

論文98-35D-4-5

# CDMA 휴대전화기용 IF 표면탄성과 필터의 설계 및 제작

## (Design and Fabrication of IF SAW Filter for CDMA Cellular Phone System)

楊炯國\*, 趙顯敏\*, 朴鍾徹\*

(Hyung-Kook Yang, Hyun-Min Cho, and Jong-Chul Park)

### 요 약

중심주파수 85.38 MHz의 CDMA 방식 휴대전화기용 IF 단 SAW 필터를 Remez exchange 알고리즘을 이용하여 설계하고 제작하였다. 입, 출력 IDT를 withdrawal 웨이팅 방법으로 구성된 후 필터의 주파수 특성을 시뮬레이션 하였다. 설계된 필터를 ST-cut Quartz (수정)기판을 사용하여 세라믹 SMD 패키지에 실장하여 제작한 결과 설계치와 잘 일치하였다. 제작된 SAW 필터를 매칭 회로를 구성하여 임피던스 매칭 후 측정된 결과 중심주파수 85.38 MHz, 5 dB 대역폭 1.32 MHz, 33 dB 대역폭 1.76 MHz, 삽입손실 13.8 dB, 대역내 리플 0.26 dB의 특성을 나타내었다. 필터의 군지연 특성은 대역내에 리플이 172 nsec.로 측정되었으며, 이들 특성은 CDMA용 IF SAW 필터 규격에 잘 일치하였다.

### Abstract

Remez exchange algorithm was applied to realize an IF SAW filter for CDMA cellular phone systems. A SAW filter with withdrawal weighted transducers was simulated and then fabricated on 42.75° ST-cut Quartz wafer. Excellent agreement was obtained between calculated and measured responses. Fabricated SAW filters were mounted on ceramic SMD package for reducing their size and volume. SAW filters were measured under matched circuit. As a result, 5 dB bandwidth of 1.32 MHz, 33 dB bandwidth of 1.76 MHz, insertion loss of 13.8 dB and peak to peak ripple at passband of 0.26 dB were obtained. Linear group delay responses at passband were also obtained. These characteristics were good for practical use of IF SAW filter for CDMA system.

### 1. 서 론

CDMA 방식의 휴대전화기에는 아날로그 방식에 비해 1.25 MHz의 광대역 신호를 처리해야 하고 인접 채널과의 간섭을 억제하기 위하여 엄격한 저지대역 특성, 대역내 군지연 및 위상 선형성이 요구되기 때문에 세라믹 필터나 L-C 필터에 비해서 우수한 주파수 선

특성과 각형성을 가지며 소형경량화가 가능한 표면탄성과 (Surface Acoustic Wave ; SAW) 필터가 IF (intermediate frequency) 단에 필수적으로 사용되고 있다<sup>[1]</sup>.

SAW 대역통과필터를 이용하여 엄격한 주파수 필터의 특성을 얻기 위해서는 SAW를 여기, 검출 및 제어할 수 있는 변환기 (interdigital transducer : IDT) 구조의 정밀한 설계가 매우 중요하다. 또한, SAW 필터의 경우 필터의 적용회로에 따라 필터의 특성이 영향을 받기 때문에, 정밀한 주파수 특성을 얻기 위해서는 적용회로의 영향을 고려한 핵심설계기술

\* 正會員, 電子部品綜合技術研究所 部品研究 3팀  
(KETI, Materials and Components Research Team #3)

接受日: 1997년 7월 8일, 수정완료일: 1998년 3월 24일

을 개발하는 것이 필요하다.

본 논문에서는 디지털 필터 설계에 사용되는 Remez exchange 알고리즘<sup>[2, 3, 4]</sup>을 SAW 대역통과 필터에 맞게 변형하여 CDMA용 IF SAW 필터를 설계하였다. 또한 설계된 입력과 출력 IDT의 임피던스 특성과 삽입손실을 계산하기 위해서 등가회로모델 해석방법<sup>[5]</sup>을 이용하여 시뮬레이션 하였으며, 압전 기판으로는 온도변화에 의한 주파수 이동과 물성의 변화가 적은 ST-cut Quartz를 사용 필터를 제작하고 특성을 평가하였다. 현재 사용중인 CDMA용 휴대 단말기에 바로 적용이 가능한 세라믹 SMD 패키지에 실장하였다. 패키징을 한 후 매칭용 회로를 구성하여 삽입손실을 최소화시킬 수 있도록 하였다.

## II. SAW 대역통과필터 설계 및 IDT 해석

### 1. SAW 대역통과필터 설계

평탄한 통과대역과 선형위상 특성을 가지는 일반적인 트랜스버설 필터의 전달함수  $H(f)$ 는 식 (1)과 같이 된다<sup>[4]</sup>.

$$H(f) = \sum_{i=0}^{N-1} a_i \exp(j2\pi f_i T) \quad (1)$$

여기서  $N$ 은 탭수,  $a_i$ 는 웨이팅 계수 그리고  $T$ 는 샘플링 주기로서  $1/2f_0$ 이다.  $f_0$ 는 필터의 중심주파수이다.

식 (1)의 탭수  $N$ 과 웨이팅 계수  $a_i$ 는 Remez exchange 알고리즘을 이용하여 최적화된 값을 구할 수 있다. 먼저 특정 주파수에 대해 통과대역과 저지대역으로 구분하여 리플 (ripple) 값 및 감쇠량 (att)을 dB값으로 입력하면 초기 웨이팅 계수  $a_0$ 는 다음과 같은 관계식으로 변환된다<sup>[2]</sup>.

$$a_0 = (10^{\text{ripple}/20} - 1) / (10^{\text{ripple}/20} + 1) \quad \text{at passband} \quad (2)$$

$$a_0 = 10^{\text{att}/20} \quad \text{at stopband}$$

또한 주어진 필터 사양에 대해 Chebyshev 근사법을 수행하기 위해 필터 임펄스의 초기 탭수  $N_{min}$ 을 계산하는데 다음과 같은 식으로 구해진다<sup>[2, 4]</sup>.

$$N_{min} = 1 + \frac{D(d_1, d_2) - f(d_1, d_2) * (\Delta F)^2}{\Delta F} \quad (3)$$

여기서

$$D = (0.005309 \log(d_1)^2 + 0.017114 \log(d_1) - 0.04761) \log(d_2) - (0.00266 \log(d_1)^2 + 0.05941 \log(d_1) + 0.04278) \quad (4)$$

$$f(d_1, d_2) = 11.012 + 0.51244(\log(d_1) - \log(d_2)) \quad (5)$$

식 (4)와 (5)에서  $d_1$ 은 통과대역 내에서의 최소 리플값이고  $d_2$ 는 모든 저지대역에서 가장 크게 요구되는 감쇠량이다.  $\Delta F$ 는 천이대역폭 (transition bandwidth)을 중심주파수  $f_0$ 로 나눈 것이다.

식 (3)에서 계산된 초기 탭수  $N_{min}$ 과 식 (2)의 웨이팅 계수  $a_0$ 를 식 (1)의  $N$ 과  $a_i$ 에 각각 대입하여 변화시키면서 식 (6)을 만족하는 최적 탭수  $N_T$ 과 웨이팅 계수  $A_i$ 를 구한다<sup>[2, 4]</sup>.

$$\min \|W(f)[D(f) - H(f)]\|_{\infty} \quad (6)$$

여기서  $W(f)$  : 웨이팅함수,  $D(f)$  : 대상함수이며 다음과 같이 정의된다<sup>[2]</sup>.

$$W(f) = \begin{cases} \delta_2 / \delta_1 & \text{at passband} \\ 1 & \text{at stopband} \end{cases} \quad (7)$$

여기서  $\delta_2$  = 저지대역 리플,  $\delta_1$  = 통과대역 리플이다.

$$D(f) = \begin{cases} 1 & \text{at passband} \\ 0 & \text{at stopband} \end{cases} \quad (8)$$

최적화된 탭수  $N_T$ 와 계수  $A_i$ 를 가지고 필터의 최종 전달함수  $H_f(z)$ 는 식 (1)을 변형하여 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$H_f(z) = \sum_{i=1}^{N_T} A_i z^{-i} \quad (9)$$

여기서,  $z = e^{2\pi fT}$ 이다.

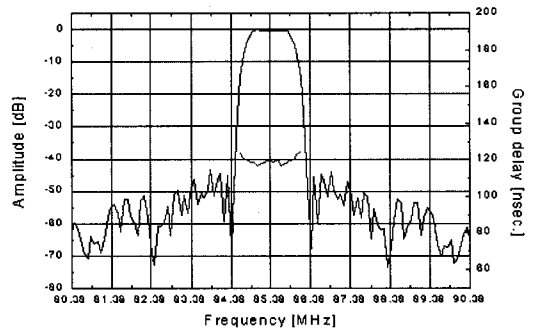


그림 1. IF SAW 필터의 시뮬레이션된 주파수 응답  
Fig. 1. Computer simulated frequency response for IF SAW filter.

본 논문에서는 중심주파수 85.38 MHz, 통과대역 리플 (ripple) 0.1 dB, 감쇠량 (att) 40 dB, 5 dB 대

역폭 1.26 MHz, 33 dB 대역폭 1.8 MHz를 초기 입력치로 설정하여 CDMA용 IF SAW필터의 최종 전달함수  $H_f(z)$ 를 시뮬레이션 하였다. 이때의 초기 탭수  $N_{min}$ 은 식 (3)으로부터 128개가 되었으며 최종적으로 식 (6)을 만족하는 최적 탭수  $N_T$ 는 1,656개가 되었다. 그림 1은 식 (9)으로부터 구해진 필터의 최종 전달함수 주파수 특성을 나타내었다. 그림 1에서 시뮬레이션 된 필터의 특성은 CDMA용 IF SAW필터 사양인 5dB대역폭 1.26MHz, 33dB대역폭 1.8MHz 이하를 만족하는 결과를 보였다.

식 (9)로부터 구해진 필터의 최종전달특성  $H_f(z)$ 을 factorization 방법<sup>[6]</sup>을 통해 SAW필터의 입력과 출력 IDT로 분리하였다. 이 방법은 Z-plane상에서 최종 전달함수  $H_f(z)$ 의 모든 근 (root)들을 두 개의 집합 (set)으로 분리하는데, 각 집합은 식 (9)에서  $i$ 가 홀수일 때와 짝수일 때의 근으로 구분하여 식 (10)과 (11)과 같이 입력 IDT 함수  $H_i(p)$ 와 출력 IDT 함수  $H_o(p)$  두 개의 전달함수로 분리하는 것이다<sup>[6, 7]</sup>.

$$H_i(p) = [p^2 - (z_1 + z_1^*)p + z_1 z_1^*][p^2 - (z_3 + z_3^*)p + z_3 z_3^*] \dots$$

$$= p^m + a_1 \cdot p^{m-1} + a_2 \cdot p^{m-2} + \dots + a_m \quad (10)$$

$$H_o(p) = [p^2 - (z_2 + z_2^*)p + z_2 z_2^*][p^2 - (z_4 + z_4^*)p + z_4 z_4^*] \dots$$

$$= p^n + b_1 \cdot p^{n-1} + b_2 \cdot p^{n-2} + \dots + b_n \quad (11)$$

여기서  $z^*$ 는  $z$ 의 공액근,  $p^m = e^{-jumT}$ ,  $p^n = e^{-jvnT}$  이고, 계수  $a_1 \sim a_m$ 과  $b_1 \sim b_n$ 은 입력과 출력 IDT의 전 극구경에 해당된다.

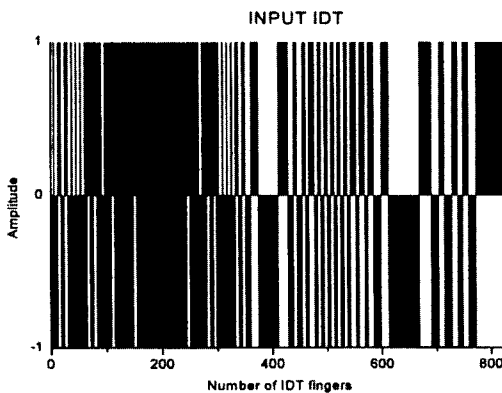


그림 2. Withdrawal weighting된 입력 IDT의 임펄스 응답  
Fig. 2. Impulse response of withdrawal weighted input IDT.

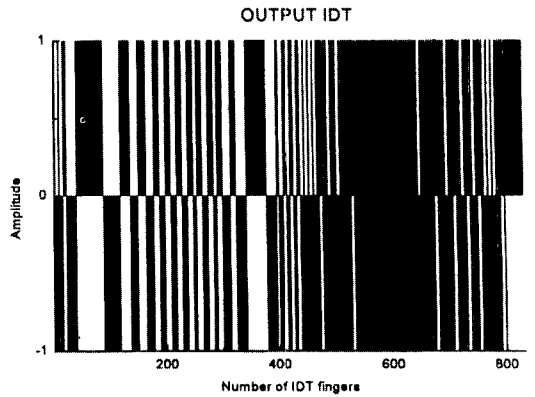


그림 3. Withdrawal weighting된 출력 IDT의 임펄스 응답  
Fig. 3. Impulse response of withdrawal weighted output IDT.

본 연구에서는 식 (10)과 (11)로부터 구해진 계수  $a_m$ 과  $b_n$ 을 withdrawal 웨이팅법<sup>[8]</sup>으로 입력과 출력 IDT를 구성하였다. withdrawal 웨이팅법은 먼저 음의 부호를 가지는 웨이팅 계수 ( $a_n$  또는  $b_m$ )를 0으로 한 뒤 계수들의 합이 1 이상이 되면 그때에 해당되는 탭이 +1 이되고 나머지는 -1로 두고 다시 계수들을 합하여 나가는 방식이다. 그림 2와 3은 withdrawal 웨이팅된 입력과 출력 IDT의 임펄스 응답이다.

2. 등가회로 모델을 이용한 IDT 해석

식 (10)과 (11)에서 설계된 SAW필터의 임피던스 특성과 삽입손실을 계산하기 위해서 IDT를 등가회로 모델<sup>[5]</sup>로 해석하였다. IDT는 그림 4와 같이 3단자망 (3-port network)으로 표현할 수 있다. 여기서 port 1, 2는 표면파의 전기적 등가 성분으로 표현한 것이며, port 3은 실제 인가되는 전압의 전기적 성분을 나타내는 것이다.

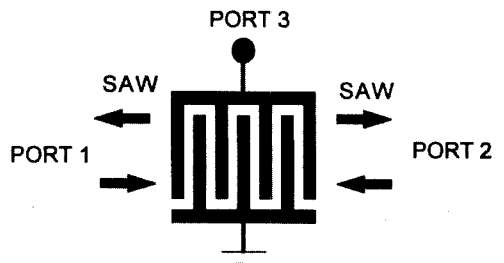


그림 4. IDT의 3단자망 모델  
Fig. 4. IDT as a three-port network.

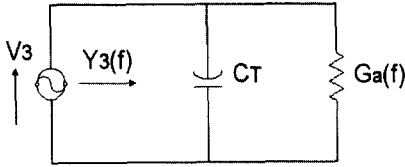


그림 5. SAW IDT의 등가회로  
Fig. 5. Equivalent circuit of SAW IDT.

등가회로 항으로 모든 성분을 나타내기 위해서 표면파 성분을 상응하는 전기성분으로 변환시키면 표면파 에너지 (acoustic force)  $F$ 를 전압  $V$ , SAW 속도를 등가전류  $I$ 로 나타낼 수 있다. 따라서 이들의 상관관계는 다음과 같이 나타낼 수 있다<sup>[5]</sup>.

$$V = F / \psi \tag{12}$$

$$I = v \psi \tag{13}$$

여기서  $\psi$ 는 기계적 성분을 전기적 성분으로 변환하는 변환 비례 인자이고,  $v$ 는 SAW속도이다. 따라서 이러한 정의에 의해서 압전기판의 기계적 특성 임피던스  $Z_m = F/v$ 를 등가 전송선의 특성 임피던스  $Z_0$ 로 표현될 수 있다. 밀도  $\rho$  ( $\text{kg/m}^3$ ), 큰 단면 면적  $A$  ( $\text{m}^2$ )을 가진 기판에서의 균일한 표면파가 진행할 때 표면파 임피던스는 다음과 같이 주어진다<sup>[5]</sup>.

$$Z_m = \rho v A \tag{14}$$

반면에 등가 전기 특성 임피던스는  $Z_0 = Z_m/\psi^2$ 이다. 따라서 전기적 특성 어드미턴스  $G_0 = 1/Z_0$ 이므로 결국  $G_0 = 8 K^2 C_s f_0 N_p$ 이다<sup>[5]</sup>. 여기서  $N_p$ 는 전극 쌍수,  $K^2$ 는 기판의 기계결합계수, 그리고  $C_s$ 는 한 주기 (wavelength)의 정전용량이며,  $C_0W$ 로 표현된다.  $C_0$ 는 단위길이당 단위 전극쌍의 정전용량이며,  $W$ 는 IDT 전극구경 (aperture)이다.

그림 5는 그림 4의 IDT를 Cross-field 모델에 의해 등가회로로 나타낸 것이며 입력 어드미턴스  $Y_3(f)$ 는 다음과 같이 구하여진다<sup>[5]</sup>.

$$Y_3(f) = G_a(f) + j2\pi f C_T \tag{15}$$

$$G_a(f) = 2G_0 \left[ \tan \frac{\theta}{4} \sin \frac{N\theta}{2} \right]^2 \tag{16}$$

여기서  $C_T = N_p C_s =$  총 IDT 정전용량이고  $\theta = 2\pi(f/f_0) =$  wave number이다.

중심주파수 근처에서의 식 (16)의 방사 컨덕턴스는

다음과 같이 일반화할 수 있다<sup>[5]</sup>.

$$G_a(f) \approx G_a(f_0) \left| \frac{\sin x}{x} \right|^2 \tag{17}$$

여기서  $x = N_p \pi (f-f_0)/f_0$  이다.

식 (15)의 IDT 어드미턴스로부터 삽입손실을 계산할 수 있다. 본 연구에서는 기계결합계수가 0.17%, 기판의 정전용량이 0.78 pF/cm인 ST-cut Quartz를 사용하고 IDT 전극구경이 1,840  $\mu\text{m}$ 로 정하여 입력과 출력 IDT의 손실 ( $IL$ )을 식 (18)<sup>[9]</sup>을 이용하여 계산하였다.

$$IL(\text{dB}) = -10 \cdot \log \frac{2G_a Z_L}{(1 + G_a Z_L)^2 + (Z_L 2\pi f C_T)^2} \tag{18}$$

여기서  $Z_L$ 은 소스 임피던스이다.

Withdrawal 웨이팅은 IDT 핑거 (finger)의 교차 폭이 일정하므로 이와 같은 IDT overlap 웨이팅 설계의 경우 element factor에 의한 임펄스 왜곡현상이 아주 미약한 것으로 알려져 있어<sup>[10]</sup> 본 연구에서는 고려하지 않았다. 중심주파수 85.38 MHz에서의 계산된 전기적 특성 결과를 표 1에 나타내었다.

표 1. 입, 출력 IDT의 전기적 특성 계산치  
Table 1. Calculated electrical properties of both input and output IDTs.

항 목	입력 IDT	출력 IDT
방사 컨덕턴스 $G_a$ [ $\mu\text{S}$ ]	394.502	557.894
전극 캐패시턴스 $C_T$ [pF]	20.21	21.46
어드미턴스 $Y_3$ [mS]	0.421+j11.5	0.587+j10.84
임피던스 $Z_0$ [ $\Omega$ ]	3.57-j92.09	4.44-j86.63
손실, $IL$ [dB]	15.35	14.08

### III. 소자제작 및 결과고찰

본 실험에서는 온도특성이 우수한 42.75° ST-cut Quartz 기판에 Al박막을 dc 스퍼터링법으로 증착하였다. 증착에 사용된 스퍼터 타겟은 IDT전극의 내전력성을 높이기 위해 Cu 0.5%가 함유된 Al 합금을 사용하였으며 두께는 약 6,000Å으로 하였다. 증착된 Al박막은 일반적인 반도체 제조공정을 이용하여 IDT 패턴을 형성하여 습식법으로 상온에서 식각하였다. 사진식각공정 (Photolithography)이 완료된 기판은 표면파의 반사를 억제하기 위해 스크린 프린팅법으로 에

폭시를 각 칩의 양 끝부분에 코팅하였다. 그리고 패키징 공정을 하기 위해 개개의 칩을 절단한 후 세라믹 SMD (Surface mount device) 패키지에 다이 본딩하여 지름 1 mil의 Al-Si 와이어로 본딩한 후 패키지의 리드 (lid)를 seam welding 장비로 봉합하였다. 그림 6은 최종적으로 제작된 CDMA용 IF SAW필터의 사진이다. 패키지의 전체 크기는 19 x 6.5 x 2.5 (mm<sup>3</sup>)이다.

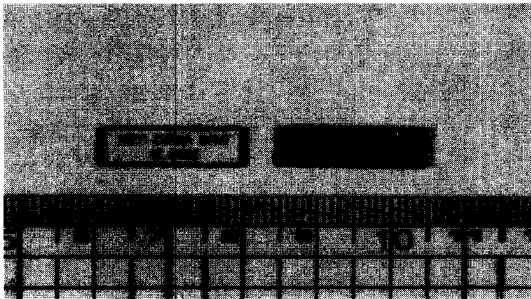


그림 6. 제작된 SMD 형 SAW 필터 사진  
Fig. 6. Photograph of SMD type SAW filter.



그림 7. SAW필터 측정용 PCB 치구  
Fig. 7. Photograph of PCB jig for SAW filter measurement.

제작된 SMD형 SAW필터의 측정을 위해 측정용 치구를 PCB (그림 7)로 제작하였다. 사용된 PCB 재료는 유전율 4.8인 FR-4기판을 사용하였고 기판 두께는 1.2 mm, 스트립 라인 두께는 35 μm이며 스트립 라인은 50 Ω으로 설계하였다. 회로망 분석기 (network analyzer ; HP8753D)를 사용하여 필터를 측정하였다.

그림 8과 9는 제작된 SAW 필터를 임피던스 정합을 하지 않은 상태에서 측정한 주파수 특성과 임피던스 특성이다. 그림 8에서 5 dB 대역폭 1.24 MHz, 33 dB 대역폭 1.71 MHz, 삽입손실 31.8 dB 이고 필터의 S<sub>11</sub>과 S<sub>22</sub> (그림 9)에서 중심주파수 85.38 MHz의

임피던스는 각각 3.75-j73.32 Ω과 3.86-j76.65 Ω이었다. 필터의 주파수 특성과 임피던스 특성은 설계치와 측정치가 아주 잘 일치하였다. 그러나 필터의 큰 삽입손실은 회로망 분석기의 입, 출력 임피던스 50 Ω에 대한 부정합으로 인한 것이다. 따라서 필터의 임피던스 부정합으로 인한 큰 삽입손실을 줄이기 위해 본 연구에서는 제작된 SAW필터에 외부회로를 이용하여 임피던스를 매칭시켜 삽입손실을 개선하였다.

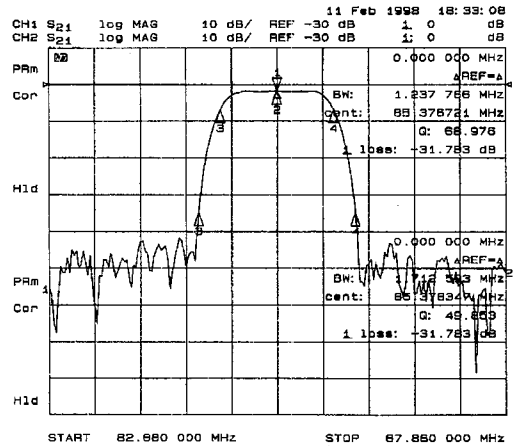


그림 8. SAW 필터의 매칭전 주파수 특성  
Fig. 8. Frequency response of SAW filter under unmatched condition.

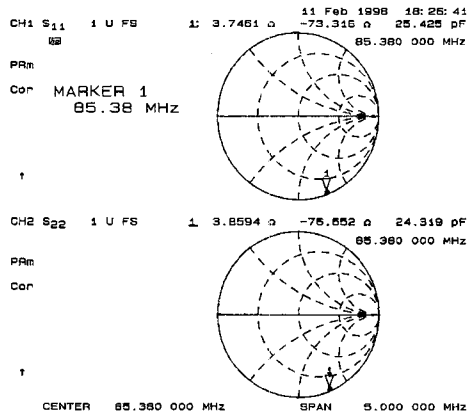


그림 9. SAW 필터의 매칭전 Smith chart  
Fig. 9. Smith chart of SAW filter under unmatched condition.

그림 10은 SAW 필터의 입력과 출력단에 각각 칩형 인덕터를 직렬로 칩형 캐패시터를 병렬로 연결하여 필터를 임피던스 매칭후 측정한 Smith chart이다. 이때의 필터 주파수 특성은 그림 11과 같다.

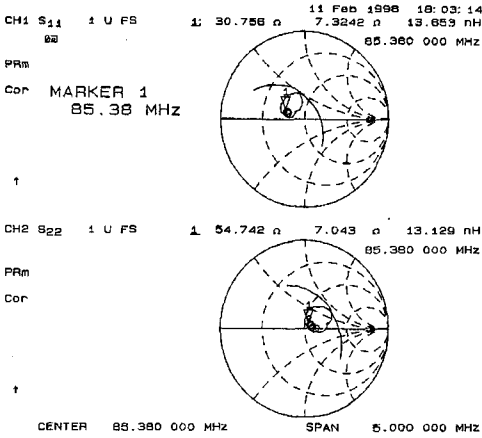


그림 10. 매칭후 SAW 필터의 Smith chart  
Fig. 10. Smith chart of SAW filter under matched condition.

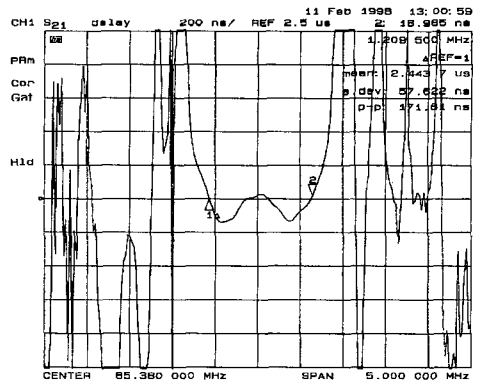


그림 13. 매칭후 필터의 군지연 특성  
Fig. 13. Group delay characteristics of filter under matched condition

필터의 삽입손실은 13.8 dB로 매칭전 31.8 dB보다 크게 향상되었다. 5dB 대역폭은 매칭전 보다 약 0.08 MHz가 증가한 1.32 MHz이고 33dB 대역폭은 매칭전 보다 약 0.05 MHz가 증가한 1.76 MHz였다. 그림 12와 13은 대역내 리플과 군지연 특성을 나타낸 것인데 리플은 0.26 dB이고 군지연 리플은 172 nsec.로 대역내에서 직선성이 유지되었다. 표 2에서는 본 연구에서 제작한 필터의 특성과 CDMA 단말기에서 일반적으로 요구되는 IF SAW 필터의 규격을 비교한 것이다. 제작된 SAW 필터의 모든 특성이 CDMA용 IF 필터 규격에 아주 잘 만족하는 결과를 보였다.

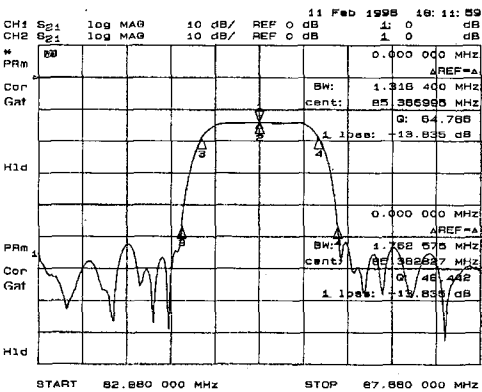


그림 11. 매칭후 측정된 SAW 필터의 특성  
Fig. 11. The measured results of SAW filter under matched condition.

표 2. CDMA용 IF 필터 규격과 제작된 필터 측정치 비교

Table 2. Comparisons of characteristics of fabricated filter with specifications of IF filter for CDMA.

항 목	규 격	측정치
중심주파수	85.38 MHz	85.38 MHz
5 dB 대역폭	> 1.26 MHz	1.32 MHz
33 dB 대역폭	< 1.8 MHz	1.75 MHz
대역내 리플	< 0.8 dB	0.26 dB
삽입손실	< 17 dB	13.8 dB
군지연리플	< 200 nsec.	172 nsec.

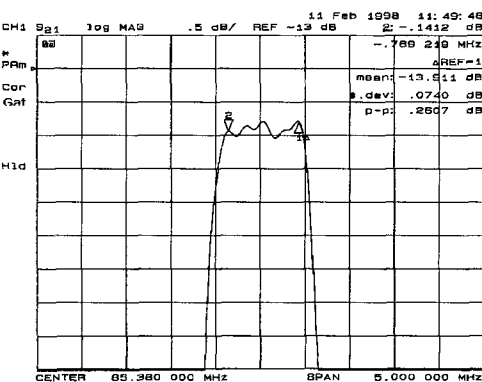


그림 12. 매칭후 필터의 리플 특성  
Fig. 12. Ripple characteristics of filter under matched condition.

## V. 결 론

중심주파수 85.38 MHz의 CDMA 방식 휴대전화기용 IF SAW 필터를 Remez exchange 알고리즘을

이용하여 설계하고 제작하였다. 입, 출력 IDT를 withdrawal 웨이팅 방법으로 구성된 후 필터의 주파수 특성을 시뮬레이션 하였다.

설계된 필터를 42.75° ST-cut Quartz기판을 사용하여 표면실장형 패키징화하여 제작, 측정한 결과 설계치와 아주 잘 일치하였다. 제작된 필터를 회로매칭 후 측정한 결과, 중심주파수 85.38 MHz, 5 dB 대역폭 1.32 MHz, 33dB대역폭 1.76 MHz, 그리고 삽입손실 13.8 dB인 우수한 특성을 보였다. 대역내 리플은 0.26 dB로서 대역내 직선성을 유지하였으며, 대역내 균지연 리플도 172 nsec.로 아주 우수한 선형성을 보였다. 이상과 같이 제작된 SAW필터의 특성은 CDMA용 IF 필터 규격을 만족하고 있어 휴대단말기에 바로 적용이 가능할 것으로생각된다.

#### 참 고 문 헌

- [ 1 ] Nikkei Electronics Asia, vol. 5, no. 5, p. 65, May 1996.
- [ 2 ] L. W. Rabiner, J. H. McClellan and T. W. Parks, "FIR digital filter design techniques using weighted Chebyshev approximation", Proc. IEEE vol. 63, pp. 595-610, April 1975.
- [ 3 ] J. H. McClellan, T. W. Parks and L. W. Rabiner, "A computer program for designing optimum FIR linear phase digital filters", IEEE Trans. on Audio and Electroacoustics, vol. AU-21, no. 6, pp. 506-526, 1973.
- [ 4 ] W. R. Smith, H. M. Gerald and W. R. Jones, "Analysis and design of dispersive interdigital surface wave transducers", IEEE Trans. vol. MTT-20, p. 458, 1972.
- [ 5 ] J. H. McClellan, T. W. Parks and L. W. Rabiner, "A computer program for designing optimum FIR linear phase digital filters", IEEE Trans. on Audio and Electroacoustics, vol. AU-21, no. 6, pp. 506-526, 1973.
- [ 6 ] M. Morimoto, Y. Kobayashi, and M. Hibino, "An optimal SAW filter design using FIR design technique", Proc. IEEE vol. 68, pp. 298-301, 1980.
- [ 7 ] C. Ruppel, E. Ehrmann-Falkkenau, H. R. Stocker and W. Mader, "A design for SAW filters with multistrip couplers", Proc. 1980 IEEE Ultrason. Symp., pp. 13-17, 1980.
- [ 8 ] C. S. Hartmann, "Weighting interdigital surface wave transducers by selective withdrawal of electrodes", Proc. 1973 IEEE Ultrason. Symp., pp. 423-426, 1973.
- [ 9 ] C. Campbell, *Surface Acoustic Wave Device and Their Signal Processing Applications*, Academic Press Inc. p. 59, 1989.
- [ 10 ] P. M. Smith and C. K. Campbell, "The design of SAW linear phase filters using the Remez exchange algorithm", IEEE Trans. UFFC, vol. UFFC-33, no. 3, pp. 318-323, May 1986.

저 자 소 개



楊 炯 國(正會員)

1966년 2월 13일생. 1988년 2월 부산대학교 무기재료공학과 졸업. 1992년 6월 Youngstown State Univ. 재료공학과 대학원 석사. 1992년 ~ 1994년 대우전자부품 SAW 필터팀 연구원. 1994년 ~ 1998년 현재 전자

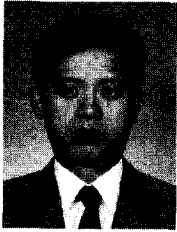
부품종합기술연구소 부품연구 3팀 전임연구원. 주관심분야는 SAW Device 설계 및 모델링, 박막응용소자



趙 顯 敏(正會員)

1970년 12월 16일생. 1993년 2월 포항공과대학교 재료금속공학과 졸업. 1997년 2월 포항공과대학교 재료금속공학과 대학원 석사. 1997년 2월 ~ 1998년 현재 전자부품종합기술연구소 부품연구3팀 연구원. 주관심분

야는 SAW device, Thin Film process & device



朴 鍾 徹(正會員)

1957년 11월 27일생. 1980년 2월 서울대학교 금속공학과 졸업. 1982년 2월 서울대학교 금속공학과 대학원 석사. 1991년 2월 서울대학교 금속공학과 대학원 박사. 1982년 ~ 1992년 한국과학기술연구원 근무. 1992년 ~

1998년 현재 전자부품종합기술연구소 부품연구 3팀장. 주관심분야는 SAW Device, Thin film device