

## 전파흡수체에 의한 전력증폭기의 혼변조 신호의 개선 효과에 관한 연구

전중성\* · 김민정\* · 예병덕\*\* · 김동일\*\*\*

\* 한국해양대학교 부설 산업기술연구소

\*\* 한국해양대학교 운항시스템공학부

\*\*\* 한국해양대학교 전파·정보통신공학부

### A study on Improving Intermodulation Signal of the RF Power Amplifier Using Microwave Absorber

Joong-Sung Jeon\* · Min-Jung Kim\* · Byeong-Duck Ye\*\* · Dong-Il Kim\*\*\*

\* Research Institute of Industry Technology, Korea Maritime University

\*\*\* Division of ship operation Systems Engineering, Korea Maritime University

\*\*\* Dept. of Radio Information and Communication Engineering, Korea Maritime University

**요 약** : 본 논문에서는 IMT-2000 기지국용 30 W 전력증폭기를 구현하고 전파흡수체를 사용하여 발진과 상호간섭에 의한 신호의 왜곡을 제거함으로써 이득평탄도 및 상호 변조 왜곡을 개선하였다. 사용된 전파흡수체의 흡수능은 3.6 GHz 대역에서 -10 dB 이하, 2.3 GHz 대역에서 -4 dB 이하가 측정되었다. 기존의 전력증폭기의 특성을 측정된 결과 이득은 57.37 dB(측정시 40 dB 감쇠기 부가) 이상, 이득평탄도는  $\pm 0.33$  dB 였으며, 출력의 세기가 33.3 W 일 때 IMD 특성은 27 dBc 로 나타났다. 한편 전력증폭기의 최종단인 고출력 전력결합기 부분에 전파흡수체를 부착한 후의 이득은 약 58.43 dB(측정시 40 dB 감쇠기 부가) 이상, 이득평탄도는  $\pm 0.0935$  dB 가 나타났으며, 출력이 33.3 W 일때 3차 IMD 성분은 약 29 dBc 였다. 측정 결과 전파흡수체를 사용하였을 경우와 사용하지 않았을 경우 이득은 1 dB, 이득평탄도는 0.3 dB, IMD 특성은 1.77 dBc 가 각각 개선됨을 확인하였다.

**핵심용어** : 전파흡수체, 상호변조왜곡, 전력증폭기, 혼변조, RF 발진

**Abstract** : In this paper, the 30 W power amplifier for an IMT-2000 repeater was developed a gain flatness and the third IMD (Intermodulation distortion) by microwave absorber. The absorption ability of the absorber is shown up to -10 dB and -4 dB at 3.6 GHz, 2.3 GHz band, respectively. The power amplifier without absorber has the gain over 57 dB, the gain flatness of  $\pm 0.33$  dB and the third IMD of 27 dBc at 33.3 W output. Otherwise, the power amplifier with absorber has the gain over 58 dB, the gain flatness of less than  $\pm 0.9$ , the third IMD over 29 dBc at the same output power. As a result, the characteristic of the different type shows improvement of 1 dB in gain, 0.3 dB in gain flatness and 1.77 dBc in IMD.

**Key words** : Microwave Absorber, Intermodulation Distortion, Power Amplifier, Intermodulation, RF oscillation

## 1. 서 론

오늘날 이동통신의 급속한 발전과 보급에 따른 다양한 정보의 제공과 전송 데이터의 증가로 인하여 새로운 주파수 대역의 통신과 보다 발전된 형태의 통신 기법이 연구되고 또한 상용화되고 있다. 현재 제3세대라 일컫는 IMT-2000의 동기 및 비동기 방식도 이러한 요구조건에 의해 개발된 것으로 현재 우리나라에서는 전세계 공통 주파수대역인 2110~2170 MHz 대역에서 통신 서비스를 시범 운영중이다. IMT-2000과 같은 이동통신 방식의 경우 QAM(Quadrature Amplitude Modulation) 또는 QPSK(Quadrature Phase-Shift Keying)와 같은 선형

변조 방식을 사용 한다. 가입 이용자들의 폭발적인 증가는 통신 사업자들로 하여금 할당받은 주파수 대역에 대한 그 이용률이 이미 포화 상태에 이르렀다. 따라서 선형 변조 방식과 다양한 FA(Frequency Allocation)사용은 양방향 통신에서 중요한 역할을 하는 기지국의 송신 전력증폭기에 우수한 선형성을 요구하고 있다(Cripps, 1999), (Mayer 1998).

전력증폭기 회로는 일반적으로 능동소자의 비선형 특성과 비선형 회로 특성을 갖는다. 특히 전력증폭기는 최대 전력을 얻기 위해 주 능동소자인 트랜지스터를 비선형 특성이 강한 포화영역에서 동작해야 하며, 포화영역에서 동작되는 전력증폭기의 경우 이득과 위상이 왜곡된다. 또한 다중 채널을 이용

\* 대표저자 : 전중성(정회원), jsjeon@hanara.kmaritime.ac.kr 051)410-4788

\* 정회원 violet313@hanmail.net 051)410-4787

\*\* 중신회원 byea@hanara.kmaritime.ac.kr 051)410-4243

\*\*\* 중신회원 dikim@kmaritime.ac.kr 051)410-4314

하는 디지털 이동통신 및 위성통신의 경우, 전력증폭기에 2개 이상의 반송파가 입력되어 증폭될 때 포화 영역 부근의 비선형 특성으로 인하여 원하지 않는 새로운 주파수 신호가 출력에 나타나는데 이것을 상호 변조 왜곡(IMD : Intermodulation Distortion)이라 한다. 이들 혼변조 신호들은 혼신(Cross-talk) 또는 잡음(Noise)으로 작용하여 전송 품질을 저하시키는 요인이 된다. 이러한 전력증폭기의 포화영역에서의 동작에 따른 비선형 특성을 개선하기 위하여 선형화기를 전력증폭기와 함께 사용하여 포화영역에서 다수 반송파의 증폭으로 발생하는 혼변조 신호들을 감소시키면서 원하는 출력 전력을 얻기 위하여 Back-off 방식, FeedBack 방식, Predistortion 방식, Feedforward 방식 등을 사용하고 있다(Kim, 1998), (박 2002).

본 논문에서는 이러한 상호 변조 왜곡 신호를 감소시키기 위한 방법으로 전력증폭기회로에서 발생하는 발진에 대한 문제를 고찰하고, 이러한 발진의 문제를 해결하기 위해 EMI/EMC 대책으로 활발히 연구되고 있는 전파흡수체를 이용하였다. 전파흡수체를 케이스에 부착하여 발진을 제거함으로써 증폭소자가 가지는 고유특성을 최대한 이용하여 전력증폭기의 이득과 IMD 특성을 개선시키고자 한다(Heieh 1997).

## 2. 발진의 발생 요인

소신호를 대신호로 증폭하기 위해 사용되는 전력증폭기는 여러 개의 능동소자를 직·병렬 연결하여 신호를 증폭하게 된다. 이러한 신호증폭을 위한 능동 소자는 비선형 특성으로 인하여 위상 왜곡과 진폭 왜곡 및 상호 변조 왜곡을 발생시키는 원인이 된다. 왜곡의 다른 원인으로는 전력증폭기회로의 발진(Oscillation)에 의한 것이다. 발진의 발생원인으로는 증폭소자가 이득을 발생시키는 과정에서 DC 전원과 증폭소자로 구성된 회로에서 출력단과 입력단자 사이에 기생 커패시턴스가 형성되어 출력의 신호가 입력으로 되먹임 되는 경우와 공통접지에 의해서 되먹임 되는 경우, 그리고 전력증폭기의 공간적 제약으로 인하여 선로간의 상호 커플링에 의해서 다른 신호가 선로에 유입되어 원하지 않는 경우로 인해 신호가 발진하게 된다. 증폭기의 미세한 발진은 왜곡으로써 작용하여 각종 스푸리어스(Spurious)를 발생하므로 원치 않는 주파수 성분에 의한 전력 소모를 통하여 고유주파수 이득과 전력을 감소시킨다. 또한 능동소자 출력의 대신호가 다시 입력단으로 유입되어 능동소자의 파손뿐만 아니라 시스템의 전체가 파손되는 경우가 발생한다. 이러한 발진을 방지하기 위한 근본적인 방법으로 되먹임 현상을 제거하면 되나 이러한 현상의 완전한 제거는 힘들다. 발진을 제거하는 일반적인 방법으로는, 되먹임 현상이 많이 발생하는 능동소자의 입·출력단에 직렬 또는 병렬로 저항을 삽입하여 미세한 발진신호를 전압강하를 통해 제거하는 방법과 인위적으로 손실값을 삽입하여 되먹임 시키는 직·병렬 부생제한법, 그리고 전원단의 잡음을 제거하기 위한 방법으로 많이 사용되는 바이패스 커패시터 이용법 등이 있다(강춘적부, 1997).

본 논문에서 제작된 전력증폭기의 경우도, 상에서 언급한 여러 가지 발진에 대한 방지 회로를 다양하게 구성하였으나 완전한 발진에 대한 방지는 어려웠다. 이러한 발진을 제거하기 위해 본 논문에서는 전파흡수체를 사용하여 발진을 제거함으로써 혼변조 신호의 감쇠와 능동소자의 고유특성을 최대한 이용함으로써 전력증폭기의 이득 및 IMD 특성이 개선되도록 하였다.

## 3. 전파흡수체 특성

전력증폭기 내에서의 이득 및 IMD 특성을 개선하기 위하여 사용한 전파흡수체는 메인 일렉콤사의 MEA - 150 - 600 - 210 - 300 모델로서 두께가 1.25 mm이며 크기가 155×200 mm인 전파흡수체를 사용하였다.

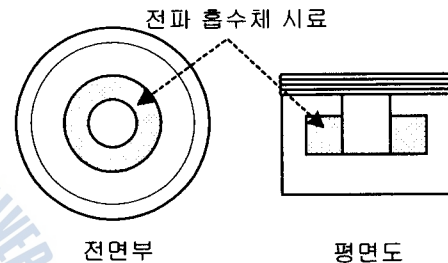


Fig. 1 Measurement method of the return loss

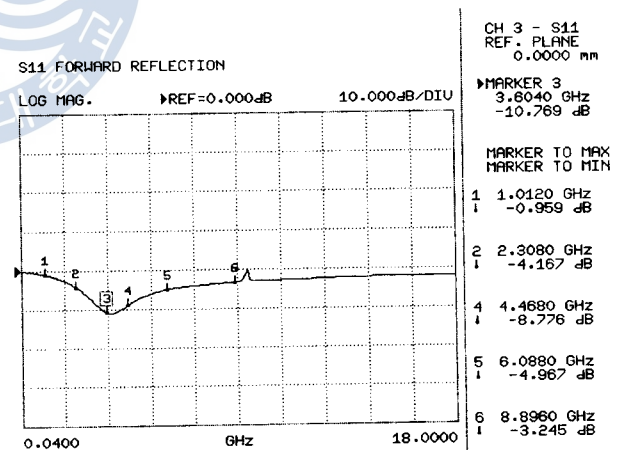


Fig. 2 The frequency band of microwave absorber

Fig. 1은 전파흡수체의 흡수능을 측정하기 위하여 Wiltron 사의 Sample Holder에 흡수체의 시료를 삽입하기 위한 홀더의 구성을 나타내었다. Fig. 2는 회로망 분석기를 이용하여 N-TYPE 커넥터 형태인 채널 1에 흡수체 시료를 부착한 후 흡수능을 측정한 것으로서, 0.04~18 GHz의 광대역에 걸쳐 측정 한 결과 3.6 GHz 대역에서의 흡수능이 -10 dB 이하이고 2.3 GHz 대역에서 -4 dB 이하의 측정결과를 보였다(김, 2003).

본 연구에서는, IMT-2000 기지국용 주파수에 일치하는 전파흡수체를 사용할 경우 전파흡수체에 의해 출력과 이득이 감

소되므로, 발전에 의한 잡음만을 제거하기 위해 전파흡수 대역이 사용주파수 대역보다 2배 높은 3.6 GHz 대역에서 흡수능이 가장 큰 전파흡수체를 선택하였다.

#### 4. 전력증폭기의 이득 및 IMD 특성 측정 방법

비선형 소자를 거친 신호는 소자의 비선형성으로 인해 출력단에 원하지 않는 신호가 발생하게 된다. 이와 같이 소자의 비선형 특성에 의해 입력에 없던 새로운 주파수 신호가 출력단에 나타나 상호 변조 왜곡 특성을 보인다. 현재 사용되고 있는 디지털 방식의 기지국이나 중계기에서 사용되는 전력증폭기와 같이 여러 채널의 신호를 하나로 결합하여 증폭하는 경우, IMD 특성은 중요한 요소로 작용한다. 본 논문에서는 상기에서 거론된 전파흡수체를 이용한 전력증폭기 특성을 비교 분석하기 위해 Fig. 3과 같이 Two-Tone 신호를 입력하여 전체 이득과 IMD 특성 측정시스템을 구성하였다(하, 2002), (Nick, 1988), (Kenington, 1988).

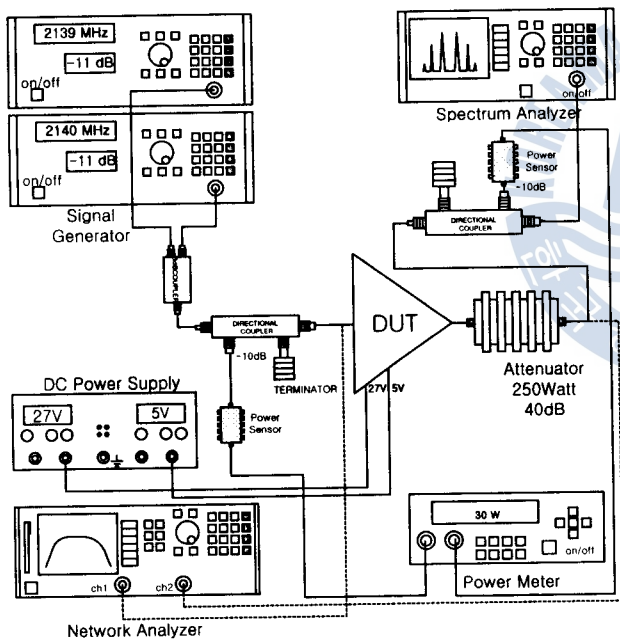


Fig. 3 The schematic of IMD measurement system

전력증폭기의 출력전력이 높을수록 출력단의 매우 작은 손실도 전력증폭기의 특성에 큰 영향을 주기 때문에, 일반적인 RF 시스템과 마찬가지로 전력증폭기의 측정을 위한 측정 장비의 Calibration은 매우 중요하다. 또한 고출력 전력증폭기를 측정할 때 계측기의 최대 입력 전력의 범위를 정확하게 파악하여 순간적인 전력증폭기의 출력에 의한 장비의 파손이 없도록 주의하여야 한다. 제작된 전력증폭기는 요구하는 출력전력 값보다 최대 8 dB 이상 높은 출력이 가능하도록 제작되었으므로, 실험 도중 장비에 손상을 가하는 경우를 대비한 주의를 염두에 두었으며, 또한 방열판과 팬을 이용한 방열 처리로 인한 증폭소자의 열 폭주 현상을 방지하였다. 측정에 사용된 신호

발생기(Signal Generator)는 Giga-tronics사의 6000 모델 2대를 사용하여 2.1390 GHz와 2.1400 GHz의 1 MHz 간격으로 2 tone 신호를 일킨스 전력결합기를 통해 전력증폭기의 입력단자로 인가하였다. 출력과형은 최종출력단의 검출기의 보호를 위해 40 dB 감쇠기(250 W)를 사용하여, 그 감소된 신호를 HP사의 8563E 스펙트럼 분석기를 통해 검출하였다. 또한 입력값과 최종 출력 값의 파워를 측정하기 위하여, 전력증폭기 입·출력 부분에 방향성결합기를 설치한 후 BIRD사의 5000 RF 디지털 파워미터를 사용하여 출력의 세기를 측정하였다(Cripps, 1999).

#### 5. 전력증폭기 특성

전력증폭기의 특성 실험을 위하여 2.11 ~ 2.17 GHz의 주파수 대역을 사용하는 IMT-2000 기지국용 30 W 전력증폭기를 설계 및 제작하였다. 전력증폭기의 구성은 트랜지스터 단일 소자로는 원하는 출력과 이득을 얻을 수 없으므로 전력분배기와 전력결합기를 이용하여 직·병렬로 구성하였다. 그리고 위상을 조절하기 위한 가변위상조절기, 가변감쇠기 등으로 구성하였으며, Fig. 4는 제작된 전력증폭기의 사진을 나타내었다.

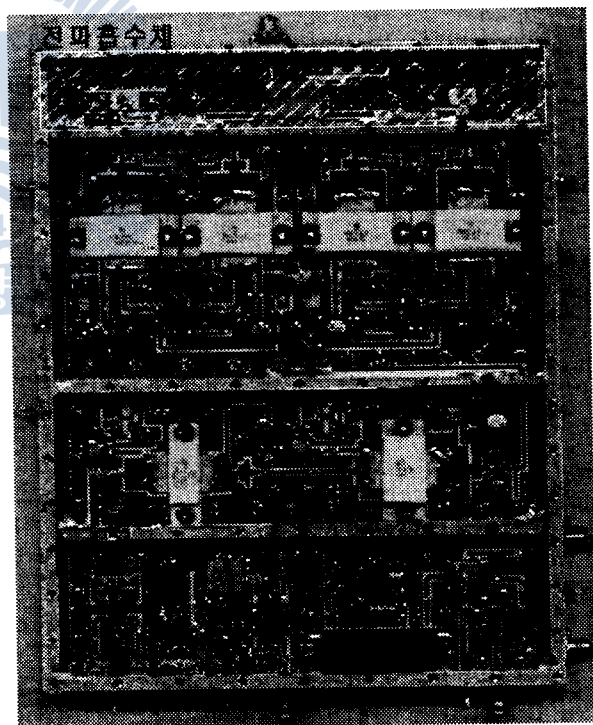
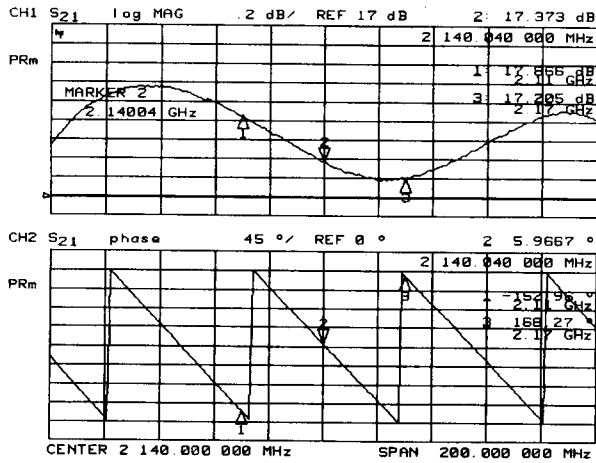


Fig. 4 The picture of fabricated Power Amplifier

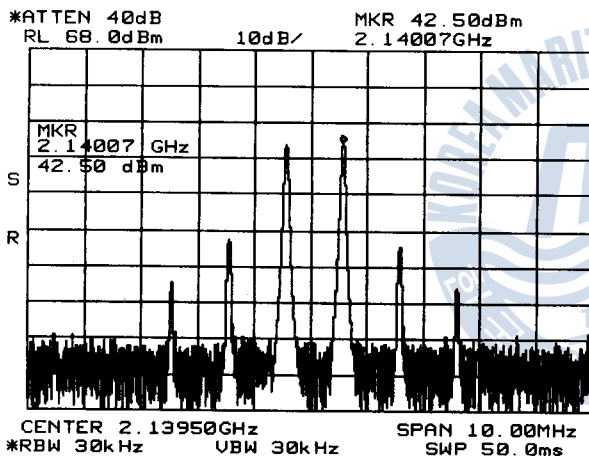
특성의 측정을 위해, 기존의 알루미늄 케이스를 덮은 후 입력단에 -11 dBm 세기의 Two-Tone신호를 인가하였으며, 스펙트럼 분석기와 회로망 분석기 및 파워미터를 이용하여 이득 및 IMD 특성을 측정한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5(a)는 전력증폭기의 이득과 위상특성을 측정한 그림으로, 이득은 57.37 dB(측정시 40 dB 감쇠기 부가)이상이 나타났으며, 이득 평탄도의 비교 용이성을 위해 눈금 간격을 0.2 dB로 세분화한

전중성, 김민정, 예병덕, 김동일

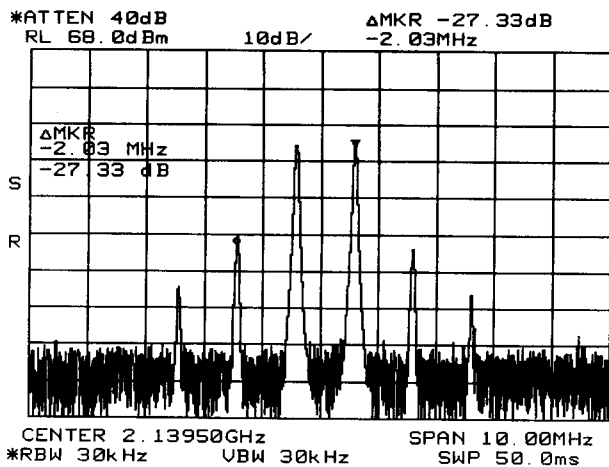
후 그 값을 측정한 결과  $\pm 0.33$  dB 로 나타났다. Fig.5(b), (c)는 출력과 IMD 특성을 보인 것으로 출력은 33.3 W 이며, IMD 특성은 27 dBc로 나타났다.



(a) The characteristics of gain and phase



(b) The characteristics of output power

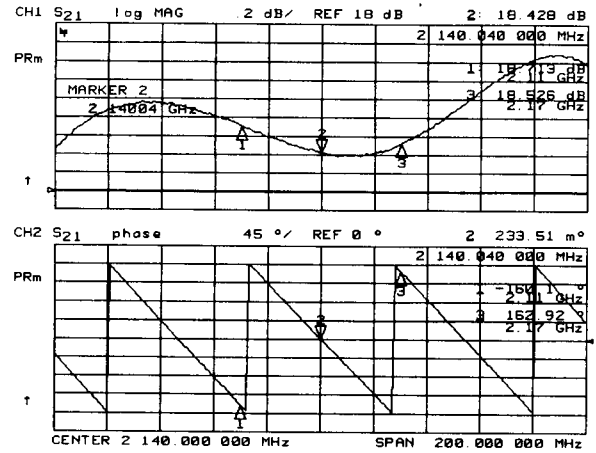


(c) The characteristics of IMD

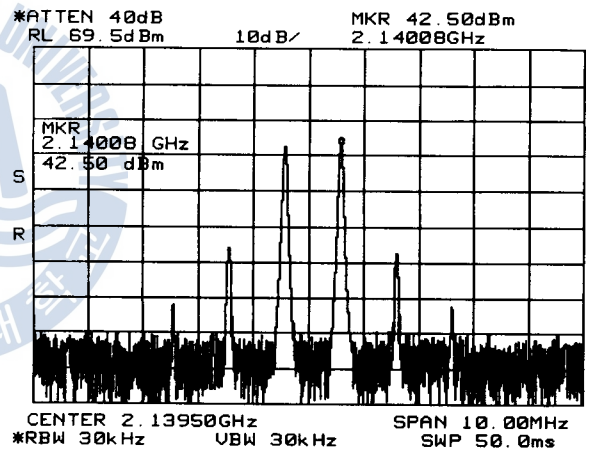
Fig. 5 The characteristics of gain, phase, output power and IMD on power amplifier

## 6. 흡수체를 사용한 전력증폭기의 특성

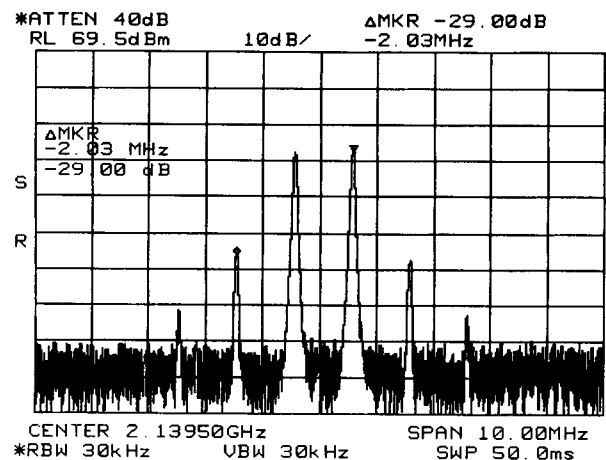
전력증폭기의 케이스에 흡수체를 부착하는 방법으로는 증폭기 전체에 흡수체를 사용하는 방법과 일부분을 사용하는 방



(a) The characteristics of gain and phase



(b) The characteristics of output power



(c) The characteristics of IMD

Fig. 6 The characteristics of gain, phase, output power and IMD on power amplifier using absorber

법으로 나누어 각기 측정을 시행하였다. 그 결과, 발진의 발생률이 가장 심한 고출력 결합부분에 Fig. 4와 같이 전파흡수체를 케이스에 부착하였다. 전력증폭기의 특성을 측정하기 위해 Fig. 3의 방법을 이용하였으며, 그 결과는 Fig. 6에 나타내었다. 이때 전력증폭기의 이득은 약 58.43 dB(측정시 40 dB 감쇠기 부가)이상, 이득 평탄도는  $\pm 0.0935$  dB 이며 출력이 33.3 W 일 때, 3차 IMD 성분은 약 29 dBc 로 나타났다.

## 7. 결 론

본 논문에서는 IMT-2000 기지국용 30 W 전력증폭기를 구현하였으며, 전파흡수체를 사용하여 발진에 의한 신호의 왜곡을 제거하여 이득평탄도 및 상호 변조 왜곡특성을 개선하였다. 사용된 전파흡수체의 흡수능은 3.6 GHz 대역에서 -10 dB 이하, 2.3 GHz 대역에서, -4 dB 이하로 측정되었다. 기존의 전력증폭기의 특성을 측정 한 결과 이득은 57.37 dB 이상, 이득 평탄도는  $\pm 0.33$  dB 였으며, 출력의 세기가 33.3 W 일 때 IMD 특성은 27 dBc 로 나타났다. 따라서 전력증폭기의 최종단인 고출력 전력결합기 부분에 전파흡수체를 부착한 후의 이득은 약 58.43 dB(측정시 40 dB 감쇠기 부가) 이상, 이득평탄도는  $\pm 0.0935$  dB 이며, 출력이 33.3 W 일 때 3차 IMD 특성은 약 29 dBc 로 나타났다. 측정 결과 전파흡수체를 사용하였을 경우와 사용하지 않았을 경우, 이득은 1 dB , 이득 평탄도는 0.3 dB, 그리고 IMD 특성은 1.77 dBc 가 개선됨을 확인하였다.

본 연구는, 전파흡수체를 사용함으로써 발진에 의한 잡음을 제거하여 전력증폭기의 이득 및 IMD 특성이 개선됨을 확인할 수 있었다.

향후 방향으로는, 전파흡수체의 두께 최적화 및 전파흡수대역의 조정 등을 통해 RF 전력증폭기의 출력 개선에 관한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다. 또한 이러한 전파흡수체의 사용을 통해 발진을 제거함으로써 혼변조 신호 현상을 개선하여 소자가 가지는 고유특성을 모두 이용한다면, 전력증폭기의 이득과 출력의 증대를 이룰 수 있고, 한편 전력증폭기의 소형화 및 소자의 고유 수명 등을 이용한 경제적 효과가 뛰어날 것으로 사료된다.

## 후 사

이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단(과제번호: KRF-200-005-E00016) 및 BB21의 지원에 의하여 연구되었음.

## 참 고 문 헌

- [1] 강촌적부, 정혜선역(1997), "노이즈 방지와 대책", 성안당
- [2] 김동일, 김수정, 옥승민, 송재만 (2003), "PCS 주파수대용 전파흡수체 개발에 관한 연구", 한국해양대학교 부설 산업기술연구소 논문집, 제 20집, pp. 35-40.
- [3] 박용희, 이경희, 강상기 (2002), "아날로그 Feedforward 선형화기를 이용한 IMT-2000대역 선형증폭기 설계", 전자공학회지, 제 39권, 제 6호 pp. 27-33.
- [4] 하성재, 홍의석 (2002), "고출력 전력증폭기의 선형화 기술", 전자공학회지, 제 29호, 제 4호, pp. 397-405.
- [5] B. Kenington(2000), "High-linearity RF Amplifier Design," Artech House Microwave Library.
- [6] D. Myer(1998), "Ultra Linear/Feedforward Amplifier Design", IEEE MTT-S Digest, pp. 1125-1127.
- [7] Heieh C., chan S.(1997), "A S-band high power feedback amplifier", Proceeding of IEEE MTT-S, pp.182-184.
- [8] Nick, Potheary(1988), "Feedforward Linear Power Amplifiers," Artech House.
- [9] S.C. Cripps(1999), "RF Power Amplifier for Wireless for Communications", Artech House.
- [10] Steve C. Cripps(1999), "RF Power Amplifiers for Wireless Communications Design," Artech House Microwave Library.
- [11] Y. Kim, Y. Yang, S. Kang and B. Kim(1998), "Linearization of 1.85GHz Amplifier Using Feedback Predistortion Loop", IEEE MTT-S Digest, pp. 1675-1677.

원고접수일 : 2003년 4월 17일

원고채택일 : 2003년 6월 11일