한국음향학회지 제21권 제2호 pp. 102~109 (2002)

위드로웰 가중형 SAW 사다리 필터의 최적화

Optimization of Withdrawal Weighted SAW Ladder Filters

이 영 진*, 이 승 희**, 노 용 래***
(Youngjin Lee*, Seunghee Lee**, Yongrae Roh***)

*대구과학대학 디지털정보통신계열, **경북대학교 센서공학과, ***경북대학교 기계공학부

(접수일자: 2001년 8월 16일; 채택일자: 2001년 10월 30일)

본 논문에서는 위드로웰 (withdrawal) 가중형 SAW 필터를 자동으로 최적화할 수 있는 설계도구의 개발 내용을 제시하였다. SAW 공진기에 위드로웰 가중법이 적용될 경우, 향상된 대역폭 및 천이대역 특성을 구현할 수 있으며, 이러한 위드로웰 가중효과를 이용하여 사다리형 위드로웰 SAW 필터의 최적화 도구를 완성하였다. 본 설계방법의 유효성을 검증하기 위하여 RF 대역 CDMA용 TX 및 RX SAW 필터를 본 설계도구를 이용하여 최적화하였으며 실제 실험 결과, 이론과 매우 잘 일치함을 알 수 있었다.

핵심용어: 탄성표면파 필터, 위드로웰 가중법, 최적화, 사다리 필터
투고분야: 초음파 및 탄성파 분야 (4.5)

This paper proposes a new design algorithm to optimize the withdrawal weighted SAW ladder devices. Withdrawal weighting on SAW resonators gives enhanced bandwidth and transition band characteristics, so an optimization algorithm was developed for ladder type SAW filters. To illustrate the validity of the technique, this method was applied to the design of RF band CDMA TX SAW filters, and the design results were confirmed to show good agreement with experimental performance.

Keywords: *SAW filter, Withdrawal weighting, Optimization, Ladder filter*
ASK subject classification: *Ultrasonic and elastic waves (4.5)*

I. 서 론

SAW (surface acoustic wave) 필터 설계시 주어진 사양을 만족하는 성능을 가질 수 있는 구조를 결정하는 것은 매우 중요한 사안이다. 그러나 각종 이론을 바탕으로 곧바로 SAW 필터를 설계하는 것은 거의 불가능하며, 또한 시행착오식의 설계방식은 설계시간과 제작비용뿐만 아니라 필터의 성능면에서도 큰 기대를 갖기 어렵다. 따라서 자동설계 도구의 개발은 이러한 어려움을 극복하기 위해서 필수적으로 거쳐야 할 단계라 할 수 있다.

다양한 구조의 SAW 디바이스 중 그림 1과 같은 사다리형 필터의 경우, 간단한 일단자 또는 이단자 공진기들의 조합을 통해 전체적인 필터 특성을 구현하고 있으며, 저손실과 광대역 특성 및 저지대역에서 큰 감쇠특성을 가지고 있으므로 주로 고주파대역 RF 필터로 많이 사용되고 있다[1,2]. SAW 디바이스의 사양이 점점 까다롭게 요구됨에 따라 새로운 형태 및 설계기법이 많이 제시되고 있다. 그 중 위드로웰 가중형 SAW 필터는 일정한 간격의 전극에서 특정 전극의 제거로 이루어지며 일정한 전극폭으로 인해 정상파면을 형성함으로써 파의 굴절로 인한 왜곡이 줄어들고 전극 자체의 질량효과의 감소 및 형상도의 증가, 통과대역에서의 뛰어난 선형성 등의 효과를 거둘 수 있다[3-8]. 위드로웰 가중법에 대한 기존의 연구사례는 주로 IF (intermediate frequency) 대역 필터에 사용되는 횡단형 필터에 대한 것이 주종을 이루고 있으며[4-8], RF (radio frequency) 대역에 사용되고 있는 공진기형 SAW 필터에 위드로웰 가중법을 이용한

책임저자: 이영진 (yjlee@ecom.taegu-c.ac.kr)
702-723 대구광역시 북구 태전동 390번지
대구과학대학 디지털정보통신계열
(전화: 053-320-1160; 팩스: 053-320-1159)

연구는 참고문헌 [3]이 유일한 상태이다. 또한 기본적인 사다리형 SAW 디바이스에 관한 최적화 연구결과는 찾을 수 있으나[9], 위드로웰 가중법이 적용된 사다리형 SAW 디바이스의 최적화에 관한 연구사례는 전무한 상태이다. 특히 위드로웰 가중법을 사다리형 SAW 디바이스에 적용할 경우 필터의 천이대역 특성을 개선함으로써 주파수 특성의 향상효과를 거둘 수 있으며, 나아가 전체 사다리의 수를 줄임으로써 SAW 디바이스의 크기를 줄일 수 있는 이점도 가지고 있다[3].

따라서 본 논문에서는 SAW 필터에 위드로웰 가중법을 적용하여 사다리형 위드로웰 SAW 필터를 자동으로 최적화할 수 있는 설계도구를 개발, 제시하고자 한다. SAW 필터의 특성을 해석하기 위해 Smith 모델[10]을 이용한 필터 해석툴을 이용하고 중심주파수, 대역폭, 리플, 저지대역 감쇠도, VSWR (voltage standing wave ratio) 및 삽입손실까지 모두 주어진 사양을 만족시킬 수 있는 알고리즘을 개발하고자 한다. 이를 위해 위드로웰 가중법이 사다리형 SAW 필터에 미치는 효과 및 각종 형상변수가 필터 성능에 미치는 효과를 바탕으로 구한 설계기준표를 작성하며, 대상모델로서 CDMA (code division multiple access)용 RF 대역 RX 및 TX 필터를 선정하고, 최적화된 모델을 실제 실험을 통해 제작하여 본 연구를 통해 개발한 설계기법의 타당성을 확인하고자 한다.

II. 설계변수의 결정 및 형상변수 변화에 의한 특성변화 분석

사다리형 SAW 필터의 직렬공진기에 위드로웰 가중이 취해질 경우, 중심주파수와 대역폭, 리플은 다소 감소하나 오른쪽 전송영점 (transmission zero point)의 위치가 왼쪽으로 이동함에 따라 오른쪽 천이대역의 특성이 개선되며, 반면 병렬공진기의 경우 왼쪽 천이대역의 특성이 개선된다[3].

사다리형 위드로웰 SAW 필터의 최적화를 위해서 위드로웰 가중법이 SAW 필터에 미치는 효과 외에도 SAW 필터의 모든 설계변수가 성능에 미치는 효과를 구해야 한다. 이를 위해 그림 1과 같이 직렬 및 병렬공진기가 각각 3개씩으로 이루어진 사다리형 SAW 필터를 임의적으로 구성하고, 직렬공진기 및 병렬공진기의 세부 설계변수를 표 1과 같이 두어 중심주파수 800 MHz에서 28 MHz의 대역폭을 가지는 사다리형 필터를 임의적으로 구성하였다. 구성된 SAW 디바이스의 설계변수를 나열하면 다음과 같다. 여기서 첨자 S와 P는 각각 직렬과 병렬공진기를 나타낸다.

표 1. 사다리형 SAW 필터의 설계변수
Table 1. Design parameters of the SAW ladder filter.

design parameters	value
substrate	36° Y-X $LiTaO_3$
S electrode number	225
S reflector number	142
S electrode width	50 μm
P electrode number	167
P reflector number	142
P electrode width	150 μm

(* *S* : series resonator, *P* : parallel resonator)

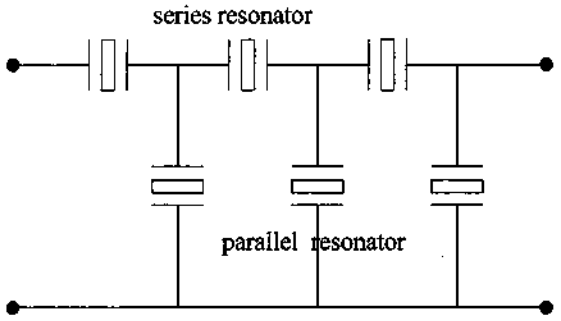

그림 1. 6개의 직렬, 병렬공진기의 조합을 통한 사다리 필터의 구성
Fig. 1. Ladder filter composed of 6 series and parallel resonators.

P_S, P_P : 전극 주기
P_{Sr}, P_{Pr} : 반사기 주기
W_S, W_P : 전극 길이
η_S, η_P : 전극대 공극비
η_{1Sr}, η_{3P} : 반사기의 전극대 공극비
$NIDT_S$, $NIDT_P$: 전극수
$Nref_S$, $Nref_P$: 반사기수
h : IDT 두께
$SKIP$: 위드로웰 위치

직렬과 병렬 공진기가 각각 세 개씩인 사다리형 SAW 필터의 설계변수는 총 16×3개이며, 이 모든 변수를 일일이 조절하여 필터를 설계함은 지극히 비효율적이며 실제로 불가능하다. 따라서 여러 변수 중 서로간에 일정한 상관성이 존재하고, 이 상관성에 의해 독립적으로 조절할 필요가 있는 독립 변수들만을 정리하면 표 2와 같이 총 9개의 설계변수로 축소할 수 있다. 즉 9개의 변수만을 조절하면 나머지 변수들도 저절로 결정이 되고 따라서 전체

표 2. 사다리형 SAW 위드로월 필터의 설계변수의 간략화
Table 2. Simplification of the design parameters for the ladder type SAW withdrawal filter.

parameters	description
$P_S=P_{1S}=P_{2S}=P_{3S}$, $P_P=P_{1P}=P_{2P}=P_{3P}$	electrode period
$P_{Sr}=P_S$, $P_{Pr}=P_P$	reflector period
$W_S=W_{1S}=W_{2S}=W_{3S}$, $W_P=W_{1P}=W_{2P}=W_{3P}$	IDT width
$\eta=\eta_{1S}=\eta_{2S}=\eta_{3S}=\eta_{1P}=\eta_{2P}=\eta_{3P}=0.5$	electrode's metallization ratio (fixed)
$\eta_r=\eta_{1Sr}=\eta_{2Sr}=\eta_{3Sr}=\eta_{1Pr}=\eta_{2Pr}=\eta_{3Pr}=0.5$	reflector's metallization ratio (fixed)
$NIDT_S=NIDT_{1S}=NIDT_{2S}=NIDT_{3S}$	electrode pair number of series resonator
$NIDT_P=NIDT_{1P}=NIDT_{2P}=NIDT_{3P}$	electrode pair number of parallel resonator
$Nref_S=Nref_{S1}\times C_1=Nref_{S2}\times C_1=Nref_{S3}\times C_1$	reflector number of series resonator
$Nref_P=Nref_{P1}\times C_{12}=Nref_{P2}\times C_1=Nref_{P3}\times C_2$	reflector number of parallel resonator
h	IDT thickness
$SKIP$	withdrawal position
	Total 9 variable design parameters

필터의 성능을 변화시킬 수가 있다. 우선 모든 직렬 및 병렬 공진기를 각각 같게 두어 변수를 줄였으며, 다음으로 각 IDT 내 전극쌍의 수를 같게 두었다. 반사기 내의 전극수에 대해서는 사전 경향분석을 통하여 IDT 내 전극쌍의 수의 75~85 %가 적절한 것을 알 수 있었으며, 이에 따라 반사기 내의 전극수를 설계변수에서 제외시킬 수 있었다. 또한 IDT 내의 전극폭 역시 직렬 및 병렬 공진기에 대해 각각 하나로 줄일 수 있다.

다음 단계로서 이상의 각 설계변수의 변화에 대한 출력특성의 변화경향을 조사하였다. 그림 2에서는 일례로 직렬공진기의 IDT 내 전극쌍의 수 ($NIDT_S$)를 변화시킴에 따라 필터특성의 변화경향을 조사한 결과를 나타내었다. $NIDT_S$를 증가함에 따라 중심주파수, 대역폭은 증가하고 삽입손실, 리플은 감소함을 알 수 있으며 VSWR의 경우 적절한 IDT 내 전극쌍 수를 넘어설 때는 오히려 나빠지는 것을 확인할 수 있다. 이러한 필터특성의 변화경향은 필터설계에 있어 필수적인 데이터로 활용되며, 나머지 모든 경우에 대하여 경향조사를 실시한 결과 표 3과 같은 설계기준표를 구할 수 있다. 예를 들어 대역폭을 늘이기 위해서는 P_S와 P_P를 조절하는 것이 가장 효과적이고 다음이 $NIDT_S$, 마지막으로는 NIDTP를 조절하면 된다는 것을 의미한다. 반면 대역폭을 NIDTS를 이용하여 증가시킬 경

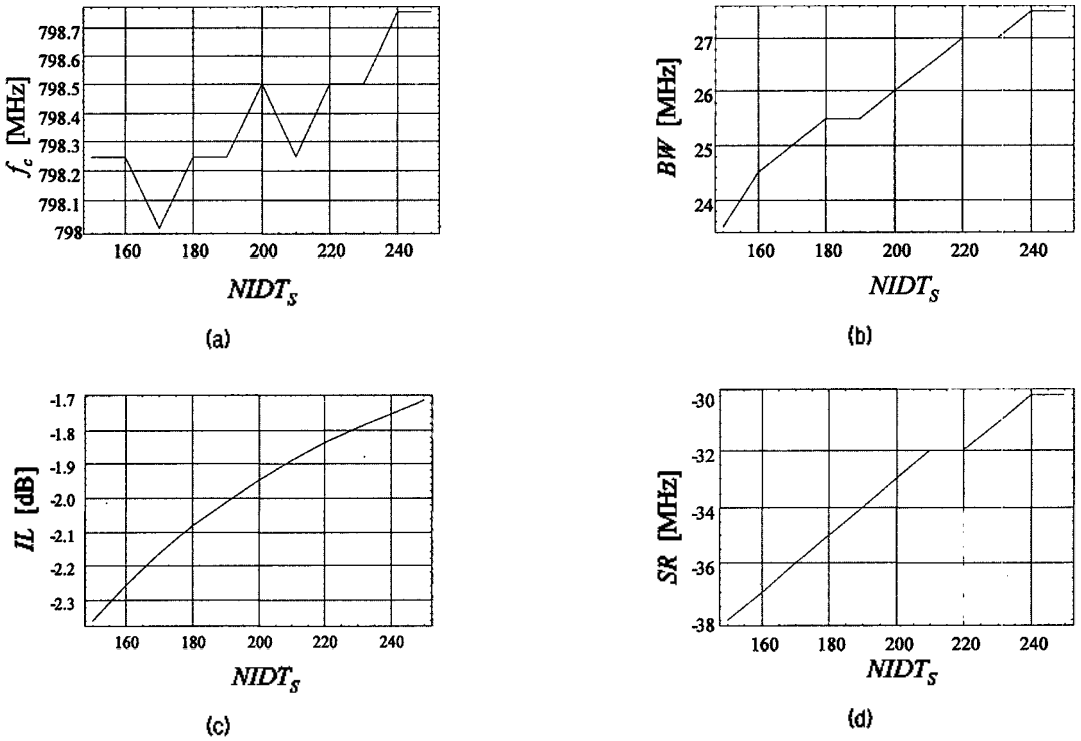

그림 2. NIDTS 변화로 인한 필터의 성능변화: (a) f_C, (b) BW, (c) IL, (d) SR
Fig. 2. Filter performances vs. NIDTS: (a) f_C, (b) BW, (c) IL, (d) SR.

표 3. 사다리형 SAW 위드로웰 필터의 설계기준표
Table 3. Priority table for the design of SAW withdrawal ladder filter.

specification		design parameter	
f_C		P_S-P_P	center frequency [Hz]
$BW\uparrow$		P_S-P_P, $NIDT_S\uparrow$, $NIDT_P\downarrow$	bandwidth [Hz]
IL, $SR\downarrow$		$W_S\downarrow$, $W_P\uparrow$, $NIDT_S\downarrow$, $NIDT_P\uparrow$	insertion loss sidelobe level [dB]
$SF\uparrow$	Right	$NIDT_S\uparrow$, $SKIP_S$ & $SKIP_P$	shape factor
	Left	$NIDT_P\uparrow$, $SKIP_S$ & $SKIP_P$	
$RP\downarrow$		$SKIP_S$ & $SKIP_P$, P_S-P_P	ripple [dB]
$VSWR\downarrow$		$SKIP_S$ & $SKIP_P$ $NIDT_S\uparrow$, $W_S\uparrow$, $W_P\uparrow$, $NIDT_P\uparrow$	voltage standing wave ratio

우, 삽입손실과 형상도, VSWR에도 영향을 미치는 것을 염두해야 한다. 또한 설계기준표의 위에서 아래로가 실제 필터 설계시 맞추어야 할 순서를 나타낸다. 즉 중심주파수를 가장 먼저 만족시키고 두 번째로 리플과 대역폭, 세 번째로 삽입손실과 저지대역특성, 형상도, 마지막으로 VSWR을 필터의 사양에 맞게 구현해야 한다.

III. 공진기형 위드로웰 SAW 필터의 최적화 알고리즘

연구초기단계에서 기존의 여러 최적화 방법 중 수치해석적인 방법으로서 복잡한 함수의 다차원 비선형 최적화를 효율적으로 구현할 수 있는 Powell 알고리즘을 이용하여 사다리형 SAW 디바이스를 최적화하고자 하였다. 그러나 최적화의 초기값 설정에 따라서 최적화에 소요되는 시간이 좌우되기도 하고, 경우에 따라서는 원하지 않는 결과인 국부적 최적점 (local minimum)에 도달하는 경우도 많이 발생하였다. 특히 SAW 디바이스의 경우에는 수많은 국부적 최적점 (local minimum)으로 인하여 최적화가 거의 불가능함을 알 수 있었다.

표 4. 공진기형 SAW 디바이스의 최적화 사양
Table 4. Specification of the resonator type SAW device.

performance factor	specification CDMA TX	specification CDMA RX
fc_0	836.5 MHz	881.5 MHz
BW_0	25.0 MHz	25.0 MHz
IL_0	2.5 dB	3 dB
SR_0	30.0 dB	30.0 dB
RP_0	1.5 dB	1.8 dB
$VSWR_0$	2.3	2.3

따라서 본 논문에서는 기본적인 사다리형 SAW 디바이스에 관한 기존의 최적화 연구결과[9]를 확장하여, 위드로웰 가중법이 적용된 사다리형 SAW 디바이스를 설계할 수 있는 최적화 알고리즘을 다음과 같은 단계를 거쳐 개발하고자 하였다. 본 최적화 프로그램은 특정 주파수 대역에 국한하여 특정 대상 모델만 설계가 가능한 것이 아니라, 임의의 입력사양을 모두 만족시키는 범용 사다리형 SAW 디바이스를 설계하는 것이다. 따라서 다양한 사양이 요구되고 있는 RF 대역 CDMA용 사다리형 SAW 필터로 대상모델을 선정하였으며, 구체적 대상으로 표 4에 나타낸 RX 및 TX 필터 사양을 선정하였다. 표 4에서 사용된 아래첨자 0은 제시된 사양값을 나타낸다. 최적화 프로그램은 상용 수학 프로그램 (Mathematica 4.0)을 이용하여 개발하였고 SAW 공진기의 해석에는 Smith 등가회로 모델을 이용하였다.

최적화 과정은 그림 3에 보인 순서도에 의해 진행되며 첫 번째 단계에서는 주어진 사양 및 재료를 선택하게 된다. 입력사양은 표 4와 같으며, 재료로서는 SAW 응용에 주로 사용되는 ST-Quartz, $LiTaO_3$ 36° Y-X 및 $LiTaO_3$ YZ 기판을 선택할 수 있게 하였다. 순서도에서 LTS_0 (left transition slope)와 RTS_0 (right transition slope)는 각각 통과대역 좌우측의 천이대역 기울기를 나타낸다. 앞 절에서 구한 설계기준표는 직렬 및 병렬공진기가 각각 세 개씩 있는 사다리형 필터에 한해 작성된 것이지만, 직렬 및 병렬공진기의 수가 다른 경우에도 그대로 적용할 수 있다. 단, 초기단계에서 각각의 공진기 수를 미리 결정해 준다면 앞에서 구한 설계기준표를 사용하는데 아무런 문제가 없다. 따라서 본 프로그램의 초기단계에는 주어진 사양에 따라 직렬 및 병렬공진기의 수를 자동으로 결정하는 과정이 포함되어 있으며, 저지대역의 특성 및 천이대역의 특성이 까다로운 경우 공진기의 수를 증가시키게

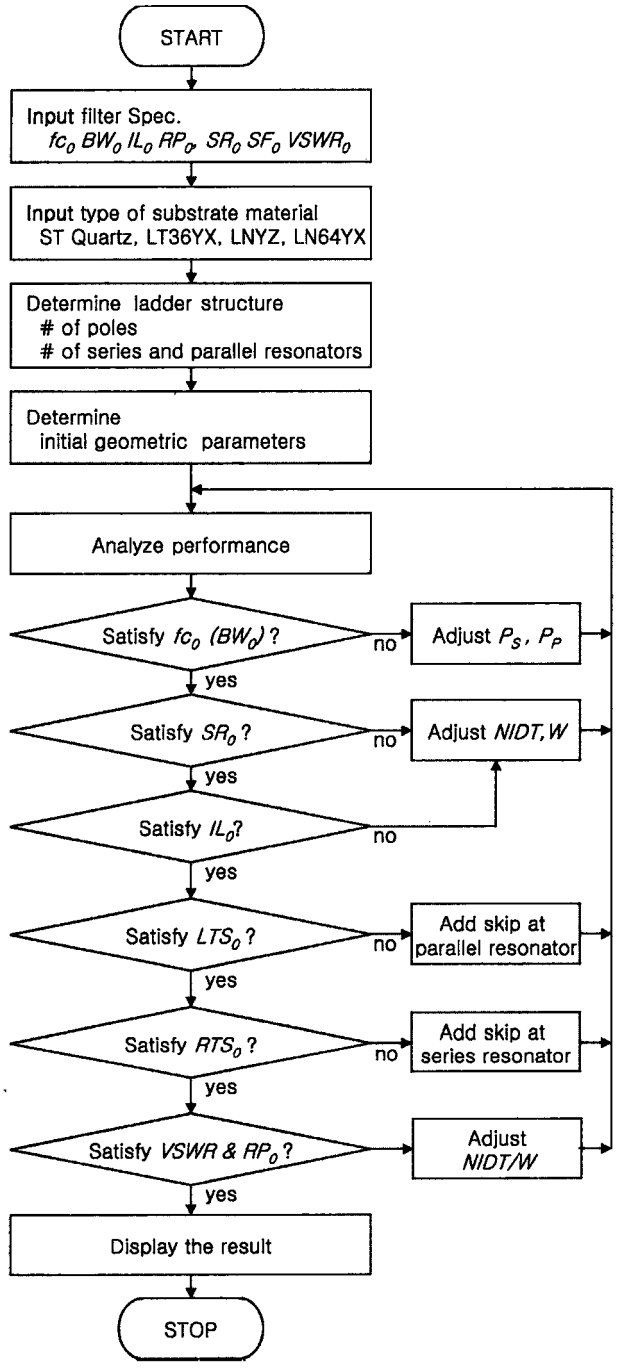

그림 3. 사다리형 SAW 위드로월 필터의 설계 순서도

Fig. 3. Flowchart for the design of the withdrawal weighted SAW ladder filter.

된다. 대상모델로 선정한 두 필터에 대해 본 단계를 거친 결과, RX 필터의 경우 직렬공진기와 병렬공진기가 각각 4개와 2개로 결정되었으며, TX 필터의 경우 각각 3개씩으로 결정되었다. 이는 TX 필터의 사양은 저지대역의 오른쪽와 왼쪽 특성이 큰 차이가 없으나, RX 필터의 경우에는 오른쪽 저지대역의 특성이 보다 까다롭기 때문이다. 다음 단계에서는 전극주기(P_S, P_P)를 조절하여 중심주파수 및 대역폭을 리플이 주어진 사양보다 너무 크지 않는 범위에서 맞추어 나간다. 그림 4는 CDMA용 TX 사양을 적용한 결과로서, 초기에 대역폭과 중심주파수를 주어진 사양에 맞게 맞춘 후의 결과를 보이고 있다. 일단 중심주파수와 대역폭이 만족되면 저지대역의 특성을 개선하기 위해 전극폭 (W_S, W_P)과 전극수 ($NIDT_S$, $NIDT_P$)를 조절한다. 설계기준표에 의하면 직렬공진기의 경우 전극수와 전극폭이 늘어나게 되면 저지대역의 특성이 개선되고, 병렬공진기는 반대의 경향을 가진다. 그림 5에서는 앞 단

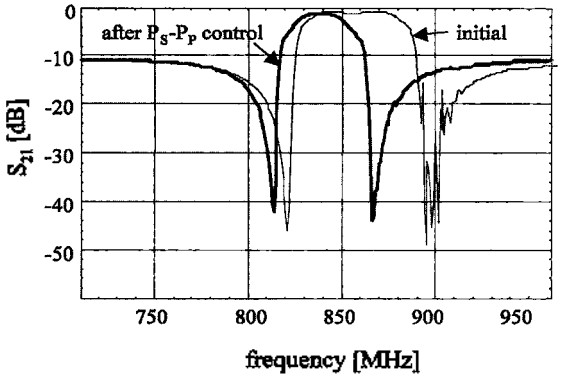

그림 4. CDMA TX 필터의 설계: 대역폭과 중심주파수 조절 후의 특성비교

Fig. 4. Design of the CDMA TX filter: Comparison of performance after the control of bandwidth and center frequency.

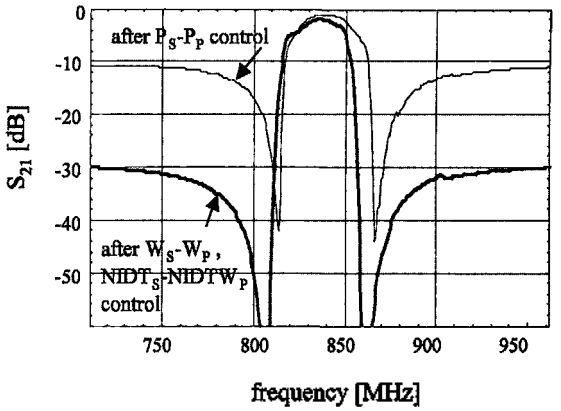

그림 5. CDMA TX 필터의 설계: 저지대역 개선 후의 특성비교

Fig. 5. Design of the CDMA TX filter: Comparison of performance after the control of sidelobe level.

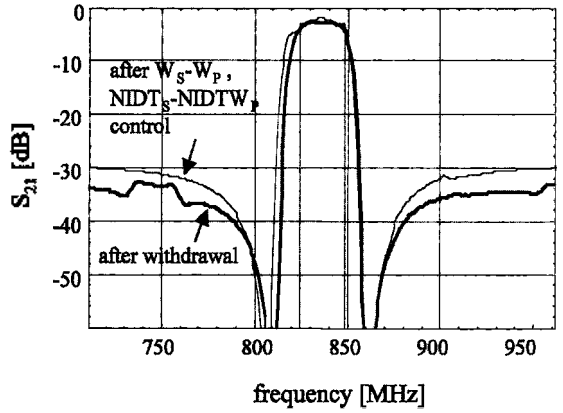

그림 6. CDMA TX 필터의 설계: 위드로웰 적용 후의 특성비교

Fig. 6. Design of the CDMA TX filter: Comparison of performance after the enhancement of withdrawal weighting.

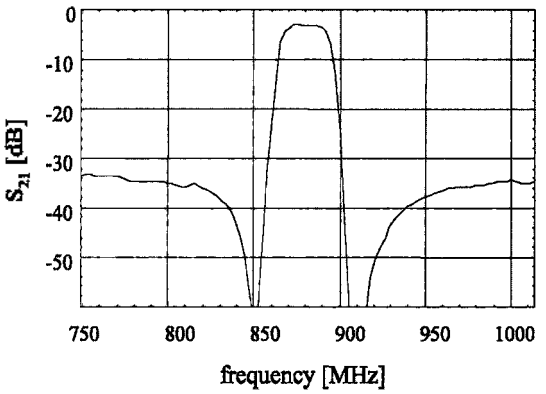

그림 7. CDMA RX 필터의 설계 결과(시뮬레이션)

Fig. 7. Design result for the CDMA RX filter(simulation).

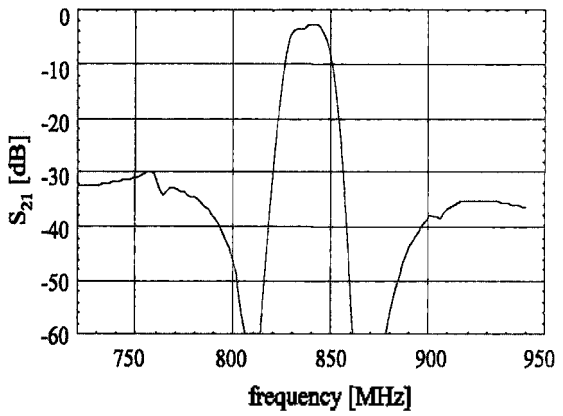

그림 8. CDMA용 TX 필터의 실험 결과

Fig. 8. Experimental result for the CDMA TX filter.

계의 결과와 전극폭과 전극수를 조절한 후의 결과를 동시에 보이고 있으며, 초기 11 dB의 저지대역 특성이 주어진 사양을 만족하는 30 dB로 개선된 것을 볼 수 있다. 실제 전극수 및 전극폭의 변화는 중심주파수 및 대역폭에도 영향을 미치게 되므로 본 단계의 실행시 앞단계로 돌아가 중심주파수 및 대역폭의 수정이 필요하게 된다.

지금까지의 단계를 거치면 중심주파수와 대역폭, 저지대역의 특성은 만족되나 리플과 VSWR의 특성은 고려가 되지 않으며, 이는 위드로웰 가중효과를 이용하여 개선시킬 수 있다. 사다리형 SAW 필터의 경우, 뒤의 세 가지 특성은 서로가 상당히 밀접한 관계가 있으며 어느 하나를 제대로 만족시키면 나머지 특성은 거의 만족이 되는 특성을 가지고 있다. 그림 6에서는 위드로웰점의 인가로 인한 특성변화를 나타내었다. 위드로웰수가 증가함에 따라 리플과 천이대역, VSWR이 급격히 향상되는 것을 볼 수 있으며, 최종적으로 주어진 사양을 충분히 만족시키는 필터특성을 구현할 수 있다. 설계된 필터의 성능은 표 5에

표 5. CDMA용 TX 및 RX 필터의 최적화 결과
Table 5. Optimization result for the CDMA TX & RX filter.

performance factor	specification CDMA TX	specification CDMA RX
fc	836.7 MHz	881.5 MHz
BW	25.2 MHz	26.4 MHz
IL	2.27 dB	2.85 dB
SR	33 dB	34.0 dB
RP	1.3 dB	0.3 dB
VSWR	2.26	2.06

나타내었다. CDMA용 TX 필터에 대한 설계 결과로서 세 개의 직렬 및 병렬공진기를 가지며 각각 14개와 13개씩의 전극제거점이 부가되었다. 그림 7에서는 CDMA용 RX 필터를 설계한 결과를 나타내었으며 오른쪽 천이대역이 왼쪽의 천이대역보다 좀더 가파른 특성을 가지는 것을 알 수 있다. TX 및 RX 필터에 대한 자세한 설계결과는 표 5에 나타내었다.

IV. 실 험

앞 절의 이론적 내용의 타당성을 검증하기 위하여 시뮬레이션을 통한 설계 결과를 직접 제작하였다. CDMA용 TX 필터의 구조는 직렬 및 병렬 공진기가 각각 3개인 형태로 최적화되었으며, RX 필터의 구조는 통과대역 오른쪽 천이대역의 특성을 개선하기 위하여 직렬 공진기가 4개이고 병렬 공진기가 2개인 형태로 결정되었다. 제작에 사용된 압전 단결정 기판의 재료로는 36°YX $LiTaO_3$를 사용하였다. 제작한 공진기형 위드로웰 SAW 필터는 고주파의 잡음영향을 최소화하고 측정을 용이하게 하기 위해서 표면실장형소자의 형태로 조립하였다.

네트워크 분석기 (HP-8752C)를 사용하여 측정한 전달계수 S21로부터 삽입손실, 통과대역폭, 통과대역 내 리플, 저지대역 감쇠도 등을 구하였고, 반사계수 S11, S22로부터 VSWR을 구하였다. 그림 8에 TX 필터의 특성을 나타내었다. 시뮬레이션 결과와 실제 측정한 결과를 비교해 볼 때 저지대역과 삽입손실 특성은 매우 잘 일치하고, 저지대역에서 발생하는 국부적인 피크들도 그대로 형성된 것을 알 수 있다. 그러나 다소 중심주파수가 증가하고 대역폭이 좁게 형성되며 통과대역 내 리플이 다소 증가된 것을 알 수 있다. 마찬가지로 본 논문에서는 제시하지 못하였으나 CDMA용 RX 필터에 대한 시뮬레이션 결과와 측정결과를 비교해 볼 때 삽입손실과 통과대역 내 리플이 매우 잘 일치하는 것을 볼 수 있으며, 중심주파수의 이동 및 대역폭의 감소가 발생한 것을 알 수 있었다. 이러한 문제는 공정상의 오차에서 기인한 것으로 보이며 추가적인 실험을 통해 그 원인을 재규명할 필요가 있다. 그러나 확인하고자 한 공진기형 위드로웰 SAW 필터의 설계 알고리즘의 타당성은 실험을 통해 검증할 수 있었다. 이상의 결과들을 종합해 볼 때, 공진기형 위드로웰 SAW 필터의 설계 알고리즘의 타당성을 실제 실험을 통해 검증할 수 있었다. 주어진 CDMA용 RF 및 TX 사양에 대한 시뮬레이션 결과와 실제 실험 결과가 잘 일치하는 것을 확인할 수 있었다.

V. 결론 및 고찰

이상의 과정을 통해 SAW 필터에 위드로웰 가중법을 적용하여 사다리형 위드로웰 SAW 필터를 자동으로 최적화할 수 있는 설계도구를 개발, 제시하고자 하였다. 이를 위해 사다리형 SAW 필터의 모든 설계변수가 출력에 미치는 영향을 조사하여 설계기준표를 작성하였으며, 그 결과를 바탕으로 사다리형 위드로웰 SAW 필터를 설계할 수 있는 설계 알고리즘을 개발하였다. 최적화 알고리즘을 이용하여 CDMA용 TX 및 RX 필터를 설계한 결과 주어진 사양을 모두 만족하는 우수한 특성의 위드로웰 가중형 SAW 필터를 설계할 수 있었다. 또한 설계된 CDMA용 TX 및 RX 필터를 실험을 통해 제작하여 그 특성을 평가하였으며, 그 결과 이론적 예상결과와 잘 일치하는 것을 알 수 있었다. 이상의 단계들을 통해 개발된 위드로웰 가중형 SAW 필터의 설계 도구는 RF 대역의 어떠한 SAW 필터에 대해서도 주어진 사양을 만족시킬 수 있는 알고리즘으로서 각종 SAW 필터 설계에 활용될 수 있다.

참 고 문 헌

1. H. Odagawa and K. Yamanouchi, "10 GHz range extremely low-loss ladder type surface acoustic wave filter," *Proc. IEEE Ultrasonics Symposium*, pp. 103-106, 1998.
2. K. Y. Hashimoto and M. Yamaguchi, "Effects of parasitic circuit elements to ladder-type SAW filters," *Technical Report of IEICE*, pp. 96-101, 1997.
3. 이영진, 이승희, 노용래, "공진기형 SAW 필터에 위드로웰 가중법이 미치는 효과에 대한 이론적 연구," 한국음향학회지, 제21권 제1호, pp. 47-55, 2002.
4. C. S. Hartmann, "Weighting interdigital surface wave transducers by selective withdrawal of electrodes," *Proc. IEEE Ultrasonics Symposium*, pp. 423-426, 1973.

5. W. R. Smith and W. F. Fedler, "Fundamental and harmonic-frequency circuit-model analysis of interdigital transducers with arbitrary metallization ratios and polarity sequences," *IEEE Transactions on MTT*, vol. 23, no. 11, pp. 853-864, Nov. 1975.
6. K. R. Laker, E. Cohen and A. J. Slobodnik, Jr., "Electric field interactions within finite arrays and the design of withdrawal weighted SAW," *Proc. IEEE Ultrasonics Symposium*, pp. 317-321, 1976.
7. D. C. Malocha, S. Datta and B. J. Hunsinger, "Tap weight enhancement for broad-band filters," *IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics*, vol. 25, no. 1, pp. 51-54, Jan. 1978.
8. E. V. Bausk, "Optimization of broadband withdrawal weighted interdigital transducers for high selective SAW filters," *IEEE Transactions on UFFC*, vol. 46, no. 2, pp. 1276-1282, Sep. 1999.
9. Y. R. Roh, Y. J. Lee, and S. H. Lee, "Development of a new design technique for SAW ladder filters," *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 40, no. 8, pp. 142-148, Aug. 2001.
10. W. Smith, H. M. Gerard and W. R. Jones, "Analysis and Design of Dispersive Interdigital Surface-Wave Transducers," *IEEE Transactions on MTT*, vol. 20, no. 7, pp. 856-864, 1972.

저자 약력

● 이 영 진 (Youngjin Lee)

1995년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1997년 2월: 경북대학교 센서공학과 (공학석사)
2001년 8월: 경북대학교 센서공학과 (공학박사)
2001년 3월~현재: 대구과학대학 디지털정보통신계열 전임강사
※ 주관심분야: 표면탄성파소자, 초음파 트랜스듀서

● 이 승 희 (Seunghee Lee)

1997년 2월: 영남대학교 금속 및 재료공학부 (공학사)
1999년 2월: 경북대학교 센서공학과 (공학석사)
2001년 2월: 경북대학교 센서공학과 박사과정 수료
※ 주관심분야: 표면탄성파소자, 압전세라믹소자

● 노 용 래 (Yongrae Roh)
한국음향학회지 제20권 제3호 참조