

가속수명시험을 이용한 RF SAW 듀플렉서의 수명예측

김 영 구[°], 김 태 홍^{*}, 강 상 기^{**}

Lifetime Prediction of RF SAW Duplexer Using Accelerated Life Testing

Young-Goo Kim[°], Tae-Hong Kim^{*},
Sang-gee Kang^{**}

요 약

본 논문에서는 RF SAW 듀플렉서에 대하여 가속 수명시험을 설계하고 수명예측방법에 대하여 제시하였다. 가속수명시험설계 시 가속스트레스는 RF 입력 전력으로 정하고 삽입손실이 0.5[dB] 증가하는 기간을 듀플렉서의 수명으로 정의하였다. 듀플렉서의 수명 예측결과는 85℃ 주위온도와 30[dBm] RF입력전력에서 약 82,900시간으로 추정되었다.

Key Words : SAW Duplexer, Reliability,
Accelerated life testing, Lifetime
Prediction

ABSTRACT

In this paper, we designed the accelerated life testing(ALT) and presented the lifetime prediction method of the RF SAW duplexer. We determined RF input power as an accelerated stress when designing an accelerating life testing and defined the lifetime of the duplexer as the period during which the insertion loss increased by 0.5[dB]. Lifetime prediction results of duplexer was estimated for 82,900hours at an ambient temperature of 85℃ and RF input power of 30[dBm].

I. 서 론

최근의 무선통신 시장은 전 세계적으로 급격히 성장하고 있으며, 이에 따라 무선통신 시스템에 사용되는 다양한 RF 부품에 대하여 성능뿐만 아니라 높은 신뢰성을 요구하고 있다. 이러한 RF 부품의 국산화 및 해외시장 진출 시 해외제품들과 경쟁할 수 있는 제품경쟁력 강화를 위해서는 높은 신뢰성 있는 제품개발이 우선되어야 하며, 이러한 부품들의 고장원인이 되는 스트레스에 따른 신뢰성을 평가할 수 있는 시험 시스템개발과 시험결과를 분석할 수 있는 기술력이 있어야하지만 국내 RF 부품산업에서 신뢰성 평가기술은 아직도 매우 열악한 실정이다.

이에 본 논문에서는 소형, 경량, 집적화 등이 용이하여 다양한 무선통신 단말기 및 소출력 중계기 등에 많이 사용되어지고 있는 무선통신시스템의 핵심부품인 내전력 향상을 위해 개발된 Al-Cu 합금전극과 Ti를 적층한 4-레이어 다층구조를 갖는 CDMA시스템용 국산 RF SAW 듀플렉서의 수명예측을 위하여 다양한 부품의 수명예측에 많이 적용되고 짧은 시간 내에 수명-스트레스 관계식을 사용하여 사용조건에서 수명을 추정하는 가속수명시험을 설계하고 시험결과 데이터를 분석하여 수명예측을 하였다.^[1,2]

II. 가속수명시험설계

가속수명시험은 사용조건보다 가혹한 스트레스 수준에서 시험하여 시험시료의 고장을 가속시키고, 가속 조건에서 관측된 고장데이터를 분석하여 수명을 추정하는 시험으로 수학적인 정의는 식 (1)과 같다.

$$T_d = AF \times T_a \quad (1)$$

여기서, T_d 는 사용조건에서의 수명, T_a 는 가속조건에서의 수명, AF (Acceleration Factor)는 가속계수이다.

가속수명시험에서 가속성이 성립하기 위해서는 첫째, 사용조건과 가속조건에서의 고장메카니즘이 일치하면서 둘째, 동일한 고장모드로 가속되어 위 식 (1)을 만족하여야한다.

RF SAW 디바이스의 고전력 스트레스에 의한 주요고장모드는 IDT(Inter-Digital Transducer)전극의

[°] First and Corresponding Author : Electronics and Telecommunications Research Institute, kyg63491@etri.re.kr, 정회원

^{*} Electronics and Telecommunications Research Institute, thkim@etri.re.kr, 정회원

^{**} Kunsan National University Department of Information and Telecommunication Engineering, sskang@kunsan.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2014-08-320, Received August 25, 2014; Revised September 17, 2014; Accepted September 17, 2014

단락, 단선 및 Burn-out이며, 고장메카니즘은 IDT의 다결정구조의 입계(grain boundary)에 void와 Hillock 과 같은 결함이 발생하는 Electromigration이며, Electromigration의 확산에 따라 IDT전극이 파괴되어 삽입손실을 증가시키는 것이다³⁾.

본 논문에서는 이러한 고장메카니즘의 재현성을 바탕으로 그림 1과 같이 가속수명시험절차에 의해 표 1과 같은 조건으로 RF 입력전력 스트레스에 따른 내전력 가속수명시험을 설계하였다.

표 1에서 듀플렉서의 시험주파수는 CDMA수신대역 내 849MHz로 하고 고장판정기준은 삽입손실의 0.5[dB]증가하는 것으로 정하였다. 가속스트레스는 RF 입력전력으로 결정하였고 가속스트레스 범위는 스텝스트레스 예비시험에서 입력전력이 39[dBm]에서 고장이 발생하여 표 1과 같이 결정하였다. 또한, 신뢰성 있는 수명예측을 위해서는 각 조건에서 최소 3개 이상의 시료를 사용해야하므로 각 스트레스 조건 별

시료 수는 4개씩 결정하였다.

III. 데이터분석 및 수명예측

RF SAW 듀플렉서의 내전력 가속수명시험결과 표 2와 같으며, 시험결과를 가지고 데이터 분석을 통해 수명예측을 하였다.

가속수명시험을 통해 사용조건에서의 수명을 추정하기 위해서는 가속수명시험 모형이 필요하며, 이모형은 가속수명시험조건에서 데이터를 분석하기 위한 수명분포와 가속조건에서의 신뢰성정보를 사용조건으로 외삽하기 위한 수명-스트레스 관계가 필요하다. 본 논문에서의 수명분포는 와이불(Weibull) 분포를 이용하여 분석하고 수명-스트레스 모형은 RF 고전력 및 온도스트레스에 따른 고장메카니즘에 따라 열에 의한 화학적 열화반응과 전기장에 의한 가속에 사용되는 식 (2)와 같은 아이링모델(Eyring)을 적용하였다⁴⁾.

$$\tau = \frac{A}{T} \exp\left[\frac{B}{kT}\right] \quad (2)$$

여기서, τ 는 고장시간, A 와 B 는 상수, k 는 볼츠만 상수= 8.617×10^{-5} eV, T 는 절대온도이다. A , B 는 재료의 물성과 구조, 고장메카니즘, 시험 방법 등에 따른 상수이다.

가속수명시험에서 가속계수는 사용조건에서의 수명과 가속조건에서의 수명의 비로 정의되며, 본 논문에서 사용된 아이링 모델과 가속계수의 관계식은 식 (3)과 같다.

$$AF = \left(\frac{T_a}{T_d}\right) \exp\left[\left(\frac{B}{k}\right)\left(\frac{1}{T_d} - \frac{1}{T_a}\right)\right] \quad (3)$$

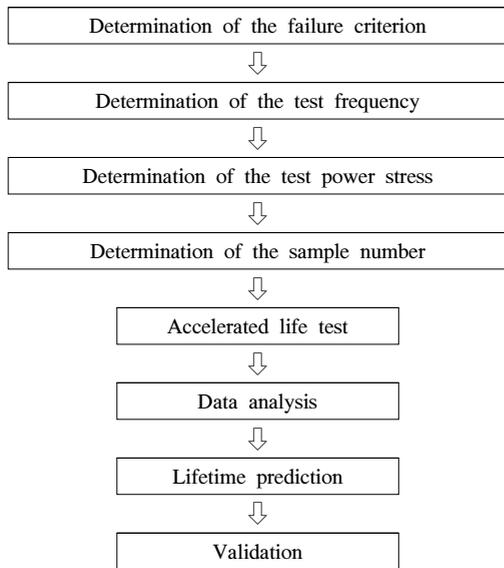


그림 1. 가속수명시험절차
Fig. 1. Accelerated life test procedure

표 1. 가속수명시험 조건
Table 1. Accelerated life test conditions

Item	Test condition	Unit
Test frequency	849	[MHz]
Power stress	36.5, 37.5, 38.5	[dBm]
Sample number	12	
Ambient temperature	85	[°C]
Failure criterion (Insertion loss)	0.5	[dB]

표 2. 가속수명시험 결과
Table 2. Accelerated life test Results

Power Stress	Failure time(hour)	Temperature
36.5[dBm]	164.6	Ambient 85[°C]
	148.2	
	137.6	
	168.9	
37.5[dBm]	70.7	
	73.5	
	63.3	
	66.8	
38.5[dBm]	34.3	
	33.8	
	29.5	
	36.3	

여기서, AF 는 가속계수, B 는 상수, k 는 볼츠만 상수= $8.617 \times 10^{-5} eV$, T_a 는 사용조건에서의 수명, T_s 는 가속조건에서의 수명이다.

데이터분석, 수명예측 및 유효성검증은 상용소프트웨어인 Reliasoft사의 ALTA PRO 6.5를 이용하여 분

석하였다.

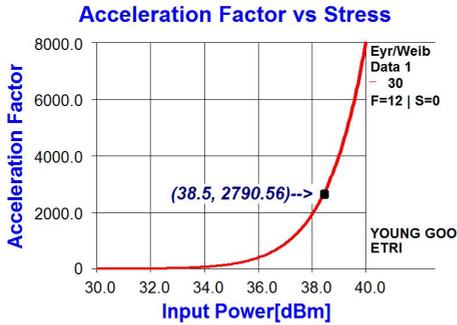
그림 2(a)는 시험입력전력에 따른 가속계수를 나타낸 것으로 38.5[dBm] 가속스트레스 조건에서 실제 사용조건인 30[dBm]의 약 2,790배 정도의 가속스트레스를 의미하며, (b)는 가속시험결과를 바탕으로 수명-스트레스 관계를 분석한 그래프로 90% 신뢰수준, 30[dBm] 스트레스에서의 수명은 82,900시간으로 추정되었다. 그리고 (c)는 가속수명시험의 수명분포의 유효성을 검증하는 확률 분포로 각 시험조건의 분포 추정선이 평행하게 나타나므로 가속성이 성립한다고 할 수 있으며, (b)결과와 같은 수명결과를 나타낸다.

IV. 결론

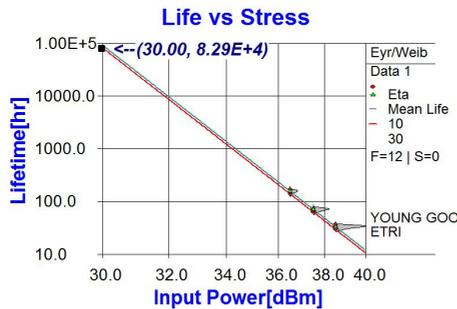
본 논문에서는 RF 입력전력 스트레스에 의한 RF SAW 듀플렉서의 가속수명시험을 설계하고, 신뢰성 분석을 통해 수명예측을 수행하였다. 수명예측결과 내 전력 향상 시험시료의 수명은 90%신뢰수준에서 82,900시간으로 추정되었다. 본 논문의 RF 입력전력 스트레스에 대한 가속수명시험 설계 및 수명예측방법은 다양한 RF 부품에 대하여 적용할 수 있을 것이다.

References

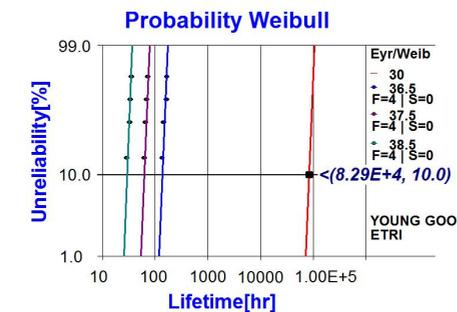
- [1] M. Pekarcikova, et al., "Investigation of high power effects on Ti/Al and Ta-Si-N/Cu/Ta-Si-N electrodes for SAW devices," *IEEE Trans. Ultrasonic, Ferroelectrics, and Frequency Control*, vol. 52, no. 5, pp. 911-917, May. 2005.
- [2] Y. Ebata, M. Koshino, O. Furukawa, and S. Ichikawa, "Stress-migration analysis on SAW duplexer," in *Proc. IEEE Ultrasonic Symp. 2000*, pp. 5~8, San Juan, USA, Oct. 2000.
- [3] Y. G. Kim, T. H. Kim, S. G. Kang, and I. G. Choi, "A study on the reliability analysis of SAW device," in *Proc. KICS Summer Conf. 2010*, pp. 718, Jeju Island, Korea, Jun. 2010.
- [4] H. Endicott, B. Hatch, and R. Sohmer, "Application of the eyring model to capacitor aging data," *IEEE Trans. Component Parts*, vol. 12, no. 1, pp. 34-41, Mar. 1965.



(a)



(b)



(c)

그림 2. 가속수명시험 데이터 분석 결과 : (a) 가속계수, (b) 수명예측, (c) 와이블 확률분포
Fig. 2. Data analysis results of accelerating life testing : (a) Acceleration factor, (b) Lifetime prediction, (c) Weibull probability distribution