

■ 압전 발전의 이해

■ 강 형 원 / 전자부품연구원
 ■ 이 형 규 / 전자부품연구원
 ■ 박 정 욱 / 연세대학교

1. 서 론

최근 에너지의 고갈 및 환경 보호에 대한 관심이 증가함에 따라 각국의 에너지 사용 동향도 변화되고 있다. 일례로 미국 로렌스 국립 연구소(Lawrence Livermore National Laboratory)에서 발표한 미국의 에너지 동향 (EFC : Energy Flow Charts)에 관한 연구 결과를 보면 미국에서 지난 2007년에 비해 태양, 핵, 바이오매스, 풍력 소스 기반의 에너지 사용량이 증가된 것으로 나타났다. 같은 기간 동안 기존 에너지원이라고 할 수 있는 석탄과 석유의 사용량은 감소를 나타내었다. 이처럼 기존 에너지원이라고 할 수 있는 석탄, 석유의 고갈 및 사용으로 인해 배출되는 CO2 가스에 대한 규제는 태양, 바이오매스, 풍력, 지열, 진동 등과 같은 폐에너지원에 대한 관심을 증가시켜 이를 수확하는 신 재생에너지에 대한 연구에 많은 투자를 하게 되는 계기를 만들었다. 본 고에서는 폐에너지원을 활용한 발전 중 폐진동에너지를 활용한 발전, 특히 압전체를 이용한 발전에 대해서 다루어 보도록 하겠다.

2. 압전의 정의 및 압전 발전의 예

압전이란 외부에서 기계적인 압력(기계적 에너지)이 가해졌을 때 물질 내부에 분극(전기적 에너지)이 유도 되거나(압전 정효과) 혹은 외부 전기장(전기적 에너지)

표 1. 압전 응용 부품 분류

이용 효과	응용 부품
기계적 에너지 → 전기적 에너지	스피커, 발전기
전기적 에너지 → 기계적 에너지	액추에이터
전기적 에너지 → 기계적 에너지 → 전기적 에너지	트랜스포머

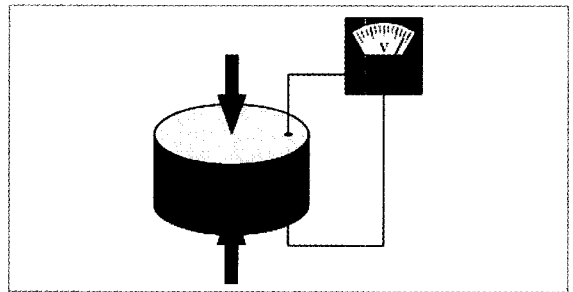


그림 1 압전 정효과 (사진 출처 : wikipedia)

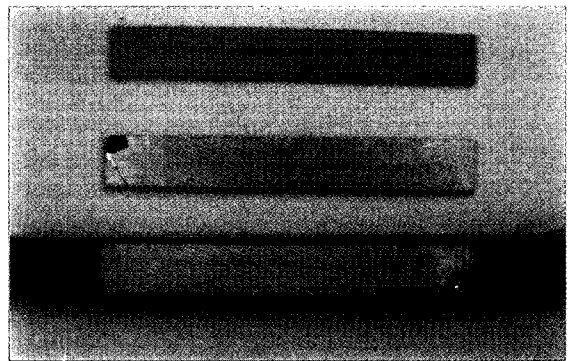


그림 2 압전체 및 압전 발전 모듈

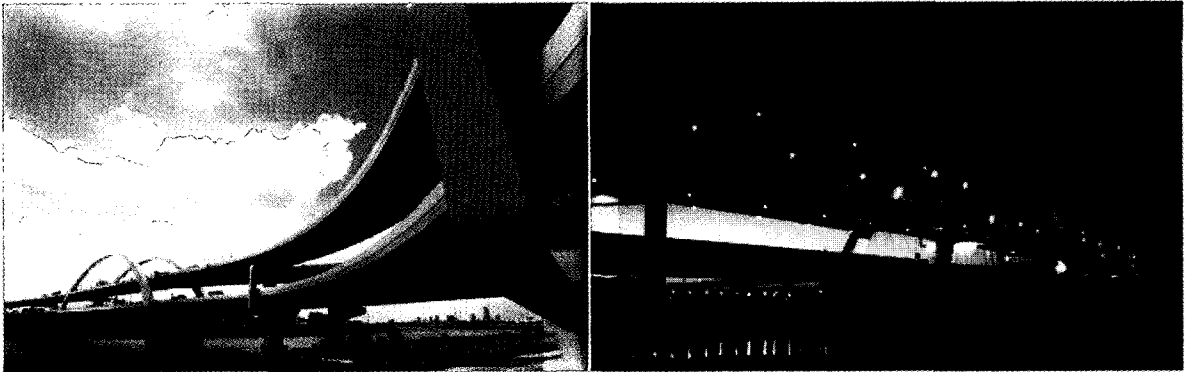


그림 3 발전기가 설치된 일본 도쿄에 있는 사쿠라 다교 주간 모습(좌)과 야간 모습(우)

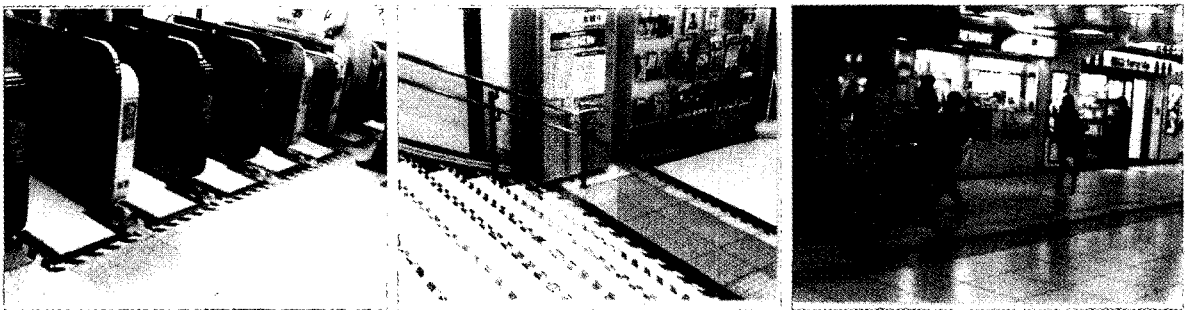


그림 4 일본 도쿄역 티켓 출입구 바닥에 설치된 압전 발판(좌), 압전 계단(중), 압전 매트(우)

에 의하여 기계적인 변형(기계적 에너지)이 일어나는 [압전 역효과] 현상을 말한다. 이러한 압전 효과를 이용한 부품들에는 여러 가지가 있는데 그 중 대표적인 것을 분류하면 다음과 같다.

압전 발전은 압전 정효과 현상(기계적 에너지 → 전기적 에너지)을 이용한 것으로 최근 에너지 및 환경 문제로 인하여 시작품을 적용한 연구가 활발히 진행되고 있다.

현재 세계적으로 압전 발전을 적용하여 연구가 진행되는 사례에는 여러 가지가 있다. 그림. 3에 일본 도쿄에 있는 사쿠라 다교의 주간과 야간 모습을 나타내었다. 이 다교에 다수개의 압전체를 부착하여 차량의 이동에 따른 다교의 진동 또는 바람에 의한 다교 자체의 진동(기계적 에너지)을 전기적 에너지로 변환, 저장한 후 야간에 다교의 전원으로 사용하고 있다.

그림 4에 일본 도쿄역 바닥 및 계단에 설치된 압전 발판을 나타냈다. 지하철 역사 내에 압전 발판을 설치하

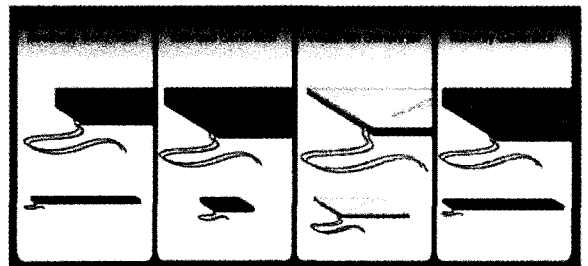


그림 5 이노와텍 압전 발전 모듈 (IPEG)

여 사람들의 보행(기계적 에너지)을 전기적 에너지로 변환하여 저장한 후 지하철 내 안내판 표시 전원으로 사용하고 있다.

이스라엘의 업체인 이노와텍(Innowattech)은 도로를 통과하는 차량으로부터 기계적인 에너지를 수확할 목적으로 일반적인 압전 발전 장치를 개발하였는데 도로 밑에 압전 발전 모듈(IPEG)을 설치한 후 이를 통과하는 트럭 한 대당 2,000 V를 생산할 수 있었다. 그 결과 1km의 도로를 통과하는 각각의 차들로부터 400kW의 전기

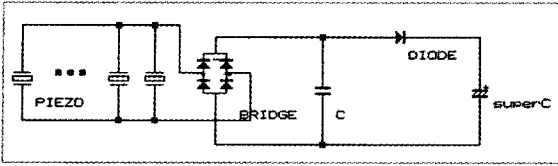


그림 6 압전 에너지 변환 및 저장 회로도

에너지를 발전할 수 있었다.

압전체는 기계적인 에너지를 전기적인 에너지, 특히 교류 형태로 발생하기 때문에 실제 사용하기 위해서는 임피던스 매칭, 변환 및 저장 회로가 동반되어야 한다. 그림 6에는 병렬로 연결된 다수개의 압전체로부터 얻어지는 교류 신호를 전파정류하여 저장하는 대략적인 회로도를 나타내었다.

3. 압전 발전 이론

압전체는 극성물질로써 분극 방향과 압전체 양면에 형성된 전극 방향, 그리고 압전체가 변형되는 방향의 3가지 독립된 방향에 따라 기본 모드가 존재한다. 일반적으로 압전 발전기에서 적용되는 압전체의 기본 모드는 3가지로 31 모드, 33 모드, 15 모드가 이에 해당된다. (앞 숫자는 전기적 분극 방향, 뒤 숫자는 기계적 변위 방향을 나타낸다.)

그림 6에 모든 압전체의 전극은 상부와 하부에 도포 (모든 압전체의 전계 방향은 지면과 수직 방향)되어 있다고 할 때 31 모드는 전기적 분극 방향과 기계적 변위의 방향이 수직으로 형성되고, 33 모드에서는 전기적

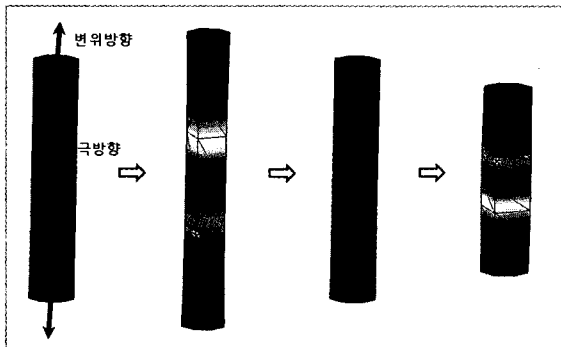


그림 7 33 모드

분극 방향과 기계적 변위의 방향이 동일하게 형성되며, 15 모드에서는 전기적 분극 방향이 기계적 변위 방향과 평행한 전단 변위(미끄럼)를 일으키는 모습이 도시되었다.

압전체는 사용되는 소재에 따라 특정한 상수값을 갖는다. 압전 변위 상수라고 하는 d 값은 압전체의 입장에서 단위 면적당 발생 전하량을 단위 면적당 받는 힘으로 나눈 값이고 압전 전압 상수라고 하는 g 값은 발생 전계값을 단위 면적당 받는 힘으로 나눈 값이다. 이것을 각각 전하량과 전압으로 환산하여 에너지를 구하게 되면 압전 변위 상수, 압전 전압 상수, 힘의 제공에 비례하는 형태로 이루어진 식을 얻을 수 있다. 아래에는 현재 흔히 사용되고 있는 31 모드일 때 발전 에너지를 식으로 표현하였다.

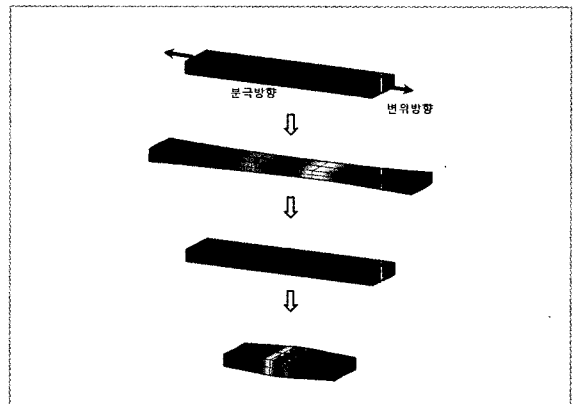


그림 8 31 모드

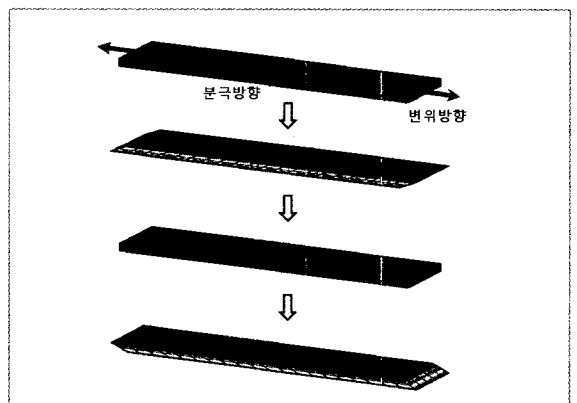


그림 9 모드

4. 결 론

본 고에서는 최근 에너지의 고갈 및 환경 문제로 인해 주목받고 있는 재생에너지 중 압전 발전에 대해 살펴 보았다. 현재 선진국에서 연구되고 있는 압전 발전은 주로 교량 및 도로, 인간의 활동에서 버려지는 폐에너지를 재생하여 에너지로 사용하려는데 그 목적이 있다.

어떠한 곳에 응용을 하든 압전 발전을 연구할 경우 효과적인 압전 발전 에너지를 얻기 위해서는 압전 재료의 특성, 압전체의 발전 모드, 형상에 대한 연구를 담당할 재료공학과 압전체와 연결된 기구의 구조 및 재료, 접합에 대한 연구를 담당할 기계공학, 압전체와 회로간의 임피던스 매칭 및 압전체에서 발생될 전기 에너지의 변환, 저장에 대한 연구를 담당할 전기전자공학, 그 외 도로 및 교량에 적용할 경우, 도로 교량의 진동 및 차량 흐름에 따른 구조체의 곡률 등에 대한 연구를 담당할 토목공학간의 융합 연구가 필요하다 하겠다.

참고문헌

1. U.S. Energy Flowchart 2008, Lawrence Livermore National Laboratory
: Release Note Annual Energy Review 2008, report number DOE/EIA-0384 (2008)
2. <http://www.soundpower.co.jp/products/products1.html>
3. <http://www.innowattech.co.il/>
4. Jos Luis Gonz?lez, Antonio Rubio and Francesc Moll "A Prospect on the use of Piezoelectric Effect to Supply Power to Wearable Electronic Devices", 4th. Intl. Conf. Materials Engineering for Resources, Vol 1, pp 202-207, 2001

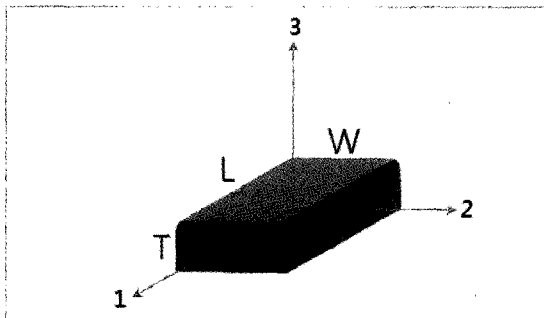


그림 10 31 모드 발전용 압전체

$$d_{31} = \frac{Q_3}{F_1} = \frac{TQ_3}{LF_1} \Leftrightarrow Q_3 = d_{31}F_1 \frac{L}{T} \quad (1)$$

$$g_{31} = \frac{V_3}{F_1} = \frac{V_3H}{F_1} \Leftrightarrow V_3 = g_{31}F_1 \frac{1}{H} \quad (2)$$

$$E = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} QV = d_{31}g_{31} \frac{L}{TH} (F_1)^2 \quad (3)$$

33 모드와 15 모드에 대한 에너지 식을 보면 식 (3) 과 유사하나 압전체의 형태와 관련된 인자들(길이 : L, 폭 : W, 두께 : T)의 분자, 분모 위치만이 다르다. 이를 근거로 하여 각 모드별로 얻어진 에너지 식을 보면 압전 발전 에너지는 압전체의 압전 변위 상수, 압전 전압 상수 및 인가되어지는 힘의 제곱에 비례하다는 것을 알 수 있다. 압전 소재에서 압전 상수값은 31 모드 < 33 모드 < 15 모드인 관계가 있으므로 형상을 제외하면 15 모드에서 가장 큰 에너지 값을 얻을 수 있다. 그러나 실제의 경우 모드별로 형상에 대한 인자(길이 : L, 폭 : W, 두께 : T)가 변화되기 때문에 각 모드에 맞도록 길이(L), 폭(W), 두께(T)를 고려하여 가장 큰 에너지를 얻을 수 있도록 형상을 변경해야 한다.

표 2. 압전 소재의 압전 변위 상수 및 압전 전압 상수

압전 소재	d31	d33	d15	g31	g33	g15
	10 ⁻¹² C/N			10 ⁻³ V/mN		
PZT-5A	-171	374	584	-11.1	24.8	38.6
PZT-5H	-274	593	741	-9.1	19.7	24.5