

## 고온저장시험에 의한 RF SAW Filter의 고장분석

김영구<sup>o</sup>, 김태홍, 유종준  
한국전자통신연구원\*  
kyg63491@etri.re.kr

### Failure Analysis of RF SAW Filter by High Temperature Storage Test

Young-Goo Kim, Tae-Hong Kim, Jong-Jun You  
Electronics and Telecommunication Research Institute

#### Abstract

To investigate failure analysis of surface acoustic wave (SAW) filter for radio frequency, high temperature storage test was carried out. The failure criteria were insertion loss at passband and rejection level at stopband. As a result, the insertion loss at passband increase about 4 dB was due to damages of interdigital transducer (IDT). That is caused by poor adhesion between metal electrode(Al) and piezoelectric substrate and defects on a manufacturing process. This result indicates that good adhesion between electrode and ceramic substrate is important factor. And also we investigated the damage factors of electrode. Screen possible of saw filter using high temperature storage test(HTOL) in the manufacturing phase be presented

Key words : Surface acoustic wave filter, Interdigital Transducer, High Temperature Storage Test

#### I. 서론

SAW 필터는 30~2500 MHz에서 동작하는 RF 아날로그 부품이다. SAW 필터는 양산성, 경제성, Q-factor, 전기적 특성, 외형 크기 등 이러한 측면에서 다른 필터들에 비해 우수성을 나타낸다. 근 10여년에 걸쳐 전세계적으로 무선통신시장의 수요는 급속히 증가하고 있는 추세이며, 단말기는 사용자의 환경에 부응, 즉 사용의 편의성을 만족시키기 위해서 복잡다기능화, 경박단소화, 고성능화가 지속적으로 추진되고 있으며 적용부품에 대하여도 예외는 아니다. 그와 더불어 SAW 필터의 시장 또한 발전에 발전을 거듭하여 지금에 와서

는 없어서는 안될 부품으로 단말기의 성능을 좌우하는 중요부품중의 하나가 되었다. SAW 필터는 지속적으로 소형화 되고 있다. 신뢰성은 기기, 부품, 재료 등 시스템이 규정된 조건하에서, 의도하는 기간동안, 규정된 기능을 고장없이 발휘할 확률이다. 이러한 신뢰성의 필요성은 무한경쟁시대에 대응하여 타사제품이나 국외제품과의 경쟁력을 키우기 위해 그리고 개발, 생산, 시험에 드는 막대한 시간과 설비 및 경비를 줄이며, 극단적인 상황에서 고장이 나지 않는 완제품개발을 위해 또한 증가되고 있는 제조물책임(Product Liability ; PL)법률 등에 적극대응하기 위해서 신뢰성의 필요성은 계속적으로 증가하고 있는 추세이다.<sup>[1]</sup>

본 논문에서는 이러한 취지에 따라 국의 무선 전화기에 적용되는 RF SAW 필터를 가지고 고온 저장시험을 실시하였다. SAW 필터의 주요 RF특성을 가지고 고장판정기준을 결정하고 열스트레스에 의한 전기적인 RF특성의 변화를 단속적으로 측정하여 고장 선별된 부품에 대하여 어떠한 고장 모드를 가지고 있는지를 시험해 보았다.

## II. 본론

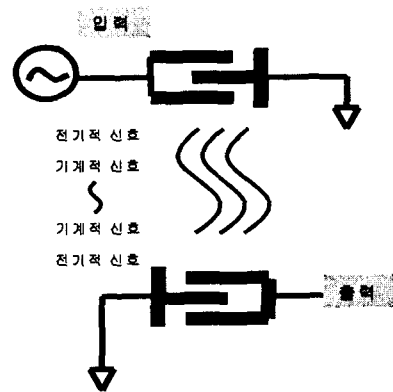
### 2.1 SAW 필터 이론

SAW 필터의 기본구조는 [그림 1]과 같으며, 입력변환기에서는 전기적인 에너지를 기계적인 에너지로 변환하여 전송선로를 이용하여 전송을 하고 원하는 주파수대역에서 필터링하여 전기적인 에너지를 출력한다. 중심주파수결정은 [그림2]의 (a)등가회로를 갖는 입력 IDT (Inter-Digital Transducer)를 선폭 및 간격 결정등 적절히 배치하여 원하는 특성을 얻을 수 있으며, 재료인자인 압전기판의 선택에 의해 SAW의 속도는 결정되며, 설계인자인 반도체 리소그라피 공정상 미세선 폭 구현 능력에 의해 IDT 주기, 선폭 및 간격이 결정된다. 대역폭의 결정은 압전기판 종류와 전기기계결합계수 그리고 IDT 전극지 개수에 의해 결정된다. 임피던스는 압전기판의 유전율과 핑거 오버랩 길이에 의해 결정된다.

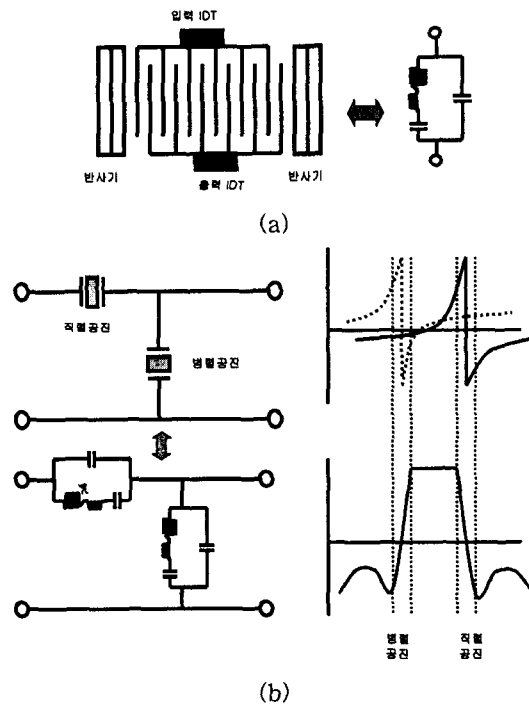
일반적으로 RF SAW 필터를 설계하는 기법에는 크게 Ladder 회로형 필터기법과 이중모드 SAW(Double Mode-coupled SAW; DMS) 필터기법이 있다. 본 논문에 사용된 SAW 필터는 Ladder 회로형 필터기법에 의해 설계된 것으로 Ladder형 필터는 1포트 공진기들의 직,병렬 결합에 의한 복합형 필터로써 IDT주기가 각기 다른 직렬 공진기의 공진주파수와 병렬공진기의 반공진주파수를 근사시킴으로써 전기유향적 커플링 유도원리를 이용한다. 병렬공진과 직렬공진의 공진주파수를 달리 설정하면 [그림3]의 b와 같이 두 공진 포인트가 통과대역을 이루게 된다. 필터의 저지대역 및 Shape Factor, 통과대역내의 리플등을 개선하기 위하여 직,병렬 결합을 다양하게 연결 또는 내부 인자로 조정한다.<sup>[2][3]</sup>

### 2.2 SAW 필터의 고온저장시험

고장 메커니즘은 크게 우발고장 메커니즘과 마



[그림 1] SAW Filter 기본원리 설명



[그림 2] Ladder 필터의 등가회로 개요도

모고장 메커니즘으로 크게 분류된다. 우발고장 메커니즘의 경우에는 단일 부하에 의하여 고장이 발생하는 것으로, 재료가 시간에 따른 열화가 없다는 것을 전제로 하며, 마모고장 메커니즘의 경우는 시간경과에 따른 부하축적으로 인한 고장을 말한다. 본 실험에서는 <표 1>와 같이 고장판정기준을 결정하였다.

고장판정기준은 SAW 필터가 RF 수동부품 이므로 RF의 중요특성 중 <표 1>와 같이 정하여 기준

치를 벗어나는 경우를 고장으로 정하였다. SAW 필터의 고장모드와 가속성이 성립하는 온도조건의 한계에 대한 정보를 얻기 위하여 10개의 시료를 사용하여 온도 150℃에서 250℃까지 20℃씩 올려가며 10단계의 스텝스트레스시험을 실시하여 특성을 측정하였다.

<표 1> 시료의 고장판정기준

항목	시험 조건	MIN	TYP (25℃)	MAX	UNIT
Center Frequency			915		MHz
Bandwidth		$f_0 \pm 13$			MHz
Insertion Loss	$f_0 \pm 13$	-	3.0	3.2	dB
Ripple Level	$f_0 \pm 13$	-	1.0	1.5	dB
Rejection Level	DC-800MHz	30	30		dB
	800-880MHz	35	39		

측정결과 170℃까지는 거의 열화 되지 않았으며 250℃에서는 모두 열화특성을 보였으므로 열스트레스의 범위를 170℃보다는 높고 250℃보다는 낮게 결정하였다.

시험방법은 고온저장시험을 이용하여 스트레스를 열로 선택하여 정상사용 조건보다 높은 온도 조건에서 장시간 방치하면서 단속중단시험방법으로 단속적으로 24h, 48h, 96h, 168h, 500h에서 RF 특성을 측정하였다. 시험온도 및 시료수는 180℃, 200℃, 220℃ 에서 각각 20개의 시료를 시험하였다.

2.3 시험결과 및 고장분석

시험결과는 <표 4>와 같으며, 고장시료의 경우 [그림 4]와 같이 삽입손실이 측정시간에 따라 열화되는 것을 확인할 수 있었다. 삽입손실의 경우 고장판정기준 보다 최대 약 5 dB정도의 차이를 보였고 중심주파수 또한 10 MHz정도 이동되었으며, 제거부분의 레벨은 큰 변화가 없었다.

<표 4>의 시험결과는 모두 24시간 후에 측정된 결과 불량시료가 나타났으며, 그 이후 시간에는

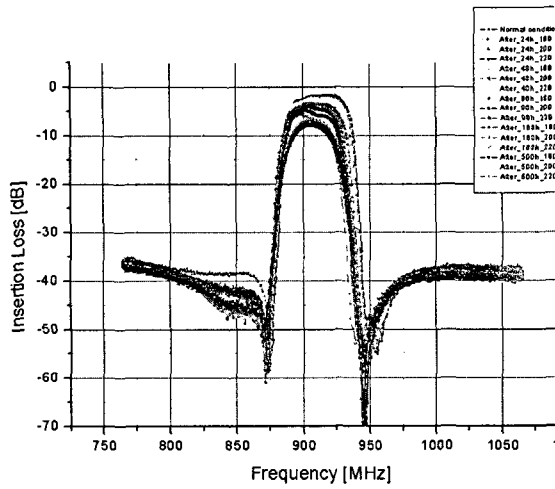
더 이상의 불량시료는 발생하지 않았다.

고장판정된 SAW 필터의 고장원인은 열스트레스에 의하여 알루미늄 금속전극인 IDT의 변화에 따른 삽입손실의 열화특성을 나타낸 것으로 추측하였다. 고장분석은 패키지를 개방하여 압전기판 위의 IDT 패턴을 광학현미경을 이용하여 고배율(200배)로 확인하였으며, 고장부분의 정확한 고장원인을 알아내기 위해서 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, SEM)을 이용하여 관찰하였다.

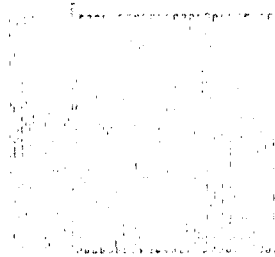
광학현미경의 확인결과는 [그림 4]와 같다. [그림 4]에서 보는 바와 같이 열스트레스에 의해 고온에 따라 IDT 패턴이 단락과 단선된 것을 볼 수 있다. [그림 4] (c)의 고장난 부분을 SEM을 이용하여 6,000에서 10,000배율로 관찰한 결과 [그림 5]와 같으며, 이러한 고장원인에 대하여 몇가지로 분석해 보았다. [그림 5]의 (a)의 경우는 열가속 스트레스에 의해 열적 과부하가 걸려 열적 성능 규격 이상에서 동작할 때 발생하는 것으로 원인은 금속회로의 전극을 구성하는 알루미늄 금속과 압전기판 사이의 흡착력이 약한 부분이 열팽창계수의 차이에 의해서 열스트레스가 가해지면 금속전극이 파손되는 것이다.<sup>[4]</sup> (b)의 경우는 공정단계에서 어떤 미진이나 기공과 같은 결점을 지니고 있던 시료가 고온의 스트레스로 팽창을 하여 알루미늄 전극 IDT패턴을 밀어내거나 파손시킨 것으로, SAW 필터의 반도체 제조공정에서 IDT 금속전극인 알루미늄을 증착하는 단계와 웨이퍼클리닝 단계에서의 미진 또는 기공과 같은 약 지름 3 um정도의 결점들이 주원인으로 생각된다. 이러한 원인들에 의해 IDT와 반사기의 전극패턴이 파손되어 단락과 단선으로 인하여 위에서 언급한 것과 같이 삽입손실을 크게 하고 중심주파수를 이동시키는 등 RF 특성열화를 가져와 <표 1>과 같이 고장판정기준을 벗어나는 고장의 결정적인 원인이 된다.

<표 2> 시험결과

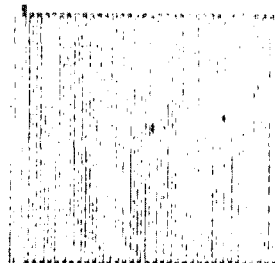
온도(℃)	시료수(개)	양품수(개)	고장수(개)
180	20	17	3
200	20	11	9
220	20	10	11



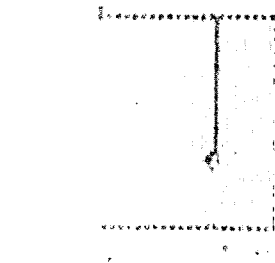
[그림 3] SAW 필터의 삽입손실 측정결과



(a) 180°C

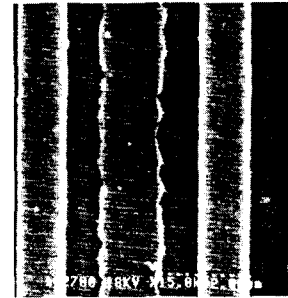


(b) 200°C



(c) 220°C

[그림 4] SAW 필터의 삽입손실 측정결과



(a)



(b)

[그림 5] SAW 필터의 삽입손실 측정결과

#### 2.4 HASS

일반적인 HASS(Highly Accelerated Stress Screen)와 HALT(Highly Accelerated Life Test)는 설계단계와 생산단계에서 높은 신뢰성을 빠르게 성취하는데 도움을 줄 수 있다. HALT는 설계 단계에서 설계와 관련된 문제를 줄이는데 도움이 되며, HASS는 생산단계에서 초기불량의 수를 줄이는데 사용된다. HASS시험에서 스트레스 타입에는 Vibration, Thermal, Electric Stress 등이 있으며, 범위, 주기, 유지시간등이 있으며, HALT 시험에서 얻어진 자료를 기초로 한다.<sup>[5]</sup>

<표 2>의 시험 결과 고장난 시료는 모두 24시간 후 단속측정 시에 발생한 것으로 그 이후 500시간까지 모든 양품은 안정적인 특성을 보였다. 이러한 시험결과는 초기고장을 판별할 수 있는 하나의 방법으로 고온저장시험을 이용할 수 있다는 가능성을 보였다. 고온시험과 동일한 고장모드로 온도스트레스를 주는 다른 시험에서도 동일한 고장모드가 나타난다면 양산단계에서 Screen에 적용할 수 있을 것이다.

### III. 결론

본 논문에서는 고온저장시험을 통하여 SAW 필터의 열스트레스에 의한 고장모드를 확인하였다. 시험결과 SAW 필터의 주요고장모드로는 알루미늄전극인 IDT와 반사기의 단락과 단선에 의해서 SAW 필터의 중요한 RF특성인 삽입손실이 커지고 중심주파수의 이동을 확인할 수 있었다. 고장원인분석결과 원인은 크게 두 가지로 요약할 수 있다. 첫째, 알루미늄금속전극과 압전기판사이의 흡착력이 약한 부분이 열스트레스로 인해 열팽창계수의 차이에 의해서 금속전극의 파손되는 것이다. 둘째, 공정단계에서의 미진이나 기공과 같은 결점을 가지고 있던 부분이 고온에 의한 팽창으로 금속전극이 파손되는 것이다. 고온저장시험결과 양산단계에서 짧은 시간에 불량제품을 선별할 수 있는 HASS시험방법의 한 방법으로 고온저장시험을 SAW 필터에 적용할 수 있다는 가능성을 보였다.

### 참고문헌

- [1] 이만형, "개인 휴대단말시스템용 표면탄성파 필터의 동향", 한국전자파학회지, 41~49, 2003.7
- [2] OU, H.H., Inose, N, Sakamoto, N, "Improvement of Ladder-Type SAW Filter Characteristics by Reduction of Inter-Stage Mismatching Loss", IEEE ULTRASONICS SYMPOSIUM, 97~102, Oct 1998
- [3] M.FELDMANN, J.HENAFF, Surface Acoustic Wave Devices and Signal Processing, Artech House, 1988
- [4] Joachim W, Lothar Berger, "Materials Issues of SAW Sensors for High-Temperature Application", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL.48, NO. 2, APRIL 2001
- [5] Mike Silverman, "Summary of HALT and HASS Results at an Accelerated Reliability Test Center", PROCEEDING Annual RELIABILITY and MAINTAINABILITY Symposium, 1998