

광 대역 통과 필터 제작을 위한 모의 실험기

유 일 현*

A Study on the Simulator for the fabrication of bandpass filter for the Wide-band Codeless Division Multiple Access

Ilhyun You

요 약

WCDMA용 SAW 필터를 제작하기 위하여 mathematica package를 이용한 모의 실험기를 개발하였으며, 전극재료로는 Al-Cu를 사용하였다. 모의실험한 자료를 바탕으로 전극에서 발생하는 ultimate rejection을 줄이기 위해 SFIT형태의 필터를 설계 및 제작하였다. 회절에 의한 현상을 최소화하기 위해 필터의 입력단은 block weighted IDT 형태로, 출력단은 withdrawal weighted IDT형태로 구성하였다. Langasite 기판위에 형성시킨 입출력 빗살무늬 변환기 전극 수는 50쌍, 두께와 폭은 5000Å와 $1\lambda/4$ ($\approx 3.6\mu\text{m}$)로 하였으며, IDT 전극 폭과 전극간격 은 각각 $1\lambda/16$ 와 $1\lambda/8$ 로 하였다. 제작한 SAW 필터의 특성은 중심주파수는 190MHz, 통과대역은 4MHz이며 저지대역은 -60dB이하로 측정되었다.

ABSTRACT

We have studied a method to fabricated a Surface Acoustic Waves (SAW) filter for Wide band Codeless Division Multiple Access(WCDMA) was formed on the Langasite substrate and was evaporated by Aluminum-Copper alloy and then we developed a simulator using the mathematica package.

And, we can design and fabricate the Slanted Finger Inter-digital Transducer (SFIT) for the purpose to decreased the ultimate rejections on side of the electrodes, and performed computer-simulation by simulator.

Also, we have employed that the block weighted type Inter-digital Transducer(IDT) as input transducer of the filter and the withdrawal weighted type IDT as an output transducer of the filter in order to minimize effect of diffractions.

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 5000Å and $1\lambda/4$ ($\approx 3.6\mu\text{m}$), respectively. Also the width of IDT' finger and the space between IDT' finger and reflector are $1\lambda/16$ and $1\lambda/8$, respectively.

Frequency response of the fabricated SAW bandpass filter has the property that center frequency is about 190MHz, bandwidth at the 3dB is probably 4MHz and out-band attenuation is -60dB approximately.

키워드

표면탄성파 필터, 경사진 빗살무늬 변환기, 하중

*세명 대학교, 컴퓨터 응용과학과

접수일자 : 2004. 2. 4

I. 서 론

우리 생활에 필수적인 부분으로 자리 잡으면서 급속히 발전하고 있는 통신용 매개체에서 이동통신의 경우, 인프라가 발전하면서 업무용에서 일반 사용자를 위한 것에 이르기까지 여러 형태로 보급되고 있다. 따라서 이는 현재 진행되고 있는 정보통신망을 구축함에 있어서 필수적이며, 시스템의 고도화 및 글로벌 시대로의 발전을 계속하고 있다. 그러나 최근 정보통신의 수요에 반해 CDMA(Codeless Division Multiple Access)방식이 한계가 부딪치자 국내에서는 차세대 방식으로 WCDMA(Wide-band Codeless Division Multiple Excess) 방식을 채택하고 있고, 연구 또한 활발히 진행되고 있다.

이러한 기지국용 필터는 송수신단에 있어서의 타 신호와의 간섭 및 삽입손실 등을 최소화하는 노력이 필요하고, 표면탄성파(Surface Acoustic Waves : SAW) 필터의 단점인 전기-음향적 재발진(Regeneration)에 의하여 시스템 오류(mismatching) 결과를 야기한다[1,2,3].

이러한 단점을 보완하기 위하여 1980년도에 단상 단방향 변환기(Single Phase Unidirectional Transducer : SPUDT)를 개발하게 되었다[4]. 그러나 유한충격 반응(Finite Impulse Response : FIR) 형태의 SPUDT의 설계는 withdrawal weighting 방식으로 설계하게 되므로 전극단에서 나타나게 되는 현상인 다른 신호가 제거(Ultimate Rejection : UR)되는 현상에 많은 문제를 가지게 된다. 또한, 기지국용 필터는 -50dB이하의 UR특성을 요구하므로 일반적으로 전극겹침이 변하는 Apodization Weighting 방식으로 필터를 설계한다. 그러나 Apodization Weighting 방법은 전극하중이 연속적이어서 UR특성은 좋으나, 전극 겹침의 변화가 불가피하여 저 손실 SPUDT 구현이 쉽지 않다[4].

이를 보완하기 위하여 1980년대 초부터 하중이 불연속적인 Withdrawal Weighting 기법을 사용하는 경사진 빗살무늬 변환기(Slanted Finger Interdigital Transducer : SFIT)를 연구하게 되었다. 그러나 SFIT는 불연속적인 전극하중만으로 구현되는 까닭으로 UR특성이 좋지 않아 실용화를 시키지 못하였다. 그렇지만, 이 방법을 쓰면 SPUDT 구현도 가능하고 전극에서의 회절 및 간섭 효과가 적은 빗살무늬 변환기(Interdigital Transducer : IDT)를 얻을 수 있다[5,6].

본 연구에서는 withdrawal IDT의 단점인 UR특성을 보완하기 위하여 입력단 전극에는 block weighting 방법을 쓰고 출력단은 withdrawal

weighting 방법을 도입하였고, 정확한 필터 구현을 위한 시뮬레이터도 개발하였다. 또한, SFIT의 단점인 전극에서의 회절현상을 최소화하기 위하여 다른 압전기판에 비해 상대적으로 표면탄성파 속도가 느린 Langasite 기판[7]을 써서 그 위에 전극을 형성시킨 필터를 제작하였다.

II. 이론적 배경

표면탄성파(Surface Acoustic Waves : SAW) 필터는 표면탄성파를 이용하여 신호주파수 성분과 위상성분을 제어하여 인접채널 신호를 제어하는 역할을 한다.

표면탄성파 필터는 탄성파에 의해 전달된 기계적 에너지가 표면에서 수직으로 한 파장 내에 집중한 것을 말하며, 고체에서 전달되는 파의 속도는 압전기판 위에 형성시킨 전극을 통해 전기적신호를 표면파로 변환시키는 구조를 가지고 있다. 필터의 기본구조는 지연선으로 분리되어진 N개의 단으로 이루어져 있고, 각각의 단은 Weighting을 받게 된다. 이때 필터링은 지연선을 따라 신호가 통과되므로 지연된 신호 합으로 이루어진다. 필터에서 지연선은 빗살무늬 변환기(Inter-digital Transducer : IDT) 전극(Finger)위치가 되고 하중 계수는 IDT 전극의 겹침으로 나타난다. 필터의 주파수 응답 특성은 IDT 겹침에 대한 푸리에 변환(Fast Fourier Transform : FFT)으로 구할 수 있다.

표면탄성파 필터는 그림 1에 보인 바와 같이 입력단 IDT, 전파통로 및 출력단 IDT로 구성된다.

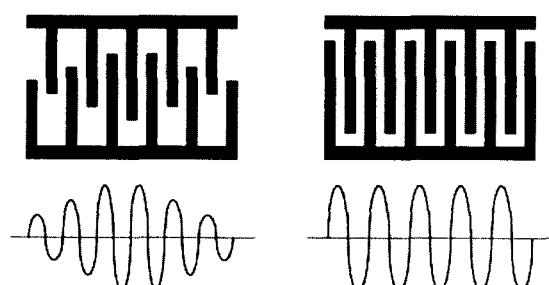


그림 1. 표면 탄성파 필터의 전기적 충격 응답
Fig. 1. The impulse response of the SAW filter.

그림에서 입력 IDT에서의 전달함수를 H1 이라고 하고 출력 IDT의 전달함수를 H2 라고 할 때, 입력

전압과 출력전압의 비를 나타내는 전체전달함수 비는

$$\frac{V}{V_i} = H_1(\omega) \exp(-i\omega\lambda/\nu) H_2(\omega) \quad (1)$$

이다. 여기서 ν 는 표면탄성파의 속도를 나타낸다.

필터에서 IDT에 가하는 임펄스를 $h(t)$ 라 하면, 퓨리에 변환한 주파수 응답은 $H(w)$ 로 나타낼 수 있으며, 임펄스 응답의 $h(t)$ 에 대응하는 주파수 응답은

$$H(w) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) \exp(-iwt) dt \quad (2)$$

로 나타낼 수 있다. 그러므로 이론적으로는 원하는 주파수 응답은 어떠한 것이든지 그 응답의 역 퓨리에 변환을 취하고, 그 계산된 임펄스 응답에 부합되도록 압전기판 위에 전극을 배열함으로써 얻을 수 있으며,

$$h(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} H(w) \exp(iwt) dw \quad (3)$$

로 표현된다. 이와 같이 표면탄성파 필터의 설계는 전기적 충격응답(Finite Impulse Response : FIR)필터의 형태를 지니고 있으므로, FIR 필터의 설계 방법을 기반으로 설계할 수 있다.

일반적인 표면탄성파 필터는 형상인자(Shape Factor)가 1.3dB이하이며, 저저대역이 60dB 이하 조건을 갖는 필터를 구성하기 어렵기 때문에 이러한 필터를 구성하기 위하여 입력단 및 출력단 모두 하중이 가해진 필터로서 구성하는 것이 바람직하다. 이를 위해서 그림 1에 간략히 보인 바와 같이 입력단에는 apodization weighting이 가해진 IDT로 구성하고 출력단에는 withdrawal weighting이 가해진 IDT로 구성된 필터를 설계하게 된다. 그러나 apodization weighting의 경우에는 diffraction으로 인하여 필터의 성능에 좋지 않은 결과가 야기 되기도 한다. 그리하여 WCDMA용 광대역의 경우 withdrawal weighting 필터를 구성하기가 어려우며, withdrawal weighting으로 구성할 경우에는 큰 리플 및 IDT에서 발생된 신호에 영향을 주는,

이른바 ultimate rejection(UR) 현상으로 인하여 실용하는데 많은 어려움을 갖게 된다. 이러한 단점을 보완한 것이 Slanted Finger Interdigital Transducer (SFIT)이며, 기본구조는 그림 2와 같다.

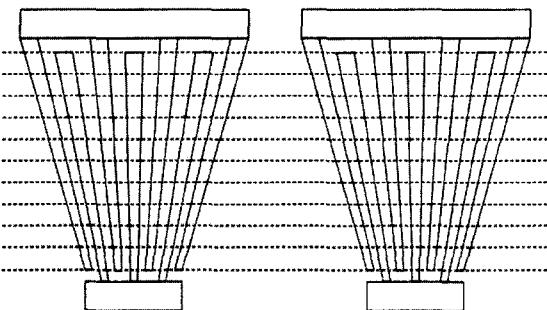


그림 2. 경사진 빗살무늬 변환기를 갖는 IDT 전극 형상

Fig. 2. A IDT finger using slanted inter-digital transducer.

SFIT의 기본구조는 SAW의 전파 방향에서의 전극(Finger)주기는 일정하고 주파수가 높은 쪽에서는 전극의 주기가 짧고, 낮은 쪽에서는 주기가 길다. 결과적으로 SFIT로 구성된 필터는 다른 중심주파수를 갖는 필터들이 병렬로 연결된 것과 같은 효과가 있다.

SFIT를 사용하고 있는 진폭 응답(Amplitude Response)은 변환기의 임피던스 변화에 의하여 통과 대역이 기울어지는 결과를 가져오고 이는 기판의 재질, 전극 개수 및 전극구경(aperture)의 크기에 의존된다. 통과대역을 평탄(Flatten)하게 하기 위해서는 임피던스 매칭 방법, 채널의 전극 갯수 조정 및 채널의 전극구경을 변화시키는 방법 등이 있다.

기본적인 SFIT필터의 전달 함수를 $H_i(f)$ 라 할 때

$$H_i(f) = H_i(f) HO_i^*(f) \quad (4)$$

이다. 여기서 $HO_i^*(f)$ 는 $HO_i(f)$ 의 공액(conjugate) 함수이고, $H_i(f)$ 와 $HO_i(f)$ 는 i 번째 채널에서의 입력과 출력에 대한 변환함수이다. 그러므로 SFIT의 전체적인 변환함수는

$$HS(f) = \sum_{i=1}^S Hi(f) = \sum_{i=1}^S [HI_i(f) HO_i^*(f)] \quad (5)$$

로 표현되며, S는 채널 수이다.

SFIT 전극의 기본 구조는 사다리꼴 형태를 갖으며 한쪽은 좁으며, 반대쪽으로 갈수록 넓어지는 양상을 띠고 있다. 그림 3a와 3b는 SFIT 전극의 모양을 보여준다.

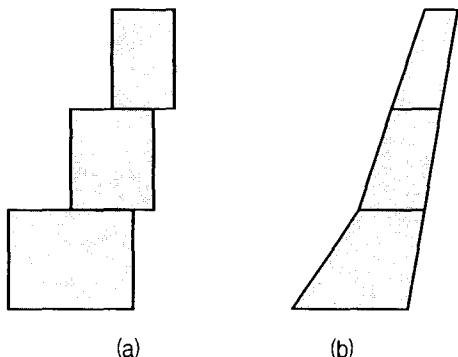


그림 3a. 전국구경에 하중을 가한 경사진
빗살무늬 변환기 기본구조

그림 3b. 채널이 비스듬한 빗살무늬 변환기 구조

Fig. 3a. Basic structure of SFIT for IDT aperture weighting.

Fig. 3b. The structure of channel slanted IDT finger.

그럼에서 a는 전극구경 하중(aperture weighting)을 주기 위한 기본적인 IDT 구성은 보이고 있다. 이러한 구조의 장점은 임의 필터모양을 구현하는데 용이하고 모델링이 용이하다. 그러나 통과대역이 넓으면, 각각의 IDT는 옆 전극에 달게 되어 공정이 매우 어렵고, 전극의 쌍(Pairs)수가 많아질수록 많은 채널 수 필요하게 되어, 적절한 필터 제작이 용이하지 않은 결과를 놓기도 한다. 따라서 이러한 단점을 보완하고자 Quasi-slanted IDT 및 Channel slanted IDT 전극 형태가 제안되었고, 그림 b에 Channel slanted IDT 전극 모양을 나타낸다.

III. 실험 및 고찰

1. 전국 설계

모의 실험용 및 SAW 필터용 소자의 미세전극

재료형성은 바막 전극재료형성기술을 사용하여 Langasite 기판 위에 전극을 형성시켜 제작하였다. 습식세정 및 플라즈마 세척을 한 기판 위에 전극재료로는 Al-Cu 합금을 사용하였으며, 150 °C에서 DC Magnetron sputter를 이용하여 증착하였으며, 두께는 5000 Å으로 하였다.

이때, 표면탄성파 필터 제작에 사용하기 위한 고정밀도의 사진식각용 포토마스크는 설계된 변환기 전극 제원으로부터 CAD 설계에 의하여 전자주사선을 이용하여 $0.05\mu\text{m}$ 이상의 정밀도로 제작하였다. 이와 같이 제작된 마스크를 사용하여 반도체 제조공정 중 하나인 사진식각 방식에 의해 Langasite 기판위에 전극을 형성하였다. 아울러 Langasite 기판에 적절한 IDT 구성을 조건을 찾기 위하여 다량의 소자들을 제작하였고, 사용한 기판에서의 표면탄성파 속도는 광학적 실험장치를 통하여 얻을 수 있었다. 아울러 전도성물질이 없는 기판인 경우 대략 2740m/s 정도였으며, 전도성물질(전극)이 5000\AA 의 Al이 증착된 경우에는 대략 2890m/s 정도였다.

공정이 끝난 기판은 $19 \times 6.5 \text{ mm}$, $24 \times 9\text{mm}$ 로 절단하여 packaging한 후 측정하였다. 측정은 제작된 필터의 입출력단자에 맞게 측정 치구를 제작하였으며, 필터의 입출력 단자에서의 전자파를 차단시키기 위하여 동판으로 치구의 중앙을 차폐하였다. 필터의 종단조건은 각각 50Ω 으로 입출력 단을 동조(Tune-up)시켰다.

기판위에 형성시킨 IDT는 그림 3에서 보인 것과 같은 Slanted IDT를 응용하였으며, 본 연구에서 시료로 채택한 전체적인 부채모양을 한 전극 모양을 그림 4에 나타내었다.

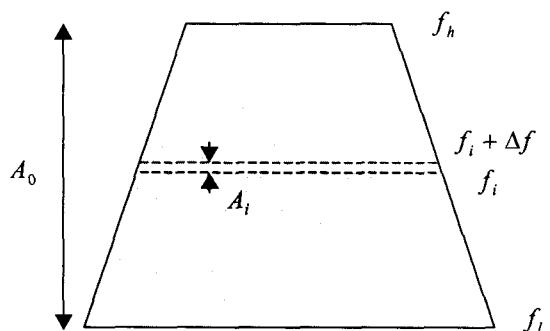


그림 4. 부채 형상을 갖는 필터의 전극구조

Fig. 4. Filter structure of the fan type.

그림에서 SFIT에서 각 채널의 전극구경 크기
 A_i

$$A_i = \frac{f_l f_h \Delta f}{(f_i^2 + f_i \Delta f)(f_h - f_l)} A_0 \quad (6)$$

로 표현 할 수 있으며, 여기서 f_l , f_h 각각은 가장 낮은 주파수와 가장 높은 주파수의 cut off 주파수, A_0 는 최대 기울어진 각에 의하여 얻은 SFIT의 전극 구경, $\Delta f = f_{i+1} - f_i$ 및 $\Delta f = (f_h - f_l)/S$ 이며 S 는 채널 수이다.

아울러 SFIT 필터에서 중심주파수(f_i) 와 전극 구경 크기(A_i)는 각각의 채널에서 변하며, SFIT의 각 채널의 weighted aperture(AA_i)는

$$AA_i = A_i \cdot w(f_i) \quad (7)$$

이며, $w(f_i)$ 는 weighting 함수이다.

그림에서 보인 바와 같이 필터의 전극은 저주파수와 고주파수가 병렬로서 연결되어 있는 형상을 하고 있으며, 필터의 특성은 각각의 주파수 합으로 표현된다. 그리고 각각의 전극 구경의 크기를 변화 시킴으로써 전극기울기와 리플(ripple)의 크기 등을 교정할 수 있다.

따라서 필터의 특성은 각각의 주파수 합으로 표현되며, 시뮬레이터를 이용한 모의실험을 통해 얻은 이상적인 결과를 Fig. 5에 나타내었다.

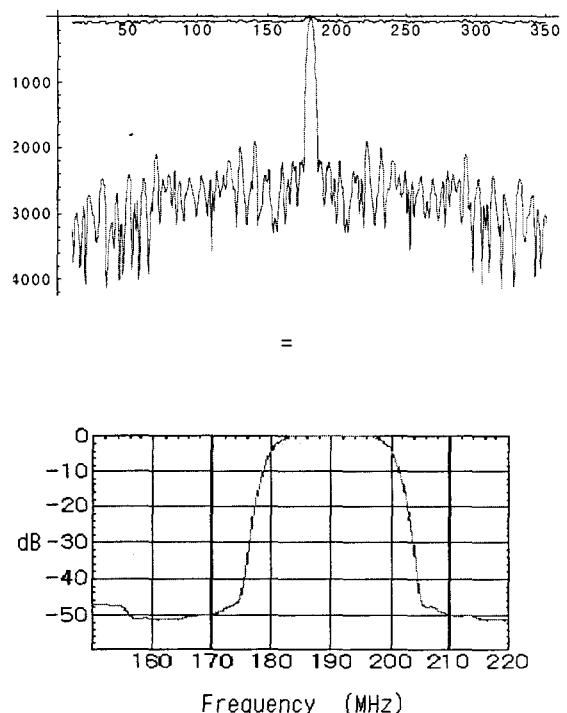
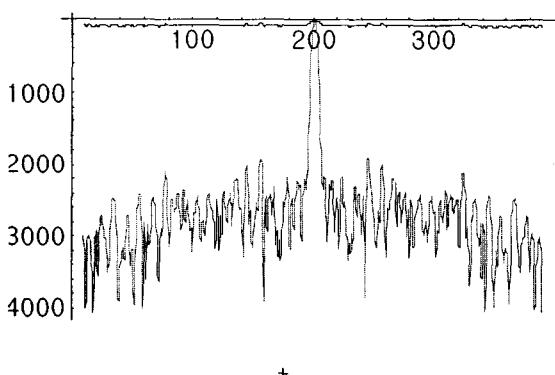


그림 5. 표면 탄성파 필터의 주파수 응답 특성
Fig. 5. The frequency characteristics of the SAW filter.

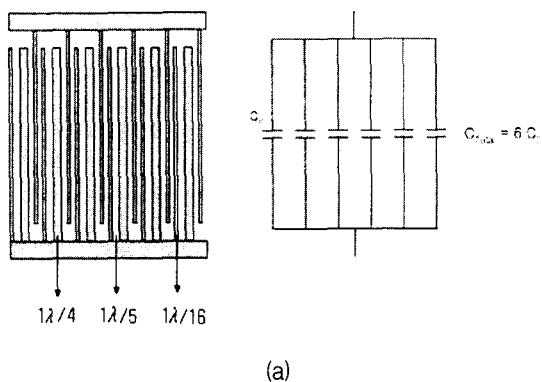
그림의 결과는 모의실험을 통해 얻은 결과로써 중심 주파수가 190MHz정도인 주파수 응답 특성을 나타내며, 이를 바탕으로 실제 소자를 제작하는데 있어 지침으로 사용하였다.

아울러 실제 SAW 소자 설계 및 제작함에 있어서는 각각의 채널마다 다르게 나타나는 진폭의 리플(ripple) 특성과 저지대역(stop band)에서의 side-lobe에 대한 수정을 해야만 한다. 아울러 필터특성에서 side-lobe에 대한 영향을 최소화하기 위해서는 각 채널의 side-lobe를 낮추는 것 또한 매우 중요하다.

2. SAW 필터 제작

본 연구에서는 우수한 특성을 갖은 SAW 필터를 구현하기 위해서 모의실험을 통하여 얻은 자료를 바탕으로 입력단에는 Block Weighted IDT를 출력단에는 Withdrawal weighted IDT 형태를 채택한 SAW 필터를 설계 및 제작하였다. 아울러 기지국 및 중계기용으로 설계한 필터의 Block weighted

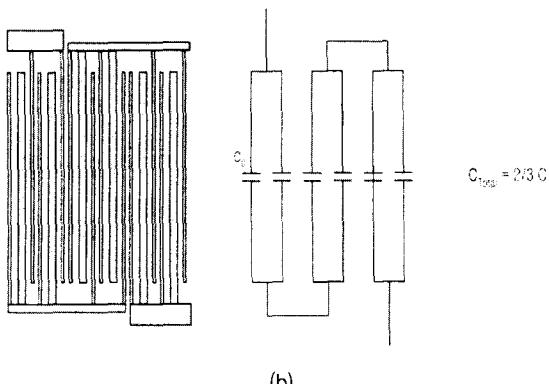
IDT 형태인 입력단 전극에 대한 개략적인 모양을 Fig. 6a와 6b에 나타내었다.



(a)

그림 6a. 균일한 하중을 갖는 빗살무늬 변환기 전극과 등가회로

Fig. 6a. The IDT fingers for the uniform weighting and the equivalent circuit.



(b)

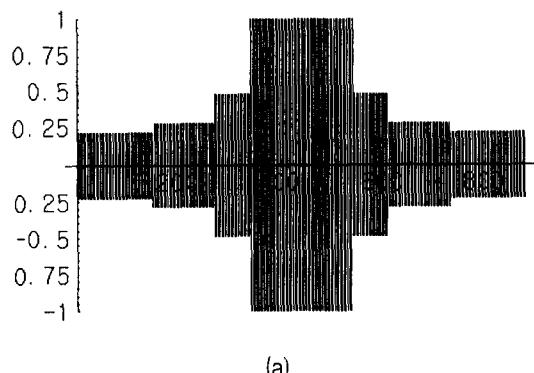
그림 6b. 직렬 블록 하중을 갖는 빗살무늬 변환기 전극과 등가회로

Fig. 6b. The IDT fingers for series-block weighting and the equivalent circuit.

그림에서 보인 바와 같이 그림 6a는 균일한 하중으로 제작된 전극 모양을 나타내며, 그림 6b에는 이를 직렬로 연결된 형상을 갖춘 SAW 필터 제작 시 사용한 IDT 전극 모양을 나타냈다. 그림은 제작한 필터의 개략적인 모양이며 IDT 전극(finger : $1\lambda/16$), 반사기(reflector: $1\lambda/4$) 및 간격(space : $1\lambda/8$) 등으로 구성하였으며, 전극 갯수는 필터 특성을 고려하여 50쌍(pairs)으로 하였다.

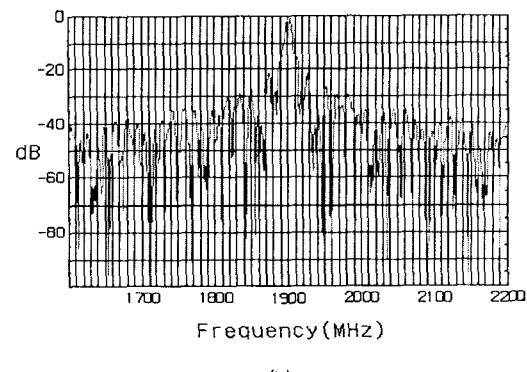
3. SAW 필터 특성

제작한 필터의 입·출력단의 임펄스 응답과 주파수 응답 특성 결과를 그림 7과 그림 8에 각각 나타내었다.



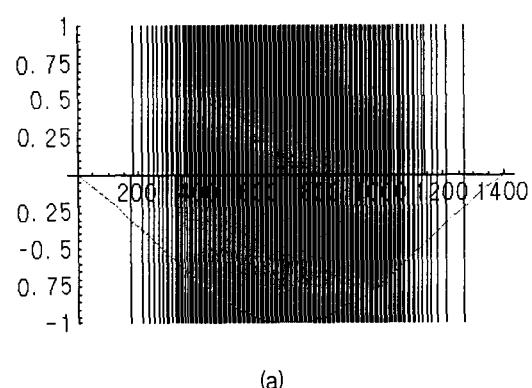
(a)

그림 7a. 블록 하중을 갖는 전기적 충격 응답
Fig. 7a. The impulse response of block weighting.



(b)

그림 7b. 블록 하중을 갖는 주파수 응답 특성
Fig. 7b. The frequency response of block weighting.



(a)

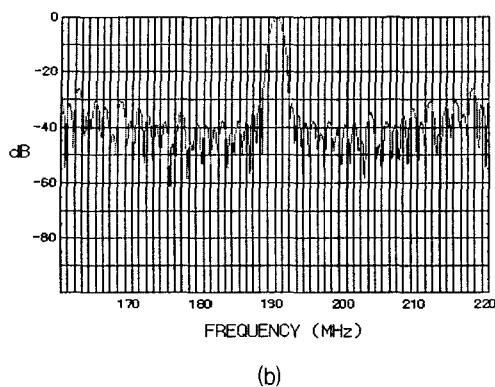


그림 8a. 불연속 하중을 갖는 빗살무늬 변환기 전극
그림 8b. 불연속 하중을 갖는 빗살무늬 변환기의
주파수 응답

Fig. 8a. The withdrawal weighted IDT fingers for the SAW filter.
Fig. 8b. The frequency response of withdrawal weighted IDT.

그림 7a와 8a에서 X 축은 필터의 IDT 전극 갯수, Y축은 직렬로 연결시킨블록(series-block)에 있어서 하중을 받은 전극의 상대적인 크기를 각각 나타낸다.

그림 7과 그림8에서 보인 바와 같이 입력단의 block weighted IDT에서 감쇄는 매우 크지 않았으나, 중심주파수에서 멀어질수록 Ultimate Rejection은 바람직한 결과가 나타났음을 알 수 있다. 그리고 출력단의 Withdrawal IDT에서는 중심주파수에 가까이 위치하는 감쇄는 상당히 좋으나, 중심주파수에서 멀리 떨어진 지점에서는 Ultimate Rejection이 바람직하지 않은 결과가 나타남을 알 수 있다. 그러나 입·출력 IDT에서의 발생하는 각각의 신호들은 서로 조화를 이룸으로써 좋은 결과를 가져오게 된다.

여기서, 입력단 전극에 가한 하중(block weighting) α 는

$$\alpha_2 = \frac{1/n_2}{1/n_2 + 1/n_3 + 1/n_4}$$

$$\alpha_3 = \frac{1/n_3}{1/n_2 + 1/n_3 + 1/n_4}$$

$$\alpha_4 = \frac{1/n_4}{1/n_2 + 1/n_3 + 1/n_4}$$

를 써서 구하였으며, 여기서 n_2, n_3 및 n_4 는 각

각의 단을 나타낸다.

이를 자료들을 바탕으로 Block Weighted IDT 및 Withdrawal weighted IDT 구조를 채택하여 제작한 SAW 필터의 등가 회로를 그림 9에 나타냈다.

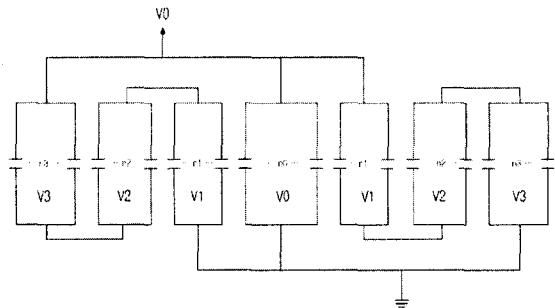


그림 9. 직렬 블록 형태의 하중을 갖는 표면 탄성파
필터의 등가 회로

Fig. 9. The equivalent circuit of the series-block weighted SAW filter.

그림에 나타낸 바와 같이 block weighting에 의한 효과에서 중앙부분에서의 상대전압이 가장 크고 양옆에서의 전압이 중앙 전압보다 상대적으로 적게 나타나게 됨을 의미한다.

본 연구에서는 withdrawal IDT 형태로 이루어진 필터의 단점을 보완하기 위하여 모의실험을 통해 입력단은 'block weighted IDT'를 출력단에는 withdrawal weighted IDT 형태를 선택한 SAW 필터를 제작하였으며, 회로망 분석기로 측정한 결과를 그림 10에 나타내었다.

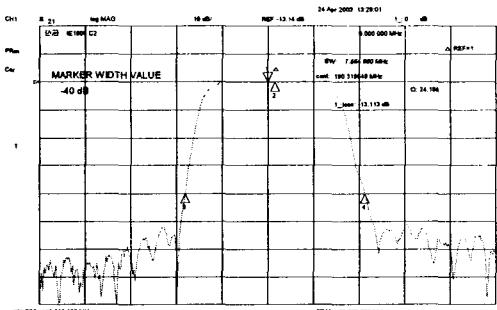


그림 10. 190 MHz 표면탄성파 대역통과 필터의
주파수 응답 특성

Fig. 10. The Frequency Response of 190MHz SAW bandpass filter.

그림에서 보여주듯이 simulator를 이용하여 설

계하고 제작된 필터는 중심주파수가 190MHz이고 통과 대역이 4MHz, 저지대역이 60dB 이하로서 개발된 시뮬레이터는 매우 유용하게 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 WCDMA용 SAW 필터를 제작하기 위하여 mathematica package를 이용한 모의 실험기를 개발하였다. 모의실험한 자료를 바탕으로 전극에서 발생하는 ultimate rejection을 줄이기 위한 기초 자료로 사용할 목적으로 SFIT형태의 필터를 설계 및 제작하였다. 제작한 SAW 필터는 Langasite 기판위에 전극을 형성하였으며, 전극 모양은 경시각을 갖는 IDT를 응용한 부채모양 전극을 도입하였다.

특히, 회절에 의한 현상을 최소화하기 위한 시도로 필터의 입력단은 균일한 하중을 가하기 위해 직렬형태의 block weighting IDT로 하였으며, 출력단은 withdrawal weighting IDT형태로 구성하였다. 그 결과 입력단의 block weighted IDT에서 감쇄는 좋지 않았지만, 중심주파수에서 멀어질수록 ultimate rejection은 양호하게 나타났다. 그리고 출력단의 withdrawal IDT에서는 중심주파수에 가까이 위치하는 감쇄는 상당히 좋았으나, 중심주파수에서 멀리 떨어진 지점에서의 ultimate rejection은 좋지 않은 결과가 나타났다. 그러나 입·출력 신호들이 서로 조화를 이룸으로써 바람직한 결과를 도출했다. 이를 바탕으로 제작한 SAW 필터의 특성은 중심주파수는 190MHz, 통과대역은 4MHz이며 저지대역은 60dB이하로 측정됨으로써, 바람직한 결과를 얻었다. 따라서 모의 실험기 및 이를 이용한 실험 결과는 이와 유사한 분야에 유용하게 쓰일 것으로 추측된다.

아울러 이를 바탕으로 좀 더 업그레이드된 SPUDT 및 NSPUDT 형태의 필터는 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. Matthaei, 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.

저자소개

유일현(Ilhyun You)

1993년 ~ 세명대학교 컴퓨터응용과학 부교수

※ 전공분야 : 광학 및 통신용 Filter

※ 관심분야 : Saw Filter