

The Research for Passive IMD of Gas Tube Arrester

韓進旭[†] · 高鴻南^{*} · 郭鎮教^{*} · 中東周^{*}

(Jin-Wook Han · Hong-Nam Go · Jin-Kyo Kwak · Dong-Ju Shin)

Abstract - Resident mobile communication system technology has been developed. But, surged high voltages in antenna generally have damaged mobile communication. To solve this problem, we use an arrester in Rx-Tx line system. That is, the arrester is introduced to protect devices in system against considerable over-voltages or lightning strike. Currently, system protection using an arrester has arrived in a content level but these days, the PIMD(Passive Intermodulation Distortion) with RF passive components' nonlinear characteristic has appeared. This paper describes PIMD' causes occurred in arrester-estimated from Gas tube capsule, plating, temperature, and humidity by experiment.

Key Words : PIMD, Arrester, RF

1. 서 론

RF 수동부품의 비선형적 특성에 의해 발생하는 Passive IMD(PIMD)는 이동통신 시스템 상에서 정보신호의 왜곡과 손상을 일으키기 때문에 그 제어를 위해 많은 노력을 기울이고 있다. PIMD의 제어를 위해서는 발생하는 PIMD수준의 정확한 측정이 필수적이다 [1].

어레스터는 불시에 발생하는 낙뢰(번개)나 과전압으로부터 전자기기를 보호하기 위해 사용되는 소자를 말한다. 이는 DC 입력단 뿐만 아니라, RF송수신단간에서도 과전압에 의한 손상을 막기 위해 필요하다. 기본적으로 특정전압 이상의 신호가 들어오면, 소자의 Ground로 향하는 선로쪽이 저 임피던스로 변화되어 과전압 신호가 Ground로 향하게 하는 원리를 이용하여 전자기기를 보호한다. 현재 상용으로 널리 사용되고 있는 어레스터는 $\lambda/4$ Stub형과 불활성 기체의 방전효과를 이용하는 Gas Tube형으로 나뉜다. 본 논문에서는 Gas Tube형 어레스터의 PIMD에 대하여 연구하였다.

Gas Tube형 어레스터는 $\lambda/4$ Stub 위치에 불활성기체가 함유된 Gas Tube를 위치시켜 번개로부터 시스템을 보호하는 부품이다. 이는 $\lambda/4$ Stub형 어레스터가 좁은 주파수 대역에서 동작한다는 점에 비하여 2.5GHz까지 광범위한 주파수 영역에서 이용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 동작원리는 특정전압(Threshold Voltage)이하에서는 Open상태에 있는 회로가 특정전압 이상에서는 낮은 임피던스를 가지게 되어 Surge를 Ground로 가게 한다는 것이다. 이는 20 kA이상의 번

개 Impulse로부터 RF시스템을 보호하도록 한 것이다. 번개의 발생 빈도가 높은 곳에서는 시스템 보호를 위해서 어레스터를 자주 교체해 주거나 Gas Tube만을 교환할 수 있는 경우에는 주기적으로 Gas Tube의 교환을 해 주어야 한다. (그림 1)은 Gas Tube형 어레스터의 부품들을 보여주고 있다.

본 논문에서는 PIMD발생원인인 물리적인 접촉에 의해 유도되는 접촉 비선형성과 물질 비선형성을 어레스터에서 발생시킬 것으로 예상되는 Gas Tube의 유무, 핀의 재질 및 전체 부품의 도금, 온도와 상대습도 등의 변수가 PIMD에 미치는 영향을 실험적으로 확인하고 그 결과를 분석하였다.

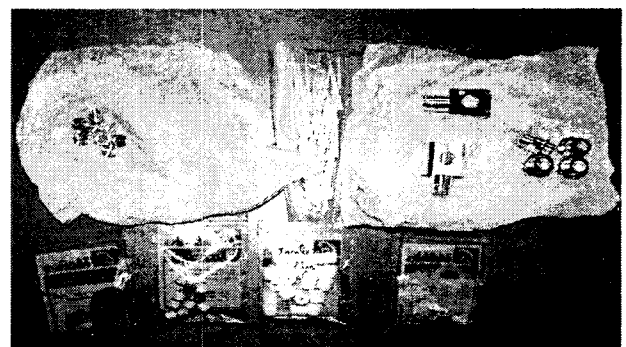


그림 1 RF Arrester의 부품
Fig. 1 Parts of a RF arrester

II. 실험 및 검토

Gas tube형 어레스터의 PIMD원인이 Gas tube가 갖는 비선형적 특성임을 확인하기 위하여 어레스터에 Gas tube가 있는 경우와 없는 경우에 대하여 실험하였다. 입력전력은 동일

[†] 교신저자, 正會員 : 정보통신부 전파연구소 이천분소 공업연구사
E-mail : jinwook@rrl.go.kr

^{*} 非會員 : 정보통신부 전파연구소 이천분소

하게 20W(43dBm)을 사용하였다. (표 1)은 DCS 대역 (송신 주파수 : 1,805 ~ 1,880MHz, 수신주파수 : 1,710 ~ 1,785MHz) 과 GSM 대역 (송신주파수 : 935 ~ 960MHz, 수신주파수 : 890 ~ 915MHz)에서 Reflect방법과 Forward방법으로 측정 한 결과이다. 실험에 사용된 계측기는 Summiteck사의 PIMD Analyzer를 이용하였다.

표 1 Gas Tube에 따른 PIMD값 변화.

Table 1 PIMD by Gas tubes

(단위 : dBc)

시 료	DCS대역 Forward				
	without gas tube	with gas tube1	with gas tube2	with gas tube3	with gas tube4
1	-146.377	-122.523	-122.923	-125.43	-123.236
2	-145.748	-123.473	-123.691	-125.667	-123.01
3	-145.315	-126.335	-124.168	-123.468	-122.527
4	-157.265	-126.133	-123.628	-124.885	-125.474
5	-156.113	-128.012	-121.855	-125.994	-125.879

시 료	DCS대역 Reflect				
	without gas tube	with gas tube1	with gas tube2	with gas tube3	with gas tube4
1	-146.757	-125.218	-122.192	-121.251	-122.801
2	-141.089	-125.854	-122.701	-123.067	-122.796
3	-143.659	-125.973	-120.737	-122.665	-124.933
4	-143.264	-125	-120.259	-121.723	-123.826
5	-142.77	-125.104	-122.696	-123.608	-123.48

시 료	GSM대역 Forward				
	without gas tube	with gas tube1	with gas tube2	with gas tube3	with gas tube4
1	-159.209	-131.739	-129.31	-130.507	-131.46
2	-152.117	-132.14	-129.261	-129.899	-131.634
3	-156.393	-131.817	-128.609	-130.545	-131.527
4	-154.104	-130.692	-129.287	-129.896	-131.316
5	-149.281	-132.755	-129.082	-129.591	-131.064

시 료	GSM대역 Reflect				
	without gas tube	with gas tube1	with gas tube2	with gas tube3	with gas tube4
1	-142.128	-134.107	-131.077	-132.132	-133.905
2	-143.843	-132.792	-131.042	-131.618	-132.917
3	-143.939	-133.933	-129.469	-131.318	-132.436
4	-144.52	-134.381	-130.378	-133.009	-133.937
5	-143.284	-132.138	-131.262	-130.293	-134.031

(표 1)에서 보여주듯이 Gas tube유무에 따라 PIMD값이 10dB이상 차이를 보여주고 있다. 이는 Gas tube capsule이 갖는 비선형적 특성에 의해 발생함을 알 수 있다. 어레스터의 핀(RF Core line)과 Gas tube전극이 서로 다른 금속으로 구성되어 있으므로 접촉 비 선형성이 발생한다. 접촉 비선형성으로는 금속 산화물에 의한 Tunneling Effect, 표면 오염물질에 의한 Microdischarge 현상, 접촉점에서의 높은 전류밀도,

비선형적인 접촉저항 등이 있다 [2]-[5]. 따라서 핀과 Gas tube전극의 동일 금속을 사용하여야 할 것이나 Gas tube 제조공정 중 열처리 문제로 인하여 이 또한 쉬운 문제는 아니리라 생각된다. 따라서 핀과 Gas tube 전극사이의 접촉면을 늘리는 것이 가장 좋은 방법이라 생각된다. (그림 2)는 GSM 대역에서 Gas tube유무에 따른 PIMD값의 변화를 보여주고 있다.

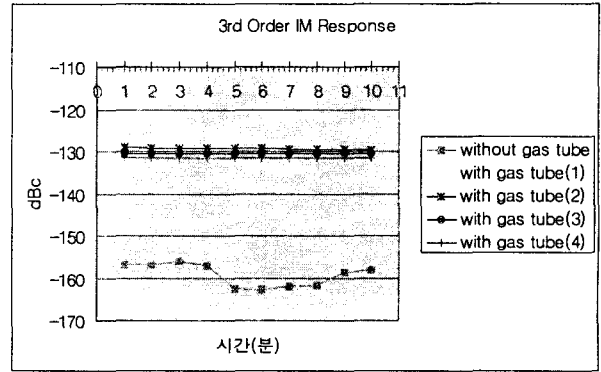


그림 2 Gas Tube에 따른 PIMD값 변화

Fig. 2 PIMD by Gas tubes

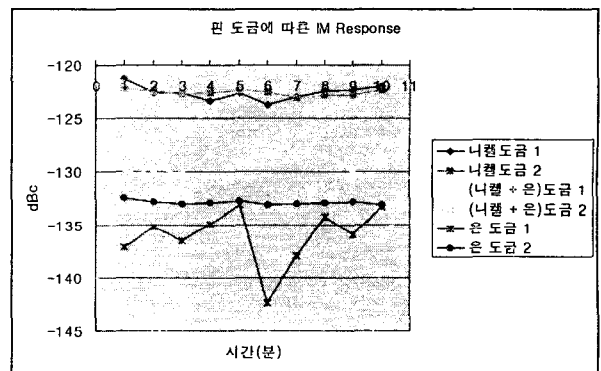


그림 3 핀 도금에 따른 IMD값 변화

Fig. 3 PIMD by Pin Plating

두 번째로 Gas tube형 어레스터의 PIMD의 원인으로 핀(Core line)도금에 따른 IMD변화를 실험하였다. 사용된 핀은 니켈도금, 니켈+은 도금과 은도금을 한 것이다. (그림 3)에서 보여주듯이 은도금, 니켈+은 도금, 니켈도금을 한 핀 순으로 PIMD성능이 우수하였다. 그러나 은도금은 시간이 경과되면 산화한다는 단점을 가지고 있으므로, 시간경과에 따라 PIMD의 성능이 악화되리라 예상된다. 따라서 이에 대한 개선책이 요구되며 앞으로 금도금 및 3중 합금도금에 대한 실험을 통하여 보다 성능이 우수한 핀의 도금재료를 얻는 것이 필요하겠다. 이는 물질 비선형성의 원인의 하나인 강자성체 물질의 히스테리시스 효과를 보여주는 것이다 [6]. PIMD는 자계 H(A/m)와 자속밀도 B(Wb/m²)의 비에 결정되는 투자율(μ)의 값이 전류의 흐름에 따라 비선형 특성곡선을 갖게되어 발생된다 [6].

세 번째로 어레스터의 Body 및 핀 모두를 니켈+은 도금 한 것과 은도금을 한 것에 대한 PIMD실험을 하였다. (그림 4)에서 보여주듯이 은도금을 한 어레스터의 PIMD성능이 더

우수함을 알 수 있었다. 그러나 이 결과는 위 실험에서 핀 도금에 따른 PIMD성능(약 5-10dB차이)이 이미 반영되어 있으므로 Body 도금에 대한 PIMD영향은 핀 도금에 대한 영향보다 더 작다는 것을 알 수 있었다.

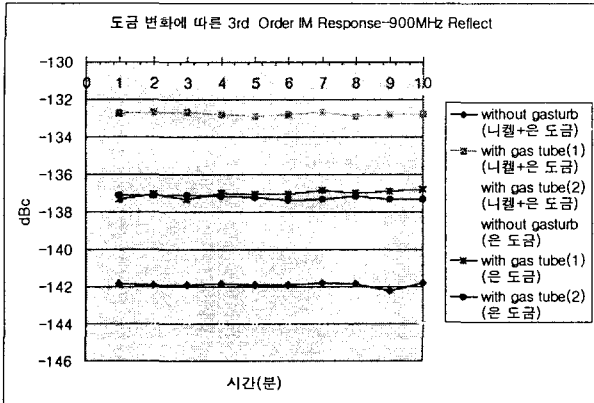


그림 4 어레스터 도금에 따른 IMD값 변화.

Fig. 4 PIMD by Arrester Plating.

네 번째로 측정온도 변화에 따른 Gas tube형 어레스터의 PIMD변화에 대하여 실험하였다. (그림 5)는 25℃에서 95℃까지 분당 1℃씩 상승시켰을 때 PIMD변화이다. 73℃와 82℃에서 Fluctuation현상이 있었지만 대체적으로 온도 상승에 따라 PIMD성능이 우수해짐을 보였다. (그림 6) 역시 25℃에서 영하45℃까지 분당 1℃씩 내려주었다가 다시 25℃로 올려주었을 때 몇 번의 Fluctuation 현상이 일어나기는 하였지만 대체적으로 저온으로 갈수록 PIMD성능이 저하됨을 알 수 있었다. 이는 전류의 흐름이 금속의 접촉을 통하여 이루어지는데 기인한 것으로, 그 접촉면이 수많은 점(spot)들로 이루어져 있고 접촉점이 많아야 PIMD값이 우수하다는 원리에 의해서이다. 즉, 온도가 올라갈수록 금속이 팽창하여 접촉점이 많아져 저항이 감소하고 온도가 영하로 내려갈수록 수축되어 저항이 증가함으로 PIMD값이 변화되는 것이다.

Fluctuation 현상이 일어나는 것은 금속의 전체저항 (식 1)과 각 접촉점에서 (식2)와 같은 전류밀도에 의해서 설명될 수 있다 [5].

$$R = R_b + R_c \quad (1)$$

여기서 R_b 는 금속의 선형저항이며 R_c 는 비선형인 Constriction resistance로 두 금속(계측기 Cable과 어레스터)의 접촉면에 접촉점이 형성된 곳에 전류들이 집중되는 Constriction현상을 유도하게 된다.

$$j = \frac{16\lambda}{I\pi\rho_0\alpha} \arctan^2\left(\frac{V}{2} \sqrt{\frac{\alpha}{\rho_0\lambda}}\right) \quad (2)$$

여기서 V 는 전압강하, α 는 저항의 열적상수, ρ_0 는 접촉면의 저항, 그리고 λ 는 열전도율이다.

(식 2)에서 보여주듯이 전류밀도는 접압, 온도, 면적 등 여러 외란에 의해서 변화하게 된다. 본 온도 실험의 경우, 한 접촉점에서 온도상승으로 전류가 집중됨으로 인해 Thermal

heating이 이루어진다. 이는 열전도율 λ 를 감소시키고 결과적으로 전류밀도의 비 선형적 변화를 증가시킨다. 따라서 (식 1)에 비선형적으로 작용하여 PIMD의 성능을 악화시키게 되는 것이다 [5]. 그러나 본 온도실험 결과에서 보여주듯이 온도가 상승됨에 따라서 오히려 PIMD성능이 우수해 지는 것은 한 접촉점에서는 온도상승으로 PIMD성능이 낮아질 수 있으나 열팽창으로 인해 접촉점의 수가 증가함으로 PIMD성능이 개선된 것으로 보인다. Fluctuation현상이 일어나는 것은 Thermal heating에 의한 갑작스런 PIMD 성능저하 현상으로 예측된다.

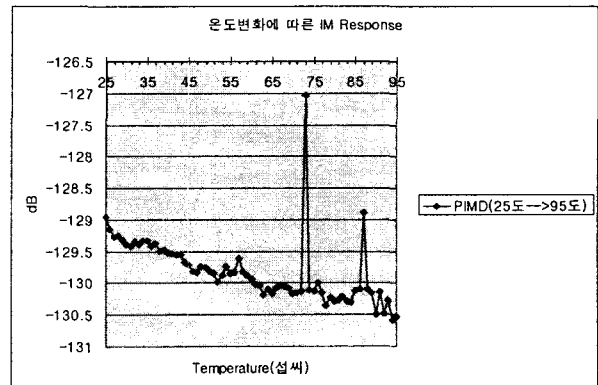


그림 5 온도변화(25℃→95℃)에 따른 IMD값 변화.

Fig. 5 PIMD by Temperature(25℃→95℃)

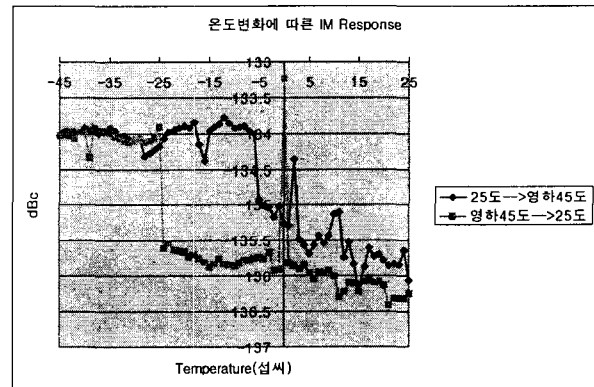


그림 6 온도변화(25℃→45℃, -45℃→25℃)에 따른 IMD값 변화.

Fig. 6 PIMD by Temperature (25℃→45℃, -45℃→25℃)

마지막으로 습도에 따른 PIMD의 변화를 (그림 7)과 (그림 8)에 나타내었다. 섭씨 25도 환경하에서 습도의 변화에 따른 PIMD값의 변화를 보기위해서 (그림 7)과 같이 20%에서 90%까지 습도를 변화시켰으나 특별한 변화는 감지할 수 없었다. 그러나 (그림 8)과 같이 어레스터를 습도 95%환경 하에 방치해 두었을 때에는 시간이 지남에 따라 어댑터의 접촉면에 수분침투가 발생되고 산화층이 형성되어 microdischarge 현상, tunneling효과 등의 비선형적 현상이 발생되어 PIMD값이 저하되는 것을 알 수 있었다. 그러나 다시 섭씨 25도 습도 30% 환경이 되었을 때에는 PIMD값이 다시 우수해 졌다. 이를 통하여 볼 때, 수분이 많은 환경 하에서는 Oil-Ring 등

수분침투를 막을 수 있도록 설계가 되어야 할 것이며 최소한 접촉면에 수분이 침투하지 못하도록 강한 힘으로 연결부위를 조여 주어야 할 필요성이 있다.

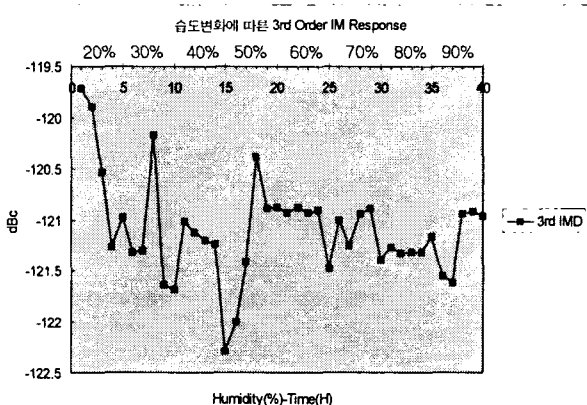


그림 7 습도변화(20%→90%)에 따른 IMD값 변화.
Fig. 7 PIMD by Humidity(20%→90%)

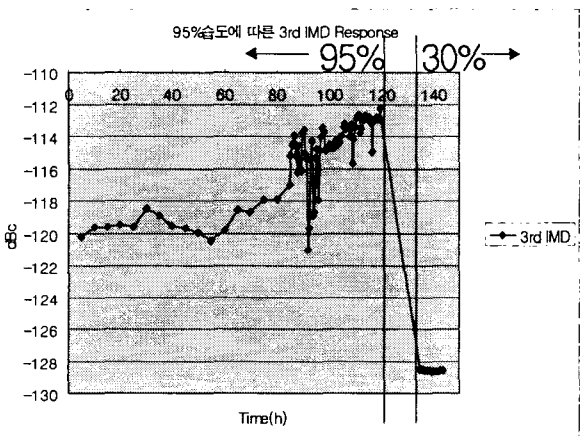


그림 8 습도(95%)에 따른 IMD값 변화.
Fig. 8 PIMD by Humidity(95%)

III. 결 론

본 논문에서는 불시에 발생할 수 있는 낙뢰(번개)나 과전압으로부터 전자기기를 보호하기 위해 사용되는 어레스터 중 넓은 주파수 대역에서 사용할 수 있는 Gas tube형 어레스터의 PIMD의 발생원인을 알아보고 이에 대하여 Summiteck사의 PIMD Analyzer을 이용하여 여러 가지 실험을 하였다.

실험결과 어레스터에서 가장 크게 PIMD에 영향을주는 것은 Gas tube의 유무에 있었다. 또한 PIMD의 성능에 영향을 미치는 요인으로 핀의 재질, 도금, 온도와 상대습도 등이 있었다.

참 고 문 헌

[1] J. King, "Intermodulation in coaxial connectors", RF

Tutorial, Sept. 1996.

[2] E. Wibel and Ulf Hugel, "Tests Evaluate the Influence of Junction on PIM", Microwave & RF, Aug. 1998.
[3] P. L. Lui, "Passive intermodulation interference in communication system", Electronics & Communication Engineering Journal, Jun. 1990.
[4] In-Kui Cho, Jin Tae Kim, Myung Yung Jeong, Tae-Goo choy, and Young Il Kang, "Analysis and optimization of passive intermodulation in microwave coaxial cavity filters", ETRI J., Vol. 25, No. 2, pp. 133-139, Apr. 2003.
[5] 정석현, 김진태, 조인귀, 정명영, 이성재, "접촉 비 선형성의 변화에 따른 RF부품의 Passive IMD특성", 한국전자과학기술회 종합학술대회 발표회 논문집, Vol. 10, No. 1, pp. 171-174, 2000.
[6] 조인귀, 이재화, 안승호, 최상국, 정명영, 최태구, "RF 커넥터의 Passive IMD에 관한 연구", 한국전자과학기술회 논문지, 제11권 제2호, pp. 268-277, 2000

저 자 소 개



한진욱(韓進旭)

1973년 4월 3일생. 1997년 전북대학교 제어계측공학과 졸업. 2002년 동 대학원 전자공학과 박사수료, 1998년~1999년 동 대학 전자·정보공학부 조교, 1999년~2000년 서남대학교 및 전북기능대학교 시간강사, 2000년~2004년 한국전자통신연구원 연구원, 2004년~현재 정보통신부 전파연구소 공업연구사

Tel : 031-644-7476, Fax : 031-644-7475

E-mail : jinwook@rrl.go.kr

고홍남(高鴻南)

정보통신부 전파연구소 이천분소 교정담당

곽진교(郭鎭敎)

정보통신부 전파연구소 이천분소 기술과장

신동주(申東周)

정보통신부 전파연구소 이천분소 분소장