

DART와 EWC/SPUDT형 SAW 필터의 특성 비교

Comparison of the Performance of DART and EWC/SPUDT Type SAW Filters

이 승 회*, 노 용 래**
(Seung Hee Lee*, Yong Rae Roh**)

요 약

본 연구에서는 SPUDT 중에서도 현재 가장 일반적으로 사용되면서 동시에 좋은 성능을 가지는 DART와 EWC/SPUDT형 SAW 필터에 대해서 그 효율성을 Smith 등가회로 해석법을 이용하여 분석하였고, apodization weighting을 하였을 때 각각 어떠한 차이를 보이는지를 정량적으로 평가하였다. 그리고 단순히 apodization weighting된 SAW 필터에 SPUDT를 적용하였을 때 생기는 특성열화를 보상하기 위한 방법으로 이 두 종류의 SPUDT에 대해서 폭이 넓은 전극(wide electrode)에 대한 weighting을 독립적으로 행하였다. 그리고 전극두께 및 전극개수에 따른 SPUDT의 성능변화를 DART 및 EWC/SPUDT형 SAW 필터에 대하여 비교하여 분석하였다. 본 연구의 결과는 특정 형태의 SAW 필터에 SPUDT를 적용하는 문제에 있어서 적절한 SPUDT의 타입을 결정하는데 도움을 주리라 기대된다.

ABSTRACT

Of various SPUDT SAW filter types, we select the two most common types, DART and EWC/SPUDT, and analyze their performance with the Smith equivalent circuit method. Based on the results for an exemplary case, a usual apodized SAW filter, we investigate the advantage of one type over the other, if any, in a quantitative manner. To compensate for the performance degradation that can happen in the process of the modification of the apodized filter to the SPUDT structure, we apply the triangular weighting technique to wide fingers of the IDT. Further, the variation in performance of the SPUDT structure is investigated in relation to its electrode thickness and the number of fingers. The results in this paper are expected to enable us to easily select an SPUDT type appropriate for each particular application field.

I. 서 론

SPUDT(single phase unidirectional transducer)를 적용하는 주요 목적은 기존의 양방향성 SAW 필터에 비하여 삽입손실을 개선할 수 있는 데에 있다. 이외에도 SPUDT를 적용하면 TTI(triple transit interference)가 감소되어 통과대역내의 리플이 적어지고, 지연에 따른 왜곡이 적어지는 장점이 있다[1]. 따라서 정합회로가 간단해지고, 소자의 치수를 줄일 수 있다. 그리고 multi-phase UDT(unidirectional transducer)와 비교하면 전극을 단층으로 하여 설계가 가능하기 때문에 air-gap cross over가 필요치 않으므로 제작이 쉽다. 단점으로는 삽입손실과 TTI를 동시에 개선시키기 어렵고, 낮은 삽입손실에 대해서 약 2 dB이하의 낮은 비대역폭을 가지며, 주기의 1/8 배 폭을 가지는 전극으로 구성되어 있어서 중심주파수를 맞추기 어려운 면이 있지만, 현재 적절한 설계를 통하여 장점을

잘 살린 제품들이 양산되어지고 있다.

SPUDT의 종류로는 두 층의 전극을 사용한 이중전극형 SPUDT[2], NSPUDT(natural SPUDT)[3], single level group-type SPUDT[4], 그리고 FEUDT(floating electrode unidirectional transducer)[5] 등의 고전적인 종류가 있으며, 최근에 많이 응용되는 종류로 DART(distributed acoustic reflection transducer)[6]와 EWC(electrode width controlled)-/SPUDT[7]가 있다. 이렇게 SPUDT의 종류가 많고, 또 각 종류마다 교유의 장단점을 가지고 있으나, 서로간의 성능차를 비교한 결과는 거의 없어서, 실제 SPUDT를 적용할 때 과연 어느 종류를 선택할지를 결정하기에 많은 어려움이 있어왔다. 따라서 본 연구에서는 이상의 SPUDT의 종류들 중에서 현재 가장 널리 사용되어지고 좋은 성능을 가지는 DART와 EWC/SPUDT에 대하여 해석을 하였고, 이 두 가지 SPUDT의 특성을 기존의 양방향성 SAW 필터와 비교하여 분석하였다. 이러한 해석 결과는 실제 SPUDT를 적용하고자 할 때 DART와 EWC/SPUDT 중 어느 것을 선택할 지에 대한 기준을 제시하여 줄 것으로 기대된다.

SPUDT에 대한 해석법으로는 COM(Coupling-of-Modes)

* 경북대학교 전기공학과

** 경북대학교 전자전기공학부/센서공학과

접수일자: 1999년 1월 15일

해석법[8]과 등가회로 해석법이 가장 널리 이용된다. COM 해석법은 두 개 이상의 IDT 전극들의 상호 작용에 의해 발생하는 진행파와 반사파, 그리고 압전변환의 판계를 나타내는 파동방정식으로부터 필터의 성능을 해석하는 방법으로 등가회로 해석법에 비해 해석이 빠르다는 장점을 가지고 있지만, 자기결합계수와 상호결합계수 등의 변수들을 실험적으로 구해야 하는 어려움이 있다. 더욱이 IDT 내의 배열이나 전극길이가 변하는 경우나, DART나 EWC/SPUDT와 같이 IDT의 구조가 불균일한 경우는 해석하기 어렵기 때문에 유한요소해석법을 부분적으로 도입해야 하는 등의 번거로움이 있다. 해석의 정확도 측면에서 보면, COM 해석법은 입력 또는 출력 IDT 전체를 하나의 블럭으로 단순화시켜서 해석하는 반면에 등가회로 해석법은 IDT 전극 각각에 대한 해석을 따로 하기 때문에 좀 더 정확한 해석법이라 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 등가회로 해석법의 하나인 Smith 등가회로 해석법[9]을 이용하여 불균일한 IDT 구조를 가지는 SPUDT의 특성을 해석하였다.

SAW 필터를 SPUDT와 하면 일반적으로 삽입손실부분은 개선이 되나, 다른 필터 특성들은 열화가 되는 경향이 있는데, 특히 weighting된 SAW 필터의 SPUDT화에 따르는 특성열화를 보상하기 위한 기법들로 apodization과 withdrawal weighting을 IDT내에서 병행하는 기법, IDT 내의 폭이 넓은 전극을 폭이 좁은 전극의 weighting과 무관하게 독립적으로 행하는 기법, 그리고 RDA(reflective dot array) 구조[10]를 적용한 기법 등을 이용한다. 본 논문에서는 apodization weighting을 한 SAW 필터를 SPUDT화했을 때 가지는 성능에 대해서 분석하였고, 그 결과로 발생하게된 특성열화를 보상하기 위한 방법으로 폭이 넓은 전극을 삼각형 모양으로 독립적인 weighting을 적용하였고, 그 효율성을 분석해 보았다. 그리고 전극 두께와 전극 개수에 따른 DART 및 EWC/SPUDT형 SAW 필터의 특성변화를 비교, 분석하였다.

II. 이론적 배경 및 SPUDT의 설계

2. 1. DART와 EWC/SPUDT의 구조 및 특징

DART와 EWC/SPUDT는 현재 가장 널리 이용되고 있는 SPUDT이다. 이 두 종류는 모두 IDT 내에서 내부반사를 주로 발생시키는 넓은 폭의 전극을 포함하고 있으며, 한 주기를 전체적으로 놓고 볼 때, 이중전극형 SAW 필터의 형태에서 변형된 구조를 하고 있다. 그 구조적인 차이는 그림 1에서 보는 바와 같이 넓은 폭의 전극을 볼 때, DART는 넓은 전극의 폭이 파장의 3/8 배이므로 IDT 전체로 보면 metallization ratio가 5/8의 값을 가진다. 반면에 EWC/SPUDT는 넓은 전극의 폭이 파장의 1/4 배이기 때문에 metallization ratio가 일반적인 SAW 필터와 같이 1/2인 값을 가진다. 따라서 동일한 파장에 대해서 DART가 EWC/SPUDT에 비해 낮은 중심 주파수를 가진다.

필터의 성능에 대한 DART와 EWC/SPUDT 차이점은 DART가 EWC/SPUDT에 비해서 반사계수가 크지만,

EWC/SPUDT가 DART 보다 높은 변환강도(transduction strength)를 가진다. 변환 위상각(transduction phase angle)의 경우는 DART의 경우가 EWC/SPUDT에 비해 SPUDT의 이상적인 위상각인 $\pm 45^\circ$ 에 더 근접하므로 EWC/SPUDT의 경우가 손실과 위상에 대해 왜곡이 발생할 소지가 많다. 따라서 weighting을 행한 경우에 이러한 왜곡의 대한 영향이 적은 DART가 EWC/SPUDT 보다 더 적은 삽입손실을 기대할 수 있다[10].

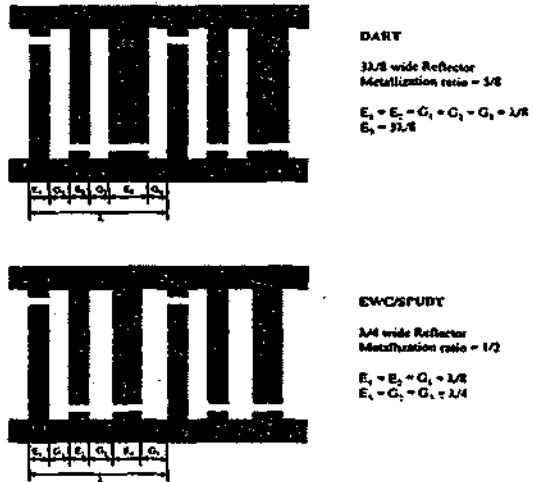


그림 1. DART와 EWC/SPUDT의 기본구조
Fig. 1. Basic structure of DART and EWC/SPUDT.

2. 2. Apodized SPUDT 해석을 위한 Smith 등가회로 모델 구성

Smith 등가회로는 그림 2에 나타난 바와 같이 전극 한 개와 양쪽에 전극폭의 1/2에 해당하는 만큼의 길이의 공간을 합쳐서 하나의 단위로 구성하여, 이를 전송행렬로 표현한다. 횡단형 SAW 필터는 6×6 형태의 전송행렬로 IDT 전극을 구성할 수 있고, 전송행렬에 대한 구성 및 전송행렬을 이용하여 필터의 성능을 구현하는 방법은 참고문헌 [11]에 잘 설명되어 있다.

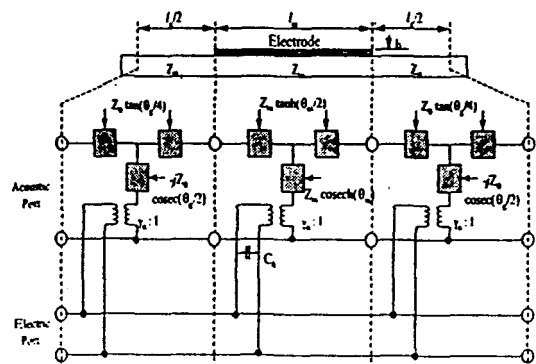


그림 2. 전극 한 개에 대한 Smith 등가회로모델
Fig. 2. Smith equivalent circuit model for one electrode.

평단형 SAW 필터의 경우는 chirp type SAW 필터를 제외하고는 IDT내의 각각의 전극폭과 전극들간의 간격이 일정한 경우가 대부분이다. 반면에 DART나 EWC/SPUDT의 IDT 구조는 앞서 설명한 바와 같이 IDT내에서의 전극폭과 전극들간의 간격들이 동일하지 않다. 이러한 이유 때문에 각각의 IDT 전극에 대해서는 앞의 Smith 등가회로 파라미터들에 대한 관계식들을 다르게 설정해 주어야 한다.

먼저 이중전극형 SAW 필터의 경우는 전극폭이 파장의 1/4 배인 단일전극형의 절반인 파장의 1/8 배인 전극폭을 가지고, 전극들의 폭과 간격이 모두 동일하므로 식 1과 같이 전극폭과 음향변환각(acoustic transit angle)에 대한 식을 구성할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 l_m &= p/8 \\
 \beta_m &= \frac{1}{2} \eta \frac{\pi \cdot f \cdot p}{v_m} \\
 \theta_g &= \frac{1}{2} (1 - \eta) \frac{\pi \cdot f \cdot p}{v_g}
 \end{aligned} \tag{1}$$

여기서, f : 주파수

- l_m : IDT 전극폭
- β_m : IDT 내에 전극 있는 부분의 음향변화각
- θ_g : IDT 내에 전극 없는 부분의 음향변화각
- p : IDT 주기 (SAW의 파장)
- η : metallization ratio
- v_m : 전극이 있는 부분에서의 SAW 속도
- v_g : 전극이 없는 부분에서의 SAW 속도

EWC/SPUDT와 DART는 한 주기 내에서 전극들의 폭과 간격이 각각 다르므로, 각각의 전극에 대해 다른 관계식을 적용하여야 하는데, 그림 1에서 보면 EWC/SPUDT와 DART의 경우 가는 폭의 전극들은 이중전극형과 같은 치수를 가지므로 식(1)을 그대로 이용하면 된다. 반면에 두꺼운 폭을 가지는 전극에 대해서는 그 전극폭에 따라, EWC/SPUDT는 식(2)를 적용하고, DART는 식(3)을 적용하면 된다.

$$\begin{aligned}
 \eta &= 0.5 \\
 l_m &= p/4 \\
 \beta_m &= \eta \frac{\pi \cdot f \cdot p}{v_m} \\
 \theta_g &= (1 - \eta) \frac{\pi \cdot f \cdot p}{v_g}
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
 \eta &= 0.75 \\
 l_m &= 3p/8 \\
 \beta_m &= \eta \frac{\pi \cdot f \cdot p}{v_m} \\
 \theta_g &= (1 - \eta) \frac{\pi \cdot f \cdot p}{v_g}
 \end{aligned} \tag{3}$$

식(2)와 식(3)에서 DART와 EWC를 비교하여 보면, η 의 경우 DART가 EWC/SPUDT 보다 더 큰 값을 가지므로 한 개의 IDT 전극에 발생하는 전기적 캐패시턴스는 DART가 EWC/SPUDT 보다 더 큰 값을 가지게 된다. 그리고 전극폭의 경우 DART가 EWC/SPUDT 보다 더 큰 값을 가지므로 동위상 주파수는 DART가 EWC/SPUDT 보다 더 작은 값을 가진다. 전기적 캐패시턴스와 동위상 주파수는 압전변환율(transformer ratio)에 대하여 각각 제곱근에 비례하므로 전극폭에 따라 다른 압전변환율을 가짐을 알 수 있다.

다음으로 apodization weighting의 영향을 반영하였는데, apodization 기법으로는 디지털 필터의 설계법으로 잘 알려진 Remez exchange 알고리즘을 채택하였다[12]. apodization weighting 기법은 전극 길이에 변화를 주어 성능을 개선하는 방법으로 Smith 등가회로 모델을 구성함에 있어서 전기적 캐패시턴스가 전극 길이에 비례하여 바뀔 수 있어서 고려하면 된다.

III. Apodized SPUDT의 해석

3. 1. 이중전극형 SAW 필터와 SPUDT의 시뮬레이션 결과 비교

먼저 Smith 등가회로 해석법을 이용한 시뮬레이션 도구를 이용하여 apodization weighting을 적용한 이중전극형 SAW 필터에 비해서 단순하게 SPUDT를 적용한 형태의 필터가 가지는 특성이 어떠한지 EWC/SPUDT와 DART를 비교, 분석하였다. 성능 해석용 재료로는 36° YX LiTaO₃ 기판을 이용하였다. 구체적인 IDT 형태는 입력단 IDT의 경우 폭이 넓은 전극의 weighting을 폭이 좁은 전극의 weighting과 같이 sink 함수의 형태를 가지도록 하였고, 출력단 IDT는 전극 길이가 일정한 normal IDT를 사용하되 내역폭을 맞추기 위해서 IDT 전극 개수를 입력단 IDT 전극 개수보다 적게 두었다. 그리고 성능 해석을 위한 초기 구조변수 사양은 표 1에 제시한 바와 같다.

표 1. 시뮬레이션을 위한 초기 사양
Table 1. Initial reference specification for simulation.

Specifications	Value
Center Frequency	100 MHz
Number of the Input IDT Pair	40 Pairs
Number of the Output IDT Pair	20 Pairs
Electrode Thickness	0.02 × Wavelength
Aperture Width	25 × Wavelength
Terminal Impedance	50 Ohm

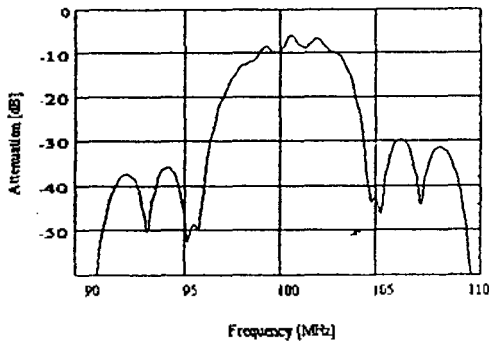
표 2. Apodized SAW 필터의 성능 비교

Table 2. Comparison of apodized SAW filter performance.

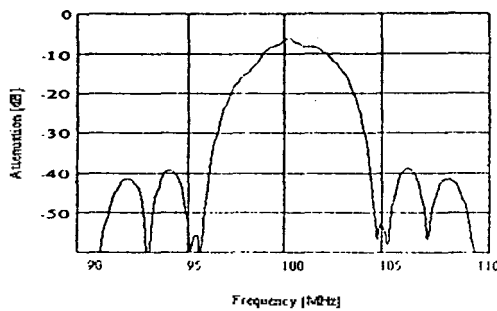
Performance Characteristics	Filter Type	Double Electrode Type SAW Filter	EWC /SPUDT	DART
Insertion Loss		-6.30 dB	-6.07 dB	-6.02 dB
Passband Ripple		4.01 dB	1.95 dB	0 dB
Sidelobe Rejection Level		29.5 dB	38.6 dB	38.2 dB
Shape Factor		1.98	2.50	2.50

* Shape Factor = $\frac{\text{Transmission Zero Frequencies Deviation}}{-5 \text{ dB Bandwidth}}$

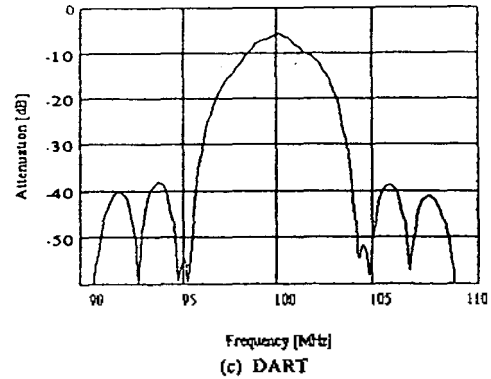
해석 결과를 표 2와 그림 3에 나타내었는데, EWC-/SPUDT와 DART 모두 S₂₁의 주파수 스펙트럼의 대칭성이 증가하였고, 삽입손실은 이중전극형 SAW 필터에 비해 약간 감소하였다. SPUDT를 적용함으로써 특히 많이 개선된 부분은 지지대역 감쇠도와 통과대역내의 리플인데, EWC/SPUDT의 경우에 리플이 완전히 제거되지는 않았다. 그런데 SPUDT를 적용함으로써 형상도의 경우는 오히려 나빠졌다.



(a) Double electrode type SAW filter



(b) EWC/SPUDT



(c) DART

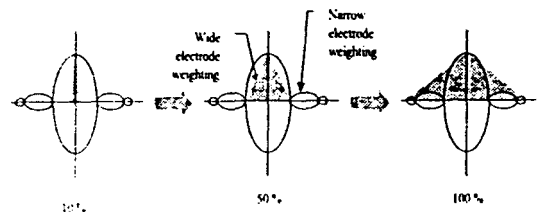
그림 3. Apodized 이중전극형 및 SPUDT형 SAW 필터의 S₂₁ 특성

Fig. 3. S₂₁ Performance of apodized double electrode type SAW filter and SPUDT.

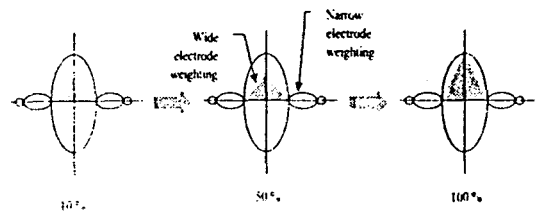
이러한 결과들로 비추어 보면 apodization weighting을 했을 경우에 개선된 점이 많지만, 성능이 오히려 좋지 않은 방향으로 변화하는 경우가 있기 때문에 weighting을 조금 다르게 적용하여 이러한 왜곡 현상들을 개선할 필요가 있다.

3. 2. SPUDT의 폭이 넓은 전극의 weighting에 따른 변화 경향

앞에서 나타난 비와 같은 SPUDT의 적용 시에 왜곡현상을 제거하고자 하는 목적으로 폭이 넓은 전극의 weighting을 독립적으로 다르게 적용하여 해석하였다. 폭이 넓은 전극의 역할은 폭이 좁은 전극에 대해서 압전변환보다는 탄성파의 반사에 주로 영향을 미치기 때문에 weighting을 다르게 할 필요성이 있다. 일반적으로 폭이 넓은 전극의 weighting을 독립적으로 행할 때, 삼각형 함수 모양으로 weighting을 하는 경우가 일반적으로 알려져 있다[6].



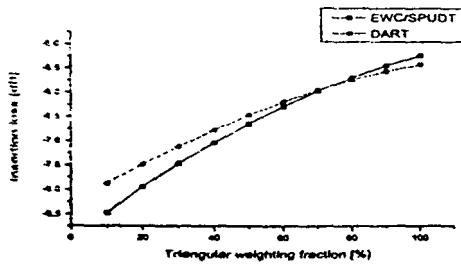
(a) Change method of wide electrode triangular weighting fraction.



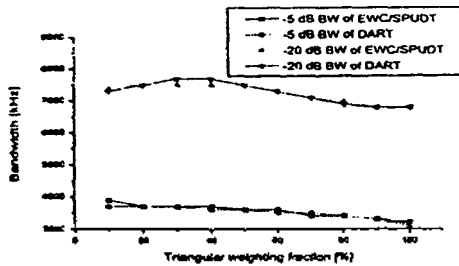
(b) Change method of wide electrode triangular weighting magnitude

그림 4. 폭이 넓은 전극의 삼각형 weighting 변화 방법

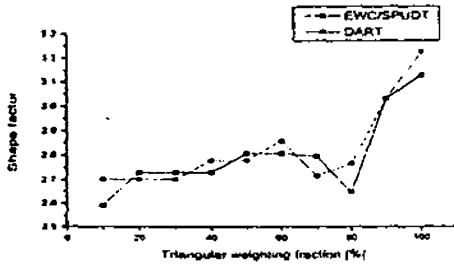
Fig. 4. Change method of wide electrode triangular weighting.



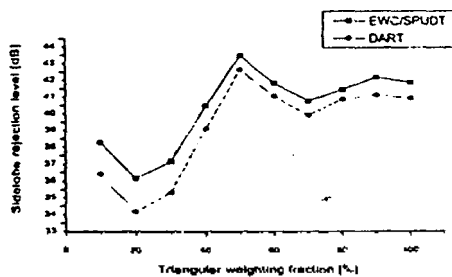
(a) Variation of insertion loss.



(b) Variation of bandwidth.



(c) Variation of shape factor.



(d) Variation of sidelobe rejection level.

그림 5. 폭이 넓은 전극의 삼각형 weighting 분율에 따른 EWC/SPUDT와 DART의 성능변화

Fig. 5. Performance variation of EWC/SPUDT and DART with wide electrode triangular weighting fraction.

이러한 삼각형 함수에 대한 설계값을 결정하기 위한 방법으로 폭이 넓은 전극의 weighting을 그림 4에 제시한 두 가지 방법으로 변화를 주어서 해석하였다. 첫 번째 방법으로 폭이 넓은 전극의 weighting을 삼각형 형태로 하고 그 비율을 조절했을 때의 성능변화를 그림 5에 나타내었다. weighting 비율이 10 %인 경우부터 weighting 비율이 100 %가 될 때까지 변화시키면 삽입손실은 계속 감소하는 경향을 보인다. 특히 weighting 비율이 낮을 때

는 DART가 EWC/SPUDT에 비해 작은 삽입손실을 가지다가, weighting의 비율이 높아지면 오히려 EWC/SPUDT가 DART보다 삽입손실이 더 작아지게 되는데, 이는 EWC/SPUDT가 DART보다 변환강도가 더 크기 때문이다. 대역폭은 -5 dB 대역폭과 -20 dB 대역폭이 각각 다른 특이한 경향을 보인다. Weighting 비율이 0 %에서 30 %까지 증가하는 구간에서는 -5 dB 대역폭은 감소하고 -20 dB 대역폭은 증가하므로, 형상도가 나빠지는 경향을 보인다. Weighting 비율이 40 %에서 80 %까지 증가하는 구간에서는 -20 dB 대역폭이 -5 dB 대역폭에 비해 더 급격히 감소하므로 형상도가 다시 개선된다. 80 % 이상의 구간에서는 다시 -20 dB 대역폭이 약간 증가하고 -5 dB 대역폭이 감소하므로 형상도가 다시 나빠진다. 즉, 삽입손실을 감소시키고 SPUDT의 특성을 확대하기 위하여 weighting 비율을 최대로 설정해야 하겠지만, 형상도와 저지대역 감쇠도를 고려한다면 본 경우에 대해서는 약 70 - 80 %의 weighting 비율을 가질 때 여러모로 좋은 성능이 기대된다.

두 번째 방법으로, 폭이 넓은 전극의 weighting을 삼각형 모양으로 하고 폭이 넓은 전극에 대해 전체적인 전극 길들 변화시킨 경우인데, 전극길이를 증가시키면 그림 6의 결과와 같이 삽입손실이 감소하게 됨을 알 수 있다. 다른 성능들은 형상도가 약간 감소하는 경향을 가지나 그러한 변화는 없고, 다른 성능들 역시 큰 변화가 없다. 따라서 폭 넓은 전극의 길이는 최대로 하는 것이 바람직하다.

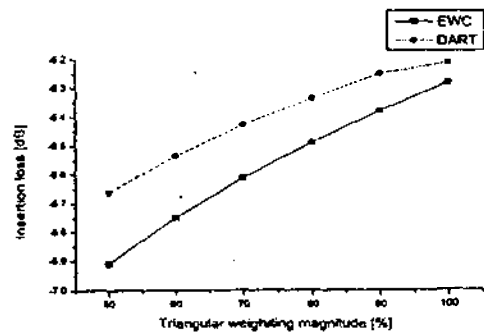


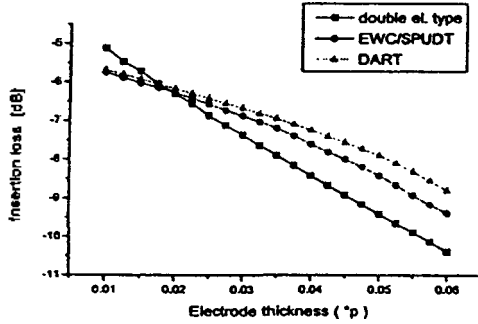
그림 6. 폭이 넓은 전극의 삼각형 weighting 크기에 따른 EWC/SPUDT와 DART의 삽입손실 변화

Fig. 6. Insertion loss variation of EWC/SPUDT and DART with wide electrode triangular weighting magnitude.

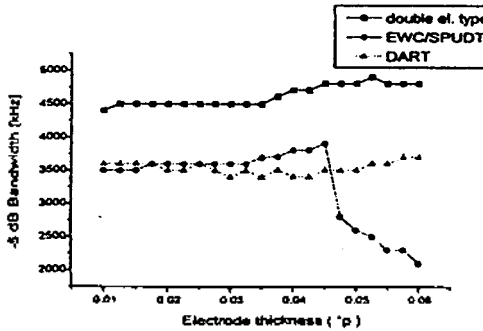
3. 3. 전극 두께와 IDT 전극 개수에 따른 성능변화

SPUDT의 특성은 전극두께와 IDT 전극 개수에 따라 변화함을 예상할 수 있다. 전극두께가 변하면 SAW 속도가 변하게 되고, 따라서 중심주파수도 변화하게 된다. 이는 큰 변환효율과 전극의 반사계수에 영향을 주어 삽입손실의 변화를 초래하게 된다. IDT 전극의 개수가 증가하면 기본적으로 대역폭이 감소하게 되고, 이외에도 반란 또는 내부반사의 영향이 확대될 수 있다. 따라서 SPUDT

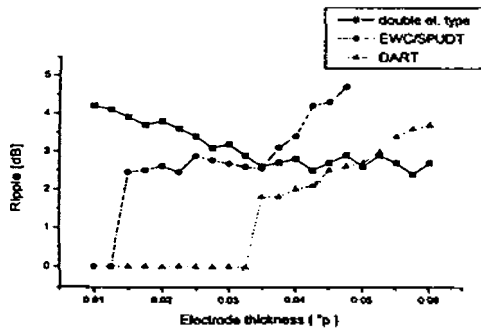
의 영향이 더 확대될 수 있음이 예상된다. 그러므로 이상적인 성능을 가지는 SPUDT를 설계하기 위해서는 전극두께와 IDT 전극 개수의 적절한 조절이 필수적이다.



(a) Variation of Insertion loss



(b) Variation of -5 dB bandwidth.



(c) Variation of passband ripple.

그림 7. 전극 두께에 따른 EWC/SPUDT와 DART의 성능변화
Fig. 7. Performance variation of EWC/SPUDT and DART with electrode thickness.

그림 7은 apodization weighting을 한 이중전극형 SAW 필터 및 폭이 넓은 전극을 삼각형 모양으로 weighting한 경우의 apodized SPUDT에 대해서 전극두께만을 변화시킨 경우의 성능변화이다. 삽입손실은 전극두께가 두꺼워지면 계속 증가하게 되는데, 전극두께가 얇을 때는 이중전극형 SAW 필터가 삽입손실이 작지만 전극두께가 두꺼

워지면 SPUDT가 오히려 삽입손실이 더 작게 된다. 전극 두께가 두꺼워지면 폭이 넓은 전극에서 반사가 더 크게 일어나므로 이러한 결과를 보이는 것으로 생각된다. -5 dB 대역폭은 이중전극형 SAW 필터가 SPUDT보다 더 크게 나타나고, 전극두께에 대해서 큰 변화는 없다. EWC/SPUDT의 대역폭이 파장의 0.05 배의 전극두께에서 급격히 감소하는 이유는 리플이 상당히 증가했기 때문이다. 리플의 경우는 이중전극형 SAW 필터와 SPUDT가 서로 다른 경향을 가진다. 이중전극형 SAW 필터는 전극 두께가 두꺼워 질수록 리플이 감소하게 되고, SPUDT는 리플이 거의 없다가 특정 전극두께에서 리플이 발생하여 전극두께가 증가함에 따라 리플이 증가하는 경향을 보인다. 특히 DART는 EWC/SPUDT에 비해 리플이 적다. 여기서 알 수 있는 것은 이중전극형 SAW 필터의 설계시에 리플을 감소시키려면 전극두께를 두껍게 해야하고, 이는 삽입손실을 증가시키는 원인이 된다. 반면에 SPUDT의 경우는 전극두께를 얇게 설계하면 리플이 거의 없고, 삽입손실도 적게 할 수 있다. 그러므로 리플이 없는 성능을 가지는 필터를 설계하는 경우에는 SPUDT가 가지는 삽입손실이 이중전극형 SAW 필터에 비해 훨씬 줄어들게 된다.

표 3. 이중전극형 및 SPUDT의 IDT 전극쌍수에 따른 성능변화
Table 3. Performance variation of a double electrode type SAW filter and SPUDT with number of the IDT finger pairs.

Number of the Input IDT Pair		30	60	90
Number of the Output IDT Pair		15	30	45
Double Electrode Type SAW Filter	Insertion Loss [dB]	-7.18	-9.82	-12.66
	Bandwidth [%]	5.1	2.9	2.8
	Shape Factor	2.56	2.44	2.33
	Ripple [dB]	4.7	4.9	3.8
	Side Lobe Rejection Level [dB]	23.3	17.8	17.9
EWC/SPUDT	Insertion Loss [dB]	-8.17	-8.76	-11.30
	Bandwidth [%]	6.4	4.0	-
	Shape Factor	2.04	1.79	-
	Ripple	3.5	4.4	> 5
	Side Lobe Rejection Level	31.8	26.0	23.3
DART	Insertion Loss [dB]	-8.46	-7.20	-9.31
	Bandwidth [%]	6.4	3.5	2.7
	Shape Factor	2.08	1.96	1.82
	Ripple	2.6	3.9	3.6
	Side Lobe Rejection Level	32.8	26.5	24

표 3은 IDT 전극 개수를 증가시킨 경우의 결과비교이다. 입력단의 IDT 주기의 수를 이중전극형 SAW 필터와 EWC/SPUDT, 그리고 DART에 대해서 각각 30, 60, 90개로 증가시킨 경우이고, 출력단 IDT 주기의 수는 입력단의 반으로 하여 해석하였다. 결과에서 주목할 점은

IDT 주기수가 30인 경우에는 오히려 이중전극형 SAW 필터의 삽입손실이 SPUDT 보다 더 작게 나타났고, IDT 전극 개수가 많아질수록 SPUDT가 이중전극형 SAW 필터에 비해 더 작은 삽입손실을 갖게 되고, 특히 DART가 EWC/SPUDT 보다 더 작은 삽입손실을 가진다. 즉 각각의 필터 사양에 대한 IDT 전극 개수에 따른 삽입손실의 경향은 임피던스 정합에 대한 영향이 매우 크기 때문에 일반적인 경향과는 다른 결과를 보이고 있지만, 동일 전극 개수 내에서 각각의 필터 사양들을 비교하여 보면, 전극 개수가 증가함에 따른 SPUDT 적용의 삽입손실 개선의 효과를 잘 보여주고 있다. 비대역폭과 형상도의 경우는 전반적으로 SPUDT가 이중전극형 SAW 필터에 비해 더 좋은 성능을 보이고 있다. 통과대역내의 리플은 IDT 전극 개수가 많아질수록 이중전극형 SAW 필터와 DART의 경우에는 큰 변화는 없지만 EWC/SPUDT에는 필터로서의 역할을 할 수 없을 정도로 상당히 많이 증가한다. 저지대역 감쇠도는 기본적으로 SPUDT가 이중전극형 SAW 필터 보다 더 큰 값을 가지고, IDT 전극 개수가 증가하면 저지대역 감쇠도가 떨어지게 된다.

V. 결 론

본 연구에서는 현재 가장 널리 사용되는 SPUDT의 종류로서 DART(distributed acoustic reflection transducer)와 EWC(electrode width controlled)/SPUDT를 선정하고 Smith 등가회로 해석법을 이용하여 특성해석을 하였고, 이 두 가지의 형태의 SPUDT를 기존의 양방향성 SAW 필터와 비교하여 분석하였다.

Apodization weighting을 한 경우에 SPUDT가 어떠한 성능을 가지는가를 보았고, SPUDT의 경우 폭이 넓은 전극에 삼각형 형태의 weighting을 적용하였을 때 나타나는 성능변화를 분석하였다. 그리고 전극 두께와 IDT 전극 개수에 따른 변화를 보았다. 이러한 연구결과는 apodization weighting을 적용한 DART 및 EWC/SPUDT형 SAW 필터를 설계할 시에 SPUDT의 장점인 삽입손실 및 TTI를 개선시키고, SPUDT의 적용으로 인해 생기는 특성열화권 보상하기 위한 방법을 제시하여 준다. 본 연구의 결과는 특정 형태의 SAW 필터에 SPUDT를 적용하는 문제에 있어서 적절한 SPUDT의 타입을 결정하는데 도움을 주리라 기대된다. 나아가 본 연구에서는 시뮬레이션을 통한 SAW 필터에 대한 해석을 행하였는데, 이 시뮬레이션 도구에 대한 실험적인 검증이 이루어질 필요성이 있고 이는 향후에 수행할 계획이다.

참 고 문 헌

1. S. Jen and C. S. Hartmann, "Synthesis and Performance of Medium Bandwidth, Low Time-Spurious, High Out-of-Band Rejection SPUDT Filters", IEEE Ultras. Symp. Proc., pp. 9-13, 1993.
2. C. S. Hartmann, P. V. Wright, R. J. Kansy, E. M. Garber: "An Analysis of SAW Interdigital Transducers with Internal

- Reflections and the Application to the Design of Single-Phase Unidirectional Transducers", IEEE Ultras. Symp. Proc., pp. 40-45, 1982.
3. P. V. Wright: "The Natural Single-Phase Unidirectional Transducer: A New Low-Loss SAW Transducer", IEEE Ultras. Symp. Proc., pp. 58-63, 1985.
4. M. F. Lewis, "Low Loss SAW Devices Employing Single Stage Fabrication", IEEE Utras. Symp. Proc., pp. 104-108, 1983.
5. K. Yamanouchi, H. Furuyashiky, "Low-Loss SAW Filter Using Internal Reflection Types of New Single-Phase Unidirectional Transducer", IEEE Ultras. Symp. Proc., pp. 68-71, 1984.
6. T. Kodama, H. Kawabata, Y. Yasuhara and H. Saio, "Design of Low-Loss SAW Filters Employing Distributed Acoustic Reflection Transducers", IEEE Ultras. Symp. Proc., pp. 59-64., 1986.
7. C. S. Hartmann and B. P. Abbott, "Experimentally Determining the Transduction Magnitude and Phase and the Reflection Magnitude and Phase of SAW SPUDT Structures", IEEE Ultras. Symp. Proc., pp. 37-42, 1990.
8. P. V. Wright, "Analysis and Design of Low-Loss SAW Device with Internal Reflections Using Coupling-of-Modes Theory", IEEE Ultras. Symp. Proc., pp. 141-152, 1989.
9. W. R. Smith, H. M. Gerard, and W. R. Jones, "Analysis and Design of Dispersive Interdigital Surface-Wave Transducers", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-20, No. 7, 1972.
10. E. M. Garber, D. S. Yip and D. K. Henderson, "Design of High Selectivity DART SPUDT and Lithium Tantalate", IEEE Ultras. Symp. Proc., pp. 7-12., 1994.
11. 노용래, "사다리꼴 SAW 필터의 최적 설계", 한국음향학회지, 18, 1-16, 1999.
12. C. Campbell, *Surface Acoustic Wave Devices and Their Signal Processing Applications*, (Academic Press, Inc., 1989), Chap. 8, pp. 145-192.

▲이 승 희(Seung-Hec Lee)



1997년 2월: 영남대학교 금속 및 재료공학부 졸업(공학사)
 1999년 2월: 경북대학교 센서공학과 졸업(공학석사)
 1999년 3월~현재: 경북대학교 센서공학과 박사과정 재학
 ※주관심 분야: 압전세라믹 소자, 표면탄성파 필터

▲노 용 래(Yongrae Roh)

한국음향학회지 17권 3호 참조