

---

# SPUDT와 양방향 변환기를 직렬 연결한 SAW 필터

유 일 현\*

A SAW filter fabrication of the series connected SPUDT type filter with bidirectional transducer filter

Ilhyun, You\*

## 요 약

표면 탄성과 필터 적절한 임피던스 정합 조건도 얻고자 단상 단방향성 및 양방향성 변환기형 필터를 제작하였다. 그리고 경사진 빗살무늬 변환기 형태인 표면 탄성과 필터 제작하기 위하여 Langasite 기판위에 빗살무늬 전극들을 형성시켜 모의실험을 수행하였으며, 전극재료로는 Al-Cu를 사용하였다. Langasite 기판위에 형성시킨 단상 단방향성 필터의 전극 수는 50쌍, 두께는 5000 Å 으로 하였으며, 반사기 폭은 3.6 $\mu\text{m}$ 이고 전극 폭과 전극과 반사기 사이의 간격은 각각 1.2 $\mu\text{m}$ 로 하였다. 양방향성 필터에서는 전극 폭과 간격은 각각 1.8 $\mu\text{m}$ 로 하였다. 제작한 필터의 임피던스 정합 후 주파수 특성에서 중심 주파수는 190MHz, 대역폭은 5.3MHz정도로 측정되었으며, 리플 특성은 0.3dB 이하이고, -20dB 정도의 삽입손실이 측정되었다.

## ABSTRACT

We have studied to obtain the properly conditions about impedance matching of the SAW filter for the SPUDT type and the bidirectional transducer type filter. And we have studied to obtain the SAW filter for the Slanted Finger Interdigital Transducer(SFIT), was formed on the Langasite substrate and was evaporated by Aluminum-Copper alloy and then we performed computer-simulated by simulator. In case the SPUDT, we have employed that the number of pairs of the input and output IDT are 50 pairs and the thickness and the width of reflector are 5000 Å and 3.6 $\mu\text{m}$ , respectively. And the of the bidirectional transducer, the width of IDT' fingers and the space between IDT' finger and reflector is 1.8 $\mu\text{m}$ , respectively. Also, we have performed to series connected the SPUDT type with the bidirectional transducer type filter. The frequency response of the fabricated SAW filter has the property that the center frequency is about 190MHz and bandwidth at the 3dB is probably 5.3MHz after when we have matched impedance. Also, we could obtain that ripple characteristics is less than 0.3dB and insert loss is probably -20dB after when we have matched impedance.

## 키워드

Single Phase Unidirectional Transducer : SPUDT, Slanted Finger Interdigit Transducer :SFIT, Bidirectional Transducer

## I. 서 론

기저국용 필터는 IF필터와 RF필터로 구분되고 있지만, RF필터는 송수신단의 간섭을 피하면서 타 신호의 간

섭을 제거하는 방법이 필요하며, IF단의 SAW 필터는 삽입손실이 -20 dB ~ -25 dB정도 된다. 그리고 SAW 필터의 단점인 regeneration에 의하여 miss-matching 현상도 야기시킨다[1,2,3]. 이러한 결과는 시스템 상에서 AMP의 성

능을 떨어뜨리는 결과를 가져오게 되고, 이러한 단점을 보완하기 위하여 1980년 후반에 Single Phase Unidirectional transducer (SPUDT)를 개발하게 되었다[4]. 그러나 FIR type의 SPUDT의 설계는 withdrawal weighting 방식으로 설계하게 되므로 ultimate rejection (UR)에 많은 문제를 가지게 된다. 따라서 기지국용 필터는 -50dB이하의 UR을 요하므로 보통은 Apodization weighting으로 필터를 설계한다. 그러나 Apodization weighting 방법은 weighting이 연속적이어서 UR이 매우 좋으나 전극의 겹침이 변화되므로 low loss를 위한 SPUDT 구현이 매우 어렵다. 이를 보완하기 위하여 많은 설계자들은 1980년 초부터 Slanted Finger Interdigital Transducer(SFIT)를 연구하게 되었다. 그러나 SPUDT의 구현이 가능하고 diffraction이 작은 장점을 가지고 있다 [5,6].

본 연구에서는 정확한 필터 구현을 위한 시뮬레이터를 개발하였으며, 신호에 의한 회절현상을 최소화하기 위하여 Langasite 기판 위에 SPUDT형 필터를 제작하였다[7]. 제작한 필터의 전체적인 전극형상은 SFIT전극 구조를 갖도록 하였으며, 전극모양은 위쪽 직경(aperture)이 아래쪽 직경보다 적은 사다리꼴 형태를 갖도록 하였다.[7,8]. 아울러, SPUDT 전극구조와 유사하지만 반사기가 없는 형태를 갖는 양방향성 변환기(Bidirectional transducer)를 제작하였다.

또한, 앞서 언급한 SPUDT형태를 한 전극구조와 양방향성 변환기 필터에서 사용한 전극구조를 직렬로 결합시킨 또 다른 형태의 SFIT형 필터도 제작하였다.

## II. 이론적인 배경

빗살무늬 변환기에서 전극의 기본 구조는 전극의 폭이 적어짐에 따라 고주파 발전을 한다. 이러한 전극 구조는 통과대역의 리플이 큰 단점을 가지고 있지만 data 용량이 작은 장점을 가지고 있다. 또한 이러한 형태의 전극 구조는 음파의 산란이 매우 커 필터의 통과대역 리플이 매우 크게 된다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 전극 설계를 함에 있어 통과 대역의 리플을 조절하는 기술이 필요하며, 또한 stopband의 attenuation을 크게 하여야 한다. 이는 각 채널의 직경(aperture)을 조절할 수 있는 설계 기술을 필요하게 한다.

기본적인 SFIT에서 각 채널의 직경  $A_i$

$$A_i = \frac{fl fh \Delta f}{(f_i^2 + f_i \Delta f)(f_h - f_i)} A_0 \quad (1)$$

여기서  $fl$ ,  $fh$  각각은 가장 낮은 주파수와 가장 높은 주파수의 cut off주파수이다.  $A_0$ 는 최대 경사(tilt)각에 의하여 결정된 SFIT의 직경이다.  $\Delta f = f_{i+1} - f_i$ 는 근접 채널의 주파수 차와 같다.

그러므로  $\Delta f = (f_h - f_i)/S$  여기서  $S$ 는 채널 수이다. 기본적인 SFIT 필터는 중심주파수  $f_i$ 와 직경  $A_i$ 는 각각의 채널에서 변하게 된다. SFIT의 각 채널의 weighted aperture는

$$AA_i = A_i \cdot w(f_i) \quad (2)$$

이다.

Weighting 함수  $w(f_i)$ 는 다음과 같은 과정을 통하여 계산할 수 있다. 기본적인 SFIT의 amplitude의 응답은 각 채널에서 중심주파수에 대응되는 모든 주파수  $f_i$ 에서 계산할 수 있다.

error 함수

$$\epsilon(f_i) = \log |H_d(f_i)| - \log |H_c(f_i)| \quad (3)$$

이다. 여기서  $|H_d(f_i)|$ 는 amplitude response이다. 보통 parallel finger의 곡선 SFIT pattern을 그리는 데에는 매우 복잡하다.

이러한 구조의 장점은 임의의 필터모양을 구현하는데 용이하고, 모델링이 용이하다. 그러나 통과대역이 넓으면, 각각의 IDT는 옆 전극에 닿게 되어 공정이 매우 어렵고, 전극의 Pairs수가 많아질수록 많은 채널 수가 필요하게 되어 필터를 제작하기가 어렵게 된다. 이러한 단점을 보완하고자 Quasi-slanted와 Channel slanted IDT 형태가 제시되었다.

### III. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1. 전극 설계(SPUDT형 필터)

실험에 사용할 단상단방향성(SPUDT) 및 양방향성변환기(Bi-directional transducer)에 장착할 IDT전극은 박막기술을 사용하여 Langasite 기판 위에 형성시켜 제작하였다. 습식세정 및 플라즈마 세척을 한 기판 위에 전극 재료로는 Al-Cu 합금을 사용하였으며, 150 °C에서 DC magnetron sputter를 이용하여 증착하였으며, 두께는 5000 Å으로 하였다.

이때, 표면탄성과 필터 제작에 사용하기 위한 고정밀도의 사진식각용 포토마스크는 설계된 변환기 전극 제원으로부터 CAD 설계에 의하여 전자주사선을 이용하여 0.05µm이상의 정밀도로 제작하였다. 이와 같이 제작된 마스크를 사용하여 반도체 제조공정 중 하나인 사진식각 방식에 의해 Langasite 기판위에 전극을 형성하였다. 아울러 Langasite 기판에 적절한 IDT 구성 조건을 찾기 위하여 다량의 소자들을 제작하였고, 사용한 기판에서의 표면탄성과 속도는 광학적 실험장치를 통하여 얻을 수 있었다. 아울러 전도성물질이 없는 기판인 경우 대략 2740m/s 정도였으며, 두께가 5000Å이며 Al 전극을 증착시킨 경우 대략 2890m/s 정도였다.

제작한 필터는 측정을 위하여 5 x 5 mm<sup>2</sup> 크기를 갖는 표면실장(Surface Mounted Device : SMD)기법으로 장착한 후 측정하였다. 측정은 제작된 필터의 입출력단자에 맞게 측정 치구를 제작하였고, 필터의 입출력 단자에서의 전자파를 차단시키기 위하여 동판으로 치구의 중앙을 차폐하였으며 필터의 종단조건은 각각 50Ω으로 입출력 단을 동조(tune-up)시켰다.

#### 3.2. 필터 제작 및 고찰

본 연구에서는 단상 단방향 변환기(SPUDT)와 양방향 변환기 필터를 제작하여 각각 특성을 분석한 후, 이 전극구조들을 직렬로 연결한 SAW 필터를 제작하여 성능을 분석하고자 하였다.

##### 1) SPUDT형 필터 특성

그림 1은 SPUDT 필터의 개략적인 전극구조를 나타낸다.

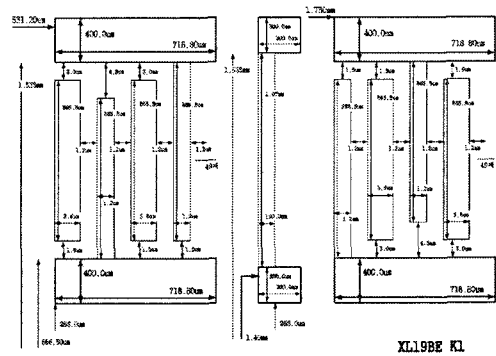
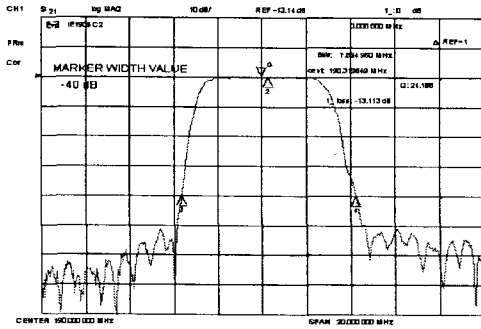


그림 1. Langasite 기판에 형성시킨 SPUDT 전극 형상

Fig.1. The SPUDT type electrodes formed on the Langasite substrate.

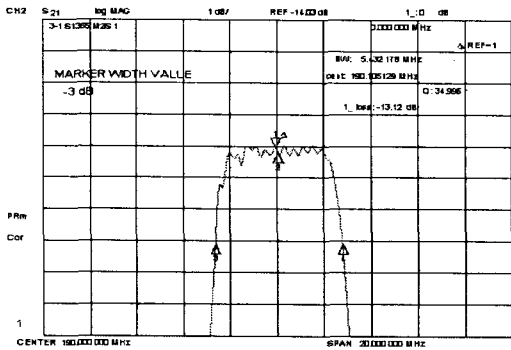
그림 1에서 보여 주듯이 왼쪽 IDT는 입력단이고 오른쪽은 출력단이며, 전극 형상은 중앙을 기준으로 점대칭으로 배치시켰음을 나타낸다. 그림에서 IDT 전극(finger) 폭은 1.2µm, 반사기 폭은 3.6µm(≅1λ/4) 그리고 IDT 전극과 반사기 사이의 간격은 1.2µm이며, 전극개수는 50쌍으로 하였다. 아울러 그림에서 위쪽에 형성시킨 IDT(hot 전극)에는 +신호를 인가하였으며, 아래쪽에 위치한 IDT는 접지로 사용하였으며, SAW 신호는 좌측에서 우측으로 전달되도록 신호 체계를 형성하였다. 그리고 IDT 전극 사이에 있으며 각 전극과 독립적인 전극이 반사기이고, 입출력 IDT 중앙에 위치시킨 "ㄷ"자 형태의 전극은 입력 측에서 발생한 신호가 출력 측에 직접 전달될 때 신호의 에너지를 감소시키는 역할을 담당하는, 이른바 접지 장벽(ground bar)이다.

본 연구에서 제작한 SPUDT의 전체적인 전극형상은 IDT 상단 직경(aperture)이 하단 직경보다 크기를 조금 적게 제작한 사다리꼴 형태를 유지하였다. 이와 같이 하므로써 전체적인 전극 구조는 경사진 전극(SFIT)형상을 채택하였으며, 제작한 필터의 임피던스 매칭 후의 주파수 응답특성 및 대역 폭을 그림 2에서 보이고 있다.



(a)

그림 2a. SPUDT형 필터의 주파수 응답 특성  
Fig. 2a. Frequency response of the SPUDT type filter.



(b)

그림 2b. SPUDT형 필터의 대역 폭  
Fig. 2b. The bandwidth(3dB) of the SPUDT type filter.

일반적으로 필터는 shape factor가 1.3dB이하이고, 저지대역이 60dB이하인 필터를 구성하기 어렵다. 이러한 필터를 구성하기 위하여 입력단 및 출력단 모두 하중이 주어진 필터로서 구성하는 것이 바람직하다. 이를 위해서는 보통 입력단에는 Apodization weighting으로 구성하고 출력단에는 withdrawal weighting으로 구성된 필터를 설계하게 된다. 그러나 WCDMA용 광대역의 경우에는 withdrawal weighting 필터를 구성하기가 어렵다. withdrawal weighting으로 구성할 경우에는 큰 리플과 UR으로 인하여 실용하는데 많은 어려움을 갖게 된다. 그러나 Apodization weighting의 경우에는 회절로 인하여 UR이 좋지 않은 결과를 가져오게 된다.

이러한 단점을 보완한 것이 SFIT이다. SFIT의 기본 구조는 SAW의 전파 방향에서의 finger주기는 일정하고

주파수가 높은 쪽에서는 finger의 주기가 짧고, 낮은 쪽에서는 주기가 길다. 이는 transmission이 채널로서 구분되어 각각의 주파수가 병렬로 구분되어 있다. 결과적으로 SFIT로 구성된 필터는 다른 중심주파수를 갖은 필터들이 병렬로 연결된 것과 같다.

SFIT를 사용하고 있는 amplitude의 응답은 변환기의 임피던스 변화에 의하여 통과 대역이 기울어지는 결과를 가져오고 이는 기판의 재질과 finger수 및 직경크기에 의존한다.

그림 2a에서 보듯이 경사진 전극형상을 갖은 필터의 중심 주파수는 190MHz, 40dB에서의 대역폭은 7.86MHz 및 삽입손실은 -13dB정도로 매우 이상적인 필터 특성을 보이고 있다. 그리고 그림 2b에서 보여 주듯이 3dB에서의 대역폭은 5.4dB, 필터의 리플은 0.4dB 이하로 측정됨으로써 리플 특성이 매우 좋은 결과를 얻었음을 보여준다.

그림 3은 반사 손실(return-loss)를 측정된 것이다.

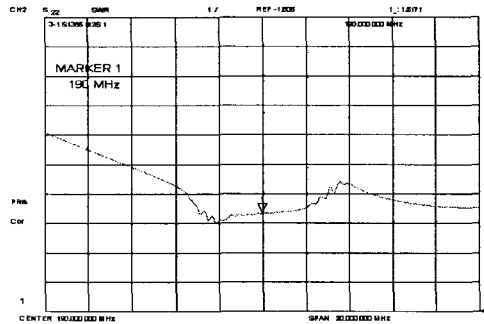


그림3. SPUDT형 필터의 반사 손실  
Fig. 3. The return loss of the SPUDT type filter.

그림 3에서 보듯이 SPUDT형태의 필터 특성은 임피던스(50Ω) 매칭시킨 후 정상파비(Standing wave ratio : SWR)값이 2이하가 될 때 입 · 출력단에서의 반사 손실이 양호한 필터 특성을 가지며, 이를 시스템에 장착 시 매우 안정된 결과를 가져오게 된다.

## 2) Bidirectional transducer 필터 특성

본 연구에서는 비교 분석할 목적으로 별도로 bidirectional transducer를 제작하였다. 그림 1에서 보인 SPUDT 전극 구조와 유사하지만 반사기가 없는 형태를 하고 있으며, IDT 전극 폭과 간격을 각각 1λ/8로 구성하였다.

그림 4는 양방향 변환기 필터의 주파수 특성을 보이고 있다.

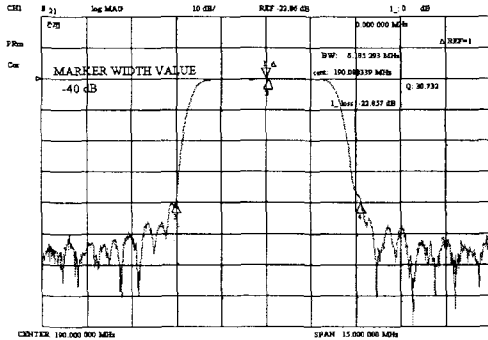
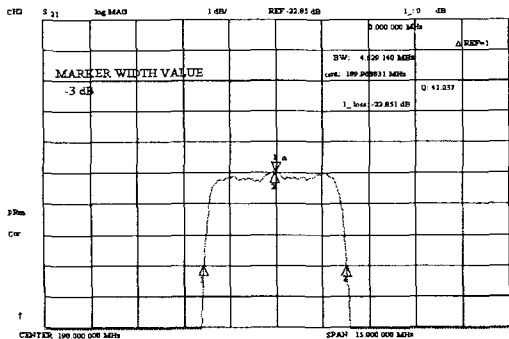


그림 4. 양방향성 변환기 필터의 주파수 응답 특성  
Fig. 4. Frequency response of bidirectional transducer filter.

그림에서 보듯이 중심 주파수는 190MHz, 40dB에서의 대역폭은 6.1MHz 및 삽입손실은 -22dB 이하로 측정되었음을 보여준다.

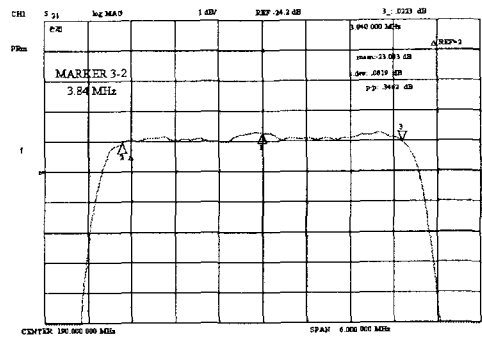
따라서 이와 같은 전극 구성으로 말미암아, 신호가 진행함에 있어서 인접한 전극들로부터 반사된 신호와 진행하는 신호들 사이의 위상차로 인해 신호가 각각 상쇄되는 결과를 가져오게 되고, 반사가 없는 관계로 신호가 양방향으로 전달되는 신호체계를 가지게 된다. 따라서 전달되는 신호의 크기는 IDT전극의 양방향으로 각각 50%씩 전달됨으로서 삽입손실이 설계시 계획보다 조금 크게 측정되었지만, 일반적인 SAW 필터 특성을 보이고 있다.

그리고, 그림 5는 Bidirectional transducer의 3dB에서 대역폭 및 in-band에서의 리플특성을 측정한 것이다.



(a)

그림 5a. 양방향성 필터의 대역폭  
Fig. 5a. Bandwidth (3dB) of bidirectional transducer filter.

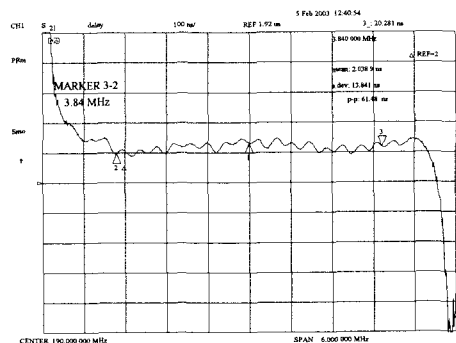


(b)

그림 5b. 양방향성 필터의 리플 특성  
Fig. 5b. Ripple of bidirectional transducer filter.

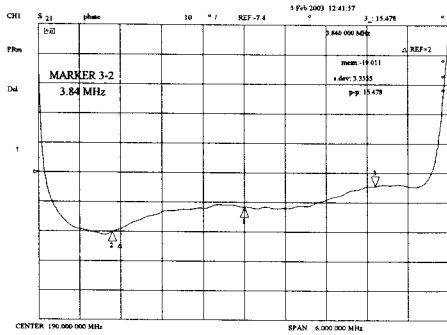
그림 5a에서 보여주듯이 3dB에서의 대역 폭은 4.6MHz로 측정되었고, 그림 5b에서 보여주는 바와 같이 in-band에서의 리플은 0.3dB 정도로서 매우 우수한 특성을 보이고 있다. 이로써 온도 및 필터 주변기기의 영향으로 야기될 수 있는 주파수 변화에 대한 편차에 매우 여유 있는 결과를 얻었다.

그림 6a,b는 양방향성 변환기 필터의 지연 시간(delay time) 및 위상의 선형 특성(phase linearity)를 측정된 것이다.



(a)

그림 6a. 양방향성 필터의 전체적인 지연시간  
Fig. 6a. Group delay time of bidirectional transducer filter.



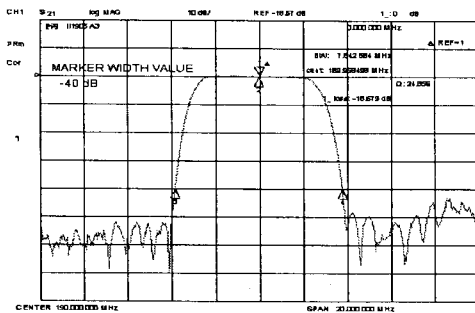
(b)

그림 6b. 양방향성 필터의 위상 선형 특성  
Fig. 6b. Phase linearity of bidirectional transducer filter.

그림 6a에서 보여주듯이 필터의 delay time은 2.0 $\mu$ s이고 delay 변화는 61.48 nsec로서 매우 우수한 특성의 delay time 을 보이고 있고, 그림 6b에서는 전달되는 신호의 위상 차이가 15° 정도로서 음파의 회절이 크게 측정되었다. 이러한 결과는 50dB에서 측정된 통과대역폭 역시 계산된 것보다 크게 측정되었음을 밝혀준다. 따라서 SPUDT 필터와는 대조적으로 양방향 필터에서의 음파의 회절은 통과대역의 위상을 나쁘게 할 뿐만 아니라, 이로 인해 전달되는 신호가 소멸되거나 작아지게 하는 결과를 가져오게 되는 것이다.

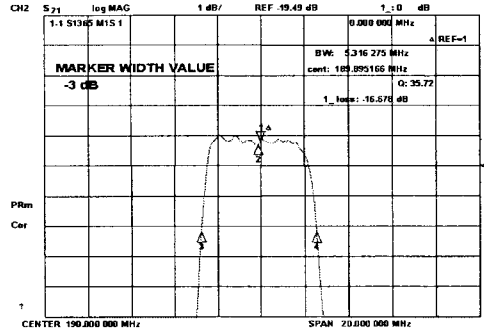
끝으로 본 연구에서는 앞서 언급한 두 전극구조를 직렬로 결합시킨 또 다른 형태의 SFIT형 필터를 제작하였다. 그림 7a,b,c,d는 두개를 직렬로 연결하여 제작한 필터의 특성들을 나타낸 결과이다.

그림 7a와 7b에 주파수 응답특성과 대역폭을 각각 나타냈고, 그 결과는 아래와 같으며



(a)

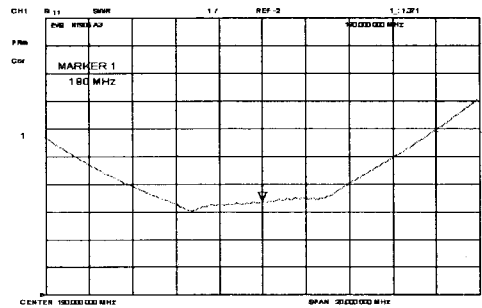
그림 7a. 제작한 SFIT형 필터의 주파수 응답특성  
Fig. 7a. The frequency response of the developed SFIT type filter.



(b)

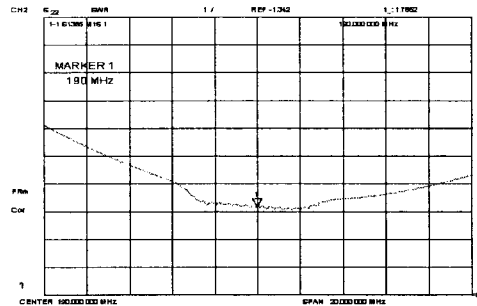
그림 7b. 제작한 SFIT형 필터의 대역 폭  
Fig. 7b. Bandwidth (3dB) of the developed SFIT type filter.

그림 7c와 7d는 입력단(S11)과 출력단(S22)에서 반사 손실(return-loss)를 각각 측정된 것이며, 아래와 같다.



(c)

그림 7c. 제작한 SFIT형 필터의 입력단 반사 손실  
Fig. 7c The return loss(S11) of the developed SFIT type filter.



(d)

그림 7d. 제작한 SFIT형 필터의 출력단 반사 손실  
Fig.7d. The return loss(S22) of the developed SFIT type filter.

상기 그림 7a, 7b에서 보듯이 중심주파수는 190MHz, 3dB에서의 대역폭은 5.3MHz정도 및 in-band에서의 리플은 0.3dB정도로 측정 되었으며, 직렬로 연결한 필터의 경우에 있어서 대략 -50dB 이하의 rejection과 -20dB 정도의 삽입손실이 발생하였다. 아울러 그림 7c, 7d에서는 입력단(S11) · 출력단(S22)에 부딪친 후 반사된 신호로써 임피던스(50Ω) 매칭상태를 보여주고 있다. 여기서 반사 손실 또한 양호한 필터 특성을 나타내었다. 이들 결과로 미루어 보아 직렬로 연결한 필터의 경우에도 고성능 시스템을 개발하는데 있어서 도움 줄 수 있을 것이라고 사료된다. 이 결과들을 보완 발전시키는 연구는 현재 진행 중이다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 단상 단방향성 변환기(Single phase unidirectional transducer:SPUDT)형태와 양방향성 변환기(Bidirectional transducer)를 각각 제작하였으며, 이들을 직렬로 연결한 또 다른 필터를 제작하고 그 특성을 각각 측정하였다.

먼저 SPUDT형 전극모양은 IDT 상단 직경(aperture)이 하단 직경보다 크기가 작은 사다리꼴인 경사진 빗살 무늬 변환기(Slanted finger interdigital transducer:SFIT)형상을 유지하도록 하였으며, IDT 전극(finger) 폭은 1.2μm, 반사기 폭은 3.6μm(≅1λ/4) 그리고 IDT 전극과 반사기 사이의 간격은 1.2μm이다. 제작한 필터의 임피던스 매칭 후의 필터의 중심 주파수는 190MHz, 40dB에서의 대역폭은 7.86MHz 및 삽입손실은 -13dB정도로 매우 이상적인 필터 특성을 나타내었다. 그리고 3dB에서의 대역폭은 5.4dB, 필터의 리플은 0.4dB 이하로 측정됨으로써 리플 특성이 매우 좋은 결과를 얻었다.

그리고 양방향성 변환기의 전극구조는 SPUDT와 유사하지만 SPUDT형태에서 반사기가 없는 형상을 채택하였다. 그리고 IDT 전극 폭과 간격을 각각 1.8μm(≅1λ/8)로 제작하였으며, 중심 주파수는 190MHz, 40dB에서의 대역폭은 6.1MHz 및 삽입손실은 -22dB 이하로 측정 되었으며, 3dB에서의 대역폭은 4.6MHz로 측정되었고 in-band에서의 리플은 0.3dB정도로서 매우 우수한 특성을 나타내었다. 이로서 온도 및 필터 주변기기의 영향으로 야기될 수 있는 주파수 변화에 대한 편차에 매우 여유

있는 결과를 얻었다. 또한 필터의 delay time은 2.0μs이고 delay 변화는 61.48 nsec로서 매우 우수한 특성의 delay time을 나타내었고, 전달되는 신호의 위상 차이가 15°정도로써 음파의 회절이 크게 측정되었다.

또한, 상기 두 가지 전극구조를 직렬로 결합시킨 또 다른 형태의 SFIT형 필터를 제작하여 그 특성을 분석하였다. 그 결과 중심주파수는 190MHz, 3dB에서의 대역폭은 5.3MHz정도 및 in-band에서의 리플은 0.3dB정도로 측정 되었으며, 직렬로 연결한 필터의 경우에 있어서 대략 -50dB 이하의 rejection과 -20dB 정도의 삽입손실이 발생하였다. 아울러 입력단 · 출력단에 부딪친 후 반사된 신호를 임피던스 매칭 상태에서 측정된 결과 반사 손실도 양호한 특성을 나타내었다. 이들 결과로 미루어 보아 직렬로 연결한 필터의 경우에도 고성능 시스템을 개발하는데 있어서 도움 줄 수 있을 것이라고 사료된다. 이 결과들을 보완 발전시키는 연구는 현재 진행 중이다.

#### 참고문헌

- [1] C. S. Hartman, D. T. Bell, Jr., and R. C. Rosenfeld, Impulse Model Design of Acoustic Surface Wave Filters, IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, vol.MTT-21, No.4, pp.162-175, 1973.
- [2] G. L. Matthae, Acoustic Surface Wave Transversal Filters, IEEE Trans. Circuit and Theory, vol.CT-20, No.5, pp.459-470, 1973.
- [3] R. H. Tancrell, Analytic Design of Surface Wave Bandpass Filters, IEEE Trans. Sonics Ultrason., vol.SU-21, No.1, pp.12-22, 1974.
- [4] T. Thorvaldsson, Analysis of The Natural Single Phase Unidirectional SAW Transducer, IEEE Trans. Ultrasonic Sym., pp.91-96, 1989.
- [5] H. Yatsuda, K. Yamanouchi, Automatic CAD Design of SAW Filters Using Slanted Finger Interdigital Transducer, IEEE Trans. Sonics UFFC, vol.47, No.1, pp.140, 2000.
- [6] H. Yatsuda, Design techniques for SAW filters using slanted finger interdigital transducers, IEEE Trans. Sonics UFFC, vol.44, No.1, pp.453, 1997.

- [7] C. B. Chvets, P.G. Ivanov, V. M. Maka, V. S. Orlov,  
Design of SAW Filters on Langasite, IEEE Ultrasonic  
Symposium, pp.99. 1999.
- [8] 유일현, 권희두, 경사진 빗살무늬 변환기를 이용한  
대역통과 필터제작, 한국 해양정보통신학회, vol.9,  
No.2, pp308, 2005.
- [9] 유일현, 단상 단방향 형태의 표면탄성과 필터 제작  
및 임피던스 정합, 한국 해양정보통신학회, Vol.9,  
No.3, pp602, 2005.

저자소개

유 일 현 (Ilhyun, You)



현 재 : 세명대학교 컴퓨터응용과학과  
교수

※ 전공분야 : 광학, 통신 filter

※ 관심분야 : SAW 필터