

유기소재의 나노구조 조절을 통한 다양한 열특성 제어기술

이성구 · 고원건 · 김희숙 · 최경호

1. 기술의 정의

유기소재의 나노구조 조절을 통한 다양한 열특성 제어기술은 고분자, 정밀화학소재 등 유기소재의 열저장, 열방출, 열변환, 열저항 등의 열적 특성을 제어하기 위한 유기소재합성, 열기능 나노입자 제조, 모폴로지 구조제어, 나노입자 분산제어 기술 등의 요소기술과 제조된 소재를 이용한 응용기술이다.

기존의 열특성 소재는 세라믹 및 반도체 소재가 주를 이루고 있으나 고가이며 생산을 위한 성형 및 공정이 복잡하여, 열특성 제어 유기소재의 경우 현재까지 안정성, 효율 등에서 특성이 제한적이다.

유기소재의 나노구조 조절은 소재자체를 바꾸지 않고도 소재의 나노구조를 능동적으로 제어하여 물성을 획기적으로 향상시킬 수 있는 전

략적인 기술이며, 이를 통해 차세대 고효율의 열특성 제어소재의 개발이 가능하다. 특히, 본 기술은 열에너지의 저장 및 변환을 활용한 열저장 및 열전변환소재에 적용될 수 있을 뿐만 아니라, 효율적 열방출 및 열저항 복합소재는 고집적 IT 및 전자 부품에 적용되거나 고효율 건축, 산업재에 널리 응용될 수 있다.

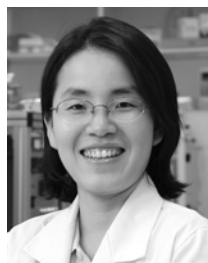
열특성 제어소재는 열의 활용 또는 열의 제어 형태에 따라 크게 열저장(heat storage) 축열소재, 열방출(heat release) 나노소재, 열전변환(thermoelectricity) 화학소재, 열저항(heat resistance) 복합소재로 나눌 수 있다.

또한 열특성 제어소재는 유기소재 뿐만 아니라, 유기소재 기반의 유기 무기 복합체 소재까지 포함할 수 있으며, 나노 스케일의 구조 및 모폴로지 제어 기술을 포함하고 있다. 열특성 제어소재는 에너지 관리 시스템



이성구

1982 인하대학교 고분자공학과(학사)
1984 인하대학교 고분자공학과(석사)
1998 전북대학교 섬유공학과(박사)
2000~2001 Clemson Univ. Visiting Scholar
1983~현재 한국화학연구원 책임연구원



김희숙

1999 서울대학교 화학과(학사)
2001 서울대학교 화학과(석사)
2008 Univ. Wisconsin at Madison 화학과(박사)
2008~현재 한국과학기술연구원 선임연구원



고원건

1997 연세대학교 화학공학과(학사)
1999 연세대학교 화학공학과(석사)
2004 Penn State University 화학공학과(박사)
2004~2005 Stanford University, Postdoc
2005~현재 연세대학교 화공생명공학과 부교수



최경호

1997 경북대학교 고분자공학과(학사)
1999 포항공과대학교 신소재공학과(석사)
2004 포항공과대학교 신소재공학과(박사)
2004~2007 삼성SDI MD본부 전략과제팀 책임연구원
2007~현재 한국생산기술연구원 수석연구원

Thermal Management of Organic Materials by Nano Structure Control

한국화학연구원 정보전자폴리머연구센터 (Sung-Goo Lee, I & E Polymer Research Center, Korea Research Institute of Chemical Technology, P. O. Box 107, Yuseong, Daejeon 305-600, Korea) e-mail: sglee@kRICT.re.kr

연세대학교 화공생명공학과 (Won-Gun Koh, Department of Chemical Engineering, Yonsei University, 134 Shinchon-Dong, Seodaemun-Gu, Seoul 120-749, Korea)

한국과학기술연구원 고분자하이브리드센터 (Heesuk Kim, Polymer Hybrids Center, Korea Institute of Science and Technology, 39-1 Hawolgok-Dong, Seongbuk-Gu, Seoul 136-791, Korea)

한국생산기술연구원 청정생산기술연구부 (Kyung Ho Choi, Green Chemistry & Manufacturing Dept., Korea Institute of Industrial Technology, 35-3 Hongcheon-Ri, Ipjang-Myeon, Seobuk-Gu, Cheonan-Si, Chungnam 331-825, Korea)

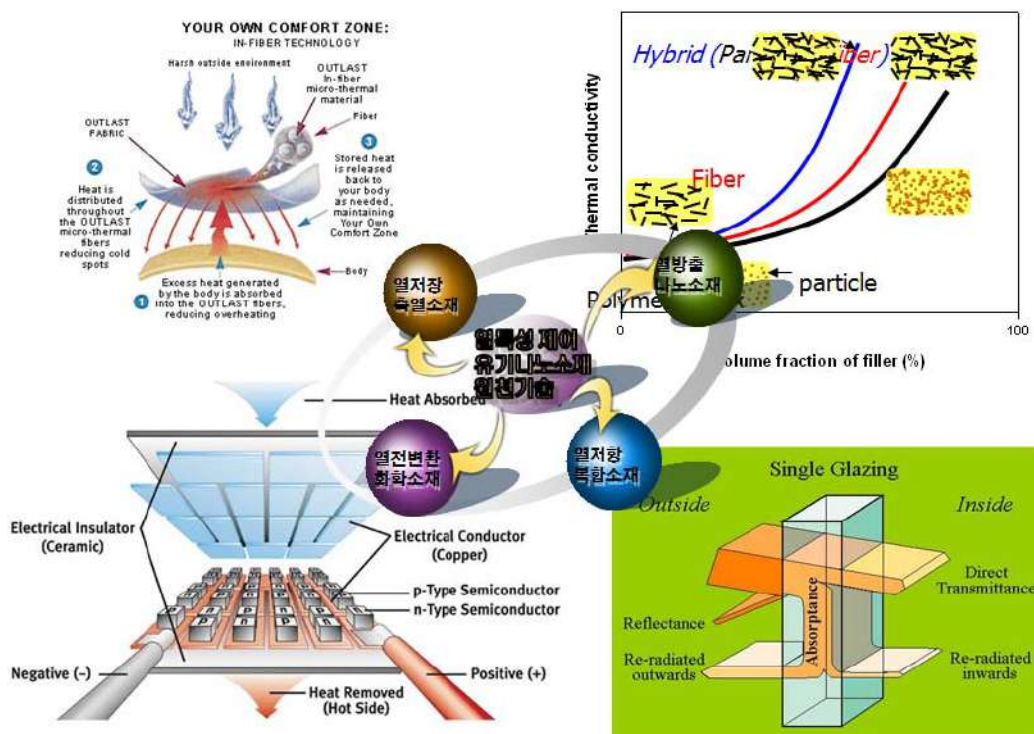


그림 1. 열특성 제어 유기나노소재 기술.

템으로 집적되어 적용이 가능하며, 특히 신성장동력 및 녹색성장 사업으로 열효율 향상을 통한 에너지 효율 향상에 부합하는 원천소재이다. 소재원천기술개발 사업에서는 다음과 같이 네 가지의 열특성 제어기술을 개발하고 있다. 첫째, 열저장 축열소재 기술은 제어가 가능한 상변이 물질을 나노입자 형태의 다중구조체로 제조함으로써, 열효율 및 제어 민감도를 극대화할 수 있는 에너지 소재를 제조하는 기술이다. 둘째, 열방출 나노소재기술은 열전도성이 높은 기능성 충전제를 고분자 소재에 나노 수준으로 정밀 제어하여 열방출 효과의 임계성능을 극복하는 기술이다. 셋째, 열전변환 화학소재기술은 열과 전기 사이의 가역적, 직접적인 에너지 변환에 관한 기술로 재료의 나노구조를 이용하여 전자와 정공의 이동을 조절함으로써 열적 특성과 전기적 특성을 복합적으로 동시에 제어하는 기술이며, 넷째, 열저항복합소재는 전도열, 복사열을 제어하는 유무기 기능성 소재 및 유기복합 소재화를 통하여 투명 열저항 복합소재를 구현하는 기술이다(그림 1).

2. 기술 개발의 필요성

미래 에너지기술의 주요 소재 및 응용기술은 수소에너지, 전기화학적 에너지저장, 열전변환 및 이차전지 등이며 새로운 에너지원에 대한 연구개발이 선진국을 중심으로 활발히 진행되고 있으며 고효율 에너지변환장치와 저장장치의 수요가 지속적으로 증가될 것으로 전망되고 있다.

국내에서도 대체에너지 보급률을 2011년까지 5%로 확대하는 목표가 설정되어 있으며, 광에너지 변환 및 열전발전 분야에서 13,000 TOE의 시장 형성이 예상되고 있다. 특히 차세대성장동력의 일환으로써 신소재 개발 및 실용화를 위해 지속적인 투자 확대가 이루어질 것으로 예상된다. 선진국에서는 21세기 에너지자원의 확보 측면에서 에너지관련 소재를 포함한 미래형 에너지기술 개발 및 에너지자원의 효율적 이용

분야에 많은 예산과 인력을 투자하고 있으며, 국내에서도 세계적으로 선도할 수 있는 기술분야를 선택하고 연구역량을 집중하는 전략이 요구되고 있다.

한편, 미래지향적인 에너지원의 개발을 위해서는 기존의 에너지 전환기술을 개선하는 것으로는 부족하며 획기적인 기술의 진보가 요구되어 나노소재 기술의 중요성이 부각되고 있다. 에너지 소재 분야에서 나노기술은 효율적인 에너지의 생산에서부터 에너지 소비 절감효과에 이르기까지 널리 영향을 미치게 되므로 차세대 에너지원 개발에 필수적인 연구 분야로 인식되고 있어, 선진국에서는 천문학적 비용을 투자하여 집중적인 연구개발을 수행하고 있다. 이를 통해 비교적 단기간에 에너지 활용도의 비약적 향상이 가능하여 막대한 파급력을 가져올 수 있다.

현재 국내 부품소재 관련 산업은 선진국과의 원천기술 격차가 일본과 5~6년 정도이며 중국, 브라질 등 후발국의 추격이 가속화되어 그 격차가 2~3년으로 급격히 축소됨에 따라 기술경쟁력이 약화되고 있는 상황이다. 2000~2005년 반도체, 평면디스플레이, 무선통신기기, 컴퓨터 주변기기의 원자재 수입의존도가 각각 79, 68, 67, 51%로 원천 소재기술을 선점하고 있는 해외 선진 기업은 특허와 같은 장벽으로 후발업체의 신규 진입을 제약하여 기술력을 무기로 시장지배력을 강화하고 있으며, 이로 인해 한 해 240억 달러에 이르는 대일무역적자의 70%가 핵심소재 부문에서 발생하고 있다. 따라서 국내에선 디바이스 연구를 통한 IT 및 정보·전자산업의 비약적인 발전에 핵심 소재 기술의 지원을 더하지 않으면 가까운 시일 내 원천 기술력의 빈곤으로 인하여 산업경제발전의 한계에 부딪힐 것으로 판단된다. 선진국과 개도국 사이의 샌드위치 구조속의 현실을 극복하기 위해 과감한 기술개발투자 및 인력양성을 추진한다면 향후 10년 내 선진국과의 기술격차를 줄임으로써 현재의 위기가 미래에 새로운 성장 동력을 제공해주는 계기가 될 수도 있다.

열에너지는 환경친화적이며 막대한 에너지원이나 특성상 회수가 어렵기 때문에 선진각국에서 열에너지 관리에 대해 많은 연구가 이루어지고 있다. 예를 들어, 열원을 이용한 발전시스템에 많은 관심이 집중되고 있으며, 차량 및 산업체의 폐열을 이용한 발전소자의 개발이 있다. 열전소재에 있어서는 기존의 재료 이외에 고온에서 장시간 사용이 가능하고 친환경적인 열전소재의 개발이 활발하게 진행되고 있으며, 나노구조의 열전발전소자가 기존의 벌크 재료로 만들어진 소자에 비해 비약적인 성능향상이 가능하다는 결과가 보고되고 있다.

유기소재의 나노구조 조절을 통한 열특성 제어에 대한 원천기술의 확보는 국내 소재시장의 활성화에 따른 경제적, 산업적 이득은 물론 해외 시장 진출 및 점유로 인해 최근에 사회적 문제가 되고 있는 무역수지를 개선하는 것이 가능하여 국가 경쟁력을 강화할 수 있다. 저밀도, 고강도, 유연성 및 경제성을 바탕으로 하는 고분자 소재는 복합기능 소재분야에 있어서 가장 이상적인 소재이며, 구성 성분 및 구조에 따라서 광학적, 전기적, 자성적 및 열적 특성 등의 다양한 특성을 지니므로, 기존의 응용분야에서 사용되던 소재들의 대체가 가능하지만, 현재의 기술로서는 성능이나 안정성 등에서 실용성이 떨어지므로 이에 대한 보완이 시급한 실정이다.

나노구조 조절을 통한 다양한 열특성 제어기술의 개발을 통하여 소재분야 기술의 선도는 물론, 에너지, 전자, 통신, 의료 및 건축 등의 기존 핵심 산업분야의 발전에 이바지할 뿐만 아니라, 바이오, 환경 및 우주 등의 미래지향적 산업의 발판을 마련할 수 있다. 소재원천기술의 국산화는 국내 소재시장의 활성화를 통한 경제적, 산업적 이득은 물론



그림 2. 열특성 제어 유기소재의 개발에 따른 기대 효과.

해외시장의 점유 및 창출효과로 인해 국가 경쟁력의 강화를 유도할 수 있다(그림 2).

3. 열특성 소재산업의 메가트렌드 및 시장동향

3.1 열특성 소재산업의 메가트렌드

저탄소 녹색성장을 기반으로 하는 미래의 기술 사회에서는 IT, 전자, 자동차 및 건축산업에서 에너지 순환을 제어하는 기술이 중요하게 될 것이다. 특히, 열관리(thermal management)는 차세대 전자 및 첨단 부품이 미세화 됨에 따라 제기되는 발열제어 뿐만 아니라, 열을 능동적으로 활용하여 에너지 효율을 높이고 에너지를 생산하는 분야에 이르기까지 다양하게 적용될 수 있다.

현재 사용되는 열특성 제어소재는 기능성 섬유 및 의복 등에 적용되는 열저장 소재, 전자 및 IT 부품에 적용되는 열방출 소재, 자동차용 열차단 소재 등에 제한적으로 적용되고 있다. 그러나 열특성 제어소재는 에너지 절약, 효율 향상, 열제어 등의 효과를 고려할 때 차세대 에너지원으로서 적용이 가능할 뿐만 아니라, 차세대 반도체, 디스플레이 등의 IT부품소재, 친환경 고효율 건축용 내외장재, 첨단 군수 산업, 차세대 하이브리드 자동차 산업, 우주산업 등 산업 전반에 걸쳐 막대한 파급력이 있을 것으로 예상되며 따라서 친환경 녹색성장의 새로운 패러다임을 창조하는 요소가 될 것으로 전망된다(그림 3, 표 1).

특히, 에너지 저장소재의 경우 미국 국가정보위원회(NIC, National Intelligence Council)에서 발표한 2025년 6대 와해성 기술(disruptive technology)에 포함되어 미국의 국가 경쟁력에 막대한 영향을 미칠 것으로 예측되었다. 이 분야는 현재의 에너지 저장 및 활용기술에 획



그림 3. 열특성 제어소재 수요산업의 메가트렌드.

표 1. 열특성 제어소재의 메가트렌드

구분	2000~2010	2010~2020	2020년 이후	미래요구기능(~2020년)	미래소재
에너지 제어 산업	메가트렌드: 항온성 유지 열효율증대	국지적 고열용량 제어	광대역 고열용량 제어	에너지제어량 증대, 열제어 고민감도	상변이 잠열축열소재
	제품트렌드: 기능성 의복 및 신발	휴대용 전자기기, 의료용 장비	기능성 건축자재		상변이 잠열축열소재
군수 산업	메가트렌드: 발전 전력 증대 은폐	정밀 성능제어 은폐	기능의 향상성 은폐	발전 성능의 향상성 및 정밀제어 초박막화 경량화 고내구성화	휴대가능한 극한상황용 군소재, 은폐 박막
	제품트렌드: 휴대용전자제품, 스텔스군복	군통신기기, 스텔스무기, 스텔스텐트	극한상황용 전자 및 통신제품 스텔스무기, 스텔스텐트		휴대가능한 극한상황용 군소재 스텔스 무기
전자 산업	메가트렌드: 내부열차단, 공정의 간편화/안정성 향상	태양열차단 전도도향상	태양열차단 저비용, 상업성	경량화, 환경친화, 에너지절감, 내열성, 경량화	태양열차단 박막 고분자 복합소재
	제품트렌드: 디스플레이, 휴대폰, MP3, 카네비게이션, 노트북 PC MP3/PMP, LCD	지능형창문, 태양전지, 정밀전자장비, 스마트폰 네트워크 미디어플레이어, PDP	지능형창문, 태양전지, 정밀장비코팅, Disposable 단말기 (RFID, 전자잉크, WORM)		지능형 창문 저가격 및 환경친화적
자동차 산업	메가트렌드: 차체경량화, 연비향상	태양열차단	태양열차단	초박막화, 경량화, 환경친화, 에너지절감	태양열차단 박막유리
	제품트렌드: 플라스틱경량소재, 원루프	자동차유리코팅소재	자동차유리코팅소재		자동차 코팅유리

기적 변화를 야기할 것으로 예상되며, 궁극적으로는 현재의 화석연료 중심 패러다임 자체를 변화시킬 수 있는 기술로 평가되고 있다. 에너지 저장소재 분야의 경우, 주로 수송 및 휴대전자기기(portable device)와 관련하여 파급효과가 클 것으로 예상되며, 사회 전반적으로는 주로 경제적 및 글로벌 사회경제구조 측면에서 이 분야 기술이 기존의 화석연료기반 패러다임을 장기적으로 대체할 것으로 예상되고 있다.

3.2 열특성 소재산업의 시장동향

화석 연료의 점진적인 고갈에 따라 열에너지의 효과적인 제어를 위한 열저장, 열방출, 열전(열변환)과 열저항 등의 열특성 소재산업은 에너지 효율 향상은 물론 저탄소 녹색성장이 가능하여 산업 및 경제 전반에 걸쳐 막대한 파급효과가 있으며 열관리 소재로 신규수요가 급증할 것으로 전망하고 있다.

열저장 소재에 관한 연구는 세계 각국에서 국가 전략사업의 일환으로 집중 투자하고 있다. 열저장 소재의 용도는 기능성 섬유 및 의복, 우주, 군사 용도 등의 분야로 한정되었으나, 최근에는 자동차 연비 향상 및 공장, 소각로의 폐열을 이용한 발전시스템 등에 이르기까지 분야가 확대되고 있다.

열방출 소재는 국내의 경우 반도체 디스플레이 공정과 모바일 기기를 중심으로 개발에 적극 나서고 있다. 이는 디지털 기기의 소형화와 고기능화가 동시에 진행되면서 기기 사용 중 발생하는 열이 성능에 미치는 영향이 더 커지고 있고 LCD 공정에서도 기판 대형화로 인해 발열량이 늘어났으며, 반도체도 고집적화되면서 열에 더 민감해졌기 때문이다. 또한, 최근 LED의 적용범위가 차세대 디스플레이뿐만 아니라 가정용 및 사무실 조명까지 확대되면서 LED의 발열을 제어하는 소재 시장도 따라서 확대되고 있다. 특히 LED시장은 2004년 37억불로 전년 대비 50% 증가했으며, 국내시장이 세계시장의 18% 이상을 차지할 만큼 큰 시장을 형성하고 있다.

열전 소재는 일본에서 열전변환을 이용한 발전 시스템에 많은 투자를 하고 있다. 최근 산업 민생 부문 및 자동차 등에서 배출되는 열 가운데 열전변환에 적용 가능한 열 에너지량은 원유 환산으로 연간 약 7,600만킬로리터로 일본의 총 에너지 소비량의 18%에 해당한다는 계산이 나왔으며, 신에너지 산업기술종합개발기구(NEDO)를 통해 열전 발전에 관한 선도 연구를 실시하고 있다. 또한, 열전변환 소재는 미래형 자동차에 적용되어 waste heat recovery를 통한 연비 향상을 가져올 수 있다.

열저항 소재의 경우, 투명 열차단 window, curtain wall과 같은 친환경 고효율 건축용 내외장재에 적용되고 있다. 기존의 건축용 윈도우 필름은 금속성 반사필름 위주로 가시광선 투과율이 낮아 내부가 어두워지는 문제와 외부에서 반사도가 심하여 민원의 소지가 있고, 거울처럼 보이는 미려현상 등의 문제점을 가지고 있다. 따라서 가시광선 투과율이 높아 내부 조도가 높으면서 온실 효과 및 냉방 부하의 주요 원인이 되고 있는 열선, 즉, 적외선을 효과적으로 차단하는 비반사 투명 열차단 필름의 수요가 꾸준히 증가하고 있다. 특히, 국내 약 300억 정도의 시장 형성이 예측되며, 건축용 윈도우 필름 시장이 크게 확대되고 있다.

미래의 열특성 제어 소재의 적용은 **그림 4**와 같이 크게 자동차, 우주항공, IT, green energy, 건축 및 차세대 display 산업에 적용될 수 있으며, 에너지 분야뿐만 아니라 산업 전반에 걸쳐서 비중 있는 시장이 형성될 것으로 예측되고 있다. 또한, 열특성 제어소재의 세계시장은 꾸준히 성장할 것으로 예측된다. 2010년 이후에는 차세대, 친환경, 고효율 제품에 대한 수요 증가로 시장이 급격히 증가하여, 약 20조원 규모



<출처 : 열저장소재 : Prismark Report(2000, USA), KIET 산업경제 (2008.4), 방열소재 : 공업재료(2008. 10, 일본), LED산업 신성장동력화 발전전략 (2008. 5), 열전, 열저항소재 : 전자정보센터, 디스플레이 부품 개황(2008. 7. 28, 한국)>.

그림 4. 2019년 열특성 제어소재의 적용분야 및 시장예측.

로 예상되고 있다. 또한, 추가적으로 이산화탄소 절감이 가능하여 2019년에 국가 전체 배출량의 10%를 절감할 수 있을 것으로 예상하며 이에 따르는 경제적 효과뿐만 아니라 친환경 국가로서의 이미지 제고도 가능할 것으로 예측되고 있다(**그림 4**).

4. 화학소재원천기술개발사업의 구성과 세부분야별 국내외 연구개발 동향

4.1 화학소재원천기술개발사업의 구성

유기소재의 나노구조 조절을 통한 다양한 열특성 제어기술의 성공적인 연구 개발을 수행하기 위해 **그림 5**와 같이 4개의 기술개발팀을 구성하였다.

4.2 열저장용 나노입자 고차구조제어 기술

상변이 물질(phase change materials, PCM)의 응용기술은 에너지 소재 분야에서 각광을 받고 있다. 상변이 물질은 외부와 내부의 온도구배에 따른 열흐름 변화에 따라 온도 상승 시에는 열을 흡수하고 온도 하강 시에는 열을 방출하는 물질로, 상변이 온도에서 온도의 변화가 최소화됨에 따라 최적의 온도를 유지할 수 있게 한다. 또한 상변이 물질은 잠열의 열량이 매우 높으므로 이를 응용한 에너지 제어량이 크며, 물질에 따라 다양한 상변이 온도를 가지고 있기 때문에 적용범위가 넓은 장점이 있다.¹ 상변이 물질의 열 이용은 외부에서 유입된 열을 바탕으로 하기 때문에 소재의 이용이 반영구적이며, 태양열과 같은 신에너지개발에 응용이 가능하여 에너지 소재로서의 다양한 응용이 가능하다(**그림 6**).²

상변이 물질의 열특성에 대한 연구는 **표 2**와 같이 미항공우주국(NASA)에서 우주개발의 일환으로 시작되었으며, 우주의 열악한 환경으로부터 우주인과 기기 등을 보호하는 것이 주목적이다. 현재 국외의 여러 연구 그룹에서 PCM 관련 연구를 진행하고 있으며, 특히 미국의 Outlast사와 독일의 Comfortemps사가 관련 기술에 대하여 NASA에서 라이선스를 받는 등 주도적으로 사업화를 진행하고 있다. 특히 상변이 물질의 응용성을 위해서, 마이크로미터 크기의 상변이 캡슐 제조에 관한 연구가 회사와 국내외 과학자들에 의해서 활발히 진행되고 있다.^{3,4} Hawlader 연구팀에서는 coacervation 방법을 통하여 파라핀

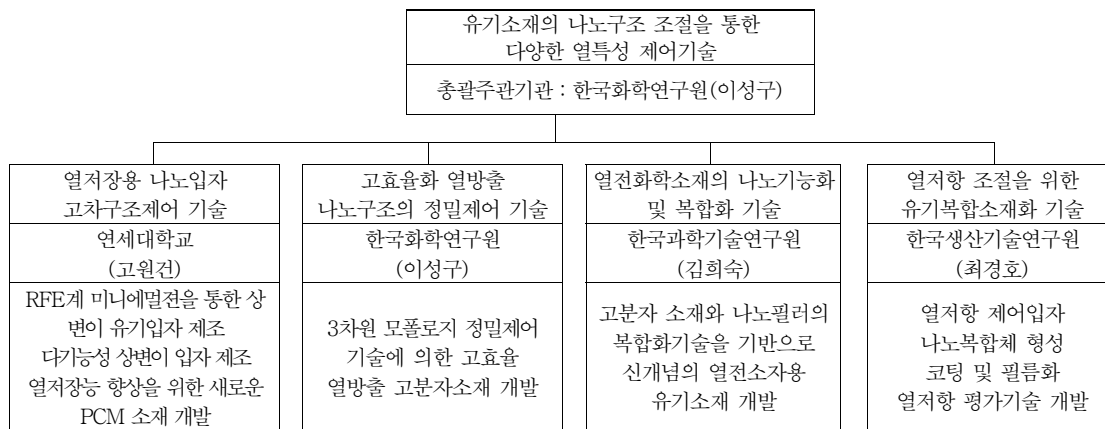


그림 5. 유기소재의 나노구조 조절을 통한 다양한 열특성 제어기술 개발팀 구성도.



그림 6. 상변이 물질의 정의 및 응용범위.

왁스를 캡슐화하였고, 이 캡슐의 에너지 저장능력은 코어에 위치하는 상변이 물질과 코팅된 물질과의 비율에 의존함을 보였다.⁵ Zhang 연구팀은 계면중합을 이용하여 폴리우레탄을 쉘 물질로 한 마이크로미터 크기의 상변이 캡슐을 제조하였다. 제조된 마이크로미터 크기의 상변이 캡슐의 SEM 사진은 **그림 7**과 같다.⁶

미국 Outlast사는 PCM 캡슐이 함유되어 있는 축방열 섬유소재인 Smart Fabric을 개발하여 인체에 밀접한 다양한 종류의 fibers, yarns, knits, woven, coated fabrics, coated foams 등을 포함한 50여개의 상품을 개발하였고 200개 이상의 스포츠, 캐주얼, 신발 회사와 공급계약을 맺고 있다. 또한 40여개 이상의 등록 및 출원 중인 특허를 보유하고 있어, 상변이물질 응용관련 최고의 기업으로 자리를 잡고 있다. Comfortemp사도 Outlast사와 같이 NASA에서 PCM 캡슐 상품화에 대한 라이선스를 받은 회사로서 주로 10~35 μm 수준의

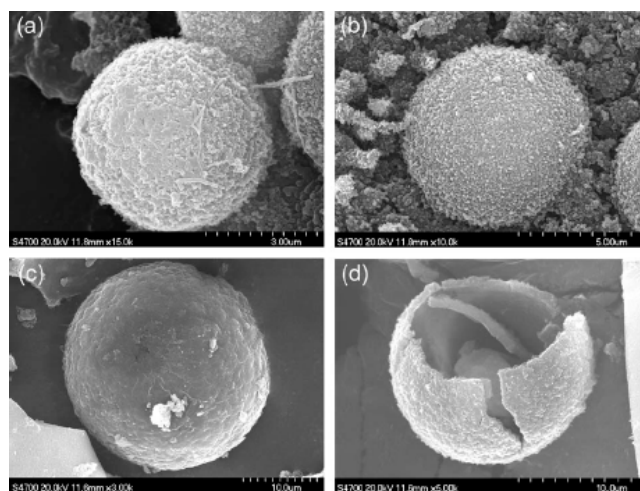


그림 7. 폴리우레탄으로 코팅된 마이크로미터 크기의 상변이 캡슐.

PCM 캡슐을 이용하여 자동차의 필터, 주방용품, 기저귀 그리고 농업 분야에서 응용하고 있으며, 마찬가지로 상변이 물질 응용관련 기술을 선도하고 있다.

현재까지 대부분의 연구를 통하여 제조된 상변이 캡슐의 경우 크기가 일반적으로 수십 μm 에서 수백 μm 로 얻어지고 있다. 기존의 *in-situ* 중합에서는 캡슐의 크기가 50~100 μm 로 나타나고 있으며 계면중합법을 이용한 경우에도 캡슐의 크기는 20~30 μm 로 나타나 기존의 *in-situ* 중합의 경우보다는 다소 작게 나타났으나 반응계의 부피가 커

표 2. 국내외 상변이 물질 및 나노입자 제조 관련 기술동향

기술명	국외의 기술동향 및 수준		국내의 기술동향 및 수준	
	선도기업/연구기관	주요 기술/제품	국내기술 수준(보유/연구기관)	선진국 대비
PCM 나노입자 응용기술	미국 Outlast company, 독일 Comfortemp/ U. S. NASA Naval Academy	thermoregulating textile 제조 기술/ 의류용 PCM capsule	Coacervation 방법을 이용한 PCM캡슐 제조/ 전남대 의류학과, 생활과학 연구소	70%
PCM 미립화 기술	일본 Yamaha/미국 국방성, 미국 Outlast company	30 μm 캡슐 제조 기술	30 μm 캡슐 제조 기술/ 한국에너지기술연구원, (주)에네트	90%
나노유화 기술	독일 Max Planck Society/ 프랑스 Henri Poincare University	Miniemulsification 기술, 나노유화 기술	나노유화 기술/한국과학기술원, 연세대학교	100%
마이크로 캡슐화 기술	미국 Western Research Center, Iowa State University	살충제 Micro capsule 제조 기술, gas 상에서의 에너지 수송용 캡슐제조 기술	살충제 우레탄 Micro capsule 제조 기술/ 연세대학교, 포항공대, 한국화학연구원	90%
나노캡슐화 기술	-	-	100 nm 크기의 캡슐 제조/연세대학교, 한국화학연구원	100%

저 비용 면에서 효율성이 저하되고 있다.^{7,8} 계면중합 공정의 모식도는 **그림 8**과 같다. 계면중합법에서 코팅물질로는 폴리우레아를 많이 사용하고 있으며 유화제 표면에서의 화학적인 반응을 통해 마이크로미터 크기의 상변이 입자가 제조된다. 아직까지 대부분 마이크로미터 크기의 캡슐 개발에 집중되어 있으며, 또한 응용에 있어 그 범위가 섬유, 보온재 등과 같은 기존 응용 범위에 한정되어 있어, 첨단 기술을 바탕으로 하는 응용기술 향상 또한 중요한 과제로 여겨진다.

국내의 경우 상변이물질의 미세캡슐화 기술은 90년대 후반부터 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 특히 한국에너지기술연구와 한국화학연구원, 한양대학교, 한밭대학교 등에서 상변이 물질에 대한 연구가 진행되고 있다. 또한 (주) 에네트 등 국내 소규모 중소기업에서도 다양한 제품 개발에 박차를 가하고 있다.

국내의 특허동향을 살펴보면, 상전이 물질을 이용한 캡슐화 공정 연구가 활발히 진행 중임을 알 수가 있다. 대한민국 등록특허 제284,192호에는 PCM 입자의 직경이 0.1~10 mm이고 고분자물질 코팅층의 1개당 두께가 2.5~50 μm 이며 마이크로 캡슐의 직경이 0.1~10 mm인 구형의 축열캡슐이 개시되어 있으나, 액체질소와 같은 냉매를 필요로 하며 제조 공정시 용융상태의 무기 수화물을 한 방울씩 떨어뜨리기 때문에 대량 생산하기에는 부적합하다. 또한 용융된 무기 수화물의 고형화를 위해서는 낙하 경로를 길게 하여야 하기 때문에 냉매를 담은 용기의 크기가 길어야 하는 단점이 있다. 한편, 왁스를 PCM으로 사용하여 고분자의 계면중합으로 축열재를 마이크로 캡슐화한 잠열 축열재는 미국 특허 제4,513,053호에 개시되어 있는 바, 상기 잠열 축열재는 축열물질을 가장자리가 곡선인 알약모양으로 제조한 후 이를 여러 종류의 고분자 물질로 캡슐화하는 것으로 상기 무기염 수화물의 문제점과 기계적 강도는 개선되었으나 구형으로 캡슐화한 것에 비하여 단위 부피당 표면적이 작아 열응답성이 떨어지고 제조비용이 높은 단점이 있다.

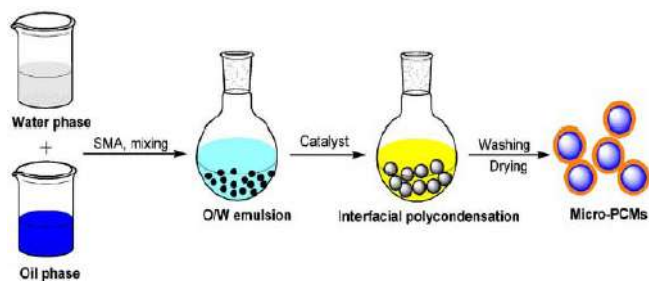


그림 8. 마이크로미터 크기의 상변이 입자 제조를 위한 계면중합의 모식도.

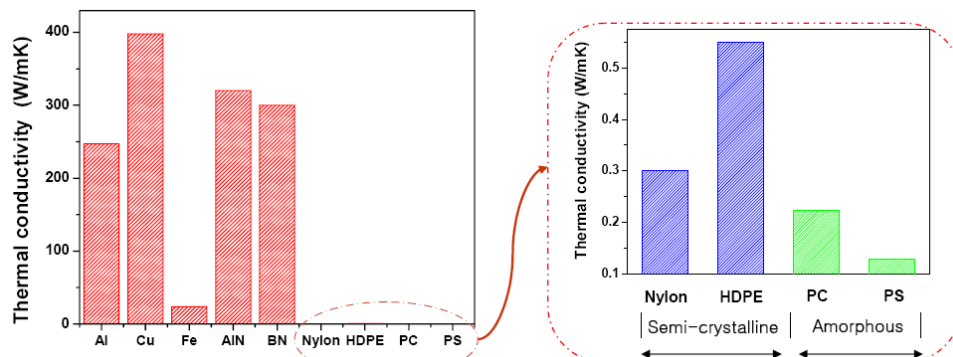


그림 9. 여러 재료의 열전도성 비교.

또한, 대한민국 공개특허 제2003-0018155호에는 에멀전법을 이용한 상전이 물질의 마이크로캡슐화 방법, 계면활성제를 이용한 원활한 미세입자의 형성과 안정화, 조-계면활성제의 사용을 통한 상전이 물질의 1단계 마이크로캡슐화 단계와 탄젠셜 스프레이 코터(tangential spray coater)를 이용한 2단계 마이크로 캡슐화 공정으로 이루어진 2단계적 공정을 이용하여 1단계로 이루어진 공정보다는 복잡한 공정을 거치므로, 제조공정에서 효율성이 떨어지며, 또한 생성된 캡슐의 크기가 10~100 μm 로, 크기를 줄여 힘을 분산시켜 구조적 안정성을 높이기에는 부족한 크기를 나타내었다. 따라서, 상전이 물질을 이용하여 제작한 코어-셸 캡슐의 내구성을 강하게 하려면 강도가 강한 물질이 셸을 이루도록 하거나, 캡슐의 크기를 나노미터 크기로 제작하여 힘의 분산성을 이용하여 압력에도 잘 견딜 수 있도록 하는 방법이 요구된다.

결론적으로, 현재의 기술에서 좀 더 나아가서 마이크로 입자보다 더 작은 크기 즉 나노단위의 고차구조 입자형태를 개발할 경우 상대적으로 높은 표면적에 의하여 열에 대한 민감성 및 열제어 효율성을 극대화할 수 있으며, 동시에 입자간의 상대적인 밀집도가 증가하여 총 열저장량을 증가시킬 수가 있다. 따라서 현재 시장을 점유하고 있는 마이크로 단위의 열저장소재를 대체할 나노 크기의 고차구조화된 유기 나노소재에 대한 연구가 시급히 요구된다. 상변이 물질로는 파라핀(paraffin), 지방산(fatty acid), 에스테르(ester), 옥타데칸(n-octadecane) 등의 유기화합물이 주목받고 있다. 하지만, 실제 적용 시에는 낮은 열전도율로 인해 외부의 열에 대한 응답속도가 떨어지는 단점이 있기 때문에 이를 보완하고자 열전도율이 높은 금속성 무기물이나, 기존에 파라핀이나 지방산에 그래파이트(graphite), 혹은 TEOS(tetraethoxysilane) 등의 유기물을 일정한 비율로 혼합, 개질하여 열전도율을 높일 수 있는 연구도 필요하다.

4.3 고효율화 열방출 나노구조의 정밀제어 기술

일반적으로 고분자 소재의 열전도도는 **그림 9**에서 보는 바와 같이 약 0.1~0.5 W/mK로 낮아서 단열·절연 재료로는 우수하지만, 열방출이 요구되는 분야에는 사용이 제한되고 있다.⁹

고분자의 열전도도(thermal conductivity)가 0.1~0.5 W/mK로 금속과 세라믹 소재보다 매우 낮은 이유는 고분자의 분자구조가 긴 사슬이 엉켜있는 모양을 하고 있어서 진동양자(phonon)에 의하여 에너지가 전달되는 열전달 과정에서 분산(scattering) 되기 때문이다.^{10,11}

현대 우리생활의 필수품인 휴대폰, PDA 등과 같은 모바일 통신기기의 소형화와 고기능화에 따라 이들 기기에 사용되는 부품도 소형화가 이루어지고 있다. 부품의 소형화 집적화에 따라 기기의 사용 시에 발생

하는 열은 기기의 신뢰성과 내구성에 큰 영향을 미치므로 열의 효율적인 방출에 관한 연구가 기술 선진국을 포함하여 전세계적으로 활발히 진행되고 있다.¹²⁻¹⁶

열전도성 고분자 소재는 **그림 10**과 같이 주변에서 받은 열을 그대로 갖고 있지 않고 분산시킴으로써 부품의 작동온도를 낮추므로 제품의 내구성을 향상시키고 수명을 연장시킬 수 있는 장점이 있다. 기존의 열전도성 고분자 소재는 많은 함량의 필러를 고분자 매트릭스 내에 첨가하여야 원하는 정도의 열전도도를 얻을 수 있으므로 고분자의 물성저하를 동반하는 문제가 있다. 이와 같은 문제를 극복하기 위해서는 소량의 나노필러를 사용하여 고분자의 기계적 물성저하 없이 열방출 특성을 제어하는 것이 요구된다.

열전도성 고분자 소재가 가장 많이 응용될 수 있는 분야는 LCD TV, PDP TV, 광디스크, 노트북 컴퓨터 등의 쿨링유닛 등이 있다.

한국의 대표적인 수출제품인 LCD TV나 PDP TV는 열을 많이 발산하기 때문에 부품 하나하나에 열이 축적되어 있을 경우 제품의 성능을 저하시킬 수 있고 부품의 집적도가 높은 TV 스크린의 상하좌우 끝부분에는 열로 인해 화면왜곡 현상이 발생할 수 있다. 특히, 디스플레이 분야는 기존의 CCFL 광원에서 박막화와 고휘도가 가능한 LED 광원으로 전환되기 때문에 프레임, 하우징, 소켓 부품 등에 고열방출성 고분자 소재의 적용이 필수적이다. 차세대 광원으로 사용되기 시작한 LED 백라이트는 광효율이 낮으므로, 광원으로 사용되지 않는 에너지는 모두 열

로 변하기 때문에 LED 백라이트의 최대단점은 발열문제이며 열에 강하고 열을 잘 방출하는 부품이 필수적으로 개발되어야 한다.

전기·전자 제품이 고집적화, 고성능화되면서 팬으로 열을 식히는 것으로 충분하지 않거나, 휴대전화나 휴대정보단말기 등에서는 무게와 부피가 큰 장치는 탑재할 수 없어 방열성이 우수한 소재에 대한 요구사항이 점차 증가하고 있으며 열을 분산, 제어할 수 있는 열방출성 고분자 소재는 곳곳에서 요구되고 있다. 또한, 열방출 소재는 열경화성 고분자를 사용하는 점착제 분야에 응용이 가능하며, 나노필러의 제조와 나노필러의 표면처리 및 분산기술이 핵심 기술이다. 고분자 기재 내에 열전도도가 높은 기능성 입자 또는 섬유의 3차원 모폴로지를 정밀 제어하는 기술은 방열특성과 기계적 물성이 우수한 고효율 열방출형 고분자 소재 개발의 핵심 요소이며, 미래의 전기·전자 산업과 자동차 산업의 핵심 소재 확보의 근간이 되므로 원천기술을 확보하기 위하여 반드시 추진되어야 한다.

고방열성, 열전도성 고분자에 대한 연구는 주로 미국, 일본을 중심으로 진행되고 있다. Coolpolymer, Sabic, Du Pont과 같은 외국 선진회사는 PPS, LCP와 같은 엔지니어링 플라스틱을 이용하여 연속사용온도가 높고 극한 환경 속에서 사용될 수 있는 열전도성 고분자를 개발하여 기존 금속분야로 인식되었던 부품들을 대체하고 있다. 열전도성 고분자에 관한 연구는 미국, 일본, 유럽을 주축으로 하여 출원특허의 90% 이상이 편중되어 있으며, 대부분 이들 국가에서 생산되고 있다(**표 3**). 열

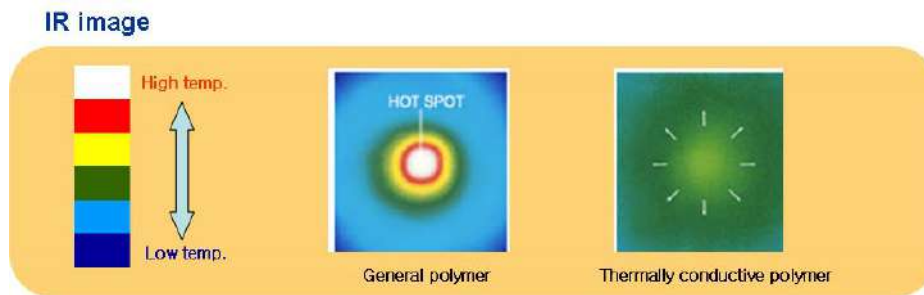


그림 10. 일반고분자와 열전도성 고분자와의 비교.

표 3. 고방열성 고분자 소재 주요특허

특허제목	국가	특허번호	주요청구항
Thermally conductive liquid crystalline polymer compositions and articles formed there from	미국	US0014876A1	A method of increasing the thermal conductivity of an article formed from a polymer composition comprising compounding metal particles having an average particle size.
Enhanced thermal conducting formulations	미국	US7462294B2	Thermal conductive products comprising: a first thermal conductor material having a particle size range of about 5 to 20 um; a second thermal conductor material having a particle size of about 0.5 to 10 um; a third thermal conductor material having a particle size range of about 0.05 to 2 um
Thermal conductive polymer molded article and method for producing the same	미국	US7189778B2	A thermal conductive polymer molded article formed by molding a thermotropic liquid crystalline composition comprised mainly of a thermotropic liquid crystalline polymer.
Thermally conductive sheet	미국	US6831031B2	A thermally conductive sheet comprising boron nitride powder as a first thermally conductive filler dispersed into a silicone rubber, wherein the boron nitride powder is hexagonal boron nitride (h-BN)
Thermally conductive resin molding, its manufacture and use fluorescent lamp	일본	JP2000108220A	熱伝導性フィラーを含有した、外力によって容易に変形する樹脂組成体からなり、連通孔を有してなるものであることを特徴とする熱伝導性樹脂組成体。熱伝導性フィラーがBN粒子を含み、樹脂がシリコンであることを特徴とする請求項1記載の熱伝導性樹脂組成体。
Thermally conductive resin composition structure and manufacture thereof and, thermal conductive board formed of the same and manufacture thereof	일본	JP2000353772A	無機質フィラー70~95重量%と、少なくとも未硬化態の熱硬化性樹脂を含有した樹脂組成物5~30重量%とからなる熱導樹脂組成物が、金板の一方側の主表面に被着して一化されていることを特とする熱導樹脂組成物構造

전도성 필러간의 분자간 상호작용을 높여 열전도성 필러간에 고효율 접촉을 실현함으로써 열전도율을 높이는 것이 대부분이다.

가장 기술이 앞서있는 회사는 Coolpolymer사로 motor bobbin, 열교환기 등에 사용되는 열전도도가 높은 고분자 소재를 생산하고 있다. Coolpolymer사는 열전도성 필러간의 분자간 상호작용을 높여 열전도율을 크게 향상시켜 steel(14 W/m·K)보다 높은 열전도성 고분자(22 W/m·K)를 개발한 것으로 알려져 있다.

Dow Corning사에서는 그리스(grease) 형태의 방열소재를 개발하여 방열구조체의 외부에 코팅하여 데스크탑 컴퓨터 및 그래픽 프로세서 등의 전자시스템에 적용하고 있으나, 그리스 단독으로는 방열구조체로서의 제조는 불가능하므로 방열소재의 주요시장인 디스플레이, 통신 및 전자부품에의 적용이 어려운 문제점이 있다.

Hyperion사에서는 카본나노튜브가 잘 분산된 플라스틱 제품을 마스터배치로 생산하여 이중 일부를 열전도분야의 응용을 추진 중이다.

일본의 국책연구소인 AIST에서는 8 W/mK의 시트 제품을 개발하여 전자업체와 적용을 시도하고 있는 것으로 알려져 있으며, Sumitomo사는 폴리페닐렌설파이드(PPS)를 기본 수지로 하는 열방출성 제품을 생산하고 있다.

열방출 나노구조 제어기술 분야에 특허를 출원하고 있는 기업으로는 Cool Options, Inc., POLYMATECH 등이 있으며 주요특허에 대하여 요약하면 표 3과 같다.

국내에서도 열방출 고분자 소재를 개발하기 위해 연구소와 대학을 중심으로 연구를 하고 있지만 대부분 많은 함량의 세라믹 필러를 사용하는 방법이며, 고분자의 열전도도는 크게 올라가지 않아 주목받지 못하고 있는 상황이다.

국내 수준은 미국, 일본에 비하여 초기단계에 있으며, 대기업을 중심으로 기존의 세라믹 필러를 PP, PBT와 같은 결정성 고분자에 다량 첨가하여 제품을 제조하여 하중을 받지 않는 김치 냉장고 및 에어컨 온풍기의 방열판 등 부품에 일부 적용하고 있다.

CNT와 나노와이어와 같은 나노필러는 고가이고 대량으로 구입하는 것이 어려우므로 현재 본격적으로 적용시키는데 문제점이 있으나 이 분야에 대한 본격적인 연구가 필요한 상태이다. 국책연구소 등에서 일부 연구를 카본나노튜브 등을 적용하고, 물성특성으로 열전도도를 측정하였으나 열전도도를 중점점으로 연구한 실적은 없으며, 현재는 중단된 상태이다.

4.4 열전화학소재의 나노기능화 및 복합화 기술

1980년대까지는 열을 이용한 에너지변환소자에 대한 연구는 이렇다할 진전을 보지 못하다가 1990년에 들어 미국의 정부지원 프로젝트가 추진되면서 본격적인 연구개발이 진행되고 있다. 지금까지 열전소자를 적용한 제품은 보조전원, 소규모 전자제품 가동 등에 일부 적용되고 있으나, 아직까지는 일상생활이나 산업적으로 널리 적용되고 있지는 못한 실정이다.¹⁷⁻²³

전 세계적으로 미래에너지 기술을 선점하기 위하여 다양한 화학소재를 에너지산업에 적용하는 연구가 진행 중이며, 그 중에서도, 열을 이용한 발전 기술은 무공해 재생에너지원이며, 소음이 없고, 환경을 거의 해치지 않으면서 에너지를 효율적으로 이용할 수 있는 장점을 가지기 때문에, 각종 산업폐열과 태양열 등의 자연에너지를 이용한 발전설비 기술이 시도되고 있다. 그러나 아직 산업용으로는 단가가 높고, 소자의 불안정성으로 인한 문제점을 안고 있다.

2000년대에 접어들면서 나노기술을 이용한 다양한 시도가 과학계

전반에서 이루어지면서, 기존의 반도체 재료를 이용한 열전소자의 나노화를 통해 그림 11과 같이 열전특성이 향상될 수 있다는 사실이 이론적, 실험적으로 활발히 논의되고 있으나, 소자의 모듈화에 따른 패키징 기술, 대면적화, 안정성 부분에서는 많이 부족하기에 구체적인 시장이 형성되지는 못하고 있다.²⁴ 열전소자에 관한 세계적 연구동향은 표 4, 5와 같다.^{18,19}

반도체재료를 이용한 열전소자에 관한 최근의 연구동향은 저차원 구조체, 초격자 결정구조를 갖는 박막, 나노선 구조체, 이중 복합체 구조 등 ZT 물성을 향상시키기 위한 새로운 개념의 열전반도체에 대한 것이 주류를 이루고 있다.²³

그러나 무기소재 기반 열전재료는 기계의 진동으로 인해 쉽게 파손되는 단점이 있으므로, 열전소자 응용가능성이 가장 큰 자동차 관련 소재 적용에 한계를 가지고 있다. 또한 무기소재 기반 열전재료의 다층박

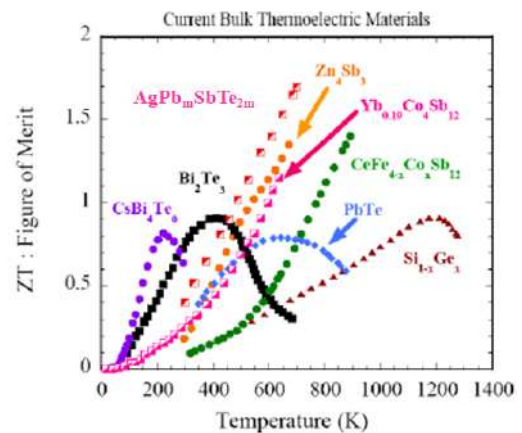


그림 11. 금속 및 세라믹계열 소재 관련 연구결과.

표 4. 선진국에서의 열전소자 관련 대표적 기술 개발

국가명	기술명	개발단계	개발 내용	개발주체
미국	신소재 열전소자 개발	개발 중	우주선용 열전소자 개발	NASA
미국	신소재 열전소자 개발	개발 중	일반 휘발유엔진에서 배기구로 손실되는 열에너지의 재활용 열전소자개발	CAL-TECH
일본	고성능 열전소재 개발	개발 중	전자 엔트로피 조절을 통한 열전소재의 고성능화	NEDO

표 5. 열전소자에 관한 연구동향

연도	개발내용
1980'	· 열전소재의 종류 · 벌크 열전소재의 제조 방법 · 열전냉각소자의 응용 기술에 관한 연구가 주류를 이루고 있음
1990'	· 열전소재의 개발 후 이를 응용하는 소자 분야의 특허가 서서히 도출되기 시작하였음 · 벌크형 열전재료를 통한 자동차 용품, 소형전자 부품의 온도제어 등에 상용화되면서 대형 자동차 메이커, 도시바를 비롯한 전자회사들의 연구가 집중됨
2000~2006	· 1990년대의 나노 구조체를 통한 열전성능 개선에 관한 특허가 출원된 이후 많은 응용연구가 도출되었음 · 고유가 시대에 접어들면서 자동차등의 폐열 회수를 목적으로 하는 열전발전소자에 관한 연구가 많은 부분을 점하고 있음 · 나노 구조의 열전 소재에 관한 많은 연구 중 이를 이용한 상용제품은 아직 없는 실정임

막 구조에는 금속/세라믹 소재의 복합계면이 많이 존재하기 때문에 전체 모듈의 효율을 감소시키는 원인이 되며 열전소자의 대면적화를 어렵게 하는 요인이 된다.

취성이 높고, 복합계면이 존재하는 값비싼 무기계 열전소자의 단점을 극복하기 위하여 최근 들어 유기계 재료를 이용한 열전소자에 관한 연구가 시도되고 있다. 유기소자 기반 열전재료는 낮은 비용으로 대면적 공정이 가능하며 유연성있는 소재로 인해 다양한 응용분야에 적용이 가능하다는 장점이 있다.^{25,26}

최근 들어 전도성 고분자, 반도체 필러 등을 이용한 몇몇 연구결과가 발표되고 있으나, 아직까지는 반도체 재료 열전소자의 물성에 비해 매우 낮은 성능($ZT < 0.001$)을 보이고 있으므로, 좀 더 폭넓은 유기재료에 대한 기반연구가 필요한 실정이다(표 6).

국내의 열을 이용한 에너지 소재산업은 극히 취약하며 체계적인 연구개발체제가 확립되지 못하였고, 다른 첨단소재산업과 마찬가지로 선진국의 기술 장벽이 매우 높은 실정이다.

그 동안 폐에너지를 활용한 발전소자에 대한 세라믹 소재 연구를 위하여, 몇몇 국가지원 과제가 진행되어 왔으며, 지식경제부의 지원하에 에너지관리공단 부설 에너지지원기술지원센터의 연구과제(1996년), 지식경제부 에너지관리공단 신재생에너지센터에서 지원한 ‘대체에너지를 이용한 열전발전 실증연구사업’(2004년), 한국전기연구원의 중장

기에너지기술개발사업(2008년) 등이 그 대표적인 예이다.

특히, 국내의 유기소재 기반 열전화학소재의 나노기능화 및 복합화 기술은 연구소 및 대학을 중심으로 초기태동단계에 있으며, 해당기술을 직접 개발하는 국내기업은 아직 찾아볼 수 없다. 하지만, 최근 국내 연구진들에 의해 보고되고 있는 고분자 소재 및 나노필러에 대한 우수한 나노기술을 이용한다면, 열전소자 분야에 뛰어난 개발효과를 보일 수 있을 것으로 예상된다.

4.5 열저항 조절을 위한 유기복합소재화 기술

현재 화석 에너지의 고갈전망에 따라 에너지에 대한 관심이 크게 주목받고 있으며, 신재생 에너지나 대체에너지 발굴과 같은 직접적인 에너지 활용기술에 대한 개발 노력도 장기적 안목을 가지고 추진이 필요하다. 에너지의 효율적 관리를 통한 자원절약으로 얻을 수 있는 부가치는 경제적, 산업적으로 직접적인 효과를 나타내기 때문에 정부의 저탄소, 녹색성장의 에너지 기술정책과도 일치하는 매우 중요한 분야가 된다. 에너지 관리를 위한 소재기술에 대한 파급 효과는 소재를 제공하여 발생하는 산업적 기여뿐만 아니라 국내에 사용되는 에너지 자체의 소비량을 줄일 수 있으므로 해외 에너지 의존도가 큰 우리에게는 이중적인 파급 효과를 기대할 수 있다. 그림 12와 같이 실제 한국에너지기술연구원에서 2006년 발표한 “주택, 건물부분의 에너지절약 동향분석”에²⁷ 따르면 여러 가지 에너지관련 신기술의 적용효과는 신재생에너지 개발

표 6. 유기계 열전소자에 관한 최근 연구동향

	References	Materials
Inorganic Material/ Organic Polymer	US005472519A	Poly-3-octylthiophene:Ferric Chloride = 2 : 1
	US005973050A	Metal nanoparticles in Conductive organic polymer matrix
	<i>Materials Letters</i> , 522 , 147 (2002).	Bi Sb Te polyaniline hybrids
	<i>J. of Solid State Chemistry</i> , 178 , 2163-2166 (2005).	Polyaniline/Bi ₂ Te ₃ nanowires
	<i>Phys. Rev. B</i> , 74 , 125205 (2006).	alkali metal doped perylene-3,4,9,10 tetracarboxylicdianhydride (PTCDA) thin films
	<i>J. Phys. Chem.</i> , C , 111 , 1840 (2007).	Al/PANI MIS Diode
	<i>Polym. Adv. Technol.</i> , 19 , 1876 (2008).	Polyaniline doped by boric acid
Polymer	<i>Synthetic Metals</i> , 158 , 1009 (2008).	Poly(3-octylthiophene)/ γ -Fe ₂ O ₃ nanocomposite
	<i>Synthetic Metals</i> , 156 , 1341 (2006).	Poly(2,5-dimethoxyphenylenevinylene) derivatives
	<i>J. Phys. Chem. B</i> , 111 , 7535 (2007).	Poly(1,12-bis(carbazolyl) Dodecane) Film
	<i>Chem. Mater.</i> , 19 , 2128 (2007).	Polycarbazole, Polyindolocarbazole, and Polydiindolocarbazole Derivatives
	Thermoelectrics, 2007. ICT 2007. 26th International Conference on Thermodynamics, pp.405, June 2007.	Polythiophene films
Polymer/ Polymer Composite	<i>Chem. Mater.</i> , 21 , 751 (2009).	Poly(2,7-carbazole) Derivatives
	US4488943	Polypyrrole/Polyethylene oxide or Polypyrrolene oxide
	US4510076	Acetylene polymer/styrene-isoprene-styrene
	US4929388	Polymer blend/Conductive additive
	US4935164	Dispersion of conductive polymers(polypyrrole) in thermoplastic polymers
	US5520849	Sheath-core composites
	US5552216	(meth)acrylate/anilinic conductive polymer/pjotoinitiator
	US6605236	Polypyrrole/Block copolymer Blend
	US7248461	Polypyrrole/Ionicpolymer
	US2002/0132905	Polypyrrole/Conductive additive
	US2004/0246650	Conductive polymer containing nanowires
	WO2006/001719A1	Electrospun fibers from PMMA, oxidant, pyrrole
	<i>Chin. Phys. Lett.</i> , 25 , 2202 (2008).	Poly(3,4-thylenedioxythiophene): Poly(styrenesulfonate)
	<i>Synthetic Metals</i> , 150 , 139 (2005).	Conducting polypyrrole fibres
	<i>J. Mater. Sci. Mater. Electron.</i> , 19 , 1079 (2008).	PAN-based carbon fiber composites
CNT Composite	<i>Scripta Materialia</i> , 54 , 77 (2006).	SWNT/ceramic nanocomposites
	<i>Polym. Adv. Technol.</i> , 19 , 905 (2008).	DWNT:polyaniline containing boron n-type organic semiconductors
	<i>Nano Lett.</i> , 8 , 2008 (2008).	CNT/PVAc composite
	<i>Carbon</i> , 47 , 589 (2009).	B-doped and N-doped MWCNTs



자료: Saint-Gobain

그림 12. 에너지 기술 분야별 적용효과(좌)와 유럽 저방사 유리 사용비율 변화(우).

에 따른 효과보다 건물의 창호 등 에너지 관리에 의한 직접적인 효과가 월등히 높다고 보고하였다. 고유가 시대에 직면하고 있는 현재의 상황에서 에너지 관리는 신성장 동력산업의 기반 구축에 필수적인 분야가 될 것으로 전망된다.

에너지 문제에 대해 일찍부터 대안을 마련해온 유럽에서는 1990~2000년대 초에 걸쳐 건축물의 효율적 에너지 관리를 저방사 유리가 적용되어 왔는데, 이는 열선 흡수기능을 갖는 sputter-coated glass를 복층으로 구성하고 중간층에 아르곤과 같은 불활성 가스를 채워 만들어진 단일 창호(저방사 유리/로이유리/low-E 유리)이다.^{28,29} 저방사 유리의 적용을 일찍부터 정부차원에서 제도적 장치를 통해 에너지의 효율적 관리를 위해 적용노력을 기울여 왔다. 2006년 기준으로 이미 유럽의 저방사 유리의 적용비율은 평균 40%를 넘었고, 특히 독일은 90% 이상, 오스트리아는 70% 이상을 도입하고 있다.³⁰ 가까운 일본과 중국에서도 각각 연평균 성장률이 40% 및 30% 수준에 이르는데 반해 한국은 3~5% 수준으로 에너지 관리 분야에 대한 정책이 매우 소홀했다는 단면을 볼 수 있었다. 최근 2009년 10월에 발표된 정부의 “그린하우스 시대” 정책에 의해 비로소 에너지 관리소재에 대한 중요성이 대두되었고, 정책에 의한 의무 적용 등에 힘입어 적용범위가 확대되고 신소재 부문도 성장할 수 있는 시점이 된 것으로 보인다.³¹ 언론을 통해 신규 주택들에 3중 유리창을 사용하고 창틀과 문틀의 공간을 메워 공기의 흐름을 차단하고 지붕이나 벽면에 태양광 전지가 설치되어 냉난방 요금을 절반 이상 줄인 사례들이 있고, 또한 사용량보다 많은 전기를 생산한 가구에서는 전력회사에 전기를 되파는 사례도 있어 이러한 에너지 절약형 건축물을 “그린 빌딩”이라는 용어로 분류하기도 한다.

다양한 형태의 열관리 소재가 존재하겠지만 본 소재원천 과제에서는 저방사 유리의 용도를 포함하여 열선차단 기능과 열전도도 저감 특성을 유기복합 소재를 이용하는 나노입자의 투명코팅 기술로 달성하고자 한다. 기본용도로 건축물의 외장재 및 자동차 window의 기능성 코팅을 포함하여 스마트 윈도우 등 다양한 IT 산업과도 연계되어 확대 가능한 플랫폼 기술로 개발하고자 한다. 소재의 기본적인 특징으로는 외부에서 유입되는 열선(Infrared)은 선택적으로 차단하고 가시광선(Visible)의 투과특성을 그대로 유지하여 여름철에는 냉방효율을 높이면서 밝고 쾌적한 실내를 유지하고, 겨울철에는 실내의 열손실을 최소화하여 효율적인 열관리가 될 수 있는 복합소재화 기술을 1차적인 목표로 한다. 본 기술과 관련이 있는 기존의 제품으로는 단순 tinted film 또는 glass에서부터 적외선 흡수색소를 첨가한 필름, 자동차용 열차단 필름 및 상기에 언급한 sputter-coated glass와 필름 등의 저방사 제품까지 범위로

볼 수 있으며, 현재까지 이들 제품들은 모두 성능적 한계가 있거나 고가적으로 인한 응용에 제약이 있고, 또한 장시간 외부 노출 시 원래의 특성을 잃어버리는 등의 내구성에 문제가 있어서 적용확대에 어려움이 있다. 이런 문제점을 극복하기 위해 전도성 입자복합체를 이용하여 ITO 또는 ATO 입자가 분산된 코팅 기술을 이용한 접착이 시도되기도 하였는데,³² 성능과 비용에 대한 한계가 여전히 존재하였고, 해외 선진사를 중심으로 내구성이 좋은 세라믹 입자를 이용한 졸-겔 코팅 공정을 하거나 굴절률이 다른 물질의 다층박막 필름을 형성하여 열선영역의 파장대를 선택적으로 차폐시키는 기술이 시도되고 있다(그림 13).

유기계 적외선 흡수체를 포함한 고분자 필름 분야는 국내의 LG화학, 제일모직, 코오롱 등의 대기업과 솔라메이트, 아이씨비, 나노윈도우 필름, 엔아이씨 등의 중소기업이 참여하고 있는데, 실제 국내 상업용 건물 및 고층 건물에 대해서는 주로 3 M, 후퍼옵틱, 루마 등 외산제품이 주로 적용되고 있는 실정이다. 적외선 흡수 색소를 이용한 기술은 열선차단 효율은 우수하지만 가시광 투과도 향상과 내구성 문제 그리고 대면적 코팅방법에 대한 추가적 연구가 필요하다. 유리에 사용되는 적외선 흡수용 착색제로는 니켈, 코발트, 철 등 전이금속산화물, 셀레늄 등이 사용되는 것으로 알려져 있다.

적외선 반사형 기술로는 열방사가 많은 할로젠 램프의 효율을 올리기 위한 것으로 증착 박막을 교대로 실시하여 에너지 효율을 10% 정도 향상시킨 예가 있는데^{33,34} 대면적 창호용으로 시도되기는 어려운 기술이고, 일본의 산업기술 종합연구소(AIST)에서는 산화티탄, 산화규소를 주원료로 하는 다층박막을 시도하여 가시광 투과율 82%, 열선 반사율은 50%인 열반사 유리를 개발하기도 하였다. 일본의 스미토모 3M(주)는 그림 14와 같이 다층박막 필름적층의 방식으로 유기 박막을 220층 이상 쌓아 82% 투과율과 90% 열선차단을 달성한 필름을 개발하였는데, 금속박막을 사용하지 않아 실내 전자기파류의 전파환경에 영향을 미치지 않는 장점이 있으나, 공정상 제조가 매우 어려워 고급 자동차에 일부 고가제품으로 적용되고 있고 손상에 대한 유지보수가 어려워 다량의 건축용으로 확대되기는 어렵고 내구성에도 문제가 있을 것으로 보인다.

온도에 따라 색이 발현되어 고온에서는 광을 자동으로 차단하는 방식의 접근으로 thermo-chromic(TC) 기술이 있는데,³⁵ 이는 약 10년 전부터 시도되어 온 기술이지만 현재까지 뚜렷한 성과는 얻지 못하고 있고, 최근 유럽계 Formglas사에서 SOLARDIM-ECO라는 제품으로 온도에 따라 투명도가 바뀌는 thermotropic nanocapsule을 이용한 유리가 개발되어 획기적 가변형 스마트 윈도우를 보여주고 있으나, 아직 저온에서 가시광선 투과도 효율 문제점을 안고 있다고 한다. 일본

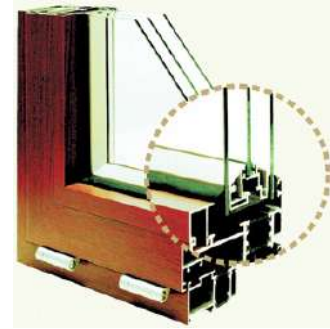
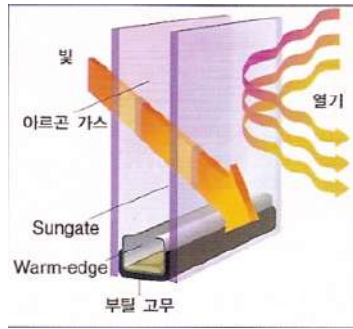
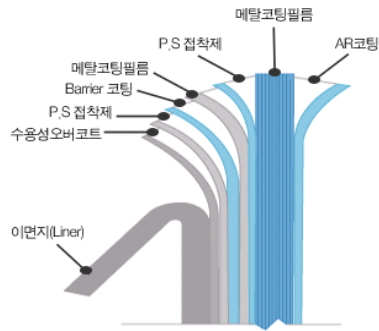


그림 13. 기존의 열선차단 기능을 위한 기술접근.

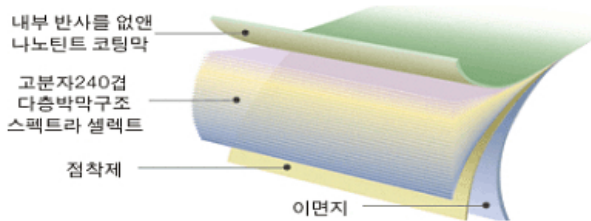


그림 14. 3M사의 적외선 반사형 필름기술.

의 AIST에서도 일본판유리사와 공동으로 기술을 개발하고 있는 것으로 알려져 있는데, 오랜 노하우로 가시광 투과효율 향상과 공정에 대한 기술을 보유하고 있어 최근에 상업화를 위한 부분과 특성개선 및 저가 격화를 위한 연구를 진행하고 있다고 알려져 있다.

상기와 같이 열저항 조절 기술은 약간의 응용으로 스마트 윈도우 분야에 확대적용이 가능한데, 스마트 윈도우 관련해서는 미국의 RFI사에서 SPD원천기술로 electro-chromic(EC) 물질을 이용하는 기술과 차별화하여 SPD 특허권 사용회사별로 다양한 제품을 출시하였고, Saint Gobain사에서는 EC, PDLC 기술을 보유하고 유럽지역을 중심으로 high-end 자동차 시장을 우선 진입하고 빌딩시장의 확대를 위해 준비하고 있다. 특히 SAGE사에서는 기존 EC 기술의 스마트 윈도우용 건축용 제품을 최초 양산하여 에너지 절약형 기술을 제공하고 있으며, home solution 시장과 Intelligent 빌딩시장에 점진적으로 참여하고 있고, 그 외에도 해외의 다양한 선진기업 및 연구소에서 기술개발을 시도하고 있는 상황으로 열저항 조절기능의 스마트 윈도우와 같은 새로운 시장의 개발도 기대된다.

저방사 유리는 1980년대 스퍼터 기술이 정립되면서 2000년대까지 단일 Ag막을 적용한 싱글로이 제품이 유통되었다. 최근 Ag막을 복수로 적용시켜 다층박막간의 간섭현상에 의해 고투과율은 유지하면서 다양한 색상구현 및 단열성능 극대화와 태양광 차폐성능 등의 복합기능을 요구하는 시장의 수요에 따라 더블 로이유리가 영역을 확대하고 있다. 대표적 기업으로는 미국의 PPG사와 프랑스의 SGG, 일본의 Kaneka 등이 있으며, 더블 로이유리의 코팅막 두께와 구성은 제조사마다 다르지만 대개 100~200 nm 정도이며, 약 7~10층 정도로 구성된다. 한편 열관류율 기준으로 1.5 W/m²K의 초단열 슈퍼윈도우 기술 개발도 진행하고 있는데, 주로 이중, 삼중창의 구조와 기밀성으로 접근하고 있어 단순 열저항 증가만으로는 한계가 있으며, 현장 적용성과 경제성 측면에서 상용화가 어려운 실정이다.

에너지 효율이 높은 건축용 재료는 현재 가격이 비싸 보급에 애로를 겪고 있어 상대적으로 낙후된 주택 부문의 에너지 효율을 높이기 위

한 각국 정부의 정책적 지원이 예상되어 다양한 종류의 제품이 시장에 선을 보일 것으로 전망되는데, 특히, 태양열선 제어가 가능한 기능성 유기소재 중 자동차 및 건축용 투명 플라스틱 소재는 현재 SABIC Innovative Plastics(GE Plastics)의 LEXAN Exell*D Solar Control IR Sheet가 독점하고 있으나 박막이 아닌 후막소재로 되어있다.

그 외의 접근으로 미국, 유럽, 일본에서 전도성 고분자 물질과 도핑 정도에 따라 전도도를 제어하는 방법으로³⁶ 섬유나 시트에 전도물질을 도포하는 방법으로 전자와 차폐 연구 등이 알려져 있다. 상기와 같이 다양한 방법으로 열저항 소재에 대한 접근을 하고 있지만 모두 각각의 제약을 가지고 있어 추가적인 개발 노력이 더 필요한 실정이라 하겠다. 특히 내구성에 대해서는 이미 관련 연구자들은 세라믹계 나노복합소재를 해결안으로 제안하고 있는데, 유기 복합체를 이용한 적외선 스텔스 분야에서 무기체계 표면에 적외선 흡수 코팅으로 적외선 강도를 10% 이하로 낮추는 물질이 개발된 예가 있긴 하지만 유리창과 같은 일반적인 용도에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 주로 해외의 선진 기업에 의해 연구가 진행되어 공개적인 문헌상으로 보고된 사례는 많지 않다. 일본의 크리스탈본드사에서는 나노 졸-겔 기술을 이용한 윈도우용 하드코팅제를 상온 처리로 고체변환이 가능한 기술로 개발하여 80% 수준의 가시광 투과율과 90% 정도의 열선차단율을 나타내는 것으로 알려져 있다. 본 과제에서도 내구성에 강한 세라믹계 열저항성 나노입자로 Perovskite 산화물에³⁷ 대한 연구를 진행하고 있는데, 졸-겔 기술이 아닌 기능성 나노입자의 유기복합 소재화 기술로 달성하고자 접근하고 있다. 기능성 입자를 통해 적외선 흡수성의 복사열 차단 기능과 동시에 복합체를 이용한 열전달 경로를 연장하여 전도열을 낮추는 방법을 통해 요구하는 특성 및 내구성을 동시에 만족하는 소재로 합성하고자 시도하고 있다. 본 과제에서 추진하는 연구의 대략적 접근방법을 그림 15에 나타내었다.

한정된 에너지를 사용해야 하는 환경에서는 언젠가는 에너지에 대한 대응이 필요한 상황이 반드시 온다는 것을 누구나 예상할 수 있다. 대체에너지가 완벽하게 개발되기 전까지는 에너지를 효율적으로 관리하는 시대적 요구가 필수 과정이 될 것이다. 최근에 저방사 유리가 최근의 현대식 대형 빌딩에서부터 고급 주택 창호에 이르기까지 투광형 건축용 내외장재로 수요가 급증하는 것이 예가 될 것이다. 그 중요성은 향후 더욱 증폭될 것으로 예상된다. 본 기술의 유기복합소재는 상기 기술에 대응할 수 있는 원천기술로 산업적 대응 및 에너지 관리에 파급효과가 크게 기대되고, 향후 도래할 printable electronics와 solar cell, display 등 다른 IT 분야와 연관성이 매우 깊은 플랫폼 성격의 기술로 산업과 연계하여 국내기술 개발이 꼭 필요한 것으로 전망된다.

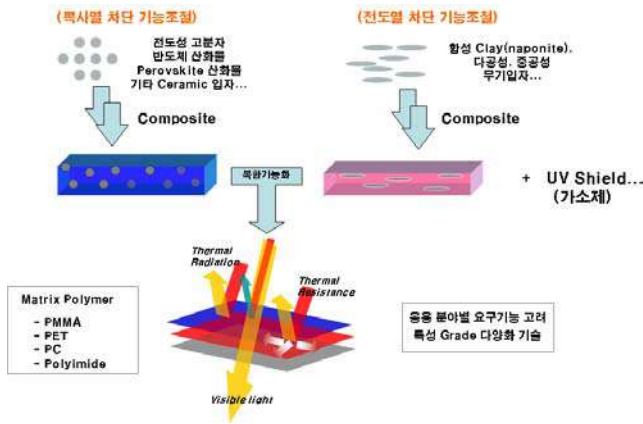


그림 15. 열저항 기능성 나노입자를 이용한 유기복합화 기술.

5. 결론

유기소재의 나노구조 조절을 통한 다양한 열특성 제어기술의 연구는 고분자, 정밀화학소재 등 유기소재의 열저장, 열방출, 열변환, 열저항 등의 열적 특성 제어에 필요한 유기소재합성, 열기능 나노입자 제조, 모폴로지 구조제어, 나노입자 분산제어 기술 등과 같은 원천기술의 축적이 가능한 분야이다.

본 연구를 성공적으로 수행한다면 첨단산업 분야에서 요구되는 핵심 고기능 고분자 재료의 국내 개발 능력을 확보할 수 있다. 국내에서 개발된 열특성 제어가 가능한 신소재를 반도체, 전기·전자, 디스플레이 등 첨단산업에 적용함으로써 관련 산업의 기술발전을 가속화하여, 기술 선진국으로의 도약을 가능하게 할 것이다. 또한, 우리나라 경제성장의 걸림돌인 핵심 소재의 안정적인 대일무역 적자를 극복하는 데 일조할 것으로 기대한다.

감사의 글: 본 연구는 2009년 6월부터 지식경제부 소재원천기술 개발사업(과제번호: K0006005)의 연구비 지원으로 수행중이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Z. Dong, Z. Jianming, W. Keru, and L. Zongjin, *Solar Energy*, **78**, 471 (2005).
2. P. Charunyakorn, S. Sengupta, and S. K. Roy, *Int. J. Heat Mass Transfer*, **34**, 819 (1991).
3. P. Schossig, H. M. Henning, T. Haussman, and A. Raicu, "Encapsulated Phase-Change Materials Integrated into Construction Materials", *Proceedings of the 9th International Conference on Thermal Energy Storage -Futurestock'2003*, Warsaw, Poland, 2003.
4. J. Marcos, O. Zubillaga, L. F. Cabeza, M. Nogués, J. Roca, and P. Alonso, "First results on the development of smart microencapsulated organic PCMs to be applied on concrete", *Proceedings of the 9th International Conference on Thermal Energy Storage -Futurestock'2003*, Warsaw, Poland, 2003.

5. M. N. Hawlader, M. S. Uddin, and M. M. Khin, "Microencapsulated phase change materials", *Proceedings of the 9th APCCHE Congress and CHEMECA2002*, Christchurch, New Zealand, 2002.
6. H. Zhang and X. Wang, *Sol. Energy. Mat. Sol. Cell.*, **93**, 1366 (2009).
7. B. Boh, E. Knez, and M. Staresinic, *J. Microencapsul.*, **22**, 715 (2005).
8. F. Yu, Z. H. Chen, and X. R. Zeng, *Colloid Polym. Sci.*, **287**, 549 (2009).
9. A. S. Luyt, J. A. Molefi, and H. Krump, *Polym. Degrad. Stabil.*, **91**, 1629 (2006).
10. Y. Xu, D. D. L. Chung, and C. Mroz, *Composites Part A*, **32**, 1749 (2001).
11. P. Dashora and G. Gupta, *Polymer*, **37**, 231 (1996).
12. 이현상, 박경모, 황덕근, 이주형, 금중구, 대한민국특허 10-0450229 (2004).
13. 채경명, 강세창, 황승석, 박성찬, 대한민국특허 20-0339260 (2004).
14. S. R. Kim, D. H. Kim, D. J. Kim, M. H. Kim, and J. M. Park, *Solid State Phenomena*, **124**, 1079 (2007).
15. R. K. Goyal, Y. S. Negi, and A. N. Tiwari, *Eur. Polym. J.*, **41**, 2034 (2005).
16. S. Agarwal, M. M. K. Khan, and R. K. Gupta, *Polym. Eng. Sci.*, **48**, 2474 (2008).
17. J. Yang, GM R&D Center, APS March Meeting (2008).
18. MRS Bulletin TE Theme, March (2006).
19. 에너지 변환용 나노소재 기술, 특허조사분석 보고서 (2006).
20. 고효율 열전소재 기술, 전자통신동향분석 (2008).
21. H. Kawamoto, *R&D trends in high efficiency thermoelectric conversion materials for waste heat recovery*, Quarterly review, 2009.
22. D. M. Rowe, *CRC Handbook of Thermoelectrics*, CRC Press, 1995.
23. C. B. Vining, *Nature*, **413**, 577 (2001).
24. G. J. Snyder and E. S. Tobberer, *Nature Materials*, **7**, 105 (2008).
25. N. Toshima, *Macromol. Symp.*, **186**, 81 (2002).
26. C. Yu, Y. S. Kim, D. Kim, and J. C. Grunlan, *Nano Letters*, **8**, 4428 (2008).
27. "주택, 건물부분의 에너지절약 동향분석", 한국에너지기술연구원 (2006).
28. "로이유리 보고서", 한국건설연구원 (2004).
29. "열교차단 스페이서가 설치된 고성능 복층유리", 대림기술정보 (2003).
30. "Pilkington and the flat glass industry 2009", Pilkington, NSG Group Flat Glass Business (2009).
31. "건축물 에너지절약 설계기준", 국토해양부, 제2008-652호.
32. "ATO 나노입자/NIR 흡수 색소 hybrid를 이용한 고투명성 적외선 차단필름 개발", 산업자원부 에너지관리공단 (2008).
33. "적외선반사막을 이용한 고효율 할로겐램프 개발", 산업자원부 에너지관리공단 (1999).
34. L. Berezhinsky, K.-H. Kwon, and B.-S. Park, *Jpn. J. Appl. Phys. Part 1*, **40**, 5953 (2001).
35. J. Shia, S. Zhoua, and L. Wu, *Sol. Energy. Mat. Sol. Cell.*, **91**, 1856 (2007).
36. S. Timpanaro, M. Kemerink, F. J. Touwslager, M. M. De Kok, and S. Schrader, *Chem. Phys. Lett.*, **394**, 339 (2004).
37. F. Cora, M. G. Stachiotti, and C. R. A. Catlow, *J. Phys. Chem. B*, **101**, 3945 (1997).