

열전소자 시장 및 개발동향

Market and Development Trend of Thermoelectric Materials

전황수(H.W. Chun) 경제분석연구실 책임연구원
장문규(M.G. Jang) 3D 플렉시블소자패키지연구실 실장

- I. 서론
- II. 열전소자 시장
- III. 해외의 개발동향
- IV. 국내의 개발동향
- V. 시사점

열전소자는 열에너지를 전기에너지로, 전기에너지를 열에너지로 직접 변환하는데 사용되는 소자로 에너지 절감이라는 시대적 요구에 가장 잘 부응하는 소재이자 기술이다. 이것은 자동차, 우주·항공, 반도체, 바이오, 광학, 컴퓨터, 발전, 가전제품 등 산업전반에서 광범위하게 활용되고 있다. 선진국들은 연구소와 기업을 중심으로 연료효율을 증진시키기 위한 열전소재 연구를 진행하고 있고, 국내에서도 연구소와 대학을 중심으로 수행되고 있다.

I. 서론

에너지 수요 급증과 기후변화의 주범으로 화석연료 사용이 지목되고 있으며, 세계적으로 대체 에너지원 확보를 위한 노력이 전개되고 있다. 가장 큰 에너지원인 석유는 유전의 매장량 및 채굴의 한계, 산유국의 정세 불안, 심해유전 등의 공급량 증가로 인한 원가상승 등으로 상당한 제약을 받고 있다.

따라서 석유 등 기존의 화석연료를 대체하기 위해 세계적으로 대체 에너지원 확보를 위한 노력이 전개되고 있다. 그러나 가장 경제성 있는 대체 에너지원으로 평가를 받아온 원자력발전이 후쿠시마 원전 사고 등으로 안전성에 의문이 제기되면서 세계적으로 원자력발전소 건설 중단 및 축소 움직임이 일어나고 있다. 또 태양광, 풍력, 조력 등의 대체에너지는 기술진보의 한계, 경제성 부족 등으로 더 이상 큰 진전을 보지 못하고 있다.

최근 들어 대체에너지 개발보다 낭비되고 있는 폐열 등을 회수해 전기에너지로 변환하여 연료효율을 향상시키는 에너지 하베스팅(Energy Harvesting)이 주목을 받고 있다. 열전소자(熱電素子: TEM(Therm-electric Materials))는 열에너지를 전기에너지로, 전기에너지를 열에너지로 직접 변환하는데 사용되는 소자로 에너지 절감이라는 시대적 요구에 가장 잘 부응하는 소재이자 기술이다.

이는 자동차, 우주·항공, 반도체, 바이오, 광학, 컴퓨터, 발전, 가전제품 등 산업전반에서 광범위하게 활용되고 있다. 선진국들은 연구소와 기업을 중심으로 연료효율을 증진시키기 위한 열전소재 연구를 진행하고 있고, 국내에서도 연구소와 대학을 중심으로 수행되고 있다.

본고에서는 미래 유망한 친환경 에너지 소자로 부상하고 있는 열전소자의 시장 전망 및 국내외 개발동향을 분석한 후 정책적 시사점을 도출하고자 한다.

II. 열전소자 시장

열전소자 시장은 발전소자를 이용한 응용시장과 냉각소자를 이용한 응용시장으로 구분된다. 열전소자는 자동차 온도조절 시트(Climat C-ntr-l), 반도체(순환기, 냉각판), 바이오(혈액분석기, PCR, 시료온도싸이클 테스트기), 이학분야(스펙트로포토미터), 광학분야(CCD 쿨링, 적외선센서 냉각, 레이저다이오드 냉각, 포토다이오드 냉각, SHG 레이저 냉각), 컴퓨터(CPU 냉각), 가전제품(김치냉장고, 소형냉장고, 냉온수기, 와인냉장고, 쌀통, 제습기 등), 발전(폐열발전기, 리모트 파워발전) 등 다양한 분야에 적용되고 있어 새로운 시장을 창출하

〈표 1〉 용도별 열전 에너지 하베스트 시장전망

(단위: 백만 달러)

| 구분 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2011 | 2022 | CAGR |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|--------|
| 무선센서네트 워크(WSN) | 0.05 | 0.2 | 1 | 9 | 25 | 66 | 108 | 156 | 213 | 259 | 306 | 139.2% |
| 군사&우주 | 30 | 32 | 35 | 37 | 41 | 45 | 49 | 53 | 58 | 61 | 64 | 7.9% |
| 기타 산업용 | 1 | 1.4 | 1.7 | 2 | 10 | 35 | 62 | 100 | 134 | 167 | 198 | 69.7% |
| 헬스케어 | 0.1 | 0.2 | 0.6 | 1 | 3 | 7 | 10 | 15 | 22 | 28 | 33 | 78.6% |
| 기타 소비자용 | 0.02 | 0.3 | 2 | 4 | 9 | 19 | 34 | 56 | 78 | 99 | 125 | 139.7% |
| 기타 非소비자용 | 0.5 | 0.9 | 2 | 4 | 6.5 | 9 | 11 | 13.5 | 16 | 18 | 20 | 44.6% |
| 합계 | 31.7 | 35.0 | 42.3 | 57.0 | 94.5 | 181 | 274 | 393.5 | 521 | 632 | 746 | 37.1% |

〈자료〉: IDTechEx, 2012, p. 55.

고 있다.

시장조사기관 IDTechEx에 따르면 바람이나 태양광, 온도 변화, 진동 등 주변환경으로부터 에너지를 얻는 기술인 에너지 하베스팅의 응용기기 시장규모가 2020년에 43억 7천만 달러에 달할 것으로 전망되며, 열전소자 분야의 시장규모는 2억 3,600만 달러로 추정된다. IDTechEx에 따르면 열전 에너지 하베스트 시장은 2012년 3,168만 달러에서 2017년 1억 8,100만 달러로 증가하고 2022년에는 7억 4,600만 달러로 연평균 37.1% 성장할 전망이다.

용도별로는 <표 1>에서 보듯이 무선센서네트워크(WSN)용 열전소자 시장이 2012년 5만 달러에서 2017년 6,600만 달러, 2022년 3억 600만 달러로 증가하면서 연평균 139.2%로 고성장할 전망이다. 군사 및 우주·항공용 열전소자 시장은 2012년 3,000만 달러에서 2017년 4,500만 달러, 2022년 6,400만 달러로 연평균 7.9% 성장할 전망이다. 기타 산업용 열전소자 시장은 2012년 100만 달러에서 2017년 3,500만 달러, 2022년 1억 9,800만 달러로 연평균 69.7% 성장할 전망이다. 헬스케어용 열전소자 시장은 2012년 10만 달러에서 2017년 700만 달러, 2022년 3,300만 달러로 연평균 78.6% 성장할 전망이다. 기타 소비자용 열전소자 시장은 2012년 2만 달러에서 2017년 1,900만 달러, 2022년 1억 2,500만 달러로 연평균 139.7%의 가장 높은 성장을 기록할 전망이다. 기타 비(非)소비자용 열전소자 시장은 2012년 50만 달러에서 2017년 900만 달러, 2022년 2,000만 달러로 연평균 44.6% 성장할 전망이다[1].

III. 해외의 개발동향

1. 미국

미국은 <표 2>에서 보듯이 NASA, 버클리대, 하버드대, MIT 등에서 초격자, 나노와이어, 나노점 등의 구조

를 이용한 고효율 열전소재 개발을 활발히 추진 중이다.

MIT 미디어랩은 신발 뒤축에 압전물질을 붙여 사람이 걸을 때 발생하는 충격으로 1.3mV의 전기를 얻었다.

캘리포니아공대 재료과학과 제프리 스나이더 박사는 2011년 5월 높은 변환 효율을 갖는 열전소자 재료를 개발했다. 납과 텔루르, 셀레늄 합금의 나노 구조를 개선해 약 576도(850K)에서 성능지수 1.8을 얻었다.

퍼듀대 연구진은 2010년 12월 자동차의 폐열로부터 전기를 얻는 새로운 시스템인 열전발전기를 개발하였다. 열전발전기는 충전 배터리와 자동차 전기시스템으로부터 전기를 생성시켜서 엔진의 부하를 경감하고 연비를 개선시킨다.

GM과 포드는 머플러에 열전재료를 입혀 폐열을 전기로 바꿔 다시 엔진의 보조전력으로 사용하거나 차량시트 냉난방 등에 활용하는 기술을 개발해 자동차 연료효율을 높이는데 주력하고 있다[2].

Ameringono BSST는 미 에너지부의 지원을 받아 배기구에서 나오는 폐열을 열전 발전소자를 이용해 수확하고 이를 변환하여 앞쪽에 배터리 충전방식으로 자동차의 연료효율도 높이고 에너지도 동시에 절약하는 열전 발전소자를 개발하고 있다.

Nextreme사는 2mm도 안되는 작은 크기의 박막형 열전소자를 제작하였고 온도차가 70도에서는 16mW 이상, 온도차가 120도 이상에서는 45mW 출력을 발생하는 우수한 성능의 소자를 구현하였다[3].

벤처기업인 Flame Stower사는 제백효과를 이용한 열전변환소자를 적용한 USB로 발화시킬 수 있는 Fire Charger를 개발하였다. USB 충전기의 스펙은 전압 5V, 전력 2-3W, 무게는 230g, 크기는 20×6×3cm이다.

2. 유럽

유럽의 열전소자 연구는 EU의 FP-7을 중심으로 대학과 프라운호퍼(Fraunhofer) 등 연구소를 중심으로 기

술개발이 활발히 수행되고 있으며 벤츠, BMW, 폭스바겐 등 자동차업체들은 폐열을 회수해 연료효율을 높이는 데 중점을 두고 있다.

EU의 FP(Framework Programme) 7 NMP(Nanosciences, nanotechnologies, materials & new production technologies)는 2011년부터 2014년까지 나노과학, 나노기술, 소재 및 신 생산기술 등을 대상으로 수행되며 TE(Therm-electric energy: 열전에너지) 기대효과 TE materials $ZT \geq 3$ 을 목표로 하고 있다. 예산은 총 2,170만 유로(1,470만 유로 펀딩)이며, 참가국은 독일, 프랑스, 영국, 스웨덴, 스페인, 이탈리아, 그리스, 오스트리아, 스위스, 폴란드, 키프러스, 러시아, 리히텐슈타인 등이다. 주제는 1) Nanohightech(2014년 11월)가 Bi₂Te₃/Si/SiGe/B4C/B9C 저렴한 비용, 산업 프로세스에서 자동차 적용을 위한 superlattices 개발을 수행하고 있고, 2) Therm-mag(2014년 10월)가 나노구조 Mg₂Si s-lid 솔루션/별크 소재, n- ZT 개발 목표로 고온에서의 폐열 회수를 수행한다.

벤츠와 BMW는 (그림 1)에서 보듯이 자동차 머플러에 열전소자를 장착해 폐열을 전기로 바꿔 엔진 보조전기나 시트 냉난방에 활용하는 기술을 개발하고 있다. 에너지 하베스팅의 일환으로 방출되는 열을 열전소자를 이용하여 재활용하는 연구를 진행 중이다.

영국의 패브리칸사는 2010년 ‘분무형 옷’을 개발했는데, 페인트 분무기에 섬유를 녹인 용액을 넣은 뒤 사람 몸에 분사하면 인체 형태 그대로 옷이 된다. 분무형 옷

은 일반 의류뿐만 아니라 의료용으로도 이용된다[4].

독일의 Micropelt는 2012년 7월 도쿄에서 개최된 ‘Techno-Frontier 2012’에서 환경발전용 소자 및 모듈을 출품했다. 반도체 프로세스 기술을 적용한 웨이퍼로부터 열전 발전소자를 제조했다.

3. 일본

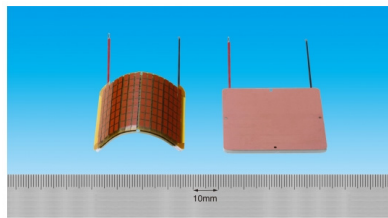
열전소자 관련 프로젝트로는 NEDO 프로젝트/나노구조의 열전소자 개발과 JST(Japan Science and Technology Agency: 일본과학기술진흥기구) 프로젝트/고효율 열전소자 및 시스템개발 등이 있다. 2011년부터 New NEDO 프로젝트가 개시되었는데 철강의 폐열 회수를 위한 열전발전 기술개발을 목표로 2015년까지 수행된다[5].

JST는 2013년 5월 독창적 시리즈 전개 사업의 개발 과제로 열전교환소자와 연료전지를 조합한 배기가스 발전시스템의 개발에 성공하였다. 자동차에서 배출된 열과 미이용 연료를 전기에너지로 회수하는 발전장치로 환경 부하 경감에 기여한다[6].

민간기업의 열전 응용개발로는 폐열 회수 시스템(Waste Heat Recovery systems)에서 1) 산업용 용광로(Industrial furnaces)는 고마쓰/KELK, 쇼와케이ابل시스템, TEC New Energy 등이, 2) 오토바이/자동차는 Atsumitec, 고마쓰 등이, 3) 소각로(Incinerator)는 쇼와전공/Plantec, Actree 등이 개발하고 있다. 신재생 에너지 요소(Renewable Energy sources)에서 1) 태양열에너지(Solar thermal



(a) BMW 5 시리즈



(b) 파나소닉 열전교환 모듈



(c) TDDI 펠티어 냉장고

(그림 1) 해외의 열전교환 적용 사례

〈표 2〉 해외의 열전소자 연구현황

| 국 가 | 연구내용 |
|-----|---|
| 미 국 | <ul style="list-style-type: none"> • NASA: 파이오니아, 아폴로, 보이저 I, II 호에 수백W급 RTG 사용 • 버클리대: 실리콘 나노선 성장 및 열전특성 분석-단일 나노선(상향식) • 칼텍: 실리콘 나노선 성장 및 열전특성 분석-단일 나노선(상향식) • 펜실바니아주립대: 에너지 수확베낭을 개발행보행시 진동으로 에너지 얻음 • 오하이오대/캘리포니아공대: 연비향상 가능케하는 신소재 개발(2008) • 퍼듀대/GM: 폐열로부터 전기를 얻는 자동차 열전발전기 개발(2010) • Teledyne Energy Systems: 군용 0.1kW급 TFG 개발(1985) • Global Thermoelectric: 군용 0.1kW급 TFG 열발전기(1986) • GE: SP-100 우주용 100kW급 NTG 제작(1988), Manportable TE generator 개발(1973); 120W급 열전해양열에너지 변환장치 개발(1979) • GM: 차량용 TEG개발-TEG모듈 개발 중 • Amerigon-BSST: 자동차 폐열을 이용한 열전 발전소자 제작 연구중 • Nexteme: 2mm 이하의 박막형 열전소자 제작 |
| 일 본 | <ul style="list-style-type: none"> • 무라타제작소: 에너지 하베스팅 TEG 개발 • 고마쓰/KELK: 폐열회수 TEG 시스템 개발 • 아마하: 미니 사이즈 TEG 시스템 개발 • 파나소닉: 열전교환소자를 사용해 발전량 늘린 열전교환모듈 개발(2012) • 과학기술진흥기구(JST) <ul style="list-style-type: none"> - 열전교환소자와 연료전지 조합 배기가스 발전시스템 개발(2013) - 물을 이용해 절연체로부터 효율 좋은 열전재료 제조(2010) • 쇼와전선케이ابل: 폐열을 이용해 전기 발생시키는 열전변환소재 개발(2009) • TDDI(열전소자개발): 펠티어냉장고 및 와인셀러 개발 • Z-Max: 페르체 모듈로 작고 소음 없는 미래 냉장고 개발(2012) |
| 러시아 | <ul style="list-style-type: none"> • 군사용 열발전기 개발: 레이더용 전원공급장치/휴대용 통신장비 전원공급시스템(2.5W-160W)/송유관, 가스공급관 음극 부식 방지용 전원공급시스템/핵잠수함 전원공급시스템(2MW급)/램프 이용 라디오 전원용 열발전기(1.6-3W급)/태양열 열발전기 개발(1967) |
| 독 일 | <ul style="list-style-type: none"> • 박막형 열발전기 개발(1962) • 열전류발생기 개발(1967) • BMW: 차량용 TEG개발-5 시리즈에 장착, 시범 운행 중 • 폭스바겐: 열전발전기 개발해 디젤 수송차량에 장착 • Micropelt: 열전발전을 이용한 환경발전용 소자 및 모듈 개발(2012) |
| 영 국 | <ul style="list-style-type: none"> • 페브리칸: 인체 형태 그대로 옷이 되는 '분무형 옷' 개발(2010) |
| 프랑스 | <ul style="list-style-type: none"> • RTG 개발(1969) • 연소식 열발전용 재료, 연소실, 열교환기 등 개발(1973) |
| 캐나다 | <ul style="list-style-type: none"> • 액체연료형 열전발전기 개발(1962) • 24-32Vdc, 120W |

〈자료〉: ETRI 경제분석연구실, 2013. 9.

energy)는 TDS그룹, Jaxa 등이, 2) 온천(hot springs)은 TEG(도시바) 등이 개발하고 있다. 에너지 하베스팅(TEG)은 1) Monolithic micro TE Gene-rator는 무라타 제작소가, 2) 미니 사이즈 TEG 시스템은 아마하와 KELK가 개발하고 있다.

파나소닉은 2012년 12월 (그림 1)에서 보듯이 종래에 비해 5배 20kgf/mm² 하중 강도를 견딜 수 있는 열

전교환소자를 사용해 발전량을 늘린 열전교환모듈을 개발하였다. 모듈의 강도 확보를 위해 전도 효율이 높은 동판이나 곡면 밀착설치에 적합한 필름소재를 사용한다.

TDDI(熱電素子開發)는 펠티어소자 및 열전변환 디바이스 개발, 열전시스템 제품의 제조, 펠티어냉장고 등의 냉각시스템을 판매하고 있다. PV-2는 고성능, 고신뢰성을 갖춘 새로운 구조의 펠티어유닛이다. 열전소자를

응용한 제품은 니혼슈(日本酒) 및 빵 등 발효 및 숙성식품의 보관, 온도관리에 사용되는 펠티어냉장과 와인셀러가 대표적이다.

Z-Max는 2012년 페르체 모듈로 작고 소음 없는 미래의 냉장고를 구현하였다. 열전소자 페르체 모듈은 전자가 이동하면서 방출하는 열에너지를 한쪽에서 흡수하고 다른 쪽에서 방출하는 소자로 청소기, 소형냉장고 등에 적용한다[7].

IV. 국내의 개발동향

국내에서는 열전소자를 제작하기 위한 기반 기술은 선진국에 비해 낮은 수준($ZT \sim 0.8$)이며, 정부 지원도 미흡한 실정이다. 국내에서는 <표 3>에서 보듯이 대학 및 출연연을 중심으로 실리콘 및 비스무스-텔루라이드(Bi-Te)계 벌크, 박막, 나노선 등 열전소재의 효율을 높

<표 3> 국내의 열전소자 연구현황

| 구분 | 기관/업체 | 연구내용 |
|-----|---------|---|
| 연구소 | 전기연구원 | <ul style="list-style-type: none"> 열전발전 소재(중저온용 Telluride계) 및 열전발전 시스템 설계제작 박수동 박사팀, 폐열 이용 친환경 열전발전 기술 개발(2012) |
| | 재료연구소 | <ul style="list-style-type: none"> Bi-Te계 열전분말제조, 냉각용 모듈개발(2011) |
| | 기계연구원 | <ul style="list-style-type: none"> 다결정 Bi-Sb-Te 박막 열전특성 열처리 통해 향상되는 연구 한승우 박사팀, 박막열전 기술과 초소형 열전발전기 개발(2012) 김영철 박사팀, 자동차 배기열 수확해 고효율 자동차 제작 연구 |
| | 표준과학연구원 | <ul style="list-style-type: none"> 권수용 박사팀, 열전소자 성능과 전기에너지 발전효율을 정확하게 측정 평가할 수 있는 기술 개발(2011) 이우 박사팀, 나노 기반 첨단 열전소재 상용화 핵심기술 개발(2012) 송재용 박사팀, 친환경 전기도금 적용 나노소재 합금 개발(2013) 여호기 박사팀, 세계 최고 해상도 열전현미경 개발(2013) |
| | ETRI | <ul style="list-style-type: none"> 장문규 박사팀, 실리콘 나노선 열전소자 기술개발 2013년부터 2015년까지 실리콘 기반 이중접합형 다차원 열전소자 기술 개발 연구, 실리콘 및 화합물을 기반으로 고효율을 가지는 나노구조 기반 열전재료를 대량으로 생산할 수 있는 방법 |
| | KIST | <ul style="list-style-type: none"> 윤석진 박사팀, 하이브리드 에너지 하베스팅 연구 |
| | 세라믹연구원 | <ul style="list-style-type: none"> 소결온도 증가에 따른 CuAlO_2 세라믹의 열전특성 향상 연구 $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$ p형 산화물과 $(\text{ZnO})_m(\text{In}_2\text{O}_3)_n$형 산화물 기반 열전모듈 |
| 대학 | 연세대 | <ul style="list-style-type: none"> Bi, PbTe 나노선 성장 및 열전소자 평가 기술 개발 인체에너지 변환 융합 파이오니아 연구단 자가발전 스마트의류 연구 이우영 교수팀, 열전소자 상용화 기술 개발(2011) 김은애 교수팀, 열전소자를 이용한 소방복 개발(2012) |
| | 서울대 | <ul style="list-style-type: none"> 윤병동 교수팀, 폐열 에너지로 전기 만드는 'EH스킨' 개발(2011) |
| | 충북대 | <ul style="list-style-type: none"> 열전발전 회로 설계 및 차량용 열발전기 시스템 개발 |
| | KAIST | <ul style="list-style-type: none"> 전기공학과, 스크린 프린팅 공정기법 이용 열전소자 제작 연구 |
| | 한양대 | <ul style="list-style-type: none"> 이정호 교수팀, 신개념의 미래형 태양전지 소자 국산화(2009) |
| 기업 | 에이스텍 | <ul style="list-style-type: none"> 열전소자 기술을 활용한 반도체 검사장비 생산 와인셀러 및 폐열회수 발전시스템 개발 및 판매 |
| | 삼성전자 | <ul style="list-style-type: none"> 전자제품 폐열을 전기로 바꿔 재사용할 수 있는 열전소재를 개발 |
| | 뉴웰 | <ul style="list-style-type: none"> 온도차에 의해 전기를 생산하는 열전소자 개발 |
| | 제너릭스 | <ul style="list-style-type: none"> 반도체 열전소자와 세라믹 기술 접목한 MFC 원천기술 개발 발열소자 채택 부피/전력소자 줄인 초소형 냉정수기 출시(2011) |
| | HTRT | <ul style="list-style-type: none"> 열전소자 설계 및 응용 제품 개발 TE 쿨러, 냉온 유니트, 하이브리드 하트펌프, 건조기, 중계기 |
| | 웅진코웨이 | <ul style="list-style-type: none"> 열전 반도체 소자를 이용한 초소형 정수기 개발(2012) |

<자료>: ETRI 경제분석연구실, 2013. 9.

이기 위한 연구가 진행 중이다.

기계연구원 한승우 박사팀은 2012년 4월 열에너지를 전기에너지로 바꾸는 세계 최고 수준의 박막 열전기술과 초소형 열전 발전소자를 개발하였다[8].

전기연구원 박수동 박사팀은 2012년 6월 제백효과를 이용해 열을 곧장 전기로 바꾸는 열전 발전효율을 높이는 소재와 소자, 시스템 등을 복합적으로 개발하는데 성공하였다[9].

표준과학연구원 권수용 박사팀은 (그림 2)에서 보듯이 2011년 4월 친환경 에너지 발전기술인 열전소자의 성능과 전기에너지 발전효율을 정확하게 측정·평가할 수 있는 '보호열판법' 기술을 개발하였다[10]. 이우박사팀은 2012년 5월 열전소자의 문제를 해결할 수 있는 나노 기반 첨단소재의 상용화 핵심기술을 개발했다. 송재용 박사팀은 2013년 2월 나노소재기술 상용화를 앞당길 수 있는 '무(無)주형 친환경적 전기도금 나노소재 합성제어 기술'을 개발하였다. 여호기 박사팀은 2013년 7월 나노 현미경인 열전 현미경을 세계 최초로 개발하였다[11].

ETRI 부품소재연구부분 장문규 박사팀은 1차원 실리콘 나노선에서의 열전특성을 연구하였다. Top down 방식을 이용해 제조된 50nm 직경의 n-type Si 나노선이 약 $118\mu\text{W}/\text{K}$ 의 제백계수를 가진다.

KIST 윤석진 박사팀은 하이브리드 에너지 하베스팅을 연구하고 있는데, 상용화되면 이는 몸에 착용하거나

들고 다니는 전자제품 등을 '이동발전기'로 활용된다[12].

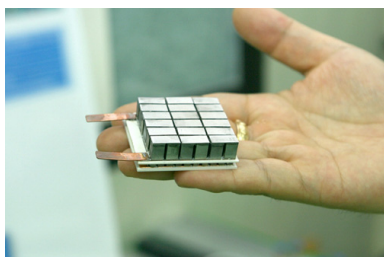
재료연구소 김경태 박사팀은 2011년 10월 자동차 배기열, 산업 폐열, 태양열, 인체열 등 열원으로부터 에너지를 생산하는 열전발전 성능을 획기적으로 개선하는 원천기술을 개발하였다[13].

세라믹연구원은 소결온도 증가에 따른 CuAlO_2 세라믹의 열전특성 향상에 대한 연구를 수행 중이다. 소결온도의 증가는 porosity를 감소시켰으며, 전기전도도 증가에 따라 열전특성이 향상됨을 볼 수 있었고, Porosity 감소는 열전도도 증가에도 영향을 미치나 전기전도도 특성 변화에 더 크게 기여한다[14].

서울대 기계항공공학부 윤병동 교수팀은 2011년 5월 버려지는 에너지를 모아 전기로 만드는 'EH 스킨'을 개발하였다. EH 스킨은 진동하는 부분에 부착해 더 많은 에너지를 수확하고, 별도 공간이 필요 없다[15].

연세대 인체에너지 변환 융합파이오니어 연구단은 옷을 입고 활동하는 것만으로 휴대전화를 충전하거나 비상시 위치정보 신호를 발생시킬 수 있는 수준의 전기를 생산하는 '자가발전 스마트 의류'를 연구하고 있다. 의류환경학과 김은애 교수는 2012년 7월 형상기억합금을 넣은 소방복을 개발했는데, 평상시에는 얇은 소방복이지만 화재 현장으로 들어서면 단열효과가 큰 공기층이 두껍게 형성된다[16].

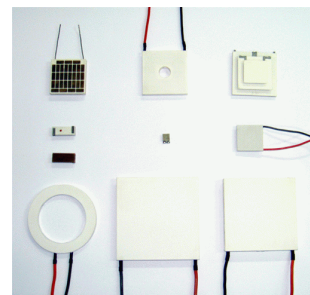
KAIST 전기전자공학과에서는 값비싼 현재의 열전소자를 대체하기 위한 방안으로 저비용 공정인 스크린 프



(a) 전기연구원 복합 열전발전 모듈



(b) 에이스텍 와인셀러



(c) HTRD 열전소자

(그림 2) 국내의 열전교환 적용 사례

린팅 공정기법을 이용한 열전소자 제작연구를 진행 중인데, 저비용 열전소자를 제작하는 기술은 효율 대비 가격에서 장점이 있다[17].

한양대 화학공학과 이정호 교수팀은 2013년 3월 태양 전지에 사용되는 값비싼 투명전도막을 대체할 수 있는 상부전극 형성기술을 개발하였다. 이는 에너지 변환 효율을 비슷하게 유지하면서 실리콘 소모량을 기존 전지의 20% 이내로 낮춘다[18]. 충북대 하이브리드 자동차 연구센터는 열전 하이브리드 기술을 연구하고 있는데, 효율적인 전기 생산을 가능케 하는 것은 물론 자동차 연비를 크게 끌어올리는 기술로 배기가스에 의한 대기오염을 감소시켜준다[19].

에이스텍은 러시아로부터 열전재료를 공급받아 기계·설계적 기술을 접목, 최대의 성능을 이끌어내는 기술을 세계 최초로 개발했고, 이를 활용해 향온습기와 LCD 시험장비, 반도체 시험장비 등을 생산해 반도체기업에 공급하고 있다[20].

HTRD는 열전소자 전문업체로 TF-Heater(건조장치), 폐열회수 발전 및 에너지 절감, 냉/온수 공급(Heat Pump), 냉장고, 소형 난방기, 중계기 및 산업용 향온장치 등에 열전소자를 적용하여 제품을 개발하고 있다.

삼성전자 종합기술원은 2009년 6월 열을 전기로 변화시키는 성능을 획기적으로 향상시켜 자동차나 전자제품에서 발생하는 폐열을 전기로 바꿔 재사용할 수 있는 '인듐셀레나이드' 열전소자를 개발하였다[21].

뉴웰은 희토류, 환경촉매, 금속재료, 에너지 저장 시스템, 무기재료 화합물에 대한 연구와 이를 응용한 기술과 제품을 국내 기업에 제공하고 있다. ETRI와 공동으로 온도차에 의해 전기를 생산하는 열전소자도 개발해 양산화에 성공하였다[22].

V. 시사점

열전소자 개발을 위한 정책적 시사점으로는 첫째, 정

부의 적극적인 관심과 투자가 필요하다. 열전변환 기술이 상용화되면 자동차의 경우 5% 에너지 소비 효율 향상이 기대되는 등 미래 에너지 강국이 되기 위해 국내 열전소재 연구개발에 대한 범정부적 지원이 필요하다. 연구개발 기업에 대한 지원강화, 연구 성과물에 대해 최종 소비자들의 구매를 촉진할 수 있는 정책의 수립 및 운영 등 에너지 절감을 위한 소재개발에 기업들이 자발적으로 참여하도록 유도하는 환경을 조성해야 한다.

둘째, 지속적인 기술개발의 필요성이다. 혁신적인 소재 개발을 위해 유기소재만이 아니라 무기, 금속 소재 등에 대한 연구를 강화하고, 융복합 소재 기술에 대한 연구개발이 중요하다.

셋째, 반도체와 나노기술의 발달에 따라 전자부품은 소형화뿐만 아니라 성능 향상과 집적화가 함께 이루어진다. 집적화 및 성능향상은 전자부품의 발열문제를 수반하고 있어 이를 해결하기 위해 중요한 기술적 도전과제로써 지속적인 연구개발이 필요하다.

넷째, 열전 관련 연구의 수행 및 지적재산권의 확보이다. 열전소자는 앞으로 그린 에너지 산업의 급격한 발전과 더불어 그 시장이 증가할 전망이다. 향후 열전소자의 시장성을 고려할 때 국내에서도 많은 열전 관련 연구를 진행하고 더 많은 지적재산권을 확보해야 할 것이다 [23].

다섯째, 실리콘 열전소자 기술개발이다. 현재 열전소자로 널리 사용되고 있는 Bi₂Te₃는 재료의 희귀성으로 인해 산업화 기술로서의 활용에 어려운 측면이 있다. 이러한 이유로 최근에는 Bi₂Te₃를 대체할 수 있는 새로운 열전재료로 실리콘 열전소자 기술이 세계적으로 활발히 연구되고 있다. 그동안 열전특성이 미미한 것으로 여겨져 왔던 실리콘을 나노구조로 활용하면, 현재 상용화된 Bi₂Te₃에 비교할 수 있는 열전특성을 보여 앞으로 급속한 발전이 예상된다. 특히, 반도체 설비 및 공정기술이 세계적인 수준으로 발달된 우리나라는 열전소자 연구를 위한 매우 유리한 여건을 갖고 있다. 그러므로 실리콘을

기반으로 한 저비용, 고효율의 열전소자를 성공적으로 개발하면 열전소자 분야에서의 원천기술 확보 및 초기 시장 점유에 매우 유리한 입지를 선점할 수 있다[24].

용어해설

열전소자 (熱電素子, TEM(Thermoelectric Materials)) 1834년 프랑스 J.C.A. Peltier가 발견한 현상으로 서로 다른 두개의 소자 양단에 직류전압을 가하면 전류의 방향에 따라 한쪽 면에서는 흡열하고, 반대면에서는 발열을 일으키는 현상을 펠티어(Peltier) 효과라 함. 아이스쿨러는 이같은 펠티어 소자의 냉각효과를 이용한 것인데, 그 성능은 매우 강력하여 흡열(냉각)면에 순식간에 이슬이 맺힐 정도임. 이같이 펠티어 효과를 이용한 소자를 열전소자 혹은 열전모듈이라 함.

열전발전 (Therm-electric Generation) 1822년 독일 제백(T.J. Seebeck)에 의해 발견된 이론으로 P형과 N형의 결합된 소자 양단, 재료 양쪽에 온도차이를 주면 기전력이 발생하는 현상을 제벡효과라 하고, 이용한 것이 열전발전기(Thermoelectric Generator) 임. 특징은 회수 가치가 없다고 생각되는 150℃ 이하의 열에서도 발전이 가능하고, 산업 배/폐열을 연료로 이용하는 열전발전 시스템이며, 유지비가 거의 필요 없어 저효율의 불리한 점을 극복할 수 있음.

약어 정리

| | |
|-----|---|
| FP | Framework Programme |
| NMP | Nanosciences, nanotechnologies, materials & new production technologies |
| TE | Thermoelectric energy |
| JST | Japan Science and Technology Agency |

참고문헌

[1] IDTechEx, “Thermoelectric Energy Harvesting: Devices, Applications & opportunities 2012-2022,” 2012, p. 55.
 [2] DOE, “Automotive Thermoelectric Generators and HVAC,” 2012. 3. 20.
 [3] Amerigon-BSST, “Thermoelectric Generator Performance for Passenger Vehicles,” 2010. 3. 20.

[4] 중앙일보, “열 닿으면 부풀어 오르는 소방복,” 2012. 7. 3.
 [5] Takenobu Kajikawa, “Overview of Progress in T&D for Thermoelectric Power Generation Technology in Japan,” 2012.
 [6] 科學技術振興機構, “熱電交換素子と燃料電池を組み合わせた '排ガス発電システム' の開発に成功,” 2013. 5. 7.
 [7] 동아일보, “엠엔알코리아 Z-Max의 페르체 모듈 선보여,” 2012. 10. 9.
 [8] 노컷뉴스, “기계연 초소형 열전 발전소자 개발,” 2012. 4. 4.
 [9] 동아일보, “전기연 폐열 이용한 친환경 열전발전 기술 개발,” 2012. 6. 27.
 [10] 노컷뉴스, “표준연 열전소자 성능 측정기술 개발,” 2011. 4. 5.
 [11] 조선일보, “표준연 세계 최고 해상도 열전현미경 개발,” 2013. 7. 15.
 [12] 한국경제신문, “팔다리 움직여 충전하는 시대 온다,” 2011. 6. 30.
 [13] 경남일보, “재료연구소 열전발전 신기술 개발,” 2011. 11. 1.
 [14] 조병진, “국내외 열전소자 연구동향,” 전기전자재료, 25권 2호, 2012. 2, pp. 43-44.
 [15] 동아일보, “서울대 윤병동 교수팀, EH 스킨 개발,” 2011. 5. 21.
 [16] 중앙일보, “열 닿으면 부풀어오르는 소방복,” 2012. 7. 3.
 [17] 조병진, “국내외 열전소자 연구동향,” 전기전자재료, 25권 2호, 2012. 2, p. 44.
 [18] 머니투데이, “한양대 연구팀 차세대 태양전지 원천기술 개발,” 2013. 4. 1.
 [19] 전자신문, “충북대 하이브리드 자동차 연구센터,” 2011. 5. 11.
 [20] 전자신문, “열전소자 전문기업 에이스텍,” 2008. 3. 31.
 [21] 한국경제신문, “삼성, 폐열을 전기로 전환하는 첨단 신소재 개발,” 2009. 6. 29.
 [22] MBC, “회토류 자원 뉴월,” 2012. 10. 8.
 [23] 조병진, “국내외 열전소자 연구동향,” 전기전자재료, 25권 2호, 2012. 2, p. 46.
 [24] 장문규, 이진호 “실리콘 열전소자 기술의 연구동향,” 전자통신동향분석, 2013. 10, p. 98.