정에서 두 개의 다른 주파수 신호의 고조파(harmonic) 주파수들끼리의 합과 차로 조합된 출력 주파수 성분이 나오는 현상을 말한다. 즉, 하나의 RF 신호가 처리되면서 나타나는 것이 아니라 두 개 이상의 주파수 신호가 동시에 처리될 때 나타나는 현상이다. 그리고 이 성분들은 원래 신호에 방해되는 왜곡 요소로서 그 결과물들을 흔히 IMD(Inter-Modulation Distortion)라고 부른다[1],[4].

IMD는 발생하는 소자에 따라 두 가지 형태로 구분되는데, 전력증폭기와 같은 능동 소자에서 발생하는 것을 active IMD, filter나 duplexer, RF connector와 같은 수동 소자에서 발생하는 것을 PIMD라 한다.

RF 부품에서 PIMD 발생 원인은 접촉 비선형성(contact nonlinearity)과 재료 비선형성(material nonlinearity)으로 구분된다[5]-[7].

2-1 접촉 비선형성

접촉 비선형성의 원인에는 도체들 사이의 얇은

산화층에 의한 접합 용량, 금속 접촉에서 도체들 사이의 반도체 작용에 의한 터널링 효과(tunneling effect), 금속들 사이의 빈틈 공간과 미소균열에 의한 micro-discharge, 금속 표면의 먼지와 금속 입자에 연관된 비선형성 등이 있다.

이들 중 IM 발생에 있어 기본적인 특성인 tunneling 효과에 대해 간략히 살펴보자. Tunneling 효과는 RF가 흐르는 영역의 비선형 저항과 커패시턴스 값에 의해 결정된다. 여기서, 비선형 접합 저항은 시간이 지남에 따라 저항 값이 증가하는데 그 원인은 접합에서의 확산, 불순물 흡착, 가장자리(edge) 영향, 기계적인 과열 등이 될 수 있다. 이 비선형 접합 저항에 의해 전압-전류 특성은 $I = G_0 V_{in} + aG_0 V_{in}^3$ 이 되고, 여기서, 입력 전압을 $V_{in} = V_1 \cos \omega_1 t + V_2 \cos \omega_2 t$ 의 두개의 신호원을 사용하면 우측의 첫 번째 항 $G_0 V_{in}$ 은 linear 특성을 나타내고, 두 번째 항 $aG_0 V_{in}^3$ 이 비선형 특성을 나타낸다.

2-2 재료 비선형성

물질 비선형성에는 니켈, 철, 코발트 등의 히스테리시스 효과, internal shottkey effect, 도체에서의 한정된 전도율에 의한 thermal heating 등이 있다.

히스테리시스 효과에 의한 PIMD는 자계 $H(A/m)$ 와 자속 밀도 $B(Wb/m^2)$ 의 비에 의해 결정되는 투자율(μ)의 값이 전류의 흐름에 따라 비선형 특성곡선을 갖게 되어 발생된다. 주파수가 증가하면, 대부분의 전류는 도체의 δ (skin depth)인 매우 얇은 표면층으로 집중하게 되며, 이때 도체 표면에서의 전류밀도 값에 $1/e(37\%)$ 로 떨어지는 δ 는 다음과 같다.

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \sigma \mu}} \quad (1)$$

여기서, f 는 동작 주파수이며, σ 와 μ 는 각각 주어진 도체의 전도율과 투자율이다.

도체가 은과 같이 비철금속(nonferrous)이면 자속 B 와 자계밀도 H 의 선형적인 관계가 존재하게 되어, μ 는 상수가 된다. 이러한 선형적인 관계에 의해

δ 가 유일한 값으로 결정된다. 예를 들면, 높은 전도율을 갖는 은의 전도율은 상수로 $6.15 \times 10^7 S/m$ 이므로 주파수가 1 GHz일 때 δ 는 $2 \times 10^{-6} m$ 이다. 이는 대부분의 전류가 은도금 재료로만 이동하는 조건인 66가 $12.7 \times 10^{-6} m$ 임을 알 수 있다.

반면에 전류를 운반하는 도체가 강자성체 물질이면, μ 는 더 이상 상수 값이 아닌 비선형적으로 H 에 따라 변하게 된다. 이것은 B 가 현재의 H 값의 함수 이면서 과거의 H 값에 의해 결정되어지는 히스테리시스 효과에 의한 것이다. 이러한 비선형적인 μ 의 변화는 δ 의 변화를 유발하게 되어 비선형 회로의 임피던스 변화와 등가를 이룬다. 극히 미세한 전류로 가정하면, 니켈의 초기 투자율 μ_i 는 $4\pi \times 10^{-5} h/m$ 이며, 니켈의 전도율은 $1.3 \times 10^7 S/m$ 이다. 따라서 초기 δ 는 주파수 1 GHz에서 $4.4 \times 10^{-7} m$ 이며, 이는 은의 1/5의 값이 된다. 한편 신호의 전류가 증가하면, 니켈의 투자율이 증가하게 되어 초기 값의 10에서 100배까지 증가하고 δ 는 3에서 10배 정도 감소되는 현상이 발생된다. 하지만 한계전류 이상에서는 투자율이 다시 감소하여 자유공간에서의 $4\pi \times 10^{-7} h/m$ 가 되어 최대 니켈의 δ 는 은의 δ 에 2배가 된다. 이러한 과정에서 표피 저항 R_s 는 식 (2)와 같이 표현된다.

$$R_s = \frac{\rho}{\delta} = \sqrt{\pi f \mu \rho} \quad (2)$$

도체에 가해진 자계는 저항 변화를 일으키며, 강자성체 물질에서의 이러한 현상은 IM 신호를 발생시키는 원인이 된다.

도체에서의 한정된 전도성에 의한 thermal heating은 비자성체의 물질인 금속에서 발생하는 IMD를 규명하는데 이론적인 근거가 된다. Skin depth의 두께만큼의 체적에서 도체의 한정된 전도성은 항상 금속의 벽에서 RF 손실을 유발하며, 이러한 체적 내에서 에너지의 주기적 변화는 온도의 변화를 유발한다. 온도에 의한 금속의 전도성은 수식적으로는 선형적이거나 그것의 고조파 성분이 존재하여 IM frequency에서 wall current를 발생시키는 인자가 된다. 이러한 다양한 PIMD 발생 원인들은 소자의 구조나 특성에 따라 결정되어진다.

Ⅲ. 제작 및 측정

3-1 제작

앞의 PIMD 발생 원인에 대한 예측을 바탕으로 7/16" DIN connector를 다양한 표면조도, 도금두께, 도금재질 등으로 제작하였다. 특히, 표면조도에 의한 PIMD 변화에 초점을 맞춰 기존의 도금재질, 도금두께에 의한 PIMD 변화와 비교 분석하여 connector 부품 가공시 올바른 표면조도 규격을 마련하고, 이에 따른 도금두께를 얻는데 목적을 두었다.

3-1-1 도면

본 실험을 위해 그림 1과 같은 도면의 connector를 설계 및 제작하였다. 그림 1에서 ①과 ②는 adaptor의 body, ③은 절연체인 teflon, ④와 ⑤는 PIN, ⑥과 ⑦은 O-ring, ⑧은 coupling을 나타낸다. 우측의 도면은 ④번 PIN의 사이즈를 나타낸 도면이다. PIMD 개선을 위한 표면조도 부분은 contact 부분인 ④와 ⑤로 구성된 PIN이 된다. 나머지 ①과 ②, body 부분과 ⑧번 coupling은 동일한 표면조도인 12 S를 주고 제작하였다[8].

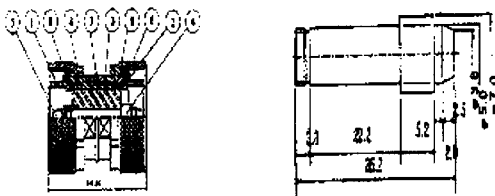


그림 1. 제작된 어댑터 도면

Fig. 1. The layout of manufactured adapter.

3-1-2 시료

표 1은 connector 제작에 사용된 표면조도 및 도금에 관한 데이터이다. 시료 1은 동일한 도금재질 및 도금두께에 각기 다른 표면조도 변화를 주어 실험한 시료이다. 시료 2는 동일한 도금재질에 동일한 도금두께와 다른 도금두께로 표면조도에 변화를 주

표 1. 어댑터의 제작(7/16" DIN male to male adaptor)

Table 1. The manufactured adapters.

구분	도금사양 (PIN, BODY)		표면조도 [S]	시료 수 [개]
	도금두께 [μm]	도금재질		
시료 1	5	금	50	5
	5	금	12	5
	5	금	6	5
시료 2	2	금	50	5
	5	금	50	5
	2	금	12	5
	5	금	12	5
	2	금	6	5
	5	금	6	5
시료 3	5	니켈	6	5
	5	삼원합금	6	5
	5	금	6	5

어 실험한 시료이다. 시료 3은 동일한 표면조도에 도금재질에 변화를 주어 실험한 시료이다.

이 세 가지의 시료를 통하여 기존의 도금재질과 도금두께에 의한 PIMD 변화와 표면조도에 의한 PIMD 성능개선 방법을 비교, 분석하여 도금 재질뿐만 아니라 가공에 의한 PIMD 개선 방안을 제시하였다.

제작에 사용된 금속의 전도율은 금, 삼원합금, 니켈 순으로 각각 $4.1 \times 10^7 \text{ S/m}$, $2.15 \times 10^7 \text{ S/m}$, $1.46 \times 10^7 \text{ S/m}$ 이다.

3-2 측정

3-2-1 측정 시스템

3-2-1-1 측정 시스템 사양

- ① 통신 표준 : PCS (CDMA 표준 방식)
- ② 장비명 : Passive Intermodulation Distortion Analyzer, 1710 to 1880 MHz
- ③ Model명 : SI-1800A
- ④ 장비의 잔류 IM 수준 : -120 dBm
- ⑤ 장비의 입력 전력 : 43 dBm (20 W)

3-2-1-2 측정 시스템 Block Diagram

측정에 사용된 장비는 Summitek Instrument사의 PIMD analyzer(SI-1800A)로서 그림 2와 같은 구성을 갖고 있다. 이 장비는 데이터 측정 부분과 데이터 처리 부분으로 나누어져 있다. 데이터 측정 부분은 주파수 합성 신호를 DUT에 공급해 주는 역할과 반사 IM 신호를 받아들이는 역할을 수행하는 듀플렉서를 활용한 시스템이다. 데이터 처리 부분은 측정된 데이터를 사용자의 요구사항에 만족하도록 표시하는 역할과 소프트웨어적으로 측정 시스템을 조정하는 역할을 하고 있다[8].

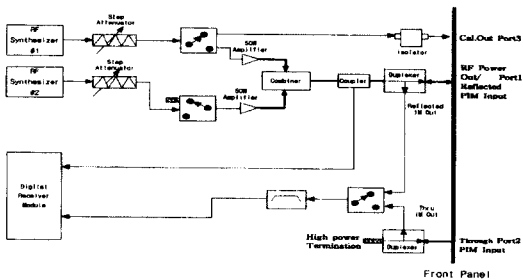


그림 2. PIMD 측정 구성도
Fig. 2. The block diagram for PIM measurement.

3-2-2 측정시 주의 사항

3-2-2-1 측정 부품의 연결시 주의 사항

- ① 부품간에 접속되는 부분(connector)의 평행 유지
- ② 접속 부위를 확실히 조인다.
- ③ 가능한 어댑터의 수를 줄인다.
- ④ 측정 시스템(port 1, port 2)이나 external termination에 접속시 항상 saver 사용[9].

3-2-2-2 측정시 주의 사항

- ① 측정 부품에 충격이 가지 않도록 한다.
- ② 향온, 향습 유지
- ③ 접속에 이용되는 모든 어댑터와 saver는 그 자체의 IM 값을 미리 측정한 후 사용해야 하며, 누적되는 IM 값을 고려하여야 한다[9].

3-2-3 PIMD 측정 환경의 영향

PIMD 측정에 있어 측정값에 영향을 미치는 외부 환경에는 온도, 입력전력, 외부 전자파, 접속 안정성, 측정 주파수, termination, 금속 접속에서의 노화 등이 있다[9].

IV. 실험 결과

4-1 표면조도에 따른 PIMD 영향

표면조도에 따른 PIMD 영향을 보여주는 특성표이다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 도금두께를 동일하게 하고, 표면조도를 변화시켰을 경우 표면조도 50 S 보다 표면조도가 좋은 6 S의 경우가 평균 9.5 dB

표 2. 표면조도에 따른 PIMD 측정값(도금재질 : 금)
Table 2. The measured value of PIMD according to the intensity of surface illumination(plating material : gold).

구분	표면조도 [S]	도금 두께 [μm]	PIMD 측정값[dBc]				
			1	2	3	4	평균
1	50	5	-158	-157	-159	-156	-157.5
2	12	5	-163	-162	-164	-161	-162.5
3	6	5	-167	-167	-169	-166	-167

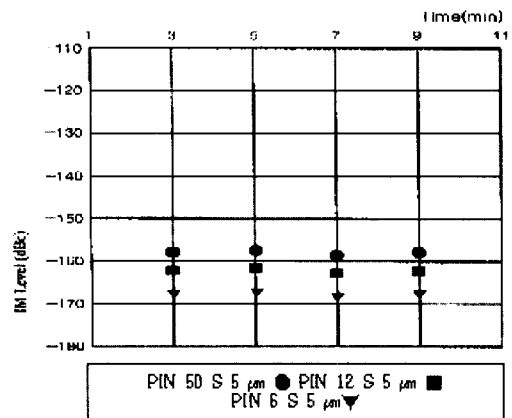


그림 3. 표면조도에 따른 PIMD 영향
Fig. 3. The effect of PIMD according to the intensity of surface illumination.

PIMD 성능이 개선됨을 알 수가 있다.

위의 실험 결과를 통하여 본 논문에서 검증하고자 하는 표면조도에 의한 PIMD 성능 개선을 증명할 수 있었고, 수동 소자에서 PIMD 성능을 개선시키기 위해서는 도금재질이나 도금두께 못지 않게 가공 기술도 중요함을 알 수 있었다.

4-2 표면조도와 도금두께에 따른 PIMD 영향

표면조도와 도금두께에 따른 PIMD 영향을 보여주는 특성표이다.

표 3. 표면조도와 도금두께에 따른 PIMD 측정값(도금재질 : 금)

Table 3. The measured value of PIMD according to the intensity of surface illumination and the thickness of plating material(plating material : gold).

구분	표면조도 [S]	도금두께 [μm]	PIMD 측정값 [dBc]				
			1	2	3	4	평균
1	50	2	-137	-139	-138	-139	-138
		5	-149	-151	-150	-152	-150.5
2	12	2	-141	-143	-142	-143	-142
		5	-153	-155	-154	-156	-154.5
3	6	2	-148	-146	-148	-147	-147
		5	-160	-159	-161	-158	-159.5

그림 4는 동일한 표면조도에 도금두께를 변화시켜 측정한 결과 데이터이다. 처음 실험에서와 마찬가지로 표면조도 50 S, 12 S, 6 S에서 동일한 두께로 도금했을 때 표면조도가 좋은 6 S일 때 PIMD 성능이 개선됨을 알 수 있었다.

또한, 도금두께 2 μm 보다 5 μm 에서 PIMD 성능이 개선됨을 알 수 있었다. 위의 실험을 통하여 PIMD 성능 개선을 위해서는 도금두께 및 표면 거칠기가 중요함을 알 수 있었다.

4-3 도금재질에 따른 PIMD 영향

도금재질에 따른 PIMD 영향을 보여주는 특성표이다.

표 4. 도금재질에 따른 PIMD 측정값

Table 4. The measured value of PIMD according to the plating material.

구분	표면조도 [S]	도금재질	도금두께 [μm]	PIMD 측정값 [dBc]				
				1	2	3	4	평균
1	6	니켈	5	-147	-149	-151	-150	-149
2	6	삼원합금	5	-153	-156	-154	-155	-151.5
3	6	금	5	-160	-159	-161	-158	-159.5

동일한 표면조도에 세 종류의 도금재질을 동일한 도금두께로 도금하였을 경우 나타난 실험 결과이다. 그림 5를 통하여 동일한 표면조도에 동일한 두께로 도금하였을 경우 금이 니켈보다 평균 10.5 dB PIMD 성능이 개선됨을 알 수 있었다. 따라서, 우수한 IM 특성을 갖는 소자 개발을 위해서는 전도율이 높고 비열이 높은 금속의 선택이 필수적이며, 강자성체의 사용은 피하는 것이 바람직함을 알 수 있었다.

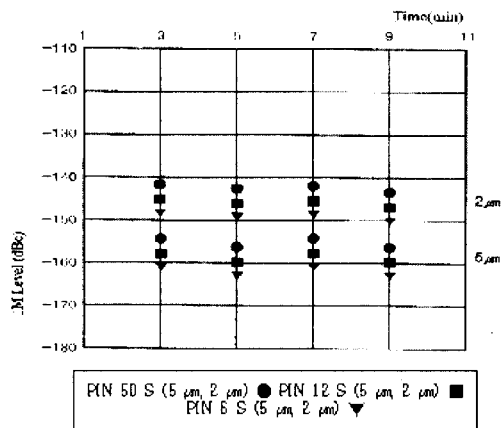


그림 4. 표면조도와 도금두께에 따른 PIMD 영향

Fig. 4. The effect of PIMD according to the intensity of surface illumination and the thickness of plating material.

V. 결 론

본 논문에서는 PIMD가 통신 시스템에서 간섭의 원인이 되어 통신 시스템의 품질을 떨어뜨리는 현상

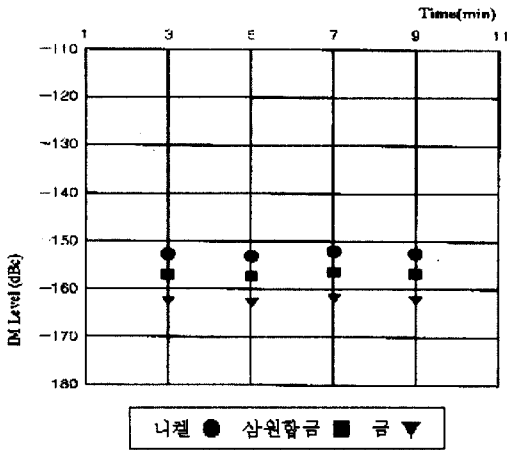


그림 5. 도금재질에 따른 PIMD 영향
 Fig. 5. The effect of PIMD according to the plating material.

을 개선시키기 위하여 PIMD 발생 원인에 대하여 검토하고, 다양한 RF connector를 설계, 제작, 측정하여 PIMD 성능 개선방법을 제안하였다. RF connector의 표면조도에 의한 PIMD 성능 개선을 위하여 50 S, 12 S, 6 S 등 3가지 표면 거칠기에 대하여 그 특성을 분석하였다. 표면조도 50 S보다 표면조도가 좋은 6 S의 경우 같은 두께로 도금하였다 하더라도 평균 9.5 dB PIMD 성능이 개선되었다. 표면조도와 도금두께에 따른 PIMD 영향에서는 같은 표면조도에서 도금두께를 2 μm 로 했을 경우보다 5 μm 로 했을 경우 평균 12.5 dB PIMD 성능이 개선되었다. 도금재질면에서는 동일한 표면조도에 금, 삼원합금, 니켈을 동일한 두께로 도금하였을 때 금의 경우가 니켈의 경우보다 평균 10.5 dB PIMD 성능이 개선되었다. 앞의 7/16" DIN connector의 제작과 측정 분석으로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 첫째, 대부분의 전류가 통과하는 경로에는 표면조도가 좋은 금속이 전도율이 좋기 때문에 유리하며, 전기적으로 우수한 특성을 갖기 위하여 가공기술과 가공면이 좋아야 함을 알 수 있었다. 둘째, 도금두께는 RF 에너지가 충분히 한 매질에서 대부분 통과할 수 있도록 5 μm 이상 올려야 함을 알 수 있었다. 셋째, 우수한 전도율을 갖는 경우에 도금 재료의 노화현상을 방지하기 위해 비열이 높고 전도율이 높은 금속

선택이 필수적이며, 비용절감 면에서 삼원합금 등 대체 도금재질 개발이 요구됨을 알 수 있었다.

현재 국내의 PIMD 규격은 KTF가 -150 dBc, SKT가 -140 dBc로 도금재질 및 도금두께에 관계없이 규정하고 있다. 본 논문의 결과에 의하면 7/16" DIN connector의 경우 니켈 도금일 때, 표면조도 6 S, 도금두께 5 μm 일 때 평균 PIMD 성능 -149 dBc, 삼원합금 도금일 경우 표면조도 6 S, 도금두께 5 μm 일 때, -154.5 dBc, 금도금일 경우 표면조도 6 S, 도금두께 5 μm 일 때, -159.5 dBc를 얻었다. 이로부터 도금재질에 관계없이 표면조도 6 S에 도금두께를 5 μm 로 올리면, KTF의 PIMD 규격을 만족시킬 수 있음을 알 수 있었다. 단, 니켈 도금의 경우 평균 -149 dBc로서 -150 dBc에는 약간 모자란 수치이나 본 논문의 결과 근사 값으로 만족한다고 가정을 하였다.

본 논문의 결과로부터 우수한 PIMD 성능을 갖는 RF connector를 설계하기 위해서는 금속면의 가공 상태 즉, 표면조도가 좋아야 PIMD 성능이 개선됨을 알 수 있었다. 향후 각 업체마다의 PIMD 요구 성능을 만족하기 위해 표준과 기준 없이 업체들의 사양에 따라 개발되는 불합리함을 개선하기 위해서는 하루 빨리 국내 PIMD 기준이 마련되길 바라며, 이러한 PIMD 성능 개선을 위한 가공기술 및 도금기법 등에 대한 많은 연구가 수행되어야 하겠다.

참고 문헌

- [1] P. L. Lui, "Passive intermodulation interference in communication system", *Electronics & Communication Engineering Journal*, June 1990.
- [2] B. G. M. Helme, "Passive intermodulation of ICT components", *The Institution of Electrical Engineers*, 1998.
- [3] G. H. Schennum and G. Rosati, "Minimizing passive intermodulation products generation in high power satellites", *IEEE*, 1996.
- [4] D. D. Henkes and S. C. Kwok, "Intermodulation concepts and calculations", *Applied*

Microwave & Wireless, July 1997.

[5] C. D. Bond and C. S. Guenzer, "Inter-modulation generation by electron tunneling through aluminum-oxide films", *Proceeding of the IEEE*, Dec. 1979.

[6] J. Z. Wilcox and P. Molmud, "Thermal heating contribution to intermodulation fields in coaxial waveguides", *IEEE, Transactions on Communication*, Feb. 1976.

[7] C. E. Young, "Connector design techniques to avoid RFI", *NRL Memorandum Report 4233*.

[8] 조인귀, 이재화, 안승호, 최상국, 정명영, 최태구, "RF 커넥터의 passive IMD에 관한 연구", *한국전자과학회지*, 제11권 제2호, pp.268-277, 2000. 2.

[9] 한국전자통신연구원, *RF 부품의 passive IMD 측정 절차서*, 1999. 10.

고 윤 선(高允善)



1993년 2월 : 전주공업전문대학 기계과
 1997년 2월 : 한국방송통신대학교 교육학과 (교육학사)
 2002년 8월 : 한국기술교육대학교 대학원 정보통신공학과(공학석사)

1993년 3월~1996년 4월 : 정보공업(주) 기술연구소 근무
 1996년 10월~현재 : 동양 E&C(주) 개발부 근무
 관심분야 : 이동통신무선통신, RF Connector 특성

오 창 헌(吳昌憲)



1988년 2월 : 한국항공대학교 항공통신공학과 (공학사)
 1990년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과(공학석사)
 1996년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과(공학박사)

1990년 2월~1993년 9월 : 한진전자(주) 기술연구소 근무
 1993년 10월~1999년 2월 : 삼성전자(주) CDMA 개발팀 근무
 1999년 3월~현재 : 한국기술교육대학교 정보기술공학부 조교수
 관심분야 : 이동통신, 무선통신

정 재 필(鄭在弼)



1985년 2월 : 단국대학교 전자공학과(공학사)
 1989년 8월 : 단국대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 2000년 8월 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과(공학박사)

1989년 8월~1991년 12월 : (주)동양전자통신 중앙연구소
 1994년 2월~현재 : 가천길대학 전자통신과 부교수
 관심분야 : 이동통신, 멀티미디어통신, 신호처리

신 동 욱(申東旭)



1980년 2월 : 한양대학교 전자공학과(공학사)
 1982년 2월 : 한양대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1988년 2월 : 일본 와세다 대학 응용물리학과(공학석사)
 1994년 2월 : 일본 와세다 대학 응용물리학과(공학박사)

1994년 9월~현재 : 한국기술교육대학교 정보기술공학부 부교수
 관심분야 : 무선통신, 화상처리