

고 전력 RF-Filter의 수동혼변조 저감방안에 대한 연구

박종철* · 이강훈** · 이영철**

Study on Passive Intermodulation Reduction for High Power RF-Filter

Chong-chul Park* · Kang-hoon Lee** · Young-chul Rhee**

요 약

본 연구에서는 고출력 RF 필터의 도금상태에 따른 수동혼변조왜곡(PIMD)을 측정하였으며 RF-filter의 PIMD를 저감시키기 위한 방안을 제시하였다. PIMD의 표준측정방안에 따라 Wibro 중계기용 고출력 RF-필터의 PIMD 특성을 측정하였다. Wibro용 고 전력-RF 필터의 설계에서 통과대역의 에지(edge)에서 삽입손실 및 지연 특성의 평탄도가 저하될 경우, PIMD의 발생되므로 본 연구에서는 고 전력 필터의 PIM을 감소시키기 위하여 필터의 내부 도금 재료의 종류와 방안을 제시하였다.

ABSTRACT

In this paper, the Passive Intermodulation Distortion(PIMD) of high power RF Filter is measured with filter inner coating materials and we suggest how to reduced the PIMD of RF filter coating methods. According to the standard measurement regulation by IEC, the Passive Intermodulation Distortion of Wibro relay high power filter are measured. We suggest the coating materials and coating methods of high power filter inner structure to reduce the PIMD generating by insert loss and worse flatness of filter delay in the design of Wibro high power filter efficiently,

키워드

Passive Intermodulation Distortion(PIMD), High Power RF Filter, Coating Materialsn and Methods

1. 서론

국내에서 개발한 Wibro 중계기에 사용되는 RF전단부(RF-Front End Module)에서 RF 전력증폭기의 PAPR 및 위상잡음, 고속스위칭 및 필터 등에 의한 왜곡현상에 의하여 많은 물리적인 현상이 발생되고 있으며 이러한 결과는 고속이동 중에 seam 현상의 유

발로 전송을 중단시키는 결과를 초래하기도 한다. 전송특성을 극대화시키기 위하여 RF-FEM(Front End Module)의 성능을 개선하는데 많은 연구가 진행되고 있다[1][2]. RF-FEM에서는 고출력 상태에서 기저대역 신호를 2.3GHz 대역신호로 송신/수신하여 기저대역신호로 변환시켜주는 기능을 수행하기 위하여 제어신호에 의하여 송수신 모드 전환기능으로 상향변환과 하

* (주) 웨이브텍
접수일자 : 2008. 10. 22

** 경남대학교 정보통신공학과
심사완료일자 : 2008. 12. 12

양변환기능을 포함하여 전력증폭단(PA), 고전력 RF-SW(High power RF-Switch), LNA, RF 믹서와 LPF/BPF의 필터류, I/Q 변복조기 및 AGC로 구성되며 고 안정 국부발진모듈(Stable Local Oscillator)로 구성되어 있다. 고출력을 나타내는 RF-FEM에서의 비선형 특성을 나타내는 주요 요인은 RF 증폭기의 비선형성에 의하여 능동 혼변조왜곡(Active Intermodulation distortion) 특성이 발생[3]하거나 필터 및 고전력 스위치의 연결하는 상태, 수동소자의 임피던스의 불일치 등으로 수동 혼변조 왜곡(Passive Intermodulation distortion)이 일어나 저대역 신호의 BER/SER(signal error rate)을 저하시킨다[4][5]. 특히 PIMD의 경우, 기존의 송수신단의 구성에서 필터의 문제가 크게 작용되고 있다. Wibro용 고전력 필터의 경우, 고 전력 스위치 및 증폭기 등과 개별적으로 접속되어 고 전력 부품간의 임피던스 정합이 완전하게 이루어지지 않는 경우 또는 필터의 대역폭이 넓은 경우, 통과 대역의 에지(edge) 부근에서 삽입손실 및 지연 특성의 평탄도가 급격히 나빠지며 특히 여러 가지 상황으로 불완전 임피던스매칭으로 효율저하와 필터의 전이 접속(transition)을 위한 동축케이블의 사용에 의한 PIM(passive intermodulation)의 발생되므로 본 연구에서는 고전력 필터의 PIM을 감소시키기 위하여 도파관 필터에 대하여 도파관 내에서의 도금현상에 의한 PIMD의 개선 관계를 연구하고자 한다.

2. 수동 혼변조왜곡 성분분석

고출력, 비선형 특성을 갖는 능동소자 또는 수동소자의 입력단에 식(1)과 같이 두 개의 신호가 합성된 신호 V_{\in} 가 입력되면

$$V_{\in} = V_1 \cos(2\pi f_1 t) + V_2 \cos(2\pi f_2 t) \quad (1)$$

능동 또는 수동소자의 비선형 함수를 다음 식(2)로 표현할 때

$$V_{out} = k_1 V_{\in} + k_2 V_{\in}^2 + k_3 V_{\in}^3 + \dots \quad (2)$$

출력 V_{out} 에 나타나는 신호성분은 본래의 두 신호성

분 f_1 및 f_2 이외에 $2f_1 - f_2$ 와 $2f_2 - f_1$ 을 제3차 혼변조 왜곡신호(3rd order intermodulation distortion)이라하며 식(1)을 식(2)에 대입하여, 제3차 혼변조왜곡신호 $2f_1 - f_2$ 성분의 크기를 구하면 다음식 (3)과 같다.

$$V_{IMD} = \frac{3}{4} [k_3 V_1^2 V_2] \cos 2\pi(2f_1 - f_2)t \quad (3)$$

이때 신호의 크기를 수동소자에 대하여 다음과 같이 고려할 수 있으므로 $V_{IMD} \approx V_1^2 V_2$ 이값을 전력으로 고려하면 수동혼변조왜곡 P_{IMD} 는 $P_{IMD} = P_1^2 P_2$ 가 되며 유사한 방법으로 $2f_2 - f_1$ 성분에 대하여 $P_{IMD} = P_1 P_2^2$ 의 우측 제3차 수동혼변조왜곡신호의 전력을 나타낼 수 있다. 이와 같이 능동 소자 또는 수동 소자의 비선형 특성에 의하여 나타나는 혼변조왜곡 현상을 그림으로 표현하면 다음 그림 1과 같다. 그림에서는 제5차 혼변조왜곡까지 나타내었다.

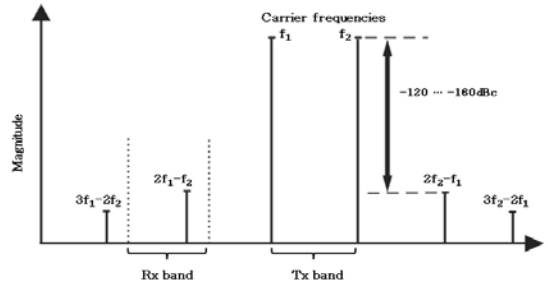


그림 1. 반송신호 및 혼변조왜곡신호에 대한 스펙트럼
Fig. 1 Spectrum of Intermodulation Distortion signals and carrier signals

3. Wibro RF-FEM시스템 및 필터의 PIDM

혼변조란 두 개 이상의 신호 주파수들이 서로 간섭 현상을 일으켜 원치 않는 기생 신호를 발생시키는 것으로 수동소자(Passive device)에서 나타날 때 PIMD 이라한다. PIMD는 인접 기지국간의 간섭이 증가하고 그에 따른 IMD 문제도 증가하고 있으며 근래까지 통신 시스템 구축에 있어 고려되지 않은 요소라 더욱 더 큰 문제를 야기 시키고 있다. 고출력 RF-FEM에서는 주파수 특성 및 균지연 특성이 개선된 필터부와

밸런스형 고전력 스위치를 사용한 스위치부를 저잡음 증폭기 및 기타의 구성요소들과 일체로 결합하여 통합형 모듈로 구성시키며 PIM을 없애기 위하여 기존의 개별 부품을 결합하는 제작 방식에 비해 임피던스 정합이 용이하고 혼변조 왜곡의 발생을 방지하며 크기를 소형화함과 동시에 제조원가를 크게 절감시킬 수 있게 설계한다. RF-FEM의 고전력 필터회로에서는 신호가 입력되는 전단에 구비된 등화기에 의해 고주파 신호의 리플 및 지연 특성을 개선시키며 후단에 접속되는 공진기들에 의해 휴대인터넷 시스템의 사용 주파수만이 저손실로 필터링 되어 출력된다. 필터 회로내에 등화기를 설계하여 등화기는 고주파 신호가 입력되면 서큘레이터에 의해 신호를 한쪽 방향으로만 통과시킨 후 적어도 하나 이상의 공동과 공진기에 의해 소정의 주파수 특성과 균지연 특성을 갖도록 공진시키도록 하며 이때 임피던스를 부성저항으로 전환시킴으로써 리플 특성 및 지연 특성의 기울기 곡선이 역이 되도록 하며 서큘레이터에 의하여 신호를 한쪽 방향으로만 통과시킨다. 필터의 공진 방식은 단락(shunt) 구조 또는 개방(open) 구조의 루프를 사용하며 필터의 등화기에서 서큘레이터와 공진기를 연결하는 선로들은 각각의 경로 길이에 따른 편차를 보상할 수 있도록 그 전기적 길이가

설정함으로써 공진기를 3중 또는 다중 배열함하여 다양한 주파수 특성 및 균지연 특성을 얻게 한다. RF

부품에서 PIMD 발생 원인은 접촉 비선형성(Contact Nonlinearity)과 재료 비선형성(Material Nonlinearity)으로 크게 구분할 수 있다. 이러한 수동소자에서 발생하는 PIMD의 경우, 그 발생영역이 모든 RF 경로 상에 있으며 예측하기가 무척 어려우며 특히 PIMD의 발생으로 왜곡의 크기가 심각할 경우, 예측하지 못했던 통화 품질의 저하와 seam까지 발생한다.

RF 부품의 PIMD를 낮추기 위하여 몇 가지 특허가 재료 및 구조 분야에서 최근에 제시되고 있다.

4. PIMD의 측정법의 표준화

RF 부품의 PIMD를 정확하게 측정하기 위하여 국제적 표준화 작업이 이루어지고 있으며, IEC 61843, IEC TC46 WG6에서 PIM 표준측정에 관한 기술을 제시하고 있다. WiBro용 RF 수동소자의 PIM을 측정하기 위하여 각 수동소자의 PIM을 개선할 수 있는 최적의 구조 및 재질을 찾고자 그림 2와 같이 Wibro PIM 측정 시스템을 구축하였다. 측정시스템을 표준화 방안 에 따라 그림 3에서와 같이 두 개의 신호원 2302MHz와 2325MHz를 신호세기 43.1dBm으로 입력시켜서 두 신호를 PA신호를 거쳐 증폭시킨 후 커플러와 분배기를 통하여 나타난 두 개 신호를 DUT(고전력 필터)에 입력시켜 나타난 PIMD를 측정하게 된다. PA신호

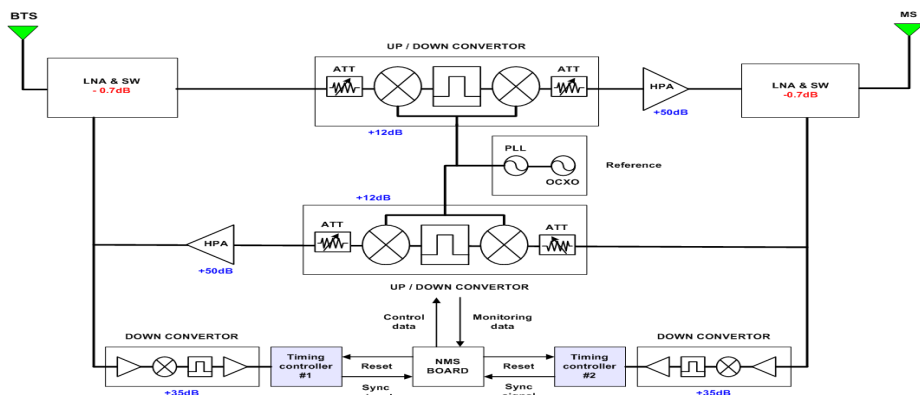


그림 2. 일반적인 WIBRO 중계기의 구성도
Fig. 2 Block diagram of Wibro relaystation

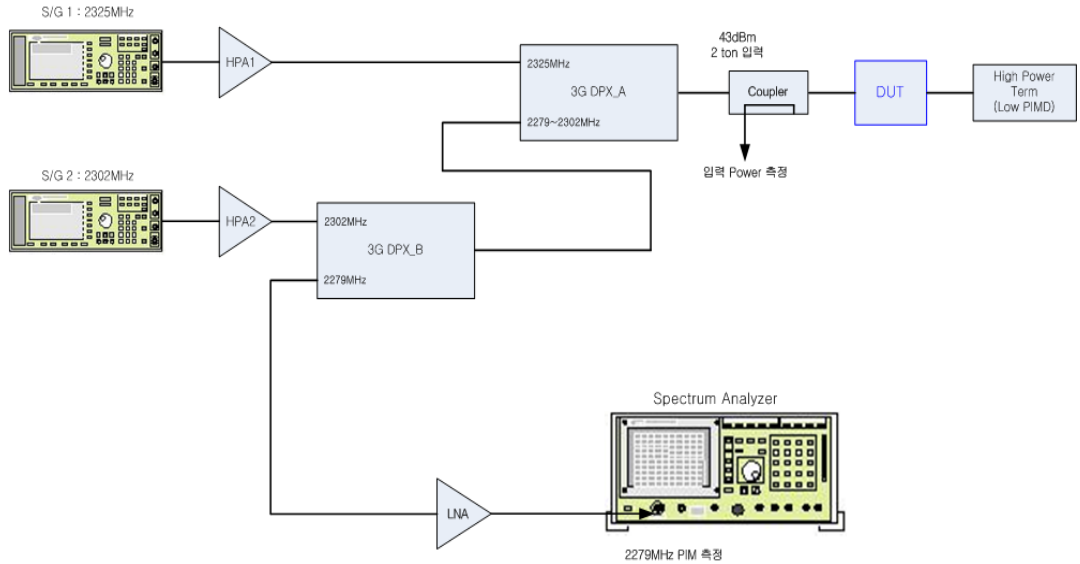


그림 3. 구축된 WiBro Band PIMD 측정시스템
Fig. 3 PIMD Measurement system of Wibro PIMD

를 거쳐 증폭시켰으며 커플러와 분배기를 통하여 나타난 두 개 신호를 DUT(고전력 필터)에 입력시켜 나타난 PIMD를 측정하게 된다.

표 1은 본 연구에 적용되는 WIBRO 중계시스템의 기술사양을 고려하여 PIMD를 경감시키기 위한 방안과 측정시스템을 제안하고자 한다. 본 PIMD 측정시스템의 DUT는 고전력 필터를 고려하였다. 고전력에 이용되는 RF-필터의 경우, 하우징을 하기 위해 기존에는 필터의 뚜껑을 결합하기 위해 용접이나 땀납을 이용할 경우, 조립이나 분해의 어려움이 발생하고 접합 점에는 균열이 일어나기 쉬워 이로 인하여 필터의 조립과정이 비정렬되었을 때에 PIMD가 발생되기도 한다. 본 연구에서는 이러한 고전력 필터의 외적인 요인에 의하여 발생하는 PIMD보다는 고 전력 필터의 설계 및 제작상에서 나타나는 PIMD를 저감시키는 방안을 모색하기 위하여 본 연구에서는 고 전력 RF-필터의 도금상태에 따른 PIMD를 측정하였다. 본 시스템에서 적용된 사양을 다음 표1과 같다.

RF 부품의 PIMD 발생원인은 서론에서 기술한 것과 같이 RF 경로상의 비선형 특성에서 기인되며, 재료에 의한 비선형 특성은 도금재료에 따라 PIMD수준을 나타낼 수 있다. 이러한 PIMD는 RF 경로상에

표 1. 고출력 필터의 PIMD측정 시스템 사양
Table. 1 Technical specification for measurement system of high power filter PIMD.

PIM 측정 [One Port Two Output]	
전송주파수	2300~2327MHz
PIMD 측정주파수	2279±3MHz
전력레벨	+15~44dBm
바닥잡음	up to -117dBm(max) at the 43dBm 2Ton
측정레벨	up to -160dBc(max) at the 43dBm 2Ton
크기	130×300×400 (mm)

자성체의 존재여부, RF 경로상의 매질의 전도성 우수여부에 따라 그 특성이 결정된다. 니켈의 PIMD 수준은 자성성분이 없는 금에 비해 PIMD가 증가됨을 쉽게 확인할 수 있다. 이것은 RF-필터의 설계 및 제작에 있어 비선형성이 매우 높은 자성체 재질을 RF 경로상에서 배제해야 함을 의미하며, 전도율이 높은 재질을 사용하여 RF 손실을 줄이는 것이 중요함을 의미한다.

표 2. 은도금 유무 조건별 Insertion Loss 및 PIMD EST(은도금 5 μ m 기준)

Table. 2 Insert loss and PIMD with coating materials

	공진재질	삽입손실		PIMD (dB)
			비교치	
Body 도금	Brass(도금)	0.44	비교치	148
Body 도금	Aluminum(무도금)	0.50	+0.06	145
	Stainless steel(무도금)	3.75	+3.31	93
	Brass(무도금)	0.58	+0.14	145
	Free cutting steel(무도금)	2.99	+2.55	95
Body 무도금	Aluminum(도금)	0.58	+0.14	127
	Stainless steel(도금)	0.67	+0.23	108
	Brass(도금)	0.61	+0.17	108
	Free cutting steel(도금)	0.60	+0.16	107

고 전력 RF-필터의 도금두께에 의한 PIMD 특성은 RF 경로상에 도금두께에 의한 비선형 특성이 결정되는 것을 의미하므로 RF 에너지가 충분히 안정된 매질은 통과하기 위한 도금 도금의 종류와 도금두께가 중요함을 설명해 주고 있다.

RF 부품의 도금에 사용된 기존 재료로 대표적인 것은 은을 많이 사용하나 은의 경우 경제적인 문제와 은 자체의 부식저항성 때문에 니켈을 대신 사용한다. 니켈이 경우, 낮은 가격과 높은 부식저항성을 가지지만 PIMD 값은 상대적으로 크게 나타나므로 은과 니켈의 단점을 보완하고 PIMD 저감시키는 방안에서 여러 가지 금속 물질의 도금방안이 제안되고 있으므로 본 연구에서는 표2와 같이 다양한 도금재질과 필터의 외형 및 공진기에 대한 재질의 도금과 무도금에서의 삽입손실과 PIMD를 측정하였다.

그림 5는 필터의 바디와 공진기를 도금하였을 때 측정된 PIMD를 스펙트럼 분석기로 측정된 값을 보여 주고 있으며 그림 6과 7는 공진기를 stainless steel과 쾌삭강(free cutting steel)으로 무도금했을 때 측정된 PIMD를 보여주고 있다.

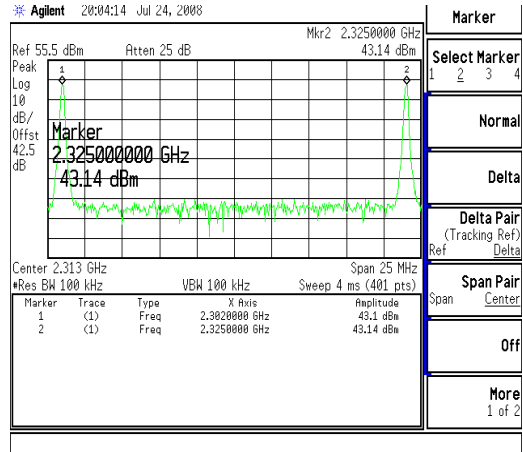


그림 4. 입력신호파형
Fig. 4 Input signals for PIMD of wibro filter

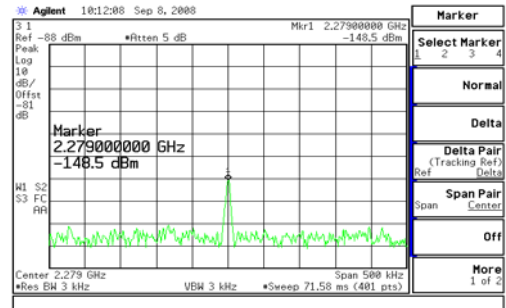


그림 5. Body(도금)공진기(Brass:도금)의PIM(148.5dBm)
Fig. 5 PIMD with body(coated),resonator (brass : coated)

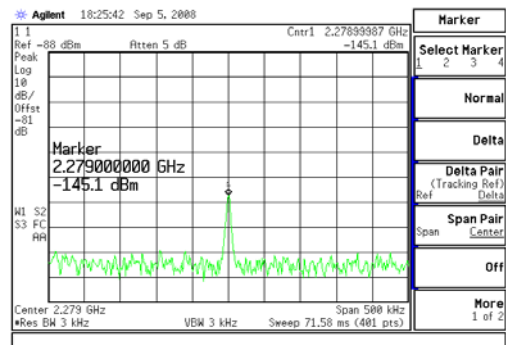


그림 6. Body(도금) 공진기(AL : 무도금)
Fig. 6 Body(coated),resonator (Aluminum : uncoated)

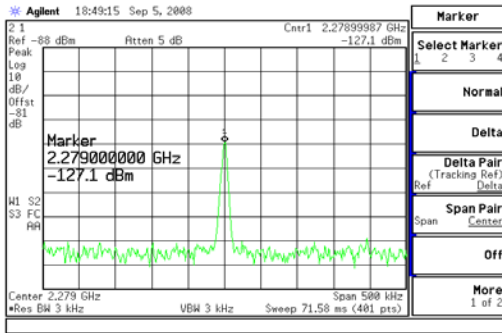


그림 7. Body(도금) 공진기(AL:도금)
Fig. 7 Body(coated), resonator(AL:coated)



그림 8. (a)제작된 wibro용 고출력필터
Fig. 8 (a) Designed Wibro high power filter

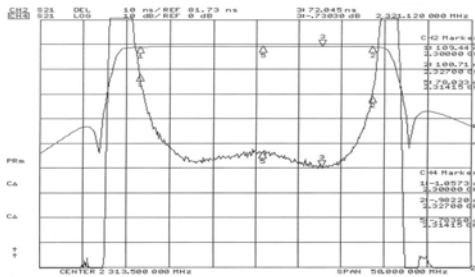


그림 8. (a)제작된 wibro용 고출력필터의 전송특성
Fig. 8 (a) Transmission characteristic of designed Wibro high power filter

표 2의 우측에 각종재질에 따른 RF_필터의 도금유무에 따라 측정된 PIMD를 보여주고 있으며 PIMD의 저감을 위하여 도금의 방안을 제시하고 있다. 그림8은 실제 제작된 Wibro용 고전력 RF-필터와 전달특성을 나타내었다.

5. 결론

고출력 RF-FEM에서의 PIMD는 고 전력, 좁은 주파수 간격의 추세에 따라서 이동통신 중계기 등에서 점차 중요한 문제로 대두되고 있으며 향후 RF 부품의 수출에 많은 지장을 초래할 수 있는 기술 항목이다. 본 논문에서는 고출력 RF-필터의 PIMD를 저감시키기 위한 방안으로 필터의 설계, 제작시에 적용되는 도금재질에 따른 PIMD의 측정으로 저감재질의 관계를 제시하였다. 국제 표준화 및 동향에 따라 RF_FEM의 설계할 때 PIMD의 저감기술을 적용하여 RF-FEM의 고품질화를 추진할 수 있다.

참고 문헌

- [1] Justin Henrie et al, "Prediction of Passive Intermodulation From Coaxial Connectors in Microwave B\Networks", IEEE Trans. on Microwave theory and Tech. Vol. 56, No. 1, Jan 2008, pp.209-216, 2008.
- [2] C.Vicente et al., "An Experimental Investigation on Passive Intermodulation at Rectangular Waveguide Interfaces", IEEE IMS-2006, pp.242-245, 2006.
- [3] Sami Hienonen et al, "Near-Field Scanner for Detection of Passive Intermodulation Sources in Base Station Antenna", IEEE Trans. on MTT Vol. 46, No. 4, pp.661-667, Nov. 2004.
- [4] P.L.Lui, "Passive intermodulation interference in communication systems", Electronic & Communication Engr. Journal, pp.109-118, June 1990.
- [5] V.Golikov et al, "Passive intermodulation distortion measurements in mobile communication antenna", IEEE-IMS 2001, pp.2623-2625, 2001.

저자 소개

박 종 철(Chong-chul Park)

1996.2 순천향대학교 전자공학과 졸업(공학사)
2000.8 순천향대학교 산업정보대학원졸(공학석사)
2008.11 현재 : (주)웨이브텍 기술연구소장
※ 주관심분야 : 마이크로웨이브 수동모듈,

이 강 훈(Kang-hoon Lee)

1996.2 경남대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1998.2 경남대학교대학원 전자공학과(공학석사)
1998.8 ~ 2000.4 : 에이스테크놀로지
2003.03 경남대학교 대학원정보통신공학과(박사수료)
2004.4 ~ 현재 스카이크로스 연구소장

이 영 철(Young-chul Rhee)

한국전자통신학회 논문지 제3권 제2호 참조
2008.11월 현 경남대학교 정보통신공학과 교수