

열전 기술로 버려지는 폐열을 회수하라

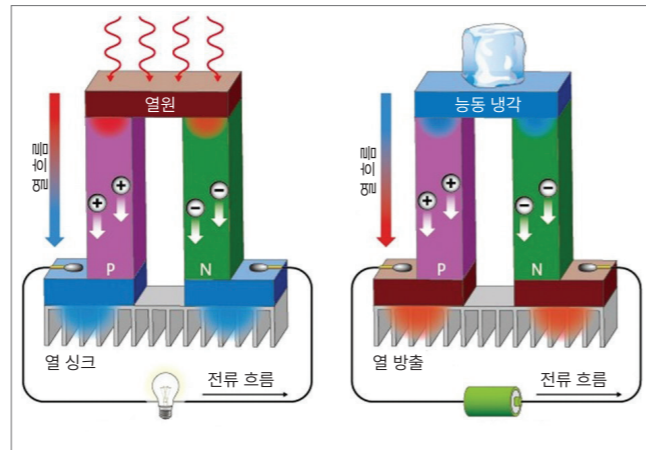
열전 기술은 버려지는 폐열의 회수뿐만 아니라 자연의 열에너지를 통한 발전에 활용할 수 있으며, 나아가 인체열과 같은 미소 열에너지를 이용한 발전에도 적용할 수 있다. 현대인의 필수가 된 다양한 모바일 기기의 차세대 에너지원으로서 잠재성이 큰 셈이다.

글 _ 김정민 연세대 신소재공학과 박사과정
이우영 연세대 신소재공학과 교수



화석에너지 고갈과 이용 가능한 에너지의 부족은 미래에 인류가 당면할 큰 문제다. 이를 해결하기 위해 새로운 에너지를 개발하는 데 많은 투자가 진행되고 있다. 그중에서 버려지는 에너지의 회수는 신개념 에너지 개발의 중요 과제로 부상하고 있다. 대규모 에너지 변환과정을 포함하는 발전소나 산업체에서는 대량으로 발생하는 고온 폐열을 회수하는 것이 에너지 변환 효율을 높이는 데 중요하다. 기존에는 에너지를 이동하기 위한 용매를 기반으로 하는 가스터빈 및 열교환기를 통해 폐열회수가 이루어지고 있다.

그러나 산재된 형태로 발생하는 중저온 폐열이나, 기존의 회수 시스템을 적용할 수 없는 자동차 폐열을 회수하기 위해서는, 좀 더 간단한 구조를 가지며 단위 모듈화를 통해 크기를 바꾸기 쉬운 폐열회수 시스템이 필요하다. 이런 요구조건에 가장 적합한 에너지 변환 물리 현상이 바로 '열전 현상'이다. 제베크(Seebeck) 효과와 펠티에(Peltier) 효과에 물리적 기반을 두고 있는 열전 현상은 재료 양단의 온도차에 의해 발생하는 기전력을 이용한다. 열전은 단일 재료 내에서 일어나는 에너지 변환을 기반으로 하고 있어 시스템 구조가 단순하며 신뢰성이 높고 에너지 변환 과정에서 부산물을 발생시키지 않아 친환경 기술로서 큰 가치를 가진다. 또한, n형과 p형의 반도체 재료로 이루어진 단위 모듈로 만들 수 있어 회수 대상이 되는 폐열에 적합한 크기로 조절하기 쉽다. 이에 따라 열전은 폐열 회수뿐만 아니



<그림1> 제베크 효과와 펠티에 효과

열전 현상은 제베크 효과(왼쪽)와 펠티에 효과(오른쪽)가 대표적이다. 제베크 효과는 서로 다른 금속 또는 반도체를 접합한 폐쇄회로에서 점점의 온도가 다르면 전류가 흐르는 현상인 반면, 펠티에 효과는 회로에 전류를 흘려주면 접점의 한쪽에서 열을 내고 다른 한쪽은 열을 흡수하는 현상을 말한다.

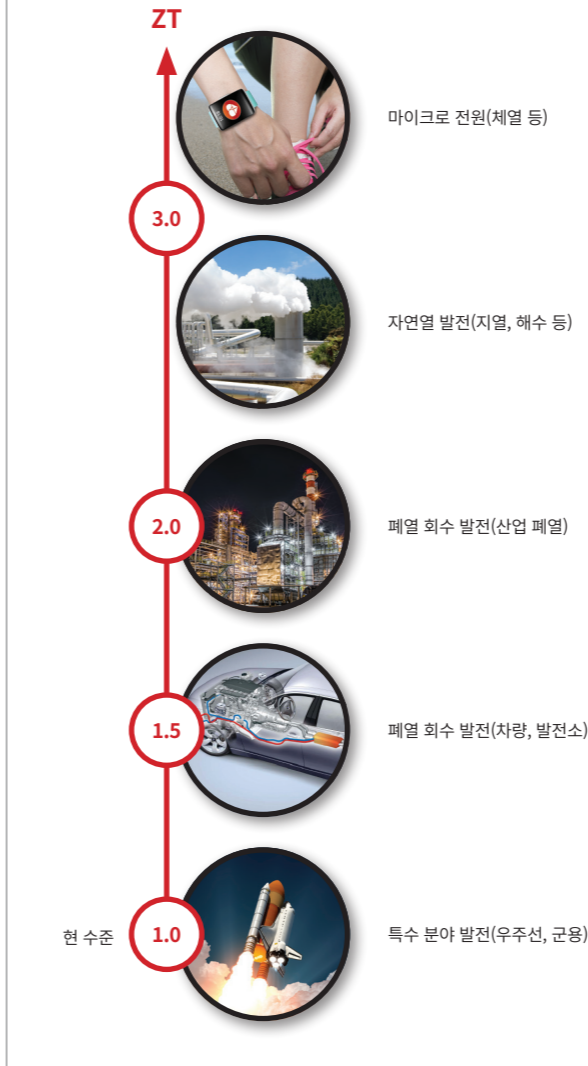
라 자연열을 이용한 발전, 인체열을 이용한 에너지 확보에 적용할 수 있는 에너지 변환기술로서 잠재성을 가지고 있다.

그러나 현재까지 상용화된 열전 변환 시스템은 기존의 에너지 변환 시스템에 크게 밀도는 변환 효율로 인해 범용화가 불가능하며 군사 분야, 우

<그림2> 열전 성능 지수(ZT)에 따른 활용도

열전소자의 열전 성능 지수(ZT)가 증가함에 따라 그 활용도가 큰 폭으로 증가한다.

© shutterstock.com



주 항공 산업 등의 특수 환경에서만 제한적으로 활용됐다. 따라서 열전 변환 효율을 높이기 위한 기초 소재 연구가 활발하게 진행되고 있다.

인체열로 스마트워치 구동한다

열전소자의 변환효율은 제베크(Seebeck) 상수(S), 전기전도도(σ), 절대온도(T), 그리고 열전도도(κ)로 이루어진 열전 성능 지수(thermoelectric figure of merit(ZT = S²σT/κ))를 이용해 소재의 크기와 무관하게 평가될 수 있다. 현재 상용화된 열전소자의 열전 성능 지수는 1.0 수준이지만, 열전 성능 지수가 증가함에 따라 그 활용도가 큰 폭으로 증가한다. 열전 성능 지수를 1.5 이상으로 향상시키면 발전소와 자동차를 포함한 산업 전반의 폐열을 회수할 수 있다.

세계적 1차 에너지 소비를 기준으로 보면 현재 약 60%의 에너지가 폐열의 형태로 배출되고 있으며, 이 가운데 약 45%의 에너지만이 기존의 폐열 회수 시스템을 통해 회수되고 있다. 기존의 폐열 회수 시스템은 고온 영역의 폐열을 중심으로 적용되고 있는데, 규모와 복잡성으로 인해 자동차와 같은 소규모의 폐열원에 적용하기 어렵고, 폐열원에서 발생하는 열에너지를 발전시스템 또는 열소비원으로 이동시켜야 하기 때문에 분산된 중저온 폐열에 모두 적용하기에는 경제성이 떨어진다.

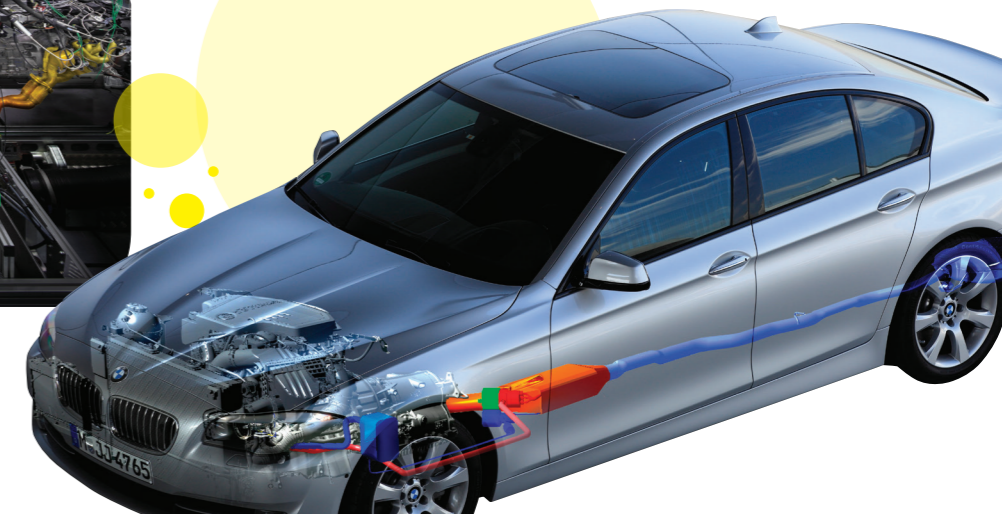
이에 비해 열전소자를 이용한 폐열 회수 시스템은 구조가 간단하고 열원에 직접 부착해 부가적인 발전 시스템 없이 바로 전기를 생산할 수 있기 때문에 산재된 중저온 폐열을 회수할 수 있다. 또한 열전소자는 고온 공정 없는 소규모의 산업체에서도 적용이 가능해 현재 회수되지 못하고 방출되고 있는 55%의 열에너지를 회수할 수 있다. 특히 고온 및 중저온 폐열이 다량 발생하는 자동차의 경우 폐열 회수는 연비와 직결되는 중요한 기술이다.

만일 열전 성능 지수가 2.0 이상으로 확보되면 폐열회수를 넘어 자연에 존재하는 열에너지원을 이용해 전기를 생산할 수 있다. 대표적인 자연에

© BMW



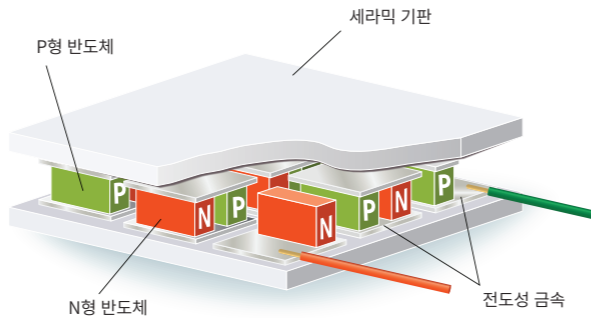
BMW는 자동차 머플러에 열전소자를 장착해, 배기가스 폐열을 전기로 바꿔 엔진 보조전기나 시트 냉난방에 활용하는 기술을 개발하고 있다.



© 조병진



2014년 4월 KAIST 전기 및 전자공학과 조병진 교수 연구팀이 개발한 유연한 열전소자. 비스무트 텔루라이드^{Bi₂Te₃} 등을 나노 크기로 만든 뒤 제작한 이 소자는 밴드형으로 손목에 착용하면 체열로부터 전기가 생산되는 것을 확인할 수 있다. 웨어러블 기기의 배터리로 유용하다고 평가받는다.



© shutterstock.com

<그림3> 열전 모듈

P형 반도체와 N형 반도체로 구성된 열전 모듈. 위에서 아래로 열이 흐를 때 전기가 발생한다.

너지에 해당되는 태양에너지의 부존량은 시간당 10만TWh에 달하며, 면적으로 환산할 경우 1m²당 0.2kW에 해당한다. 현재 상용화된 태양광 발전소자에 열전을 기반으로 하는 태양열 발전소자를 복합시킨 태양에너지 복합 발전소자에 대한 연구가 진행 중이다. 이것이 상용화될 경우 막대한 양의 청정에너지를 확보할 수 있다.

또 다른 자연 열에너지에는 지열과 해수열이 있다. 지열에너지의 부존량은 1년간 1만TWh이며, 7개의 해안도시를 기준으로 할 때 확보할 수 있는 해수열 에너지 부존량은 1년간 32TWh이다. 열전 기반의 발전소자는 크기의 가변성과 더불어 내구성이 높고 유지 보수가 거의 필요하지 않아 이런 자연에너지 발전에 적용할 수 있는 가능성이 높다.

열전 성능 지수가 3.0에 도달하면 미소 열에너지를 회수할 수 있다. 대표적인 미소 열에너지원은 인체열로 그 양은 2.4 ~ 4.8W에 해당한다. 20%의 에너지 변환 효율을 확보하더라도 1W에 달하는 전기에너지를 얻을 수 있다. 개인이 몸에 지니는 전자기기가 증가함에 따라 이런 모바일 기기에 에너지를 공급하는 것이 큰 과제가 됐다. 특히 배터리와 구동 효율은 갈수록 향상되는 기기의 성능을 뒷받침하기에는 부족한데, 아마도 충전이 필요 없는 반영구적인 구동 방식은 모바일 기기의 마지막 성장단계가 될 것이다. 열전소자를 이용해 인체열 발전이 가능해지면 모바일 기기의 에너지원을 확보할 수 있다.

실제로 일본 시티즌CITIZEN사에서는 열전소자로 배터리나 태엽 없이 구동하는 손목시계를 개발해 판매하고 있다. 스마트워치와 스마트폰의 경우 인체열 회수량으로 각각 40mW/cm²과 20mW/cm²의 에너지를 확보할 경우 보조전원으로서 활용할 수 있을 것으로 기대돼, 일부 대기업에서 열전소자를 응용해 상용화하려고 박차를 가하고 있다.

열전소자에 나노기술이 도입되면

열전소자의 성능 및 활용 가치는 소재의 열전 성능 지수에 의해 결정되므로, 열전 발전 시스템의 연구는 소재를 기반으로 진행되고 있다. 벌크소재 기반의 열전 연구는 1950년대 이후에 크게 발전했다. 주로 반도체 소재를 중심으로 전자농도를 최적화해 열전 성능 지수를 높였으며, 비스무트^{Bi}·텔루륨^{Te}계의 반도체를 통한 상업화가 가능하게 됐다. 이후 Bi·Te에 안티몬^{Sb}, 셀레늄^{Se} 등을 추가해 열전 성능 지수를 최적화했으며, 1990년대에 열전 성능 지수 1.0에 해당하는 벌크소재를 확보할 수 있었다. 그러나 자연계에 존재하는 소재의 경우, 열전 성능 지수를 이루는 제베크^{Seebeck} 상수, 전기전도도, 열전도도가 상호 연관돼 있어 독립적인 조절이 불가능하기 때문에 열전소자의 발전은 한계가 있었다. 그럼에도 낮은 열전도도를 갖는 코발트^{Co}·안티몬^{Sb}계 열전소재를 이용해 1.5에 가까운 열전 성능 지수를 확보했다.

이후 벌크 열전소자에 나노기술이 도입되면서 열전 연구에서 두 가지의 큰 방향이 제시됐다. 첫 번째는 나노 크기의 구조에 의한 열전도도의 감소이며, 두 번째는 양자 구속 효과에 의한 제베크 상수와 전기전도도의 최적화이다. 나노 크기의 구조와 계면을 이용한 열전달 감소는 열전도도를 성공적으로 낮추는 결과를 보였으나 동시에 전기전도도의 손실이 발생하는 한계를 가지고 있으며, 제베크 상수 증가는 대부분 고온에서 효과를 나타낸다.

2000년대 이후 나노 기술 및 신소재의 특성을 이용해 고온 영역에서 높은 열전 성능 지수가 구현됐다. 2004년에는 나노점이 포함된 은^{Ag}·안티몬^{Sb}계 벌크소재를 이용해 800K(여기서 K는 절대온도의 단위인데, 절대온도^K = 섭씨온도^{°C} + 273.15를 의미한다)에서 열전 성능 지수 2.0을 구

현했으며, 2009년에는 인듐^{In}·셀레늄^{Se}계 벌크소재의 이방성을 바탕으로 700K에서 1.5의 열전 성능 지수를 얻었다. 2011년에는 납^{Pb}·텔루륨^{Te}계 벌크소재를 통해 800K에서 열전 성능 지수 1.8을 확보했다. 벌크 열전소재에서 가장 높은 열전 성능 지수를 구현한 것은 2014년에 보고된 결과다. 즉 주석^{Sn}·셀레늄^{Se}계 소재의 낮은 열전도도와 재료의 이방성을 활용해 900K에서 2.6의 열전 성능 지수를 달성했다.

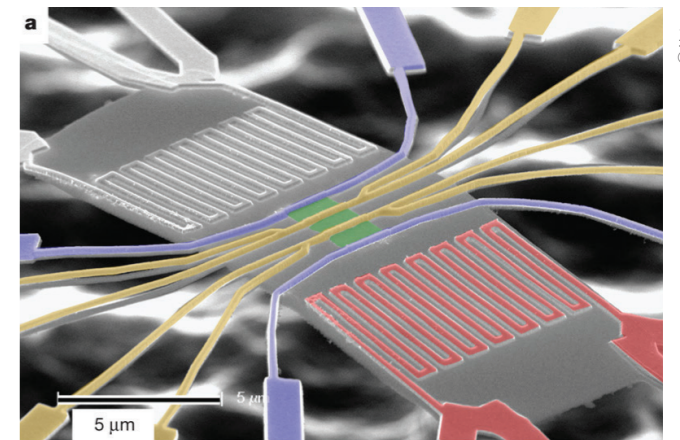
벌크소재와 별도로 2차원 박막형 열전소재에서는 좀 더 적극적인 방법으로 열전도도를 낮춰 열전 성능 지수를 높이려는 방법에 대한 연구가 많이 진행됐다. 미세한 기공을 이용한 나노메시^{nano-mesh} 구조가 대표적인 예로, 열전도도를 1/10 ~ 1/100의 수준으로 낮출 수 있었다. 그러나 전기전도도 손실도 함께 나타나 상온(300K)에서 0.4 정도의 열전 성능 지수가 얻어졌다. 최근의 2차원 열전소재 연구는 주로 2차원 소재의 유연성을 기반으로 해 의류 및 인체에 적용할 수 있는 열전소재의 개발이 주를 이룬다. 전도성을 가진 폴리머 기반의 연구는 현재 0.1 수준의 낮은 열전 성능 지수를 보이나, 인체의 미소 열에너지를 수확하기 위한 소재 연구로서 의미가 크다.

열전나노선에서 열전 모듈로

1차원 열전소재인 나노선과 관련된 열전 분야는 1993년 미국 MIT의 드레셀하우스^{Dresselhaus} 교수의 이론적 연구를 기반으로 한다. 차원의 감소는 양자 구속 효과를 통해 제베크 상수를 향상시킬 수 있으며 동시에 열전도도 감소를 유발한다. 특히 비스무트^{Bi} 기반의 나노선은 50nm의 직경에서 반도체로 전이돼 열전 성능 지수가 비약적으로 증가된다는 사실이 예측됐다. 이는 일반적인 재료에서 기대되는 전이 직경보다 훨씬 큰 수준으로, 실험적으로 구현하기 위해 많은 연구가 진행됐다. 그러나 나노선의 크기 및 계면 효과에 의한 열전도도 감소가 성공적으로 보고된 것에 비해, 양자 구속 효과에 의한 제베크 상수의 증가 및 이로 인한 열전 성능 지수의 향상은 제한적으로 보고되고 있다.

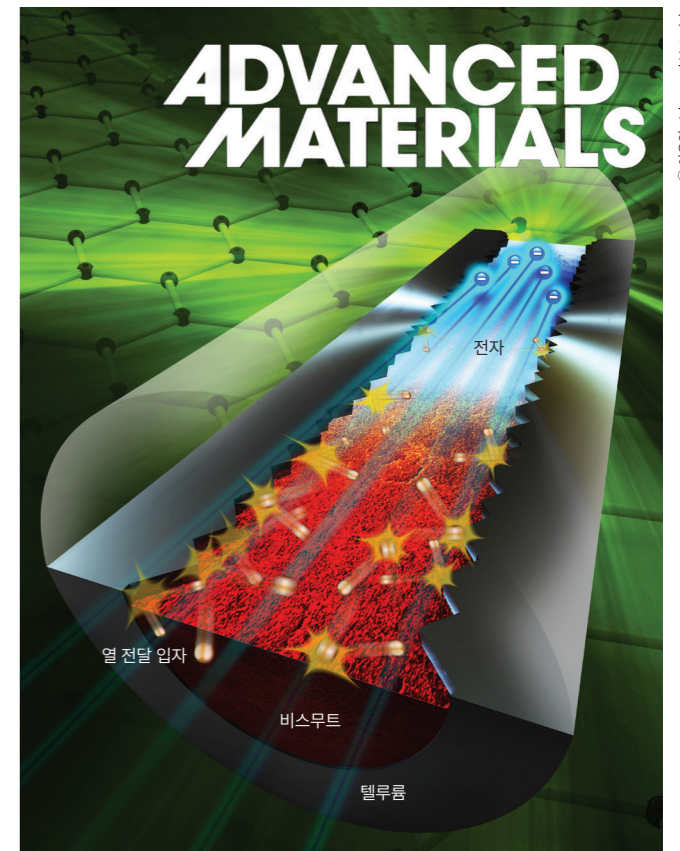
2007년 미국 버클리 캘리포니아대의 마줌다르^{Majumdar} 교수팀에서 표면이 거친 실리콘^{Si} 나노선의 열전 성능 지수를 측정해 보고한 것은 저차원 열전 분야에서 큰 의미가 있었다. 이 연구는 현재의 전자산업을 이끌어온 소재인 Si를 기반으로 삼아 나노선 구조를 적용함으로써, 열전소재로 간주되지 않던 Si에 열전소재의 가치를 부여했다. 즉 Si의 거친 표면에 의해 열전달이 감소해 열전도도를 낮추었고 이에 따라 열전 성능 지수를 높였다. 구체적으로 100nm 이하의 나노선 직경과 거친 표면은 Si의 열전도도를 1/15 수준으로 낮추어 0.5 이상의 열전 성능 지수를 달성했다.

2011년 연세대 나노소재연구실은 열전나노선에 코어·셸 구조를 적용해 열전도도를 획기적으로 낮추었다. 벌크 비스무트^{Bi}의 열전도도는 10W/mK 이상으로 나노선 구조를 이용해 1/5 수준까지 낮출 수 있음이 보고



나노선의 열전 특성을 측정하기 위한 나노소자^{nano-device}의 전자현미경 사진. 열전나노선들(초록색)이 마이크로칩 중앙에 놓여 있다.

© Nature



연세대 이우영 교수 연구팀은 비스무트^{Bi}를 코어로 삼고 텔루륨^{Te}을 셸 구조로 추가한 나노선을 개발해 2011년 8월 <어드밴스드 머티리얼스^{Advanced Materials}>의 표지논문으로 발표했다. 연구팀은 비스무트와 텔루륨 사이의 거친 계면에 의해 열전도도가 대폭 감소되어 열전 성능이 향상됨을 확인했다. 그림에서 열전달 입자는 산란되고 전자는 자유롭게 이동함을 알 수 있다.

© 이우영 - Advanced Materials

됐다. 이에 텔루륨^{Te} 셸 구조를 추가로 적용한 Bi·Te 코어·셸 나노선은 거친 계면을 통해 1/10 수준인 1W/mK의 낮은 열전도도를 얻었다. 또한 최근의 추가적인 연구 결과, 열전나노선에 코어·셸 구조를 적용해 제베크



<그림4> 오렌지파워부츠의 원리

오렌지사에서 개발한 파워부츠는 <타임>지에서 2010년 최고의 발명품 중 하나로 선정됐다. 이 신발을 신고 다니면 휴대전화를 충전할 수 있는 전기가 생산된다.

<표> 용도별 열전 에너지 하베스팅 시장 전망

시장조사기관 IDTechEx에 따르면 바람이나 태양광, 온도 변화, 진동처럼 주변 환경으로부터 에너지를 얻는 기술인 에너지 하베스팅의 응용기기 시장규모가 2020년에 43억 7,000만 달러에 달할 것으로 전망되며, 특히 열전 에너지 하베스팅 시장은 2012년 3,168만 달러에서 2017년 1억 8,100만 달러로 증가하고 2022년에는 7억 4,600만 달러로 연평균 37.1% 성장할 전망이다.

구분	2012년	2015년	2020년	2022년	연평균성장률
무선센서네트워크	0.05	9	213	306	139.2%
군사 및 우주	30	37	58	64	7.9%
기타 산업용	1	2	134	198	69.7%
헬스케어	0.1	1	22	33	78.6%
기타 소비자용	0.02	4	78	125	139.7%
기타 비#소비자용	0.5	4	16	20	44.6%
합계	31.7	57.0	521	746	37.1%

출처: IDTechEx, 2012

(단위: 백만 달러)

크 상수를 증가시킬 수 있음을 확인했다. Bi 나노선 코어를 감싸고 있는 Te 셸은 Bi 내부에 음력을 통해 결정구조의 이방성을 조절하기 때문에, 나노선 연구의 근간이 된 반도체 전이를 일으켜 열전 성능 지수가 0.8 이상으로 향상될 수 있었다. 이는 동일한 구조의 나노선에서 열전도도의 감소와 제베크 상수의 증가가 동시에 확인된 것인데, 열전 성능 지수를 이루는 각각의 인자(제베크 상수, 전기전도도, 열전도도)를 독립적으로 조절할 수 있는 새로운 방법을 구현했다는 데 의미가 있다.

그러나 열전나노선의 열전 성능 지수를 향상시킬 수 있다는 잠재성과 별도로 열전나노선을 이용해 열전소자를 개발하려면, 공정상 열전 모듈을 구현해야 한다는 어려움이 있다. 따라서 높은 열전 성능 지수를 확보하기

위해서는 소재 연구와 더불어 나노선으로 이루어진 열전 모듈을 제작하고 발전 시스템을 구현하는 공정기술에 관한 연구가 필요하다. 최근 정부 주도하에서 나노선 번들 구조를 기반으로 하는 열전 모듈 제조와 관련한 연구가 진행 중이다.

열전 현상을 기반으로 하는 발전 시스템은 환경 친화성, 높은 신뢰성, 무소음, 무진동, 규모 확장성 등의 장점 덕분에 현재의 폐열회수 시스템을 적용할 수 없는 중저온 산재형 폐열원에서 에너지를 회수하기에 적합한 기술이다. 열전 소자는 이런 장점에도 불구하고 비교적 낮은 에너지 변환 효율로 인해 활용이 제한돼 왔으나, 최근 나노기술을 비롯한 첨단 소재 기술을 통해 효율이 향상되고 있다.

열전 효율을 향상시키기 위해 벌크소재로부터 시작된 연구는 나노기술의 발전에 따라 2차원 또는 1차원 열전소재의 연구로 이어지고 있다. 특히 체열을 비롯한 미소열 회수 기술에서 2차원 열전소재는 의류 및 모바일 기기에 적용하기 위한 유연성 열전소재로서 많은 연구가 진행 중이다. 양자 물리의 발전과 더불어 제시된 1차원 열전소재는 비록 상용화 가능한 수준으로 발전하기까지 많은 진보가 필요하다. 하지만 1차원 열전소재 연구는 열전 현상과 관련한 소재 및 물리 분야에서 높은 학문적 성과를 거두었으며, 열전 성능 지수를 향상시킬 수 있다는 잠재성이 높아 활발한 연구가 진행 중이다.

열전소자를 이용한 열에너지 회수는 현재 및 미래의 에너지 문제를 해결하기 위해 중요한 기술이다. 또한 군사 활동이나 오지 활동에서 생명을 유지하기 위해 에너지를 얻는 뿐 아니라 현대생활에 필수적으로 사용되는 각종 모바일 기기의 에너지원으로까지 폭넓게 활용할 수 있는 기술로, 국가적 차원의 정책과 지원이 요구되는 핵심 기술이라 할 수 있다. G

Interview

나노구조 열전발전 연구의 권위자에게 듣는다

독일 에너지 하베스팅 연구의 최근 동향



독일 함부르크대학 응용물리학과 코르넬리우스 닐시 교수.

‘나노구조 열전발전’ 연구의 권위자인 독일 함부르크대학 응용물리학과 코르넬리우스 닐시(Kornelius Nielsch) 교수와의 e메일 인터뷰를 통해 독일 에너지 하베스팅 연구의 최근 동향을 알아본다.

글 _ 손범석 녹색기술센터 연구원

Q 나노구조 열전발전(Nanostructured Thermoelectric)이란 무엇인가?

A 열전발전이란 열에너지를 직접 전기에너지로 변환하는 것을 말한다. 예를 들어, 연료를 연소하는 내연기관에서는 많은 양의 폐열을 대기에 직접 배출하는데, 열전발전을 통해 이 폐열을 회수해 전기로 재생산할 수 있다. 기존의 열전발전은 주로 부피가 큰 결정질 소재를 기반으로 했기 때문에 에너지의 변환효율이 매우 낮았다. 그러나 나노구조의 소재를 사용하면 열손실 없이 양자효과를 활용해 훨씬 효율적으로 에너지 변환이 가능하다.

Q 에너지 하베스팅과 관련한 독일의 최근 연구 동향에 대해 알고 싶다.

A 독일 정부는 지난 5년간 막대한 양의 자금을 투입해 배터리 소재, 실리콘 및 유기태양광, 그리고 다양한 소재를 기반으로 한 에너지 하베스팅 센서와 열전발전 소자를 개발해 왔다. 소재의 개발이 향후 미래기술 개발의 핵심이라고 보는 것이다.

Q 독일의 에너지 하베스팅 기술은 미국, 일본 등 다른 선진국과 차별화된 강점이 있는가?

A 독일은 태양광발전과 육상·해상 풍력발전 분야에서 세계를 리드하는 나라다. 현재까지 이를 이용해 독일 전체 발전량의 10% 이상을 감당하고 있다. 그러나 이런 에너지원들은 안정적인 출력을 보장할 수 없다. 따라서 센서 기술을 응용해 좀 더 정확하게 전력 소비를 제어하고 전력수급

상의 균형을 맞추는 것이 향후 독일 연구자들의 핵심목표다. 에너지 하베스팅을 통해 무선 센서를 실용화할 수 있는데, 이를 기존의 재생가능에너지 기술에 응용하는 것이다.

Q 열전발전의 대표적인 사례가 엔진 폐열을 재활용하는 것이라고 했는데, 그 분야에서 현재 독일에서는 어떤 연구가 이루어지고 있는가?

A 열전발전 장치를 현 시점에서 가장 이상적으로 활용할 수 있는 분야가 바로 자동차나 트럭과 같은 내연기관의 폐열을 재활용해 전기를 만드는 것이다. 물론 이것은 디젤엔진을 기반으로 하는 기차나 선박에도 활용 가능하다. 이를 실용화하려면 열전발전 장치를 가벼운 형태로 개발하는 것이 관건인데, 이를 위해 독일에서는 현재 실리콘 기반의 마그네슘 실리사이드나 코발트·안티몬 기반의 소재 개발에 집중하고 있다.

Q EU 차원에서 에너지 하베스팅 연구개발을 위해 국가 간 협력하는 사례가 있는가?

A 유럽에서는 독일, 덴마크, 스웨덴, 스위스, 오스트리아가 정부 정책적으로 에너지 하베스팅 기술을 개발하기 위해 강하게 지원하고 있다. 또한 EU 차원에서는 유럽 내 각국의 에너지 하베스팅 관련 연구를 지원하기 위해 다양한 펀딩을 하고 있고, 현재 총 예산 규모는 수십억 유로인 것으로 알고 있다.

Q 에너지 하베스팅은 아직 수확할 수 있는 에너지의 양이 많지 않은 것으로 알고 있다. 당신이 보기에, 가장 가까운 시일 내에 상용화될 수 있다면 어떤 분야가 가장 유력하고, 언제쯤 상용화할 수 있는지?

A 풍력발전(풍력발전도 에너지 하베스팅의 일종)과 가정에서도 사용할 수 있는 초소형 태양광 발전설비 등은 이미 상용화가 시작됐다고 할 수 있다. 이익이 발생하고 있기 때문이다. 따라서 독일에서는 이러한 가정용 소형 발전설비 분야에 상용화를 위한 투자를 많이 하고 있다. 향후에도 지속적인 기술개발을 통해 비용을 낮추는 한편, 북쪽의 풍력자원을 남쪽의 산업단지에 많이 활용할 수 있도록 전력망 시스템도 개선돼야 한다. 물론 에너지를 저장하기 위한 ESS의 용량을 높이는 연구도 추진돼야 한다.

Q 독일에서 개최되는 에너지 하베스팅 관련 컨퍼런스로는 무엇이 있는가?

A 2015년에 열리는 2개의 컨퍼런스를 추천할 만하다. 4월 28~29일 베를린에서 IDTechEx가 주최하는 ‘Energy Harvesting & Storage Europe’은 에너지 하베스팅 및 웨어러블 분야 전반을 다루고(www.idtechex.com/energy-harvesting-europe/eh.asp), 6월 28일~7월 2일 드레스덴에서 막스플랑크연구소가 주최하는 ‘Annual International Conference on Thermoelectrics’는 열전발전 분야를 주로 다룬다(www2.cpsf.mpg.de/ict2015/default.aspx).