

# IDT 구조변경을 통한 광대역 표면 탄성과 선형 모터의 시뮬레이션 Simulation and Design of Surface Acoustic Wave Motor with Wide Bandwidth

김재근\* · 임수철\*\*\* · 이택주\*\*\*\* · 박노철\*\* · 박영필\*\* · 박경수†

Jaegeun Kim, Soo-Cheol Lim, Taek-Joo Lee, No-Cheol Park, Young-Pil Park and Kyoung-Soo Park

Key Words : Surface Acoustic Wave(SAW), Linear motor, Wide bandwidth, IDT

### ABSTRACT

In this study, we propose a wide bandwidth surface acoustic wave (SAW) motor by design of Inter Digital Transducer (IDT). SAW motor has several benefits compared with preexisted actuator. But it has narrow bandwidth, which causes the lower performance. To widen the bandwidth, the change of IDT structure was proposed, which is slanted IDT and sinc function apodization. The frequency responses were compared original uniform IDT and changed IDT. And the time responses were compared original uniform IDT and changed IDT. As a result, the feasibility of wide bandwidth SAW motor was certified.

## 1. 서 론

최근 디지털 기술 및 통신기술의 발달은 다양한 형태의 정보들을 실시간으로 전송할 수 있도록 하였으며, 이에 따른 다양한 형태의 구동 장치의 발달을 촉진시켰다.

이러한 구동 장치에는 스텝모터(Step Motor)와 VCM(Voice Coil Motor) 방식을 비롯하여 여러 가지 형태가 있다. 그러나 스텝모터는 필수적으로 기어열을 사용해야 하며, 그에 따른 부피의 증가 및 마찰 소음이 증가하는 단점이 있다. VCM 방식은 마찰과 소음의 측면에서 스텝모터를 이용한 구동기보다 유리함에도 불구하고, VCM 구조가 가지는 특성으로 인해 구동 변위의 한계 및 높은 소비 전력을 필요로 한다는 단점을 가지고 있다.

이러한 기존의 구동 장치들의 한계점을 개선하기 위해 압전 재료를 이용한 초음파 모터가 이용 되었다. 압전 초음파 모터의 경우 대부분 시스템의 공진 모드를 이용하므로, 빠른 응답 속도를 낼 수 있지만, 상대적으로 큰 변위와 작은 예압으로 인해 구동력이 작다는 단점이 있으며, 또한 타원 변위를 만들기 위한 모달 튜닝 과정의 기술적인 어려움이 있다.

이러한 기존의 구동 장치들이 가지는 구조적 또는

기술적인 문제점을 극복하기 위한 대안으로 표면파를 이용한 구동장치가 제안 되었으며, 첫 구동에 성공한 바 있다.(1)

그러나 표면 탄성과 구동장치는 대역 폭이 좁아 시스템의 구동 주파수와 중심 주파수가 정확하게 일치하지 않을 경우 응답 특성이 크게 줄어드는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 표면 탄성과 구동 장치의 단점인 좁은 대역의 문제점을 개선하기 위한 방안으로, IDT(Inter Digital Transducer)의 구조 변경을 통한 광대역의 표면 탄성과 구동장치를 제안하였으며, 전극 간의 응답 특성의 고찰을 통해 그 가능성에 대하여 논의한다.

## 2. 구동 원리 및 설계

### 2.1 표면 탄성과 구동 장치의 기본 원리

표면 탄성과 구동 장치의 기본원리는 Fig. 1 과 같다. 압전 기판 위에 증착 된 전극에 의해 가해진 신호에 의해 발생한 표면파의 진행에 따라 압전 탄성체의 표면에는 타원의 변위가 발생하게 된다.

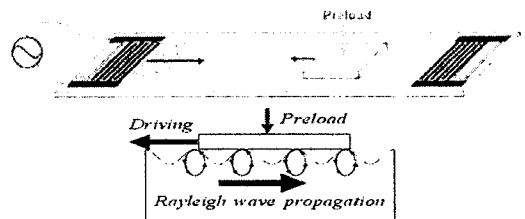


Fig.1. Schematic view of the SAW Actuator

† 교신저자 : 연세대학교 기계공학과  
E-mail : pks6348@yonsei.ac.kr  
Tel : (02) 2123-4677, Fax : (02) 365-8460  
\* 연세대학교 기계공학과 대학원  
.. 연세대학교 기계공학과  
... 삼성전기(주)  
.... 아이티에프(주)

### 3. 광대역의 구현

이때 적절한 예압으로 표면에 올려진 슬라이더는 표면의 타원 운동과 선형 가이드에 의해 표면과의 진행방향과 반대방향으로 이동하게 된다. 구성요소는 크게 압전 기관과 전극 그리고 슬라이더로 구성이 되며, 그 설계방법은 다음과 같다.

#### (1) 전극(IDT)의 설계

표면 탄성과 구동 장치는 표면의 타원 변위를 이용한 장치로, 전기기계결합상수가 큰 재료를 이용하여 기관을 제작한다. 재료가 선정되면, 재료 내의 표면파의 전파 속도와 인가하게 될 전원신호의 주파수에 따라서 전극의 두께가 정해진다. (1) 전극의 두께가 정해지면 Fig.2 와 같은 관계를 통해 전달함수의 계산이 가능하며, Fig.3 는  $LiNbO_3$  ( $v=4000m/s$ ) 기관에 13.56MHz 의 신호가 가해진 경우 주파수 응답의 특성을 나타낸다.

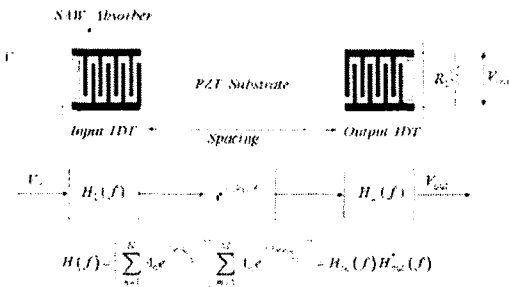


Fig.2. Concept of Transfer Function

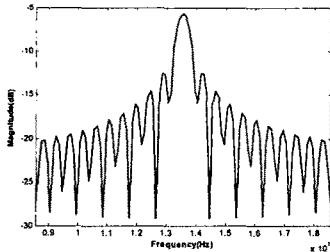


Fig.3. Transfer Function of Substrate

#### (2) 슬라이더의 설계

표면의 타원 운동이 선형 운동으로 구현되기 위해 슬라이더가 사용된다. 슬라이더는 기관과의 접촉 성능이 향상될 수 있도록 슬라이더의 표면에 일정 간격의 돌기를 형성하게 되며, Fig.4 와 같이 주로 기관의 최대 진폭 지점마다 일정한 접촉이 일어나도록 파장의 길이를 정수로 나눈 간격마다 배치되도록 설계된다.

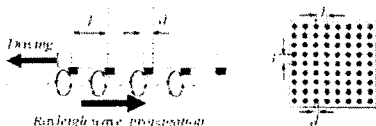


Fig.4. Design of Slider

기존의 표면 탄성과 장치는 일정 간격의 IDT 특성으로 좁은 대역 특성을 가지게 되는데, 다양한 원인들에 의한 중심주파수의 변경 및 오차는 설계된 응답특성이 아닌 응답의 저하를 가져오게 된다.

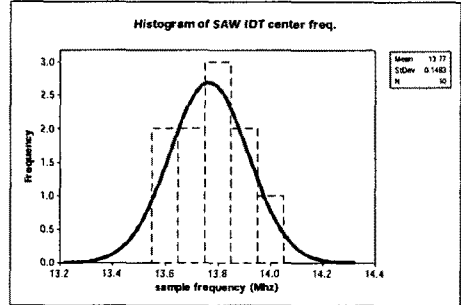


Fig.5. Normal Distribution of Sample

Fig.5 은 상온에서의 물성 치에 근거하여 제작한 중심 주파수 13.56MHz  $LiNbO_3$  Sample 50 개의 표준 정규 분포에 해당한다. 정규 분포 결과 중심 주파수의 차이가 약 3.2%이상 존재하였으며, 이와 같은 원인에 의해 변화된 중심주파수의 평균은 13.76MHz 로 설계된 13.56MHz 의 중심주파수의 입력 시에 약 9dB(13%)의 응답의 저하를 가져오게 된다. 또한 14.02 MHz Sample 의 경우에는 23dB 이상으로 매우 큰 amplitude 저하가 발생하게 된다.

#### 3.1 경사진 IDT를 이용한 구현

광 대역을 구현하기 위한 방법 중 가장 단순한 방법으로 두께가 간격이 일정하게 유지되면서 연속적으로 변하는 IDT 의 구조를 생각할 수 있다. 연속적인 분포의 중심 주파수를 가지게 되므로 상대적으로 낮은 중심주파수에 맞추어진 부분에 의해 IDT 의 구조는 경사를 가지게 되며, 그 수학적인 관계는 다음과 같다. (2)

$$H(f) = \sum_{j=1}^S A_j(f) \sqrt{f_j} \frac{\sin(N_p \pi (f - f_j) / f_j)}{N_p \pi (f - f_j) / f_j} \quad (1)$$

Fig.6.(a)는 중심 주파수를 기준으로 약 20%의 대역을 가지는 경사진 IDT 의 구조 및 이에 따른 주파수 응답 특성을 나타낸다. 사용된 재료는  $LiNbO_3$  이며, 중심 주파수 및 Aperture 전체의 크기는 13.56MHz ( $\lambda = 295 \mu m$ ) 및 9mm 이다. 본 연구에서 설계된 Slanted IDT 의 경사각 및 파라미터들은 Table.1 에 보는 것과 같다.

#### 3.2 Sinc Function Apodization을 이용한 구현

경사진 IDT 가 IDT 의 구조를 이용한 광대역의 구현인 반면, Sinc Function Apodization IDT 는 신호 처리 방법에 의해 광대역을 구현한 방법이다. 이 구조의 특징은 중심 주파수( $f_c$ )에 해당하는 IDT 의 크기로 일정한 크기가 유지되는 특징이 있으며 그 수

$$H(f) = \int \frac{\sin 2\pi(f-f_c)t}{(f-f_c)t} e^{-j2\pi ft} dt \quad (2)$$

Fig.6.(b)는 Sinc Function Apodization 을 이용한 IDT 의 구조를 나타내며, 본 연구에서는 13.56MHz 의 중심 주파수를 기준으로 5 번의 Crossing 을 통한 Simulation 이 진행 되었으며 그 파라미터들은 Table.2 에 보는 것과 같다.

Fig.7 은 원래의 IDT 구조에 대한 주파수 응답과 변경된 IDT 가 적용된 기판의 주파수 응답을 나타내며, Fig.8 는 원래의 IDT 와 변경된 구조를 가지는 기판에서의 상대적인 시간 응답을 나타낸다. IDT 구조가 변경되지 않은 경우 실제의 중심 주파수가 설계된 중심 주파수(13.56MHz)와 약 3%의 오차가 있는 경우(13.05MHz, 14.05MHz), 그 응답의 크기는 각각 중심 주파수의 11%와 8%로 매우 큰 삽입 손실이 발생함을 알 수 있다.

IDT 의 구조가 변경이 된 이후에는 실제 중심주파수와 설계된 중심 주파수를 기준으로 10% 내외의 범위에 위치하면, 그 응답의 크기가 설계된 대역 내에서는 상대적으로 적게 줄어드는 것을 알 수 있다.

경사진 IDT 구조의 경우 13.05MHz 와 14.05MHz 에서 중심 주파수의 응답에 비해 각각 86%와 84%로 원래의 구조에 비해 상대적으로 70% 이상 삽입 손실이 크게 줄어든 것을 알 수 있으며, Sinc function apodization 의 경우 또한 13.05MHz 와 14.05MHz 에서 각각 99%와 100%로 원래의 구조에 비해 상대적으로 90%이상 삽입 손실이 개선되어 성능이 향상되는 것을 알 수 있다.

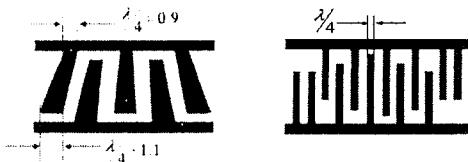
기판의 변위와 출력의 신호가 비례하는 압전 재료의 특성에 비추어 볼 때, IDT 의 구조 변경을 통해 주파수의 대역을 넓히는 것이 가능하며, 이를 통해 광대역을 가지는 표면 탄성과 모터로서의 가능성이 있음을 확인할 수 있다.

Table.1. Slanted IDT Design Parameter

Center freq./Bandwidth	Aperture/Slanted Angle	Phase velocity
13.56MHz/2.6MHz	9mm/6(deg)	4000m/s

Table.2. Sinc Function Apodization

Center freq./Bandwidth	Aperture/Crossing	Phase velocity
13.56MHz/2.6MHz	Sinc(100MHz)/5	4000m/s



(a) Slanted IDT (b) Sinc Function Apodization  
Fig.6. Proposed Widebandwidth IDT Design

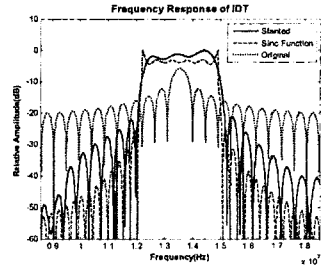


Fig.7. Frequency Response of Substrate by Designed IDT

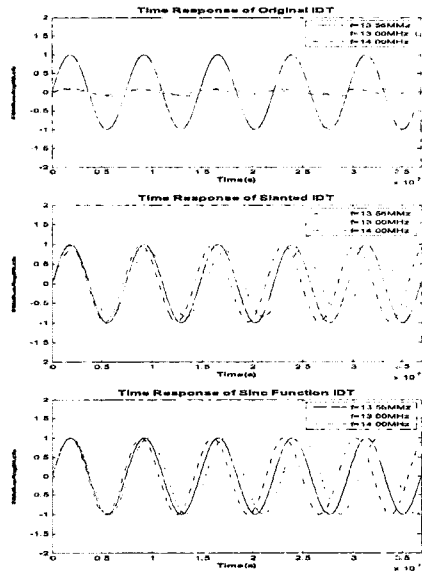


Fig.8. Time Responses of Proposed IDTs.

#### 4. 결론

본 연구에서는 기존의 표면 탄성과 구동 장치가 가지는 좁은 대역의 문제점을 개선하기 위해 광대역을 구현하기 위한 IDT 의 구조 변경 및 이를 이용한 기판의 주파수 응답에 대해 살펴 보았고 광대역 구동 장치로서의 가능성에 대하여 살펴보았다. 압전 재료의 거동 특성이 입력 또는 출력의 신호와 기계적인 변위가 선형적으로 비례한다는 특징으로 볼 때 IDT 의 구조 변경을 통한 광대역의 구현은 적합함을 알 수 있다.

#### 참고 문헌

- (1) 김재근 외, 2008, "표면 탄성과를 이용한 선형 구동기의 개발", 한국 소음진동공학회 춘계학술대회 33-01
- (2) Colin K. Campbell, 1998, "Surface Acoustic Wave Devices for Mobile and Wireless Communications", Academic Press, San Diego.