

《 _____ 화학2 세특 보고서 》

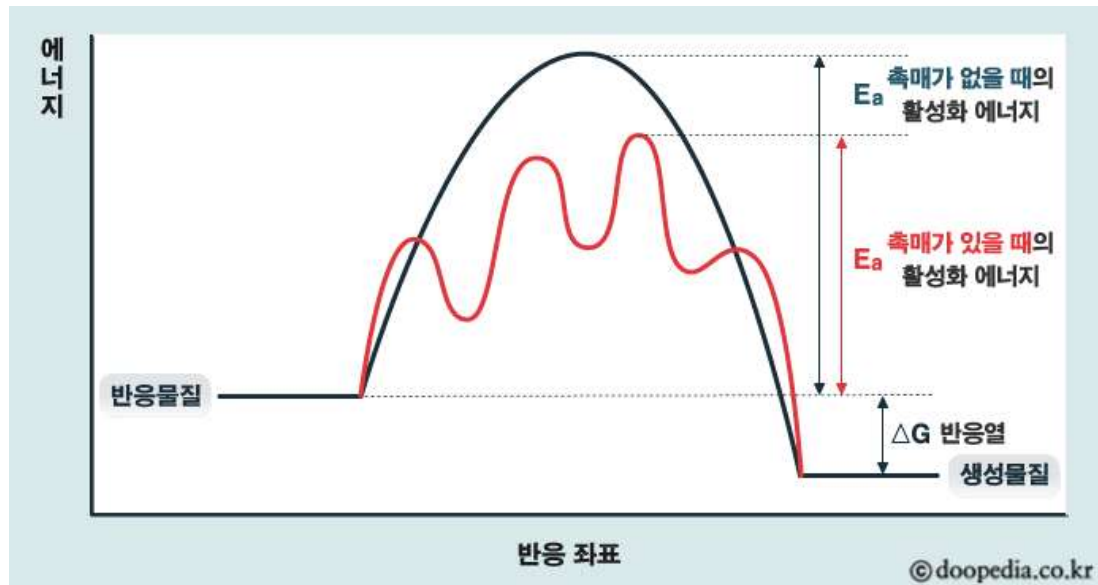
하이에듀

주제	유기촉매, 생체촉매
가이드	1. 서론
	<p>화학2의 '반응속도와 촉매 단위'과 연관시킬 수 있는 '촉매'라는 주제에 관한 탐구입니다. 이 탐구를 통해 촉매의 개념을 반응속도와 연결시켜 이해할 수 있으며, 특히 생체 내에서 반응하는 촉매인 '효소'의 특징을 알아볼 수 있습니다.</p> <p>추가로 유기화합물로 구성된 촉매를 이르는 말인 유기촉매와 이에 속하지 않는 다른 분류군인 생체 촉매에 대하여 탐구하는 것을 목표로 합니다.</p>
	2. 본론
<p>1. 촉매 (자료1)</p> <ul style="list-style-type: none">1) 촉매의 정의(+ 촉매와 반응속도의 관계) (정촉매는 화학반응의 활성화 에너지를 낮추는 또 다른 경로의 정반응 통해 반응속도를 빠르게 하는 역할을 한다는 점에 주목)2) 촉매 반응의 종류 <p>2. 유기촉매와 생체 촉매</p> <ul style="list-style-type: none">1) 정의 (자료1) (생체촉매는 유기 촉매에 포함되지 않음에 주목)2) 유기촉매의 활용 - 안전한 의약품 제조에 사용되는 유기촉매 (자료2)3) 생체촉매의 활용 - 항산화효소 SOD의 질병 치료 효과 (자료3)	
3. 결론	
<p>본 탐구를 통해 확인할 수 있는 가장 중요한 점은 생체촉매는 유기촉매에 포함되지 않는다는 점입니다. 그 이유를 살펴보면 다음과 같습니다.</p> <p>생체촉매인 항산화 효소 SOD(구성물질로 서로 다른 금속을 사용하는 몇 가지 종류의 SOD가 존재함)에 대하여 탐구할 때 확인할 수 있었던 것처럼, 생체촉매는 금속이 포함되어 있기도 합니다.</p> <p>반면, 유기촉매는 오직 탄소, 수소 등으로 이루어진 유기 화합물만을 지칭하기 때문에 생체촉매가 전부 유기촉매가 될 수 없다는 것을 알 수 있습니다.</p>	

자료1. 촉매란 (+유기촉매와 생체촉매)

1. 촉매의 정의: 반응속도를 증가 또는 감소시키는 효과를 나타내고 반응이 종료된 다음에도 원래의 상태로 존재할 수 있는 물질.

- 촉매와 반응속도: 촉매는 화학반응에서 반응속도를 조절해 주는 물질이다. 반응속도를 빠르게 해 주는 촉매를 정촉매라 하며, 반응속도를 느리게 해 주는 촉매를 부촉매 또는 억제제라고 한다. 촉매가 반응속도에 영향을 주는 이유는 활성화에너지로 설명된다. 물질들이 반응을 일으키기 위해서는 충분한 에너지를 가지고 있어야 하는데, 이때 필요한 최소한의 에너지를 활성화에너지라고 한다. 정촉매는 이러한 활성화에너지를 낮추는 또 다른 경로의 정반응 통해 반응속도를 빠르게 하고, 부촉매는 반응의 속도를 느리게 하는 것이다. 이때 반응열은 달라지지 않는다.



2. 촉매반응의 종류

- 1) 균일계: 반응물질과 촉매가 균일한 상에 있음. (ex. 수용액 중의 산 촉매)
- 2) 불균일계: 서로 다른 상에서 작용함. (ex. 수용액은 기체 또는 액체이나 촉매가 고체)

ex. 흔히 실험실에서 과산화수소(H_2O_2)를 분해시킬 때 이산화망가니즈나 감자 조각을 넣으면 반응속도가 매우 빨라지는데, 이것은 이산화망가니즈나 감자 조각이 정촉매 역할 및 불균일계 촉매로 사용된 것이다

유기촉매와 생체촉매

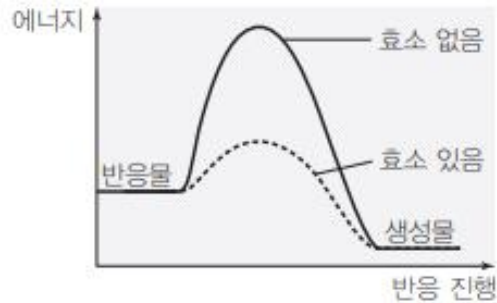
- 1) 유기촉매: 탄소, 수소, 황과 다른 유기 화합물에서 발견되는 비금속 원소로 이루어진 유

기 화합물 촉매. 생체촉매인 효소는 유기촉매에 포함되지 않음.

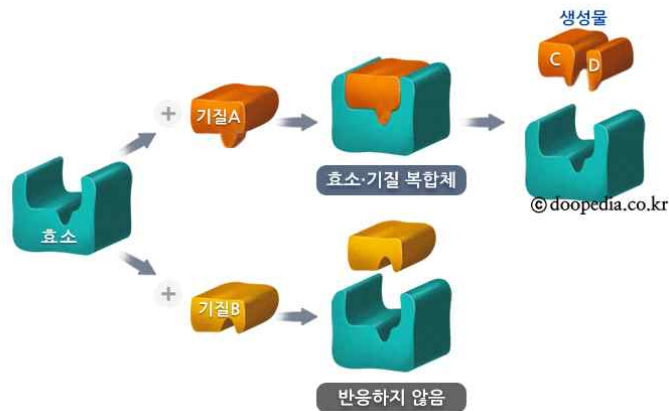
2) 생체촉매: 생체 중의 여러 가지 화학반응에 관여하고 있는 촉매의 총칭이다. 효소, 비타민류, 호르몬류 등이 있고, 극소량으로도 경이적인 작용을 일으킨다. 일반 촉매에 비해 특이성이 뚜렷하고 복잡한 유기 화합물인 경우가 많다. 보통 효소를 가리키는 경우가 많은데, 더 넓게는 보조 효소 및 효소 활성화에 필요한 보조 인자(cofactor) 등도 가리키며, 그 종류는 매우 다양하다.

+ 효소란

① 효소란: 생물체 내에서 일어나는 여러 가지 화학 반응에서 촉매의 역할을 하는 물질이
ex) $2\text{H}_2\text{O}_2(l) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(l) + \text{O}_2(g)$ 의 반응에서 효소는 정촉매와 마찬가지로 반응의 활성화 에너지의 크기를 감소시킨다. 효소가 활성화 에너지를 감소시키므로 반응 속도는 효소를 사용할 때가 효소를 사용하지 않을 때보다 빠르다.



② 효소의 기질 특이성: 효소는 아무 반응이나 비선택적으로 촉매하는 것은 아니다. 한 가지 효소는 한 가지 반응만을, 또는 극히 유사한 몇 가지 반응만을 선택적으로 촉매하는 기질특이성을 가지고 있다. 기질이란 효소에 의하여 반응속도가 커지게 되는 물질, 즉 효소에 의하여 촉매작용을 받는 물질을 말한다. 효소에 기질특이성이 있는 것은 효소와 기질이 마치 자물쇠와 열쇠의 관계처럼 공간적 입체구조가 꼭 들어맞는 것끼리 결합하여, 그 결과 기질이 화학 반응을 일으키기 때문이라고 설명하는 이론이 있다.

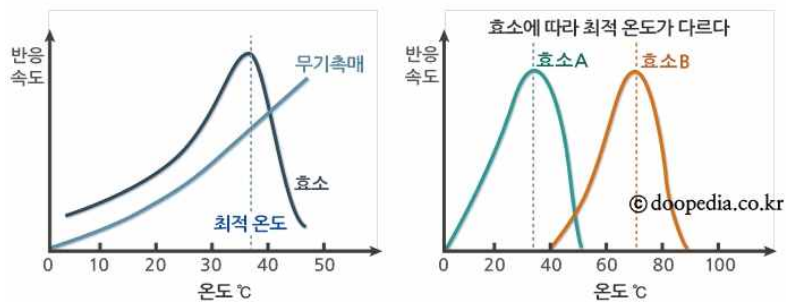


ex) 소화효소 중, 칯 속에 있는 프티알린은 녹말만을 말토스로 분해하는 촉매작용을 한다.

위 속의 펩신은 단백질만을 부분 가수분해하는 기능을 가지고 있다. 여기서 프티알린은 분자의 입체구조가 녹말 분자와 꼭 들어맞는 구조를 하고 있어서 녹말만을 분해하는 것이며, 펩신은 단백질 분자와 꼭 들어맞는 구조를 하고 있어서 위와 같은 기질특이성이 생기는 것이라고 해석된다.

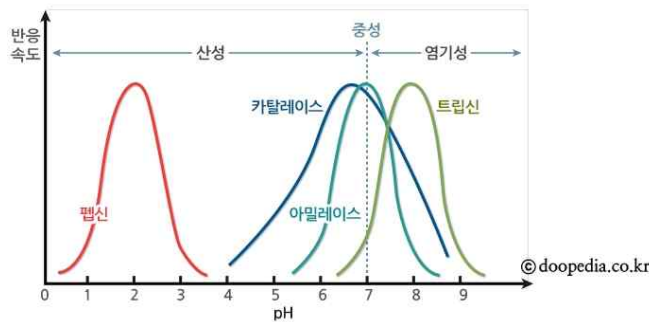
③ 효소의 작용과 온도 및 pH: 단백질로 이루어져 있기 때문에 무기촉매와는 달리 온도나 pH(수소이온농도) 등 환경 요인에 의하여 기능이 크게 영향을 받는다. 즉, 모든 효소는 특정한 온도 범위 내에서 가장 활발하게 작용한다. 대개의 효소는 온도가 35~45°C에서 활성이 가장 크다. 하지만 온도가 그 범위를 넘어서면, 오히려 활성이 떨어진다. 온도가 올라가면 일반적으로 화학 반응 속도가 커지고 효소의 촉매작용도 커지지만, 온도가 일정 범위를 넘으면 효소의 단백질 분자구조가 변형을 일으켜 촉매기능이 떨어지기 때문이다.

- 효소와 온도의 상관관계



또한 효소는 pH가 일정 범위를 넘어도 기능이 급격히 떨어진다. 효소작용은 특정 구조를 유지하고 있을 때에만 나타나는데, 단백질의 구조가 그 주변 용액의 pH의 변화에 따라 달라지기 때문이다.

- 효소와 pH의 상관관계



출처

- <https://terms.naver.com/entry.naver?docId=1147151&cid=40942&categoryId=32251>
- <https://terms.naver.com/entry.naver?docId=5825157&cid=65669&categoryId=65669>
- <https://terms.naver.com/entry.naver?docId=3393765&cid=60289&categoryId=60289>
- <https://terms.naver.com/entry.naver?docId=1156045&cid=40942&categoryId=32315>

자료2. 유기촉매의 예시 (기사 자료)

<노벨화학상, '유기촉매'로 안전한 의약품 만들 수 있게 한 2인에게>

<https://www.hankookilbo.com/News/Read/A2021100620510002029?did=NA>

The Nobel Prize in Chemistry 2021



Ill. Niklas Elmehed © Nobel Prize Outreach.

Benjamin List

Prize share: 1/2



Ill. Niklas Elmehed © Nobel Prize Outreach.

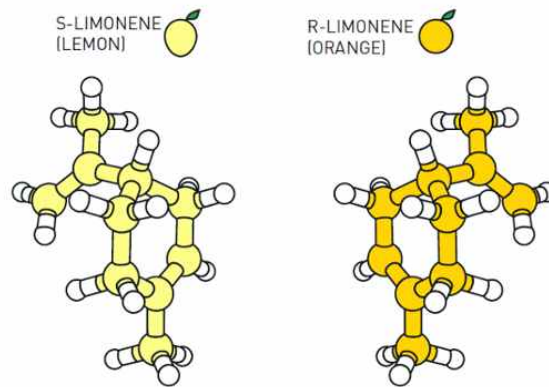
David W.C. MacMillan

Prize share: 1/2

2021 노벨 화학상 수상자인 베냐민 리스트 독일 막스플랑크연구소 교수와 데이비드 맥밀런 미국 프린스턴대 화학과 교수. 노벨위원회 제공

올해 노벨 화학상은 '비대칭 유기촉매'를 개발한 베냐민 리스트(53) 독일 막스플랑크연구소 교수와 데이비드 맥밀런(53) 미국 프린스턴대 화학과 교수에게 돌아갔다. 과학계는 화학반응에 참여해 반응속도를 바꾸는 촉매에는 금속과 효소 두 유형만 존재한다고 믿었는데, 두 학자는 유기분자를 기반으로 한 세 번째 촉매를 개발했다.

스웨덴 왕립과학원 노벨상위원회는 6일(현지시간) 수상자를 발표하며 "이들은 금속과 효소만 촉매로 쓸 수 있다는 원칙을 뒤집고 세 번째 유형인 비대칭 유기촉매를 2000년에 각각 개발했다"며 "연구 성과는 제약 연구에 큰 영향을 미쳤고 화학 분야를 더 친환경적으로 만들었다"고 선정 이유를 밝혔다. 이론으로만 존재했던 유기촉매 기술을 현실로 끌어낸 공로를 인정한 것이다.

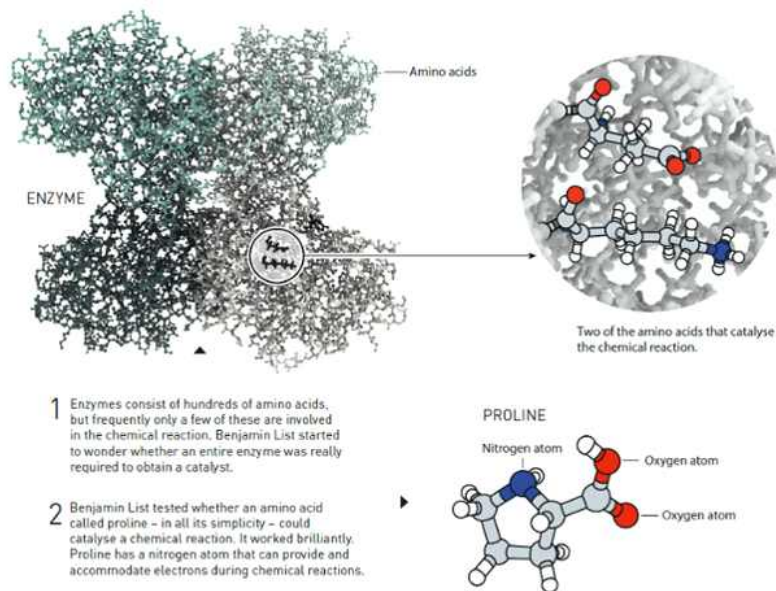


©Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences

대표적인 거울 분자인 리모넨 분자 모습. 노벨위원회 제공

촉매는 직접 화학반응에 참여하지 않지만, 속도와 반응을 제어한다. 화학 물질을 만드는 모든 과정에 촉매가 사용된다. 두 학자가 개발한 유기촉매는 탄소 원자로 이뤄져 있는데, 이 구조에 산소와 질소 원자 등을 붙일 수 있어 활용성이 높다. 이덕환 서강대 화학과 명예교수는 "생물체의 대부분은 비대칭 물질이고 생리 활성에 있는 것을 선택적으로 합성해주는 게 비대칭 유기촉매"라며 "실제로 이를 개발해내는 것이 유기화학의 과제 중 하나였다"고 설명했다.

비대칭 유기촉매는 친환경적이기도 하다. 의약품 제조 과정에는 화학 합성이 이뤄지는데, 촉매로 사용된 금속이 남으면 독성을 유발할 수 있다는 점이 문제였다. 하지만 유기촉매는 천연물질에서 나오는 경우가 많고 독성이 적어 널리 활용될 수 있다.



©Johan Jarnestad, Agnes Moe/The Royal Swedish Academy of Sciences

베냐민 리스트 교수는 1970년대 초 아미노산 중 하나인 '프롤린'이 촉매로 사용된 연구 결과에 주목했고, 프롤린이 탄소 원자를 결합하는 역할을 할 수 있는지 실험했다. 노벨위원회 제공

이들이 개발한 유기촉매는 이미 널리 사용되고 있다. 우울증 치료제로 쓰이는 '듀록세틴'과 당뇨병 치료제 '시타글립틴'이 대표적이다. 배한용 성균관대 화학과 교수는 "우울증과 당뇨병을 치료하는 약물을 만드는데 올해 수상자들이 고안한 유기촉매 반응이 사용된다"며 "두 사람이 공동 연구를 한 건 아니지만 경쟁적으로 같은 시기에 연구를 진행하며 활용 가능한 유기촉매를 개발해냈다"고 말했다.

두 수상자는 상금 1,000만 스웨덴크로나(약 13억 원)를 절반씩 나눠 갖는다. 120주년을 맞은 노벨상은 알프레드 노벨의 기일인 12월 10일 스웨덴 스톡홀름에서 시상식을 열었지만, 올해는 코로나19 확산으로 온라인으로 진행된다. 남은 노벨상 발표는 문학, 평화, 경제 순으로 11일까지 이어진다.

자료3. 생체촉매의 예시

1. 항산화효소 SOD

초과산화이온이 가지고 있는 자유 라디칼 음이온은 세포에 해로운 영향을 미치기 때문에 SOD는 초과산화이온을 산소와 과산화수소로 바꿔 줌으로써 독성으로부터 세포를 방어하는 역할을 한다. 산소에 노출되는 거의 모든 세포에서 이러한 SOD에 의한 항산화방어기작이 중요하며, 일부 유산균들의 경우 다른 방어기작을 사용하는 것으로 알려져 있다.

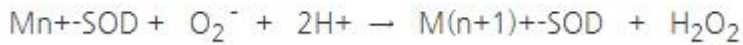
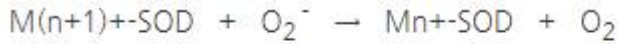
2. SOD의 종류

구성물질로 서로 다른 금속을 사용하는 몇 가지 종류의 SOD가 존재한다. 거의 모든 진핵 세포의 시토플(cytosol)에는 구리와 아연을 가지는 SOD가 존재하며 대부분의 미토콘드리아와 많은 종류의 박테리아에는 망가니즈를 가지는 SOD가 존재한다. 또 다른 많은 종류의 박테리아들은 철을 구성물질로 하는 SOD를 가진다.

사람에게는 SOD1, SOD2, SOD3 세 종류의 SOD가 존재한다. SOD1은 세포질에 존재하며 SOD2는 미토콘드리아에, SOD3는 세포 바깥쪽에 존재한다. SOD1은 이량체를 이루며 SOD2와 SOD3는 사량체를 형성한다. 또 SOD1, SOD3은 구리와 아연을 가지고 SOD2는 망가니즈를 가지고 있다. SOD1 유전자의 돌연변이는 근위축성측삭경화증(amyotrophic lateral sclerosis: ALS)과 관련이 있는 것으로 알려져 있다.

3. 반응식

SOD에 의한 불균등화반응은 다음과 같은 반응식으로 나타낼 수 있다.



(M은 금속을 나타내며 n=1일 때는 구리, n=2일 때는 망가니즈, 철, 니켈 등이 해당한다.)

출처:

<https://terms.naver.com/entry.naver?docId=1260724&cid=40942&categoryId=32322>

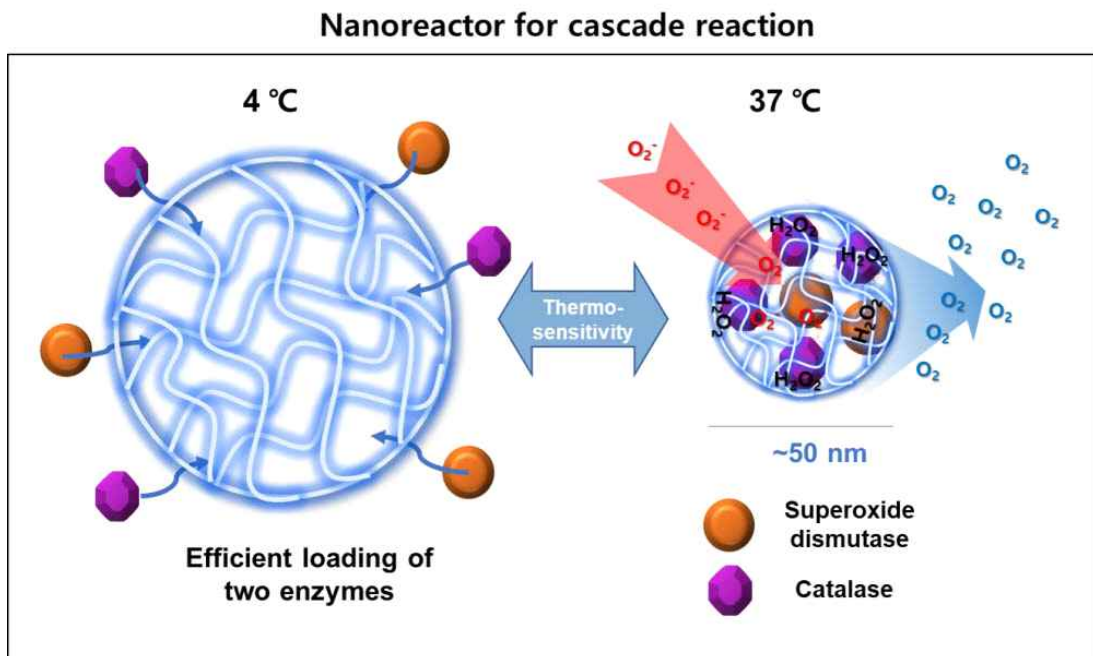
4. 항산화효소 SOD를 질병 치료에 적용한 사례 - 염증성 장질환 치료제 (기사자료)

<태기용 GIST 교수팀, 2종 항산화효소가 담지된 염증성 장질환 치료제 개발>

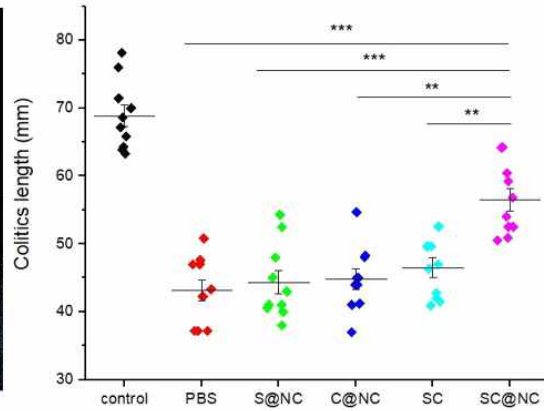
<https://www.etnews.com/20220322000008>

광주과학기술원(GIST·총장 김기선)은 태기용 신소재공학부 교수팀이 2종의 항산화효소가 담지된 염증성 장질환(IBD) 치료제를 개발했다고 22일 밝혔다.

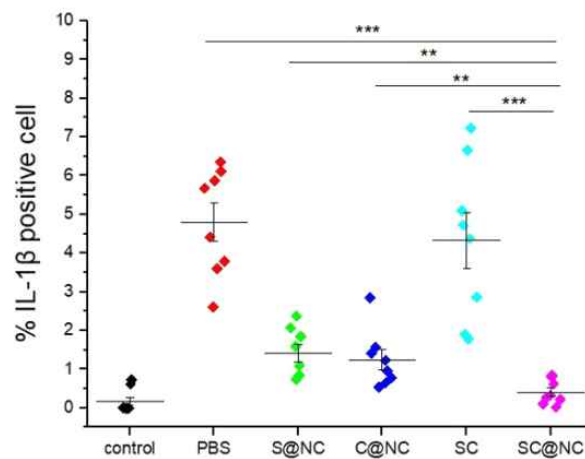
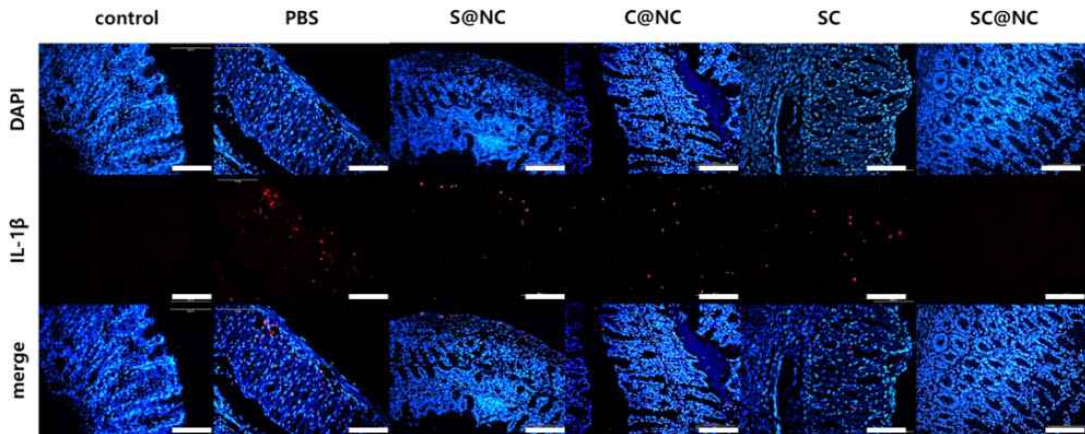
연구팀은 2종의 항산화효소 고효율 포집이 가능한 나노전달체를 지속적으로 연쇄반응을 일으키는 나노반응기로 설계했다. 이러한 나노반응기는 염증조직 부위에서 과도하게 증가한 활성 산소종(ROS)을 산소로 변환해 효과적인 염증조직을 회복시킬 수 있다.



<2종의 항산화효소를 간단한 온도 조절 반응을 통해 고효율로 나노전달체에 동시포집.>



<나노반응기를 주입한 염증성 장질환(IBD) 쥐모델에서의 결장(colon) 길이를 통한 장염증 회복정도 비교.>



<염증성 장질환(IBD) 모델의 결장(colon) 조직에서의 나노반응기에 의한 염증 유발 단백질, IL-1β 발현비교를 통한 염증치료 효과 확인.>

ROS는 적절한 농도에서는 세포의 기능을 조절하는 데 관여한다. 하지만 내·외부 요인으로

과도하게 생성되면 세포와 조직을 손상시켜 IBD 뿐만 아니라 심혈관질환, 신경질환, 조직 병리 등 다양한 질환을 유발한다. 슈퍼옥사이드 디스뮤타제(SOD)와 카탈라아제(CAT)는 염증조직 주변 활성산소 생성을 낮추고 세포 손상을 방지할 수 있는 체내 대표 항산화효소다. SOD는 초과산화물 이온과 반응해 과산화수소로 변환시키는 작용을 하고 이 과산화수소는 CAT에 의해 산소기체로 변환돼 SOD와 CAT 연쇄반응으로 활성산소를 제거하고 산소를 공급한다.

연구팀이 개발한 나노반응기는 생체내 주입 시 염증부위로 선택적 전달이 가능하고, 2종의 항산화효소 연쇄작용 반응을 향상시켜 염증부위에만 선택적으로 해독작용을 일으킨다. 이러한 나노반응기를 주요 염증반응 가운데 하나인 장염증질환 쥐 모델에 주입해 SOD와 CAT의 2종 항산화효소를 담지한 결과, 나노반응기그룹에서 다른 비교 그룹군에 비해 염증 반응을 줄이고, 염증조직도 빨리 회복시킬 수 있다는 사실을 확인했다.

태기용 교수는 “이번 연구 성과는 장염증성 질환 뿐 아니라 다양한 염증 조직 치료에 적용 가능하고 손상된 조직 회복에 도움이 될 수 있다”며 “염증 치료제로 효과를 전체적으로 향상시킬 수 있는 중요한 가능성을 제시했다”고 말했다.

이번 연구는 한국연구재단 중견연구자 사업 및 기초연구실 사업의 지원을 받아 이뤄졌다. 약리학 분야의 저명 학술지인 '저널 오브 컨트롤드 릴리즈' 온라인으로 게재됐으며 4월호 표지 논문으로 선정됐다.