

제 2 장 에너지 하베스팅 기술의 종류 및 원리

압전 및 마찰 전기를 이용한 에너지 하베스팅 기술은 각각 압전 효과와 정전기 유도 현상을 기본 원리로 에너지를 수확한다. 이 두 가지는 모두 외부의 기계적 에너지가 전위차를 만들고 이로 인해 쌍극자와 보상 전하가 형성되어 전자, 즉 전류가 흐르는 현상을 바탕으로 한다. 열전을 이용한 에너지 하베스팅 기술은 각각 제벡 효과 (Seebeck effect)와 패러데이의 전자기 유도 법칙(Faraday's Law of Induction)을 기본 원리로 에너지를 수확한다. 이어지는 본문에서는 에너지 하베스팅의 종류별 메커니즘에 대해 보다 더 자세히 알아보자.

2.1. 압전 재료를 이용한 에너지 하베스팅 기술의 원리

압전 물질인 PMN-PT를 사용하는 에너지 하베스팅 소자가 전기 에너지를 만들어내는 원리는 그림 1과 같다. 기계적 에너지를 받지 않은 상태에서 PMN-PT 박막에 존재하는 쌍극자는 폴링(poling)에 의해 소자의 표면에 수직으로 배열되어 있다. 소자가 인장 응력을 받아 휘어지면 소자의 변형으로 인해 PMN-PT 박막 내부에 압전 전위가 형성된다. 전자는 쌍극자에 의해 만들어진 전위의 균형을 맞추기 위하여 외부 회로를 통해 흐르며 결과적으로 위쪽 전극에 쌓이게 된다. 소자에 작용하던 응력이 사라져 다시 처음 상태로 돌아가면 전하 또한 회로를 통해 처음 자리로 되돌아간다. 전체적으로 소자에 압력이 가해지고 제거되는 반복적인 과정을 통해 양의 전기 신호와 음의 전기 신호가 번갈아 생기게 된다.

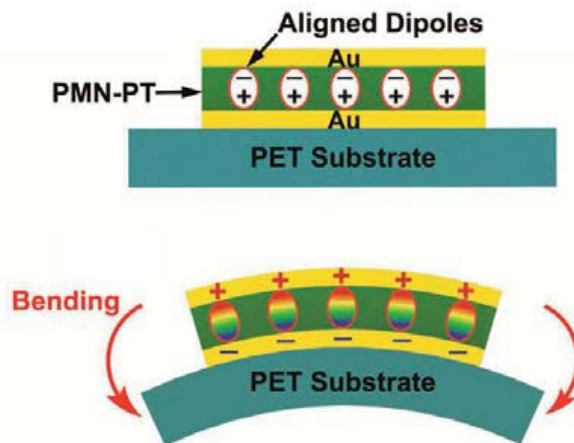


그림 1. 대표적 압전 물질인 PMN-PT를 이용하여 설명한 전기 에너지 생성 원리

2.2. 마찰 전기를 이용한 에너지 하베스팅 기술의 원리

마찰전기를 이용한 에너지 하베스팅의 일반적인 메커니즘은 그림 2와 같다. 두 개의

서로 다른 물질이 접촉하면 마찰 대전에 의해 표면이 대전되는 현상이 나타난다. 두 물질이 분리되면 정전기 유도 현상에 의해 위·아래 전극에 보상 전하가 축적되고, 이에 따라 전하 균형이 맞을 때까지 외부 전극을 통해 전류가 흐르게 된다. 두 물질이 다시 가까워지면 축적되었던 보상 전하가 사라짐으로써 처음과는 반대 방향의 전류가 외부 전극을 통해 흐르게 되며, 반복되는 접촉 및 분리과정을 통해 양 전극간에 지속적으로 교류 전류 (Alternating Current)가 흐른다.

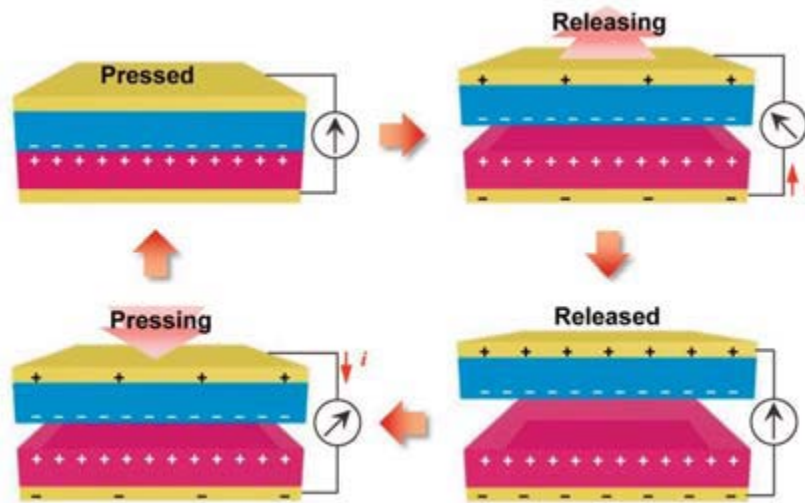


그림 2. 마찰 전기를 이용한 에너지 하베스팅의 일반적인 메커니즘의 모식도

2.3. 열전 재료를 이용한 에너지 하베스팅 기술의 원리

열전(thermoelectric) 에너지 하베스팅은 열에너지를 전기에너지로 변환시키는 방식을 이용한 기술로, 제벡 효과를 바탕으로 한다. 제벡 효과는 두 종류의 금속이나 반도체의 양 끝을 접합한 부분에 발생하는 온도 차가 전압으로 직접 변환되는 현상이다. 이 현상은 온도에 따라 자유전자의 에너지가 다르므로 자유 전자가 에너지 균형 상태, 즉 평형 상태가 될 때까지 에너지가 낮은 쪽으로 이동하여 전위차를 형성하기 때문에 발생한다. 열전 소자의 모식도는 그림 3과 같다. 그림 3(a)에서 보는 것과 같이, 열전 단위소자 (thermoelement) 는 p타입과 n타입의 반도체가 직렬로 연결되어 구성되어 있다. 일반적인 열전 소자(thermoelectric module)의 형태는 그림 3(b)처럼 전압을 증가시키기 위해 많은 수의 열전 단위소자가 전기가 흐르는 방향에 직렬로 연결되어 있으며, 열전도도를 증가시키기 위해 열이 흐르는 방향에 병렬로 연결되어 있다.

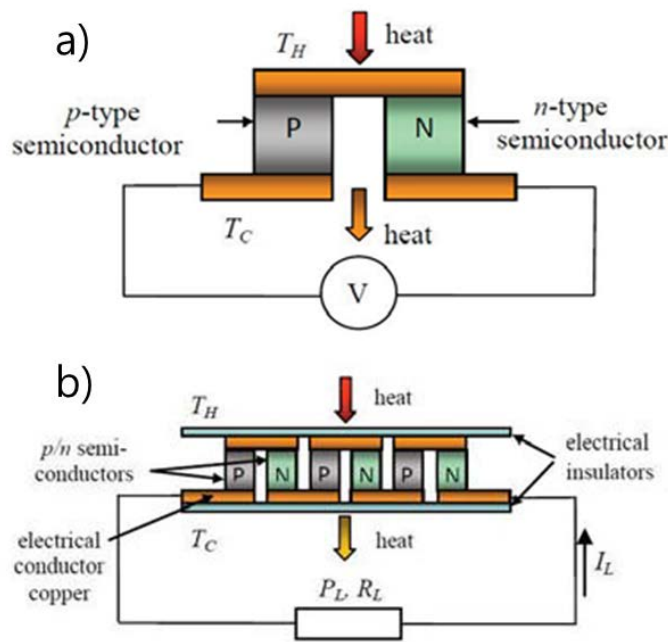


그림 3. 열전 발전기의 모식도. (a) 열전 단위소자의 구조. (b) 열전 소자의 형태

2.4. 페로플루이드를 이용한 에너지 하베스팅 기술의 원리

페로플루이드를 이용한 에너지 하베스팅 기술은 자기장이 존재하는 영역에서 기계적 에너지를 받을 때 생기는 자기 쌍극자 모멘트의 변화를 원리로 한다. 그림 4(a)는 재료가 외부 자기장을 받지 않을 때, 액체 안에서 쌍극자들이 무작위하게 배열한 상황을 나타낸다. 이때 총 자화(Magnetization) 값은 0이다. 만약 재료에 외부 자기장을 가한다면 액체 내부에 있는 자기 쌍극자가 그림 4(b)처럼 외부 자기장의 방향으로 정렬한다. 이후 재료가 진동을 받아 액체가 출렁인다면 그림 4(c)처럼 내부 자기 쌍극자들은 변위를 갖는다. 변위를 가진 쌍극자들은 순자기선속(net magnetic flux)을 만든다. 이 선속이 액체 주변의 코일에 영향을 주면 전자기 유도 현상이 발생하고 코일에는 전기가 흐른다. 여기서 중요한 요소는 최대한 공명 진동수에 근접한 기계적 진동을 가하여 진폭이 최대가 되는 표면파를 형성시키는 것이다. 표면파가 최대 진폭을 갖는다면 이 파동이 만드는 자기 선속의 변화 또한 최대 값을 갖기 때문에 큰 전압이 출력된다.

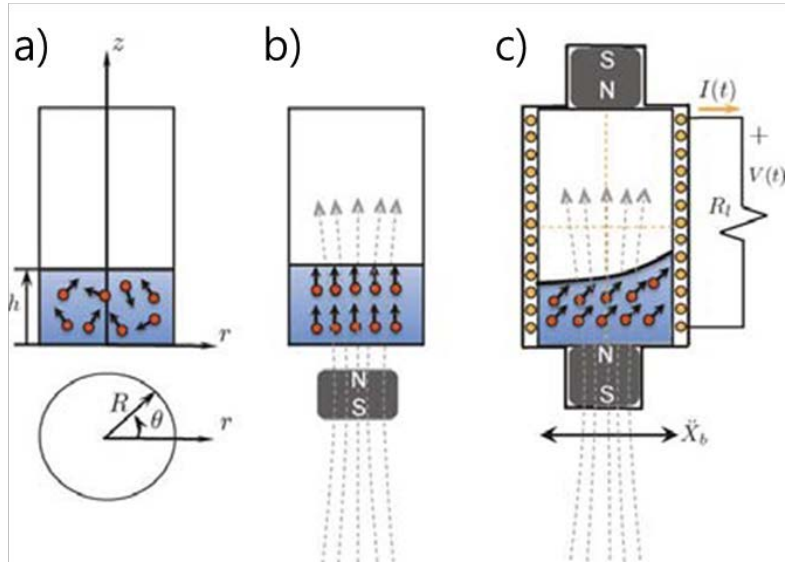


그림 4. (a) 자기장이 가해지지 않았을 때의 페로플루이드 내부의 자기 쌍극자들. (b) 자기장이 가해졌을 때 자기장의 방향으로 배열이 되는 자기 쌍극자들. (c) 진동으로 인해 배향이 바뀌고 자기 선속을 만들어 내어 전류를 생산하는 페로플루이드.