에너지 하베스팅 개론

융 복 합 섬 유 팀

ECO융합섬유연구원
Korea Institute of Convergence Textile

1. 에너지 하베스팅 원리

○ 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 인장응력을 받아 휘어지면 소자의 변형으로 인해 PMN-PT 박막 내부에 압전 전위가형성된다.
- 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 전기신호가 번갈아 생기게 된다.

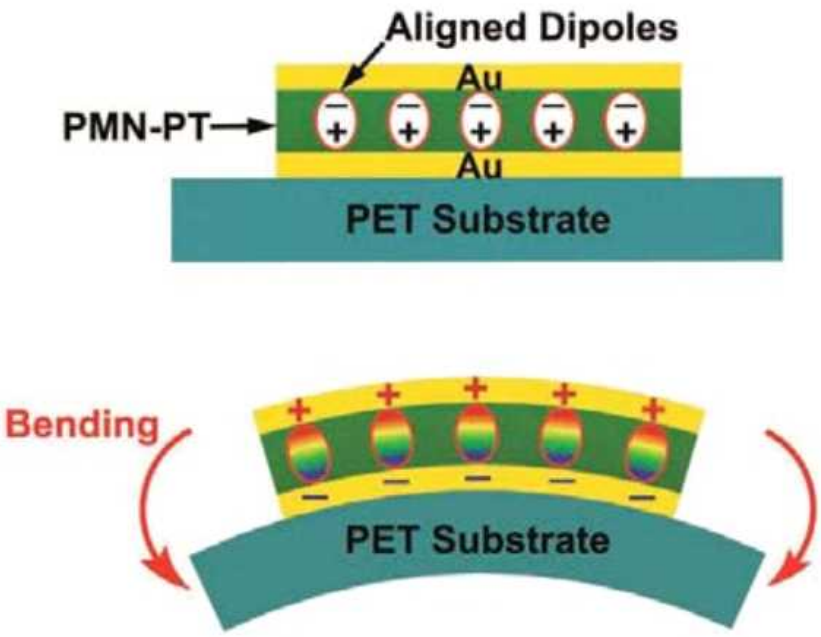

그림 1. 전기 에너지 생성원리

○ 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.

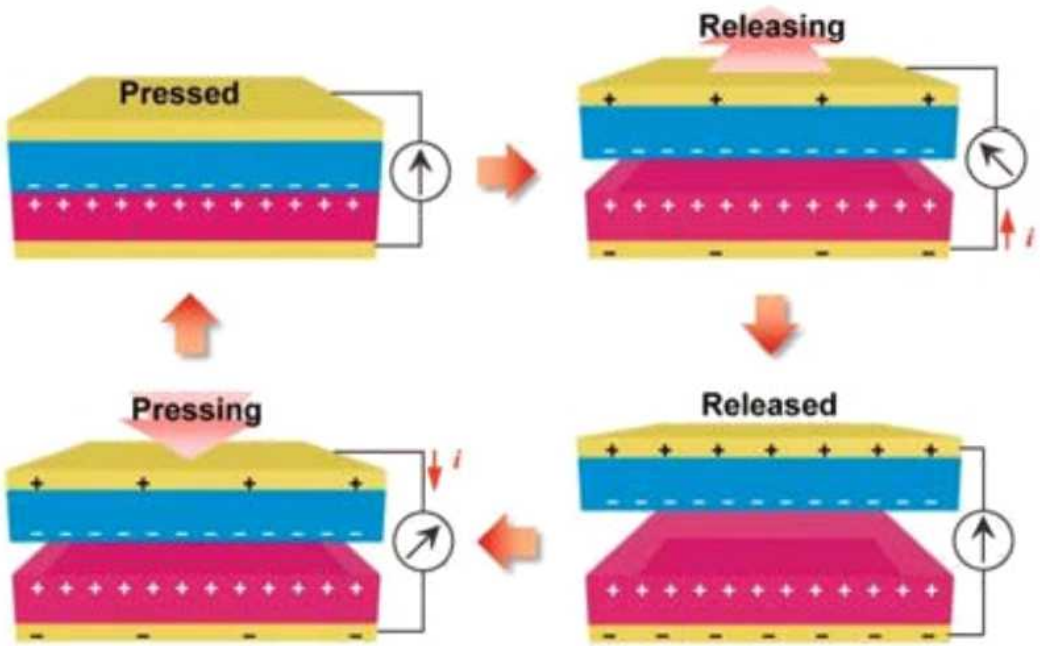

그림 2. 마찰 전기를 이용한 에너지 하베스팅의 모식도

○ 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.
- 이현상은 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, 열전단위소자 (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.

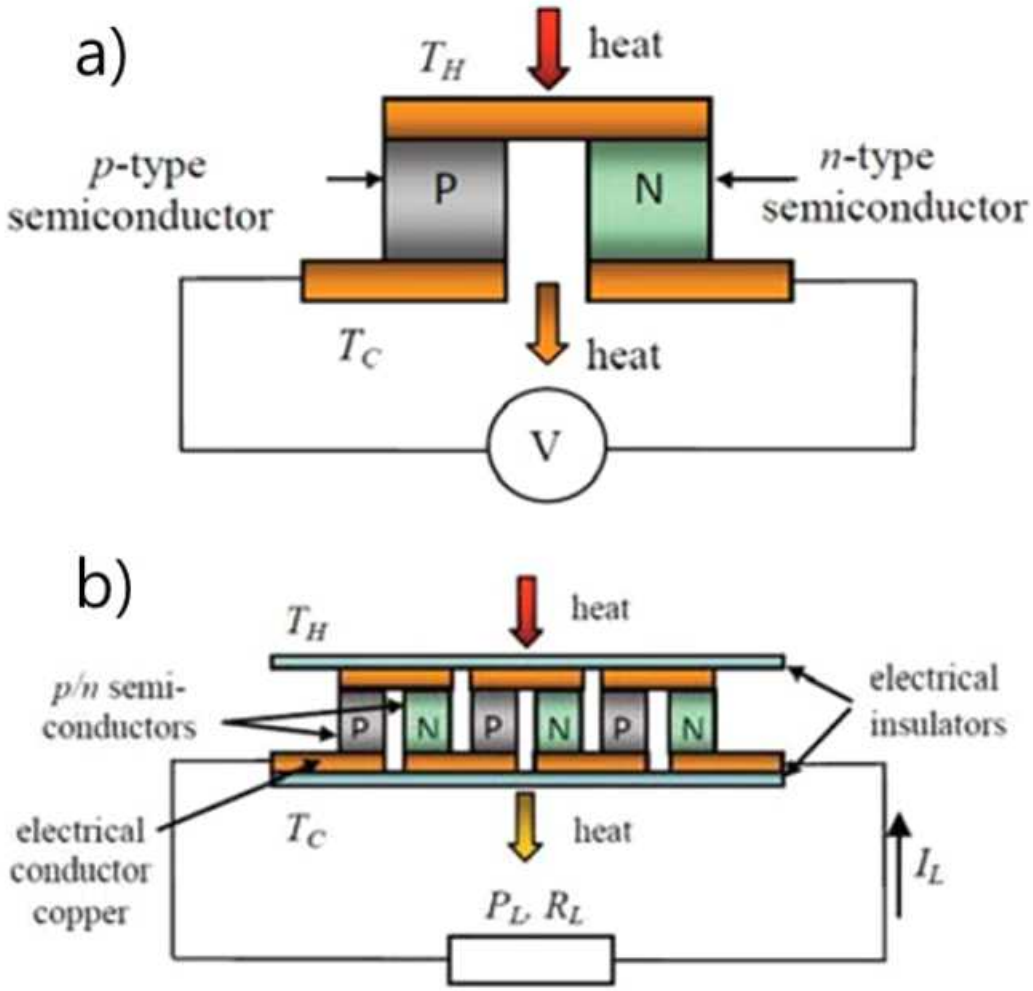

그림 3. 열전 발전기의 모식도. (a) 열전 단위소자의 구조. (b) 열전 소자의 형태

○ 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 자기장을받지 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 그림4(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.

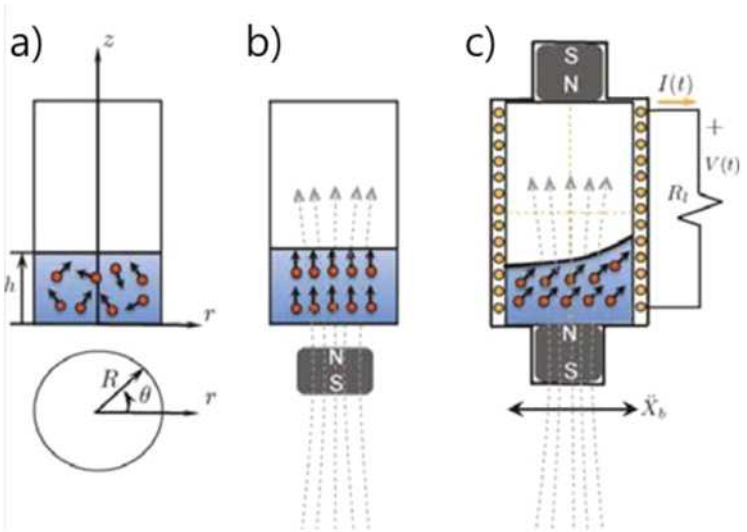

그림 4. (a) 자기장이 가해지지 않았을 때의 페로플루이드 내부의 자기 쌍극자들. (b)자기장이 가해졌을 때 자기장의 방향으로 배열이 되는 자기 쌍극자들. (c) 진동으로 인해배향이 바뀌고 자기 선속을 만들어 내어 전류를 생산하는 페로플루이드.

표 1. 에너지 하베스팅 특성 비교

에너지원	전력밀도(㎽/㎠)	효율(%)
태양광(Photovoltaic)	500 ~ 5000	5 ~ 40
압전(Piezoelectric)	0.001 ~ 90	25 ~ 60
전자기(Electromagnetic)	0.1 ~ 50	30 ~ 40
열전(Thermoelectric)	50 ~ 500	0.1 ~ 10

표 2. 재료에 따른 전자친화도 값

재료 (Material)	전자친화도 (Affinity, nC/J)
Polyurethane foam	+60
Sorbothane	+58
Box sealing tape (BOPP)	+55
Hair, oily skin	+45
Solid polyurethane, filled	+40
Nylon, dry skin	+30
Machine oil	+29
Glass (soda)	+25
Paper (uncoated copy)	+10
Wood (pine)	+7
Cotton	+5
Nitrile rubber	+3
Wool	0
Polycarbonate	-5
Epoxy (circuit board)	-32
Styrene-butadiene rubber (SBR, Buna S)	-35
PET (mylar) cloth	-40
Polystyrene	-70
Polyimide	-70
Silicones (air harden & thermoset, but not GE)	-72
Olefins (alkenes): LDPE, HDPE, PP	-90
Cellulose nitrate	-93
UHMWPE	-95
PVC (rigid vinyl)	-100

2. 에너지 하베스팅 기술동향

○ ‘에너지 하베스팅’은 모바일이나 웨어러블 기기 등의 전력원에서 향후 4차 산업혁명의 주요 요소인 사물인터넷 전원으로 더욱 주목을 받을 것으로 전망되고 있다. 세계 에너지 하베스팅 시장은 연평균 28% 성장률을 보이며 2022년에는 약 50억 달러 규모로 성장할 것으로 예상되고 있다.

○ 사물인터넷의 확산과 지구 온난화 방지를 위한 탄소 배출 제한, 웨어러블 모바일 기기 증가 등이 에너지 하베스팅 시장 확대를 촉진하고 있다는 분석이다.

○ 해외에서는 온도차에 의해 열이 이동할 때 발생하는 에너지를 전기로 변환하고 있다. 영국의 보다폰사는 움직일 때마다 몸에서 발생하는 열이 반바지로 전달돼 휴대폰을 충전 시킬 수 있는 ‘파워 포켓’을 선보였다.

○ 주위에 버려지는 힘이나 압력, 진동 에너지를 활용하며 도로, 신발, 자동차 타이어 등 다양한 분야에 적용하고 있다. 네덜란드 로테르담의 클럽에는 전기를 생산하는 에너지 플로어를 바닥에 설치해 춤을 추면서 전기를 생산하고 이를 클럽의 LED 전력원으로 사용하고 있다.

○ 영국의 드레이슨 테크놀로지와 임페리얼 칼리지는 ‘프리볼트’라 불리는 공간속의 무선전파를 모아 전력을 생산하는 전자기파 수확 기술을 개발했다. 와이파이 장치, 휴대전화를 동작시키는 다양한 전자파 대역에서 에너지를 흡수한다. 미국 워싱턴대 연구진도 유사한 기술을 이용해 5m 거리에 있는 카메라를 충전했다.

○ 참고문헌

- 에너지 화베스팅 기술의 종류 및 원리, 화학공학소재연구정보센터
- “초스마트 사회에서는 ‘에너지 하베스팅’이 뜬다”, 에너지데일리