

# 진동 활용 : 센서 · 액추에이터

## Uses of Vibration : Sensors & Actuators

김진오<sup>†</sup>  
Jin Oh Kim

### 1. 머릿말

진동이란 반복적인 에너지의 변환에 의해 나타나는 현상을 일컫는다. 그중에서 특히 역학적 에너지의 상호변환, 즉 운동에너지와 변형에너지(또는 위치에너지) 간의 반복적인 변환을 역학적 진동 또는 기계적 진동이라 한다. 이러한 역학적 진동(이하에서 '진동' 이라 일컬음)은 자동차의 승차감을 저하시키고, 건축구조물에 손상을 주며, 제품의 수명을 단축시키고, 생활 환경에 불쾌감을 주기도 한다. 이 때문에 '진동' 은 부정적으로 여겨지고 억제해야 하는 대상으로 인식되는 경향이 있다. 진동 분야의 많은 연구자들이 진동 저감, 진동 차단, 진동 제어 등에 관하여 연구하고 있다.

반면에 활용 대상으로서의 긍정적인 진동이 우리 주변에 널려있다. 일반인들이 사용하는 제품으로서 일상생활용품과 정보통신용품에도 활용되고 있고, 산업용으로도 다양하게 활용되고 있다. 이와 같이 진동이 활용되는 제품들을 소개하고, 특히 센서와 액추에이터에 활용되는 사례들을 소개한다.

### 2. 진동 활용 제품

언론 매체의 기사나 광고에 진동을 활용한 제품들이 종종 등장한다. 이들은 일상생활용품, 정보통신용품, 산업용품들로서, 진동에 관한 복잡한 이론보다는 창의적인 아이디어의 산물이다.<sup>(1)</sup>

#### 2.1 일상생활 및 의료용품

전기면도기는 진동을 활용하는 전형적인 제품이고, 최근에는 수동 면도기에 미세진동 기능을 부가한 제품이 출현하였다. 이러한 아이디어가 칫솔에도 적용되었다. 물리치료에 사용되는 진동 매트가 가정용 제품으로도 보급되었고, 가정용 안마기가 속속 등장하고 있으며, 안마 기능을 갖춘 의자도 있다.

<sup>†</sup> 숭실대학교 공과대학 기계공학과  
E-mail : jokim@ssu.ac.kr  
Tel : (02) 820-0662, Fax : (02) 820-0668

건강에 관심이 많은 요즘 운동에 간편하게 하기를 원하는 이들을 위하여 진동을 활용하는 전신 운동기들이 출현하였다. 근육을 단련하는 데에도 진동을 활용하고, 무릎 관절 치료에 진동을 활용하기도 한다.

#### 2.2 정보통신 및 가전용품

휴대전화에서 수신벨을 대신하는 기능뿐만 아니라, 진동으로 발신자를 구분하는 제품이 개발되기도 하였다. 휴대전화로 게임을 할 때 진동 세기를 조절해 게임의 묘미를 더해 주는 장치가 개발되어, 낚시 게임에서 물고기 크기에 따른 손맛 차이와 카레이싱 게임에서 자동차 충돌 시 충격 차이를 느낄 수 있다.

컴퓨터 마우스에 진동을 적용한 제품은 마우스에 오디오 센서가 내장되어 있어 사운드카드의 음향신호를 진동과 소리로 바꿔준다. 기존의 스피커와 다른 방식으로 필름 형태의 스피커와 평판 형태의 스피커가 개발되었다. 초음파 진동에 의해 작동하는 휴대폰 터치 스크린이나 필기용 모니터가 있다.

#### 2.3 식품제조 및 산업용품

마늘액을 추출하는 데에 초음파 진동을 활용하고, 제과 또는 알콜 발효에 소리 전달에 의한 진동을 활용하기도 한다. 산업용 초음파 세척기를 응용한 야채 세척기가 가정용으로 나와 있다. 석유 탐사나 원격 수질오염 측정에 초음파 진동이 활용된다. 배낭에 스프링과 질량체를 조합하여 넣고 보행 중에 전기를 발생시키는 제품이 소개된 바 있다.

소리 디자인에 관심이 높아가고 있는데, 명품 자동차에 고유한 소리를 만들기 위해 공진을 활용한다. 이는 가전 제품에도 적용되고 있고, 소음 발생 제품이라도 듣기 좋은 소음을 만드는 데에 활용된다.

지진에 대비하는 산업용품들이 출현하고 있다. 정밀제품 생산라인에서 진동을 감지하여 일정 수준 이상이면 가동을 멈추는 시스템이 사용되고 있다. 지진이나 심한 진동이 발생할 때 폭발이나 화재 같은 2차 피해를 예방하도록 지진 감지장치가 부가된 보일러가 출현하였다.

차량 후방감지기에 초음파 센서가 사용되고 있다. 유사한 센서가 청소로봇에 사용되어 장애물을 회피하게 한다.

### 3. 진동 활용 센서

계측기용 센서에 진동을 활용하는 방안이 다양하게 구현되고 있다. 이 중에는 진동의 전파인 파동을 이용하는 방식도 있다.<sup>(2)</sup> 가령 초음파를 이용하는 수위계, 점도계, 밀도계, 유속계 등이다. 여기서는 진동형 점도계, 초음파 유속계, 압전필름 계수기를 소개한다.

#### 3.1 비틀림 진동 점도계

비틀림 진동을 하는 원형 봉이 점성유체에 담기면 유체의 점성과 상호작용을 하여 진동특성이 변화한다.<sup>(3)</sup> 봉이 비틀림 진동을 하는 경우 고체 봉의 운동은 인접 점성유체에 전단 응력을 가하고 유체로부터 점성저항을 받아 봉의 고유진동수 변화와 점성 감쇠가 나타난다. 비틀림 진동 점도계는 이러한 현상을 측정하여 점도로 환산한다.<sup>(4)</sup>

센서에 비틀림 진동을 발생시키고 점성저항에 의한 진동 변화를 감지하기 위해서는 우선 변환기(transducer)가 필요하다. 이를 위해 우선 압전 소자를 사용한 비틀림 진동 변환기를 설계하고 제작하였다.<sup>(5-7)</sup>

#### 3.2 초음파 유속계

관 내 유체의 유속을 측정하는 데에 초음파, 즉 가청 주파수보다 높은 주파수의 진동을 전파시키는 기술은 오래 전부터 활용되어왔다. 유체가 흐르는 방향으로 음파가 전파할 때의 전파속도와 역방향의 전파속도의 차이에 근거한다. 초음파 송수신에는 통상 압전소자가 사용된다.

측정 대상 유체가 고온인 경우에 관 벽에 부착되는 압전소자는 제 기능을 발휘하지 못하게 된다. 이런 경우에 압전 소자와 관 벽 사이에 파동 유도 봉(waveguide)을 개입시켜, 열 차단 효과를 얻으면서 초음파를 원활히 전파시키는 방안이 필요하다.<sup>(8)</sup>

기존의 초음파 유속 측정 방식은 관의 길이 방향에 비스듬히 초음파를 전파시킨다. 관의 지름이 작은 경우에는 충분한 전파거리를 확보하지 못하는 단점이 있다. 이를 극복하기 위하여 관 벽을 타고 진동이 전파하는 방안이 시도되고 있다.<sup>(9)</sup>

#### 3.3 압전필름 계수기

통과하는 물품의 개수를 세는 계수기에는 기계적 방식과 광학적 방식이 주로 사용되고 있다. 기계적 방식은 저렴하지만 마모에 의해 수명이 제한되는 단점이 있고, 광학적 방식은 수명이 길지만 값이 비싼 단점이 있다. 이러한 단점들을 극복하는 방안으로 압전필름을 사용하는 방법이 고안되었다.<sup>(10)</sup>

외팔보처럼 설치된 압전필름 센서를 물품이 건드리면 압전필름은 임펄스 응답을 하며 전기신호를 발생한다. 이러

한 응답 신호를 계수함으로써 센서에 접촉한 물품의 개수를 파악할 수 있다.

압전필름은 수중에서 음파 탐지를 하는 데에 유리한 점이 있다. 압전 세라믹은 물에 비해 음향 임피던스가 상당히 크기 때문에, 물과의 경계면에서 음파를 잘 통과시키지 못한다. 반면에 압전 폴리머 필름의 음향 임피던스는 물의 음향 임피던스에 가까운 정도로 작기 때문에 수중의 음파를 수신하는 데에 유리하다.

### 4. 진동 활용 액추에이터

전기 신호를 받아 운동을 일으키는 액추에이터 중에 진동을 일으키는 방식의 액추에이터가 다양하게 있다. 특히 가청주파수 이상의 높은 주파수의 진동인 초음파를 활용하는 액추에이터로 세척기, 모터, 가공기, 용접기를 소개한다.

#### 4.1 초음파 세척기

진동 에너지를 이용하는 기술의 하나인 초음파 세척의 원리는 세척액 내부에서 고주파수에서 큰 음압에 의해 발생하는 미세기포(cavitation)현상과 큰 진동 가속도이다.<sup>(11)</sup> 초음파 세척기는 일반적으로 발진기와 진동부로 구성되는데, 이들이 한 몸체로 이루어진 단조식은 귀금속 매장 등에서 간편히 사용된다. 산업용으로 사용되는 세척기는 두 부분으로 분리되어 진동부가 세척액에 잠겨있는 투입식으로서, 진동부 내부에 랑주방(Langevin)형 진동 변환기들이 배열되어 있다.

모니터 생산라인에서 새도마스크 등을 세척하는 장치는 수십 kHz 주파수 영역에서 구동되며, 세척 성능은 캐비테이션 발생 효율에 달려 있고 이는 음압 크기에 직결된다. 반도체 생산라인에서 포토마스크 등을 세척하는 장치는 MHz 주파수 영역에서 구동되며, 세척 성능은 초음파 투과율에 달려 있다.<sup>(12)</sup>

관의 내벽을 세척해야 하는 사례가 여러 가지 있다. 관 내 세척을 하는 용도의 초음파 세척기가 연구되고 있다.<sup>(13,14)</sup>

#### 4.2 초음파 모터

높은 주파수 범위의 진동을 구동원으로 사용하는 초음파 모터는 압전소자가 전기신호에 따라 팽창과 수축을 반복하는 운동을 이용한다.<sup>(15)</sup> 이는 소형화와 경량화를 할 수 있고 빠른 응답성과 정역전이 쉬운 직접적인 운동성이 있으며, 정밀한 위치 제어와 저속에서 큰 토크가 가능하기 때문에 특정한 분야에서 기존의 전자기식 모터를 대체할 수 있다.

초음파 모터의 종류는 여러 가지 방식으로 분류할 수 있는데, 기능에 따라 분류한다면 회전형 모터와 직선형 모터가 있다. 회전형 모터는 일반적으로 탄성 원반과 압전 원반이 밀착되어 있으며, 압전 원반은 영역 분할된 압전 소자

들이 두 층을 형성하고 있고 각 영역은 극성이 교대로 배치되어 있다. 시간에 따른 조화함수형 전압이 압전 원반에 가해지면 두 원반 경계면에 표면탄성파가 진행하게 되고, 이 운동으로 인해 탄성 원반이 이동한다. 이와 달리 비틀림 진동 변환기와 원통형 압전 변환기<sup>(16)</sup>를 결합하여 회전운동을 발생시키는 모터가 고안되기도 하였다.<sup>(17)</sup>

### 4.3 초음파 가공기

기존의 방법으로는 가공이 어려운 특수금속이나 세라믹 등을 정밀하게 가공하는 방법의 하나로 초음파 진동을 사용한다. 가령 드릴 작업에서 드릴 팁의 회전과 더불어 수십 kHz의 진동을 가해준다.

큰 진동을 가하다 보면 인장에 취약한 압전 소자가 파손될 수가 있어서 진동 변환기에 예압을 준 상태에서 사용한다.<sup>(18)</sup> 또한 변환기에서 발생된 진동이 공구에 전달되는 경로에서 증폭이 되도록 파동 유도 봉을 설계 제작한다.<sup>(19)</sup>

### 4.4 초음파 용접기

초음파 진동의 고 에너지를 이용하는 사례인 초음파 용접기는 반도체 생산라인에서 전기도체인 가는 와이어를 집적회로와 리드프레임에 연결하는 데에 사용된다. 발진기, 압전 진동 변환기, 진동 전달 봉, 용접봉으로 구성되며, 변환기는 수십 kHz의 공진주파수를 갖는 랑주방형 진동 변환기이다.

## 5. 맺음말

진동을 억제해야 하는 대상 못지않게 진동을 긍정적으로 인식하고 활용하는 사례가 상당히 많다. 그 중 일부를 간략히 소개하였는데, 자세한 내용은 참고문헌으로 대신한다.

현재에도 다양한 진동 응용 제품이 나오고 있고, 창의적 아이디어에 의해서 앞으로도 신제품이 계속 출현하리라 예상된다. 진동 분야의 연구 개발 종사자들이 진동 활용에 관심을 가짐으로써, 진동 응용범위가 더욱 넓어져서 산업 발달과 인류의 복지가 더욱 향상되리라 기대한다.

## 참 고 문 헌

(1) 김진오, 2005, “진동 활용 제품 소개”, 한국소음진동공학회지, 제15권, 제3호, pp. 54-56.  
 (2) 김진오, 2000, “초음파를 이용한 센서 및 액추에이터”, 한국소음진동공학회지, 제10권, 제5호, pp. 723-728.  
 (3) 김진오, 전한용, 2000, “봉의 비틀림 고유진동에 대한 인접 점성유체의 영향”, 한국소음진동공학회지, 제10권, 제1호, pp. 168-173.

(4) 전한용, 김진오, 2002, “원형 봉의 비틀림 진동에 의한 유체 점도 측정 연구”, 대한기계학회논문집(A), 제26권, 제6호, pp. 1016-1025.  
 (5) 권오수, 김진오, 2000, “압전 비틀림 변환기의 진동특성 해석”, 한국소음진동공학회지, 제10권, 제6호, pp. 955-962.  
 (6) 권오수, 김진오, 2001, “랑주방형 압전 비틀림 변환기의 진동특성”, 대한기계학회논문집, 제25권, 제8호, pp. 1197-1205.  
 (7) 권오수, 김진오, 2001, “압전 비틀림 파동 변환기 제작 및 평가”, 비파괴검사학회지, 제21권, 제4호, pp. 434-438.  
 (8) 최인석, 전한용, 김진오, 김인수, 2003, “열 차단용 초음파 도파관의 전파성능 향상 연구”, 한국음향학회지, 제22권, 제7호, pp. 545-553.  
 (9) 황교광, 김진오, 2004, “Measurement of axisymmetric-wave speed in a pipe by using piezoelectric cylindrical transducers”, 한국음향학회지, 제23권, 제1E호, pp. 19-23.  
 (10) 유완동, 김진오, 박광훈, 2005, “압전필름을 센서로 사용한 접촉식 계수장치 개발”, 한국소음진동공학회 논문집, 제15권, 제2호, pp. 239-247.  
 (11) 김진오, 김정호, 최주영, 조문재, 1995, “초음파 세정기의 진동/음향 해석에 의한 수명/성능 향상 연구”, 대한기계학회논문집, 제19권, 제11호, pp. 2939-2953.  
 (12) 최성훈, 김진오, 김용훈, 1997, “Acoustic analysis of a high-frequency ultrasonic cleaner”, 한국음향학회지, 제16권, 제1E호, pp. 49-56.  
 (13) 이정구, 김진오, 2005, “관 내 세정을 위한 초음파 음장 연구”, 한국소음진동공학회 논문집, 제15권, 제5호, pp. 564-570.  
 (14) 김진오, 이정구, 2006, “원통형 초음파 세정 장치”, 대한민국 특허 0567966.  
 (15) K. Uchino, Piezoelectric Actuators and Ultrasonic Motors, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1997, Chapter 9.  
 (16) 김진오, 정형근, 2001, “원통형 압전 변환기의 반경방향 진동 특성”, 한국소음진동공학회 논문집, 제11권, 제7호, pp. 247-252.  
 (17) 김진오, 이정현, 2006, “압전 초음파 모터”, 대한민국 특허 0661311.  
 (18) 김대승, 김진오, 2006, “예압에 따른 압전 변환기의 공진특성 변화”, 한국소음진동공학회 논문집, 제16권, 제1호, pp. 89-100.  
 (19) 김대승, 김진오, 2007, “파동 유도 봉의 단면 변화에 따른 진동 전달 특성”, 한국소음진동공학회 논문집, 제17권, 게재예정.