

## 체열을 에너지로 하는 지능형 의류

### 1. 서언

지능형 의류는 전자 장치를 의류 및 장신구에 통째로 장착하여 우리의 일상생활의 실제적인 일부로 만들려는 시도이다. 이로 인해 계속 축적되는 방대한 자료는 통신, 정보, 보안 및 건강관리 분야에 있어 혁명을 가져올 것이다. 이러한 상상을 실현시키기 위해서는 현재 활용 가능한 장치의 크기와 에너지 손실을 더욱 줄여야 한다. 또한 이렇게 장착된 장치는 사용 시 에너지 공급으로부터의 독립성이 더욱 요구되므로 더 편리한 에너지 공급 장치를 위한 많은 노력이 행해지고 있다.

사람은 체열에 의해 수십와트 정도의 에너지를 만들어 내기 때문에 이러한 에너지를 시험해보고 이용하는 것은 타당성 있는 일이다. 소형 열전기 발전기는 인체 피부와 외부간 온도차를 이용하는 것으로 이로 인한 열 흐름을 전기 에너지로 바꾸어줄 수 있다. 여러모로 열전기 발전기는 전지에 비해 유리한 특성을 갖는다. 즉, 물세탁할 수 있고, 튼튼하며, 환경 친화적 재료로 구성되고, 실질적으로 수명이 무한하다.

그러나 수년동안 열전기 발전기는 우주 임무 수행을 위한 전력 공급 장치와 같이 특정 용도에 한정되어 왔다. 열전자 재료의 효율성이 커지고, 초소형 전자회로의 전력 소비가 감소하며, 제조 비용이 줄어들어 현재 열전기 장치는 매우 발전해 가고 있다.

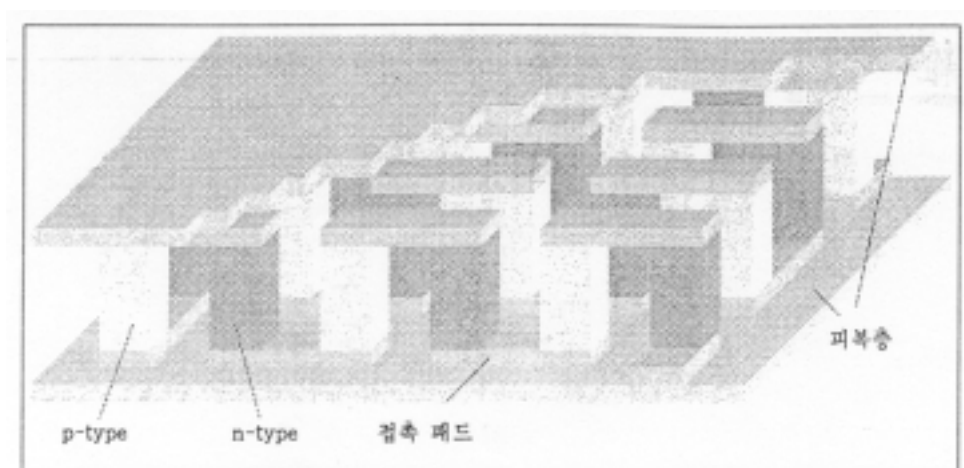
오늘날 이런 원리로 작동하는 무전지 손목시계가 상업적으로 이용 가능하다. Seiko 손목시계는 전력 소비량이 1마이크로 와트이며, 공급되는 전압은 1.5볼트이다.

지능형 의류에 편안하게 장착할 수 있는 열전기 발전기를 목표로 하여 Infineon Technologies는 최근 성능이 크게 향상된 새로운 초소형 열전기 발전기 칩을 개발하여 실용화를 앞두고 있다.

실제로 적용하기 위해서 옷을 입었을 때 인체의 열분포를 분석하였다. 이러한 분석의 목적은 장치를 장착할 위치를 찾기 위함이다. 특히 관심을 끄는 위치가 손목 밴드, 소매, 옷깃, 벨트, 청바지 단추와 같이 피부와 밀착된 곳이다. 최근 지능형 의류에 주어진 문제를 해결할 수 있도록 전기 장치와 섬유의 결합에 대한 기술과 경험이 축적됐다.

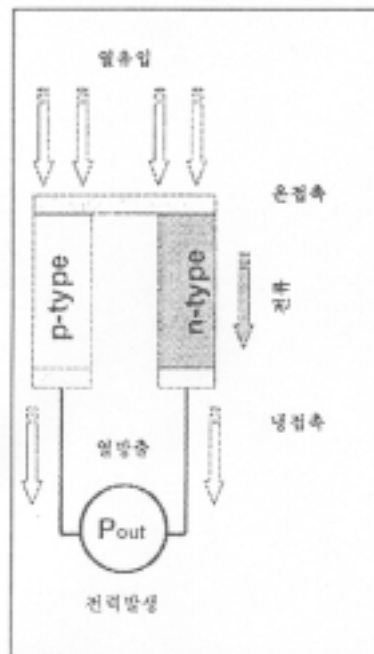
## 2. 열전기 이론

열전기 발전기는 열전쌍으로 구성된 전기회로이다. 이는 한쪽 끝에 연결된 2개의 도체 또는 반도체 막대로 구성된다(그림 1 참조). 열전 효과(Seebeck 효과)로 인해 열전쌍의 양쪽간 온도차가 전압을 일으키고, 따라서 전기 consumer load를 통해 전류가 흐른다. 규소와 같은 반도체 재료는 열전 효과가 가장 크며 그 다음으로 니켈, 크롬과 같은 금속이다.



<그림 1> 열전쌍의 원리

열전기 발전기는 공간 절약을 위해 구불구불하게 배열된 많은 열전쌍으로 구성된다(그림 2 참조). 이렇게 해서 높은 충전압 및 전기 에너지가 만들어진다. 효율적인 열전기 발전기는 큰 열전 효과, 낮은 전기 저항 및 열전도성을 갖는 재료로 만드는 것이 좋다. 이런 관점에서 규소는 금속보다 더 좋은 열전기 재료이다.



<그림 2> n-형 및 p-형 열전기 레크로 구성된

열전기 발전기의 개략도

텔루르화비스무트와 같은 복합 반도체는 훨씬 더 유망한데, 이는 훨씬 더 낮은 열전도성 때문이다. 그러나 이러한 고성능 반도체는 폐기할 수 없고, 제조가 어려우며, 표준 규소칩 제조 공정으로 만들 수 없기 때문에 비용이 많이 들므로 의료 용도로 적용하는 것은 어려울 것이다.

규소로 만들어진 새로운 Infineon 열전기 발전기칩은 5°C의 온도차로 cm²당

1마이크로와트의 전력 및 10볼트의 개로전압을 만들어낸다. 이 정도는 손목 시계 용도로 적합하다. 다른 발전기를 비교하면, DTS사의 열전기 발전기는  $\text{cm}^2$ 당 1.5마이크로와트의 전력 및 3볼트의 개로전압을 만들어낸다. 이 장치는 고성능 복합 반도체 박막으로 만들어진다. 규소를 사용하는 경우, 수치에서 알 수 있듯이 효율이 크게 감소하지 않으면서 확실히 제조가 간단하고 비용이 적게 든다.

결론적으로 체열을 에너지로 하는 열전기 발전기의 형태 및 크기는 사용시 소비되는 에너지에 좌우될 것이며 더욱이 가격에 좌우될 것이다.

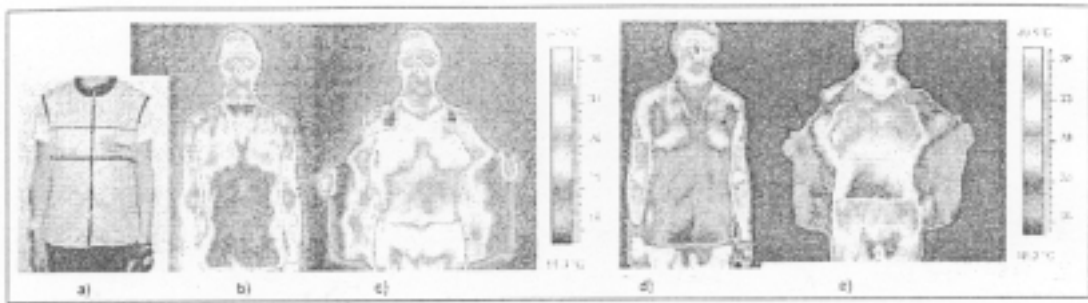
### 3. 의류에서의 온도차

분명히 낮은 온도에서 의류의 안팎은 높은 온도차가 있다. 하지만 확실히 고 변함없이 일정한 에너지 공급을 위해서는 얇은 옷을 입고 있는 사람에 대해 보통의 실온에서의 온도 프로파일을 고려해야 한다. 게다가 온도가 어떻게 인체의 수분 증발에 의해 영향 받는지 알 필요가 있다. 이는 특히 스포츠 활동 중 장착된 자가 발전의 전자 장비에서 그렇다.

여성 및 남성 시험자에 대해 관찰을 행했다. 이들은 손목, 가슴, 허리선 및 이마의 피부에 온도 및 습도를 직접 측정하는 센서를 달았다. 인체의 이런 부분들은 의류 내에 열전기 발전기를 쉽게 장착할 수 있다. 남성의 경우, 면 티셔츠, 폴리에스터 바지, 맥박 측정 장치 및 폴리에스터 소매를 선택하여 열전기 발전기와 함께 입혔다. 여성 시험자는 폴리에스터 티셔츠 및 방풍 조끼로 이루어진 자전거 복장을 입혔다. 시험전, 시험용 열전기 발전기가 폴리에스터 반바지, 소매 및 폴리에스터 머리카 내에 장착되었다. 센서의 수치는 시험 중 규칙적으로 기록되었다.

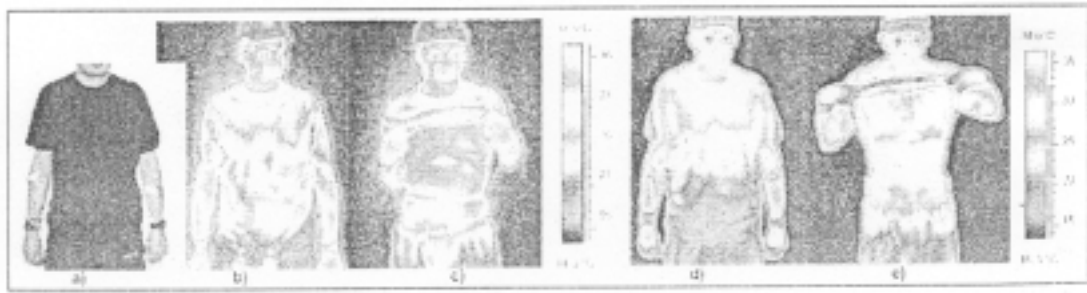
시험자의 적외선 화상이 가벼운 운동 전후에 15°C의 실온에서 촬영되었다

(그림 3 및 4 참조). 그 결과를 요약하면, 운동 후에 피부 온도는 의류로 덮인 모든 부분에서 1~2°C 감소했고, 피부가 외부에 노출되면 수분 증발로 인해 처음보다 약 4°C 감소했다. 피부와 의류간 온도차는 2~17°C로 다양했다. 일반적으로 낮은 피부 온도를 보인 손목에서는 상대적으로 작은 4~6°C의 온도차가 측정되었다. 반대로 목 부위에서는 매우 높은 피부 온도를 나타냈고 방풍 조끼의 깃에서는 17°C의 온도차를 보여, 이 영역이 전력 생산에 매우 적합하였다.



<그림 3> 여성 시험자의 자전거 복장: 폴리에스터 티셔츠,  
방풍 조끼 및 폴리에스터 반바지.

- a) 사진,
  - b) 방풍 조끼를 입었을 때의 열화상,
  - c) 조끼를 풀어헤친 직후의 열화상, d)
  - d) 및
  - e) 가벼운 운동 후. 색상에 따른 온도는 우측 눈금과 일치한다.
- 실온은 15°C.



<그림 4> 남성 시험자의 면 티셔츠 및 폴리에스터 바지.

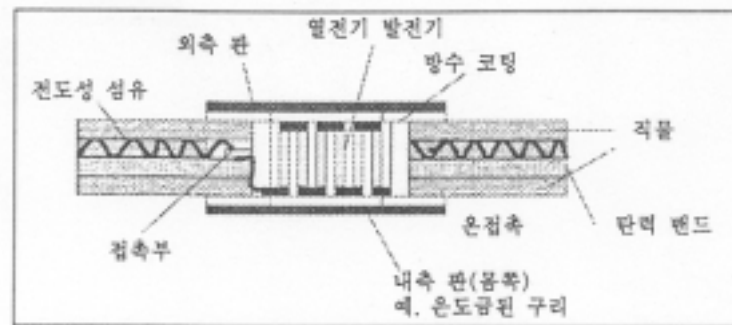
- a) 사진, 부착된 센서는 피부 온도와 습도를 나타내준다,
- b) 열화상,
- c) 가슴의 맥박 센서 및 허리선에 부착된 온도 및 습도 센서에 의해 측정되는 온도 차이를 보여주는 티셔츠를 들어올린 직후 피부의 열화상,
- d) 및
- e) 가벼운 운동 후. 색상에 따른 온도는 우측 눈금과 일치한다.

실온은 15°C.

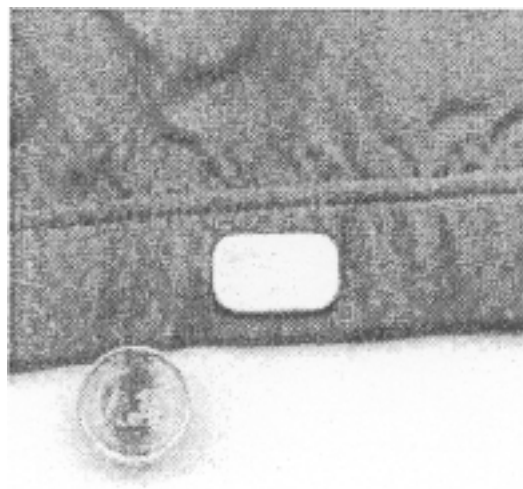
일반적으로 적어도 5°C의 온도차가 보통 실온에서 피부와 접하는 의류 내에서 나타났다. 장착된 열전기 발전기에 의해 측정된 온도차는 적외선 분석을 통해 측정된 값과 잘 일치한다.

높은 온도차를 얻기 위해 발전기는 피부와의 열적 접촉성이 좋은 의류용 직물에 직접 장착된다. <그림 5>는 장착된 열전기 발전기의 단면도를 나타낸다. 외부와의 연결을 위해 높은 열전도성을 갖는 작은 구리판이 안쪽과 바깥쪽에 모두 위치한다. 구리판은 은이나 금으로 도금하여 부식 및 피부 탈색을 방지한다. 열전기 발전기는 폴리우레탄으로 코팅된다. 전기적 접촉은 은도금 된 구리선을 통해 이루어지며, 이는 직물 내에 조직되어 있다. 생성된 에

너지의 저장을 위한 버퍼 콘덴서는 에너지 발전 장치 내에 직접 장착되거나 의류의 각 영역에 위치할 수 있다. <그림 6>은 피부에 확실히 밀착되도록 탄력 밴드에 결합된 열전기 발전기의 은도금 된 외관을 나타낸다.



<그림 5> 직물 내에 장착된 방수 코팅 열전기 발전기의 단면도



<그림 6> 1cm<sup>2</sup> 면적을 차지하는 열전기 발전기의 외부

#### 4. 가능한 용도

열전기 발전기는 지능형 의류에서 매우 다양한 잠재적 용도를 갖는다. 손목시계는 전력 소비가 약 1~10마이크로와트이다. 100~300마이크로와트의 전력이면 의료용 센서(예를 들면, 온도, 습도 또는 심장 박동 센서)에 동력을 공급하거나 모니터 장치에 무선으로 자료를 전송하는 데 충분하다. 이는 위태로운 환자가 고정된 장치와 선으로부터 더 자유롭도록 한다. 새로운 첨단 보청기에는 이와 거의 같은 양의 전력이 요구되며 전지를 사용할 때와 비교하여 많은 돈을 절약할 수 있다. 새로운 마이크로프로세서와 디스플레이의 전력 손실을 줄임으로써 개인 보조 장치는 미래에는 실현 가능할 것이다.

#### 5. 결론

최근 발표된 몇 종류의 소형 열전기 발전기는 체온에 의한 발전에 적합하다. 규소계 열전기 발전기는 저렴한 에너지 공급과 환경 친화적 재료로 구성 된다는 장점이 있다. 의복내 5°C의 온도차로  $\text{cm}^2$ 당 수 마이크로와트의 전력을 얻을 수 있다. 이러한 기술적 토대로 직물에 결합된 열전기 발전기는 기능적으로 완전하다. 생성된 전력은 의료용 센서 및 초소형전자회로에 적용하기에 충분하다. 또한 무선 자료 전송도 사용 면적을 더 크게 함으로써 가능하다.