

보도일시	즉시보도
문의	담당자: 양세준(02-880-4630)
	연구단장/연구책임자 이기훈 교수(02-880-4625) / 교신저자
	연구단/연구진 양세준 연구원(02-880-4630) / 제1저자

■ 제목/부제

제목	국문	실크의 인공방사를 위한 생체모사 친환경 공정 개발
----	----	-----------------------------

■ 요약

연구 필요성	<p>자연의 실크 방사 과정은 매우 에너지 효율적이고 친환경적이라는 점에서 지속 가능 사회에 요구되는 섬유 방사 과정이다. 그러나 누에가 합성하는 단백질인 실크 피브로인이 섬유로 형성되는 과정은 아직 완벽하게 밝혀지지 않아 자연의 과정을 모방하는 것이 어려웠다. 이 연구는 누에 실크 방사 환경을 모사하여 새로운 인공 실크 생산 방식을 제시한다.</p>
연구성과/ 기대효과	<p>연구팀은 누에 실샘 내에 가장 풍부한 칼슘 이온이 실크 피브로인의 액체-액체 상분리를 유도한다는 것을 발견하였다. 이러한 상분리 상태에서 실크 피브로인은 농축되며, 산성 조건과 전단력에 노출되었을 때 섬유화가 가능하였는데, 이는 누에 실샘에서 일어나는 현상과 유사하다. 나아가 연구팀은 비교적 낮은 농도의 수용성 실크 피브로인 용액과 최소한의 전단력만을 사용하는 건식 방사 공정을 개발하였다. 이 방식은 기존의 과농축된 용액이나 강한 용매를 요구하는 기존의 인공 실크 방사 방식과 달리, 친환경적이고 에너지 효율적인 실크 섬유 생산 방법을 제안한다.</p>
Abstract	<p>Professor Ki Hoon Lee's research team from the Department of Agriculture, Forestry, and Bioresources at SNU developed a biomimetic spinning process by leveraging silk fibroin's liquid-liquid phase separation, followed by acidification and shear force to produce fibers.</p>
	<p>Many studies have tried to comprehend and replicate the natural silk spinning process due to its energy-efficient and eco-friendly process. In contrast to the</p>

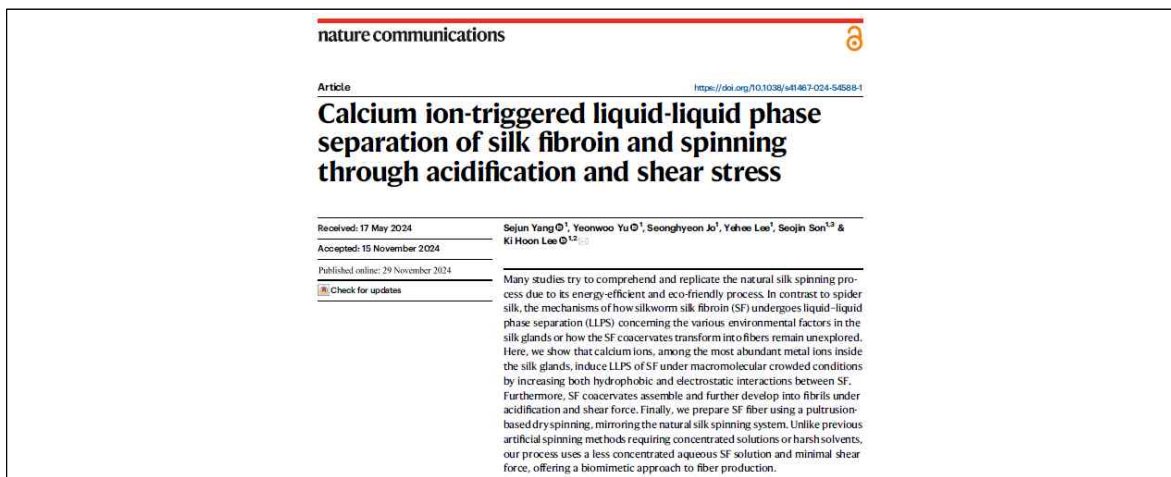
	<p>spider silk, the mechanisms of how silkworm silk fibroin (SF) undergoes liquid–liquid phase separation (LLPS) concerning the various environmental factors in the silk glands or how the SF coacervates transform into fibers remain unexplored. Here, we show that calcium ions, among the most abundant metal ions inside the silk glands, induce LLPS of SF under macromolecular crowded conditions by increasing both hydrophobic and electrostatic interactions between SF. Furthermore, SF coacervates assembled and further developed into fibrils under acidification and shear force. Finally, we prepared SF fibers using a pultrusion-based dry spinning mirroring the natural silk spinning system. Unlike previous artificial spinning methods requiring concentrated solutions or harsh solvents, our process uses a less concentrated aqueous SF solution and minimal shear force, offering a biomimetic approach to fiber production.</p>
<p>Journal Link</p>	<p>https://doi.org/10.1038/s41467-024-54588-1</p>

■ 본문

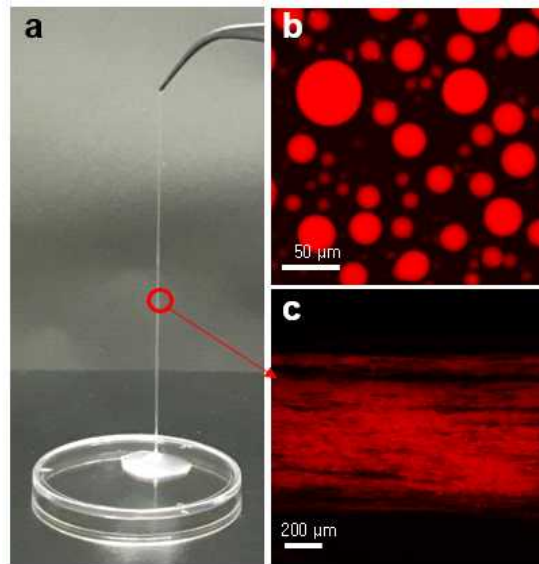
<p>□ 실크 방사 공정 이해의 필요성</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 최근 친환경 공정이 중요하게 여겨짐에 따라 많은 에너지와 유기용매를 소모하는 합성 섬유 제조 공정이 온실가스 배출과 환경오염 등의 원인으로 지목되고 있다. 누에와 거미는 최소한의 에너지와 단지 물을 용매로 하여 섬유를 생산하는데, 이 과정을 모방하여 친환경 공정을 수립하려는 노력이 진행 중이다. ○ 소재의 측면에서도 누에와 거미가 생산하는 실크 섬유는 우수한 강도를 지니고 있어, 한 때 합성 섬유의 모델로서 역할을 하였다. 특히 거미의 경우 방탄복 소재로 활용 가능한 합성섬유인 케블라에 상응하는 강도를 갖는다. ○ 따라서 누에나 거미가 친환경 공정을 통하여 우수한 강도를 갖는 섬유를 생산하는 방사 공정을 이해하고 이를 모방하려는 시도가 학계에서는 꾸준히 이루어져 왔다. <p>□ 액체-액체 상분리와 산성화 그리고 전단력으로 인공 실크 방사 성공</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 누에나 거미의 방사 공정을 이해하는 데 가장 큰 어려움은 단백질로 이루어진 고농도의 실크 원액을 안정하게 유지하면서도, 방사 순간에는 우수한 물성을 갖는 구조로 변화시키는 과정을 이해하는 것이다. ○ 서울대학교 바이오소재공학 전공 이기훈 교수팀은 누에 실샘 내에서 일어나는 특이적 조건을 활용하여 인공 실크 방사에 성공하였다.
--

- 먼저, 연구진은 기존 알츠하이머병의 원인으로 생각되는 아밀로이드 베타 단백질의 섬유화 연구 등에서 활용되는 액체-액체 상분리 현상을 실크 단백질에 적용하였다.
- 액체-액체 상분리 현상은 액체 상태의 두 물질이 분리되어, 한 물질은 응축된 상태를 구성하고 다른 하나는 희박한 상태를 유지하는 현상이다. 이때 응축된 상태를 구성하는 물질은 유동성을 가지나 쉽게 구조전이가 일어날 수 있는 상태에 놓이게 된다.
- 연구진은 누에 실샘 내에서 다량으로 존재하는 칼슘이온이 실크 단백질을 응축된 상태로 상분리시킬 수 있다는 점을 발견하였다. 이 상태에서 실크 단백질은 6배 이상 농축되었으나 여전히 유동성을 유지하여, 기존 연구에서 발생했던 비가역적 침전 등의 문제를 해결하였다.
- 나아가 연구진은 누에 실샘 내의 환경과 유사하게 산성화를 유도하였고, 그 결과 실크 단백질 응집체들이 서로 연결되며 전단력을 가하는 경우 섬유로 구조가 바뀌는 것을 확인하였다.
- 이러한 연구 결과를 바탕으로 연구진은 아무런 장치 없이, 단지 실크 단백질 용액을 집어 올리는 것만으로 섬유 생산이 가능함을 보여주었다.
- 아직은 섬유의 강도가 충분하지 못하지만, 인공 실크 생산을 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대되며, 추후 강도 증진을 위한 연구를 진행 중이다.
- 이 연구를 주도적으로 수행한 양세준 연구원(박사수료)은 교내 희소학문분야 학문후속세대 지원을 받아 안정적인 환경에서 연구에 전념할 수 있었다.
- 이번 연구는 과학기술정보통신부와 한국연구재단이 추진하는 중견연구자지원사업의 지원을 받아 수행됐으며, 다학제 분야에서 세계적 권위를 인정받는 학술지인 네이처 커뮤니케이션즈에 지난 11월 29일에 공개되었다.

□ 연구결과



□ 그림설명



a: 실크 단백질이 섬유화되는 모습, b: 칼슘에 의한 실크 단백질의 상분리 모습,
c: 산성화와 전단력을 통하여 섬유화된 모습

□ 연구자

- 성 명 : 이기훈
- 소 속 : 서울대학교 농림생물자원학부 교수
- 연락처 : 02-880-4625, prolee@snu.ac.kr