

보도일시	2024. 8. 13.(화) / 배포 즉시
문의	연구단장/연구책임자 기계공학부 고승환 교수(02-880-7114) / 공동 교신저자
	연구단/연구진 정영주 (02-880-1681) / 단독 제1저자

■ 제목/부제

제목	기계공학부 고승환 교수 연구팀, 전력 소비 없이 실내 온도 낮추고 빛방울로 전력 생산하는 다기능 스마트 창문 개발 Development of Multifunctional Smart Window Technology for Achieving Beyond Zero Energy to Plus Energy
부제	<ul style="list-style-type: none">- 지구 온난화 대응해 제로 에너지 넘은 플러스 에너지 기술 구현- 투명 복사 냉각, 자가 전력 생산, 성에 제거 히터 등 다양한 기술 접목- Development of transparent radiative cooling technology to lower indoor temperatures without air conditioning on sunny days (Zero Energy Technology)- Development of technology to generate electricity using raindrops on rainy days (Plus Energy Technology)- Development of transparent heater technology for quickly clearing frosted windows on cold days

■ 요약

연구 필요성	최근 지구 온난화로 인해 냉방 수요가 크게 증가하며, 건물 내부의 열 관리에 막대한 에너지가 소비되고 있습니다. 특히 태양광 흡수율은 높고 반사광은 적은 기존 창문은 상당한 에너지 손실을 초래합니다. 따라서 에너지 절감 창문이 기후 변화 대응과 에너지 지속 가능성 확보라는 세계적 과제에 대한 현실적 해결책 으로 부상 중입니다. 이러한 창문은 거주자에게 최적의 열적 안락함을 제공할 뿐 아니라 기존 냉방 시스템에 대한 의존도를 줄여 경제 발전에도 기여하기 때문입니다. 이처럼 건물의 창문이 실질적으로 에너지를 절감하려면 에너지 효율적인 냉각 기술(Zero Energy), 나아가 지속 가능한 전력 공급을 보장하는 에너지 수확 방법(Plus Energy)을 반드시 갖추어야 할 필요성이 있습니다. 또한 창문은 춥거나 안개
-----------	---

	끼는 날에도 창문 본연의 기능인 높은 투과성을 유지할 수 있어야 합니다.
연구성과/ 기대효과	<p>본 연구에서 개발한 다기능 스마트 윈도우는 세 가지 주요 기능을 구현하여 차세대 에너지 절감 디바이스로서의 효용성을 입증합니다.</p> <p>첫째, 화창한 날에는 에너지를 주입하지 않고도 실내 온도를 낮추는 복사 냉각 기능을 제공합니다. 둘째, 비 오는 날에는 빗방울을 이용하여 전력을 생산하는 기능을 갖추고 있습니다. 셋째, 추운 날에는 유리창의 성에를 신속하게 제거하는 투명히터 기능을 구현합니다.</p>
Abstract	<p>Professor Seung Hwan Ko's research team from the Department of Mechanical Engineering at SNU has developed energy-saving smart window for multimode of radiative cooling, energy harvesting, and defrosting functionalities, thereby presenting potential application for zero-plus energy technology.</p> <p>This study presents an energy-saving window that integrates the multi-mode of radiative cooling, droplet-based electricity generator, and defrosting/defogging functionalities with an all-in-one device architecture. Constructed with fluorinated ethylene propylene film and indium tin oxide (ITO)/Ag/ITO layers, the window exhibits a transmittance of 0.652 in the visible spectrum, a reflectance of 0.474 in the near-infrared spectrum, and a long wave infrared emittance of 0.972. This transparent radiative cooler effectively reduces temperatures by 5.2 °C on average, compared to the bare glass. Beyond its energy-saving cooling performance, the smart window also serves as a droplet-based electricity generator, producing an impressive instantaneous power of 8.3 W m⁻² when impacted by a single water droplet. Besides, in the presence of fog or frost that impairs the visibility of the smart window, the device can switch to the heater mode and improve the visibility by defogging or defrosting. Lastly, this work examines the practical usage of all multi-modes by incorporating the smart window into the scaled-down model house. In this regard, we expect that this work will not only serve as valuable assets for the technological advancement of the academic study field but also make a significant contribution to energy-saving strategies in real-life situations.</p>
Journal Link	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211285524007547

■ 본문

□ 성과 개요

○ 서울대학교 공과대학 기계공학부 응용 나노 및 열공학 연구실 고승환 교수 연구팀은 전력 소비 없이 실내 온도를 낮추고 빗방울의 마찰 전기를 활용해 전력도 생산하는 ‘다기능 스마트 창문 기술’을 개발했다. 이번 연구는 지구 온난화에 대응하기 위해 제로 에너지(Zero Energy)를 넘어선 차세대 플러스 에너지(Plus Energy) 기술을 구현하고, 에너지 자립률 향상에 기여할 새로운 가능성을 개척했다는 점에서 의미가 깊다.

□ 연구 배경

○ 최근 제로 에너지를 넘어선 플러스 에너지 빌딩(Plus Energy Building, PEB) 구현이 건축물 에너지 자립의 중요한 과제로 떠오르고 있다. 차세대 플러스 에너지 빌딩은 에너지 부하를 최소화하는 데에서 더 나아가 자발적으로 에너지를 생산할 수 있는 건물을 의미한다. 건물은 기본적으로 내부의 열 관리에 막대한 에너지를 소비하기 마련이며 최근 지구 온난화로 냉방 수요가 증가하면서 에너지 사용량이 더욱 급증하고 있다. 더욱 태양광 흡수율은 높고 반사광은 적은 기존 창문으로 인해 냉방 시 막대한 양의 에너지가 손실되고 있는 실정이다. 따라서 경제적 효율성을 갖춘 차세대 플러스 에너지 빌딩을 구현하려면 먼저 에너지를 절약하는 투명 냉각 기술(제로에너지 기반)은 물론, 나아가 지속 가능한 전력 공급을 보장하고 자가 발전이 가능한 기술(플러스에너지 기반)을 갖춘 다기능 스마트 윈도우의 개발이 이뤄져야 한다.

○ 위 문제를 해결하기 위해, 국내외 유수의 연구진들은 에너지 절약을 극대화할 수 있는 스마트 윈도우 개발에 주목하고 있다. 흔히 스마트 윈도우라고 하면, 창문의 색깔이 바뀌어 내부 온도를 조절하는 창문을 떠올리기 쉽다. 그러나 이러한 창문은 색깔을 변경하여 태양광의 세기를 조절하는 방식으로 냉각 기능을 구현하다 보니, 냉각되는 동안에는 정작 창문이 본연의 기능인 높은 투과도를 유지하지 못하고 불투명한 상태로 변한다는 한계점을 지닌다.

□ 핵심 연구 방법

○ 연구진들은 에너지 효율성을 높이면서도 창문의 투명도를 손상시키지 않는 새로운 기술 개발에 박차를 가하고 있다. 이러한 노력의 일환으로 고승환 교수 연구팀은 투명도를 유지하면서도 전기를 쓰지 않는 냉각 기술을 구현하는 제로 에너지 기반 ‘투명 복사 냉각 기술’을 개발했다. 뿐만 아니라, 떨어지는 물방울이 창문과 맞닿는 순간 발생하는 마찰 전기를 이용하여 전력을 생산하는 자가 발전 기술도 개발하여 제로 에너지를 넘은 플러스 에너지 기반 스마트 윈도우 기술을 선보였다. 또한 습거나 안개가 많이 끼는 날 창문에 끼는 성예를 신속하게 말끔히 제거하는 투명 히터 기술

도 개발함으로써 복사 냉각, 전력 생산, 성에 및 서리 제거의 세 가지 기능을 하나의 소자로 동시에 구현하는 스마트 윈도우 기술을 세계 최초로 제시했다.

○ 연구팀은 우수한 전기 전도성 및 독특한 광학적 특성을 지닌 은과 ITO(Indium Tin Oxide, 인듐 주석 산화물)의 적층 구조로 이뤄진 창을 제작하여 아래 세 가지 기능을 하나의 소자로 구현할 수 있었다.

먼저 ‘투명 복사 냉각 기술’은 실내로 들어오는 태양광의 흡수는 최소화하는 반면, 복사열은 외부로 방출함으로써 온도를 낮추는 기술이다. 이 복사 냉각 기술은 냉매를 사용하는 기존 에어컨과는 달리 별도의 전기 에너지 소비 없이도 냉각 성능을 구현할 수 있다는 장점이 있다. 특히 연구팀은 내리쬐는 태양광 중 우리 눈에 보이는 가시광선 영역만 창을 통과시키고, 근적외선 영역의 태양광은 선택적으로 반사시킴으로써 실내 온도를 낮추고 냉각 기능을 극대화하는 데 주안점을 뒀다.

두 번째로 ‘마찰 전기를 이용한 전력 생산 기술’은 비 오는 날 빗방울이 창문과 맞닿을 때 발생하는 마찰 전기를 통해 전력을 생산하는 기술이다. 이때 전기를 수확하기 위해서는 창문 전면의 전극 물질이 필요한데, 은과 ITO의 적층 구조가 지닌 뛰어난 전기 전도성 덕분에 스마트 윈도우는 마찰 전기를 이용해 자가 발전할 수 있다.

마지막으로 연구팀은 이 투명 전극을 통한 ‘줄 발열에 의한 히터 기능’으로 추운 날 창문에 끼는 성에나 서리를 신속히 제거해 명확한 가시성을 확보하는 기술도 개발했다.

이처럼 연구팀이 개발한 다기능 스마트 윈도우는 화창한 날에는 투명 복사 냉각 기술, 비 오는 날에는 전력 생산 기술, 추운 날에는 성에 및 서리 제거 기술을 실현할 수 있다.

□ 연구 결과

○ 고승환 교수 연구팀은 이번 연구를 통해 개발한 스마트 윈도우가 실제 태양 빛이 내리쬐는 뜨거운 환경에서 일반 창문에 비해 대략 7도가 낮은 온도를 유지하는 것을 확인했다. 또한 비가 내리는 환경을 모사한 실험에서 스마트 윈도우는 단 하나의 물방울로 8.3 W m⁻²의 전력을 생산하는 동시에 줄 발열을 통해 일반 창문 대비 대략 2배 빠른 속도로 성에를 제거하는 등 성능과 다기능성 모두에서 뛰어난 결과를 보였다.

□ 기대 효과

○ 고승환 교수는 “화석연료 고갈과 지구 온난화에 대응하는 ESG 실천에 최적화된 차세대 스마트 윈도우 기술을 제시한 이번 성과가 향후 플러스 에너지 기술 기반 건물 및 친환경 전기차 산업 분야의 기술 발전에 귀중한 통찰력을 제공하리라 기대한다”며 “특히 스마트 윈도우는 환경 오염을 해결하고 냉방 에너지를 저감할 뿐 아니라 자가 전력 생산 기술을 통해 기존 배터리 기술의 한계도 극복했기 때문에 다양한 산업 분야에 활용될 것으로 예상된다”고 밝혔다.

□ 성과 정보

o 한편, 본 연구에 주저자로 참여한 정영주 박사는 현재 서울대학교 기계공학부 고승환 교수 연구실에서 후속 연구를 진행하고 있으며, 향후 해외로의 박사 후 연구원 연수 과정을 준비하고 있다. 이번 연구는 한국연구재단의 기초지원사업 중견연구자지원사업 및 세종과학펠로우십의 지원을 받았으며, 세계적으로 주목을 받아 물리학 분야 저명 학술지인 ‘Nano Energy’ 저널 (Impact factor: 16.8, 상위 5.3%) 2024년 10월호에 게재되었다. (논문 제목: Energy-saving window for versatile multimode of radiative cooling, energy harvesting, and defrosting functionalities)

□ 연구 결과

※ 연구성과에 대한 개괄적인 내용 서술

Energy-saving window for versatile multimode of radiative cooling, energy harvesting, and defrosting functionalities

Yeongju Jung, Ji-Seok Kim, Junhyuk Bang, Seok Hwan Choi, Kangkyu Kwon, Min Jae Lee, Il-Kwon Oh, Jaeman Song, Jinwoo Lee*, and Seung Hwan Ko*

(Nano Energy, *published*)

건물은 주로 열 관리에 막대한 에너지를 소비하며, 특히 창문을 통한 에너지 손실이 상당합니다. 지구 온난화로 인해 냉방에 대한 수요가 더욱 증가하는 상황에서, 이러한 글로벌 에너지 문제를 해결하기 위해 에너지 절감 창문이 중요한 해결책으로 부각되고 있습니다. 본 연구에서는 복사 냉각, 전력 생산, 그리고 안개 및 서리 제거 기능을 갖춘 다기능 스마트 윈도우를 개발했습니다. 세계 최초로 하나의 소자에 세 가지 기능을 구현한 이 다기능 에너지 절감 스마트 윈도우는 차세대 플러스 에너지 산업 분야에 적용될 수 있는 가능성을 제시합니다.

