

《 _____ 통합과학(화학) 주제 발표 》

하이에듀

주제	광합성과 이를 기반으로 개발된 화학 신기술, 인공광합성
가이드	1. 서론
	<p>통합과학에서 화학 관련 단원 중 생명현상과도 큰 연관성을 가지는 '산화환원 반응'에 대하여 심화탐구 할 예정입니다.</p> <p>특히 학생의 희망 진로 분야와 연결지어 생명체와 연관된 산화환원반응 중 교과서에서도 소개될 만큼 대표적이고 중요한 반응인 '광합성'에 대하여 자세히 알아볼 것입니다. 이후, 식물의 자연광합성을 모방하여 수소와 산소, 자동차 연료로 사용될 수 있는 메탄올, 연료전지나 고무제품의 원료로 사용될 수 있는 포름산 등을 생산해내는 화학 기술인 '인공광합성'에 대하여 알아보겠습니다.</p>
	2. 본론
1) 생명체 내의 산화 반응 예시 - 광합성 2) 광합성 응용 기술 - 인공 광합성 (1) 요약 (2) 특징 (장단점) (3) 인공광합성이 진행되는 구체적 과정 (기사 참고)	
3. 결론	
<p>'산화 환원 반응' 단원에서 배우는 산화 환원의 개념을 학생의 관심 분야인 생명과학과 연결시킬 수 있으면서도, 화학 신기술이라는 발표 주제에 적합한 주제로 '광합성과 이를 기반으로 개발된 화학 신기술, 인공광합성'이라는 주제를 선정해보았습니다.</p>	
<p>해당 탐구 및 발표를 통해 다음과 같은 지식을 얻을 수 있으며, 추후 생명과학 교과와도 연관지어 심화 탐구 할 수 있습니다.</p>	
1) 광합성이 생명체 내에서 일어나는 대표적인 산화환원반응임을 깨달음. 2) 광합성 화학식을 '수소의 이동 관점에서 분석하여 산화물과 환원물로 구분하는 방법을 설명할 수 있음. 3) 광합성이 일어나는 과정을 명반응과 암반응으로 나누어 설명할 수 있음.	

4) 광합성의 원리를 이용하는 기술인 인공광합성을 명반응과 암반응으로 나눠 공부함. 명반응과 암반응에서도 산화 환원의 원리과 적용됨을 이해함.

5) 인공광합성 과정 중 캘빈회로(칼빈회로)에 대해서 정확히 이해하지 못했지만, 추후 생명과학2 과목에서 캘빈 회로에 대하여 배우므로 관련 내용 공부 후 다시 인공광합성에 대해 더 자세히 탐구해보고자함.

자료1. 광합성

광합성이란?

식물의 광합성 과정을 알아보자!

#명반응 #암반응

인공광합성에 대한 본격적인 설명에 앞서, 식물의 광합성에 대해서 먼저 설명해드릴게요.

광합성이란 녹색식물이나 그 밖의 생물이 빛 에너지를 이용해 이산화탄소와 물로부터 유기물을 합성하는 작용입니다. 광합성은 세포 속에 있는 **엽록체**에서 일어나는데요. 엽록체는 5~10μm의 크기인 타원형의 기관이며, 그 안에는 스트로마라고 하는 액체가 채워져 있어요. 광합성은 **①명반응과 ②암반응**이라는 두 단계로 나누어지는데요. 명반응은 빛이 있어야 진행되는 반응이고, 암반응은 빛이 없어도 진행되는 반응입니다. 명반응에서는 O₂(산소)가 생성되며, 암반응을 통해서 포도당이 합성되고 물이 생성됩니다. 그리고 명반응에서는 빛, 암반응에서는 CO₂(이산화탄소)가 필요합니다. 다음 사진은 광합성의 전체 과정을 나타내는 식입니다.



※ 광합성 화학식을 산화 환원의 개념으로 이해하기

[광합성 화학식]

이산화탄소+물->포도당+산소

6CO₂+6H₂O->C₆H₁₂O₆+6O₂

광합성은 식물의 엽록체에서 일어난다. 빛에너지를 이용하여 이산화탄소와 물로 포도당과 산소를 만드는 반응을 말한다. 즉, '이산화탄소와 물이 반응하여 포도당과 산소가 생성된다.'라고 해석할 수 있다.

광합성 화학식을 통해 산화되는 물질과 환원되는 물질을 어떻게 찾을 수 있을까?

'산소의 이동', '전자의 이동', '수소의 이동' 3가지의 관점으로 찾을 수 있다. 하지만, 광합

성의 화학반응식을 보면 모두 산소가 있으므로 '산소의 이동'으로는 찾기가 어려우면, 전자의 이동은 눈으로 보이지 않으므로 역시 찾기 어렵다.

그러므로, 광합성 화학식에서 산화환원반응 물질은 '수소의 이동'으로 찾아야 한다. 수소를 얻으면 환원, 수소를 잃으면 산화다.

따라서, 이산화탄소($6CO_2$)→포도당($C_6H_{12}O_6$)에서는 수소를 얻었기 때문에 환원이며, 물($6H_2$)→산소($6O_2$)에서는 수소를 잃었기 때문에 산화라고 생각할 수 있다.

자료2. 인공광합성

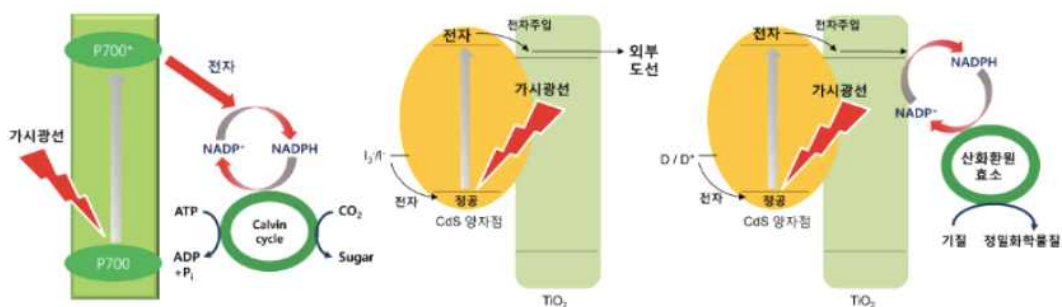
인공광합성이란?

#NADPH에너지원

방금까지 식물의 광합성 과정을 간단하게 알아보았는데요.

그렇다면 인공광합성이란 무엇인지 본격적으로 알아보도록 할까요? **인공광합성**은 이름에서 눈치 채 볼 수 있듯 식물의 자연광합성을 모방한 기술입니다. 특히 앞서 간단하게 살펴봤던 **식물의 광합성 과정 중 '명반응'을 이용한 기술**인데요. 명반응 과정 중에는 엽록체 안의 엽록소가 태양빛을 흡수하며 에너지적으로 들뜬 상태가 되고, 주변으로 전자를 전달하여 화학반응을 일으킵니다. 그때 화학반응의 에너지원인 **'NADPH'**가 만들어진다고 합니다.

인공광합성은 이러한 명반응을 연료감응 태양전지에 결합하여 이용한 것이라 할 수 있는데요. 기존에 태양전지는 황화카드뮴(Cds) 양자점과 같은 염료가 태양빛을 흡수하여 들뜬 상태가 되면 주변에 전자를 전달하여 전기를 생산하는데, 이 때 명반응의 원리를 이용하여 전기 대신 NADPH를 생산하고 또한, NADPH를 이용하여 고부가가치의 화학물질을 만들게 됩니다. 이러한 일련의 과정을 인공광합성이라고 할 수 있습니다.

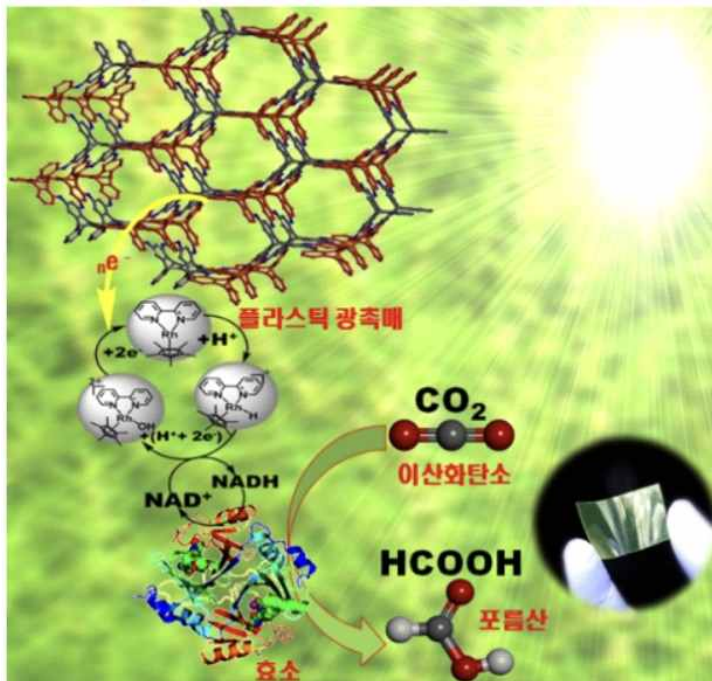


자연광합성과 연료감응 태양전지의 유사성을 이용해 개발한 인공광합성 기술/

출처 = <KISTI의 과학향기> 제1358호 자연이 준 선물, 인공광합성

인공광합성을 통해서 얻을 수 있는 물질은 다양한데요. 기본적으로는 **수소와 산소**를 만들 수 있고, 자동차 연료로 사용될 수 있는 **메탄올**, 연료전지나 고무제품의 원료로 사용될 수 있는 **포름산**도 생산할 수 있다고 합니다. 또한 **광학이성질체와 같은 고부가가치의 정밀화학물질을 얻어낼 수 있다는 점에서 인공광합성이 주목받기도 합니다.**

2012년 일본의 한 자동차 기업이 인공광합성 촉매를 처음 개발했을 당시에 인공광합성의 효율은 현저히 낮았다고 하는데요. 태양으로부터 에너지를 100만큼 받는다고 할 때 최종적으로 나온 물질의 열량이 0.08 정도밖에 되지 않는 효율이었다고 합니다. 하지만 시간이 흐르면서 인공광합성 기술은 점점 발전해 나갔습니다.



출처: 한국화학연구원

또한 2018년 6월 19일 한국화학연구원은 '3D 구조 플라스틱 나뭇잎' 기술을 세계 최초로 개발했다 발표했습니다. 이전에 개발했던 2차원 필름 구조보다 표면적이 넓어 효율적이어서 태양광 전환 효율이 150% 정도 증가했다고 합니다.

3) 인공광합성의 특징

1) 장점

인공광합성의 가장 큰 장점은 아무래도 **친환경적**이라는 점일 텐데요. 인공광합성은 화석연료를 사용하지 않아 온실가스 배출의 걱정이 전혀 없습니다. 그리고 외부로부터의 추가적인 에너지 사용 없이 **태양에너지와 물, 그리고 이산화탄소만으로 이루어질 수 있다는 점에서 친환경적인 미래 기술로 관심받고 있습니다.** 또한 인공광합성으로 포름산을 만들어내면 역으로 이산화탄소는 줄어든다는 점에서, 우리에게 필요한 에너지는 생산하면서 이산화탄소는 줄일 수 있기에 효과적인 기술이라고 할 수 있죠. 일각에서는 인공광합성이 지구촌 식량 위기를 해결할 수 있는 방안이 될 것이라 주장하기도 합니다.

2) 단점

인공광합성의 단점은 바로 **상용화가 어렵다**는 점인데요. 몇 년 간 인공광합성의 효율을 높이기 위한 움직임은 계속되고 있지만 여전히 식물 광합성의 효율을 따라잡지 못하고 있는 실정이라고 합니다. 인공광합성이 상용화되기 위해서는 효율이 10%를 넘어야 하는데, 현재는 최대 8% 효율인 상태입니다. 그러나 2015년, 한국과학기술연구원(KIST) 청정에너지연구센터가 이산화탄소를 일산화탄소로 전환하는 기술을 발명하여 고효율 인공광합성 상용화에 대한 기대를 불러 모으고 있습니다.

출처: https://blog.naver.com/kma_131/221678483647 (기상청 블로그)

자료3. 참고할만한 기사

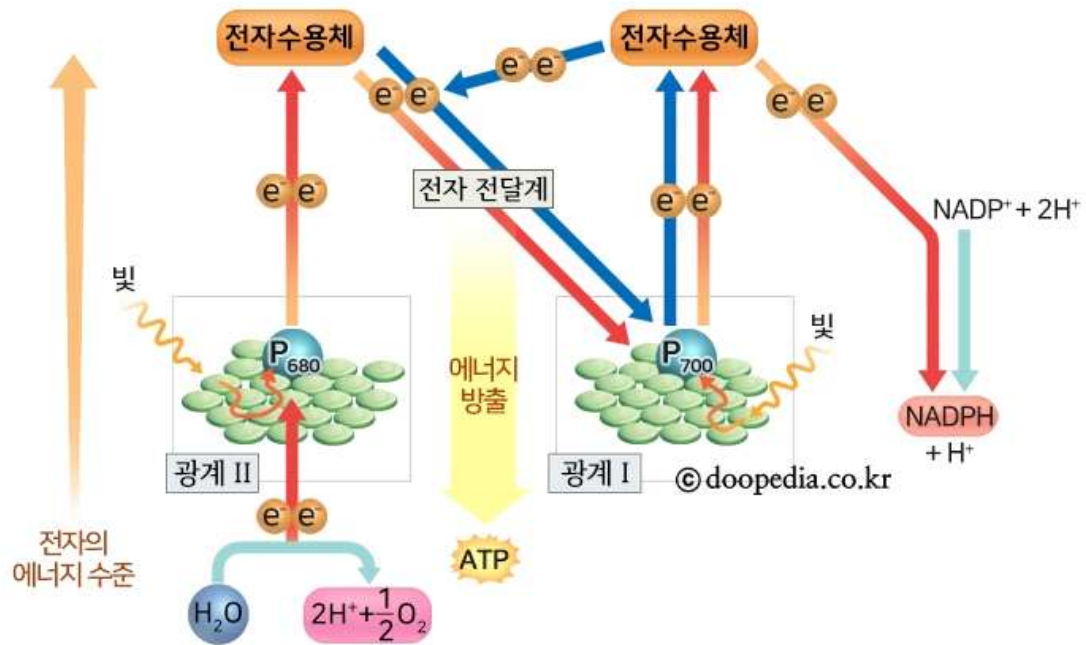
<대체 에너지가 주목받는 시대, 인공광합성으로 한 발 앞서가다>

<http://times.kaist.ac.kr/news/articleView.html?idxno=2527>

화석연료의 고갈에 따라 태양에너지가 주목받고 있다. 태양으로부터 지구에 도달하는 에너지 총량은 약 12만 테라와트에 해당한다. 하지만 그중 실제로 사용되는 양은 0.1%도 되지 않는다. 지구의 생명을 지탱하는 이 0.1%의 대부분은 광합성에 쓰인다. 광합성은 지구온난화의 주범으로 지목받고 있는 이산화탄소를 제거하고, 이를 통해 산소와 유기물을 만들 수 있다. 이 때문에 학계에서는 광합성을 모방한 인공광합성 시스템으로 태양에너지를 사용하려는 시도가 한창이다.

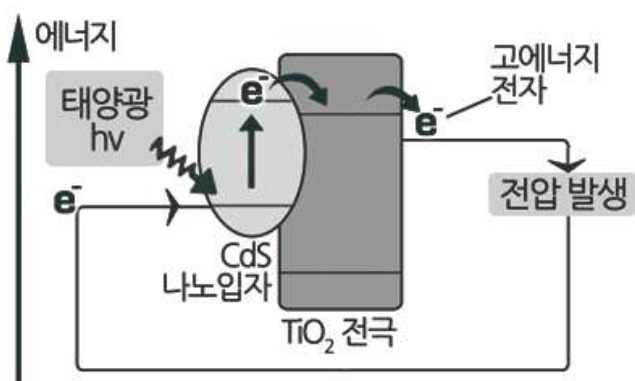
물 분해를 통해 에너지와 NADPH 만드는 명반응

광합성은 명반응과 암반응으로 이루어져 있다. 명반응은 엽록체의 틸라코이드 막에서 일어난다. 틸라코이드 막에서 빛을 받은 물이 산소와 수소이온으로 분해되면서 전자를 방출한다. 이 전자는 염료로 이루어진 광계로 들어가 여러 전자 수용체들을 거친다. 먼저 광계 2에서 빛을 받아 에너지가 높아진 전자는 세포막의 수용체들을 따라 전달되면서 다시 에너지가 낮아진다. 이 과정에서 ADP가 ATP로 바뀌는 인산화 반응이 일어나며 전자가 가진 에너지가 ATP에 저장된다. 에너지가 낮아진 전자는 광계 1로 들어가 같은 과정을 반복하고 최종적으로 NADP에 도달해 수소이온과 함께 NADPH를 형성한다. 이 NADPH는 이후 진행되는 암반응의 핵심이 되는 물질이다. 전자가 두 개의 광계를 통해 한쪽에서는 물을 분해하고 다른 쪽에서는 NADP를 환원하는 이 과정을 Z-스킴(Z-scheme)이라고 부른다.



암반응에서 환원제로 작용하는 NADPH

암반응에서는 칼빈 회로가 진행되면서 이산화탄소가 유기물로 환원된다. 명반응에서 ATP 에 저장된 에너지로 유기물을 만드는 것이다. 환원 반응이 일어나려면 반드시 산화 반응이 함께 일어나야 하는데, 이때 자신이 산화되면서 상대 물질을 환원시키는 물질을 환원제라고 한다. 암반응에서 이산화탄소가 유기물로 환원될 때에는 명반응의 산물인 NADPH가 환원제 역할을 한다.



▲ 인공 염료를 이용한 염료 감응 태양전지의 원리/ 광해찬 기자

인공 염료로 명반응의 광계 대체해

인공광합성은 자연계의 광합성 메커니즘을 모방한 시스템이다. 따라서 인공광합성에도 인

공명반응과 인공암반응이 존재하는데, 현재 대부분의 연구는 광합성의 명반응을 모방하는 것에 집중되어있다. 대표적인 인공명반응 기술 중 하나인 염료 감응 태양전지는 명반응의 광계를 모방해 빛으로 전기를 생산한다. 먼저 양자점이나 Cds 나노입자 등 광계와 유사한 역할을 하는 인공 염료로 가시광선 영역의 빛을 흡수해 전자의 에너지를 높인다. 고에너지 상태가 된 전자는 주변에 약간 낮은 에너지 준위를 가진 물질이 있으면 쉽게 그 물질의 에너지 준위를 타고 이동할 수 있다. 염료 감응 태양전지에서는 염료와 산화물 반도체인 TiO₂전극의 에너지 준위가 비슷해 전자가 염료에서 TiO₂ 전극으로 이동해 전선을 따라 이동하는 것이다. 이렇게 전선을 타고 흘러간 고에너지 전자는 에너지를 소진하면 다시 염료에서 빛을 받으므로 이 전지는 순환 시스템을 가진다.

Z-스킴을 모방한 광전기 화학 전지

광전기 화학 전지는 빛을 이용해 수소 등 다양한 화합물을 만드는 전지다. 광전기 화학 전지 역시 광합성의 명반응과 그 메커니즘이 유사하다. 명반응의 Z-스킴을 모방해 자연 명반응과 유사하게 물 분해 반응과 환원 반응이 동시에 일어나는 시스템을 만든 것이다. 그런데 명반응의 Z-스킴은 광계 1과 광계 2에서 전자가 각각 빛에너지를 받았다면, 광전기 화학 전지에서는 전자가 빛에너지를 한 번만 받는다. 광전기 화학 전지에서는 양극과 음극이 모두 수용액에 담겨져 있는데 양극은 물 분해 반응이 일어나는 물질로, 음극은 환원 반응이 일어나는 물질로 이루어져 있다. 양극에서는 빛을 받은 물 분자가 분해되어 전자와 수소 이온이 생성된다. 양극에서 생성된 전자는 회로를 돌고 음극으로 돌아와 수용액 속의 수소 이온과 환원 반응 해 수소를 생산한다. 물 분자가 분해되는 양극에서는 광계 2와 같은 반응이 일어나고, 환원 반응이 일어나는 음극에서는 광계 1과 같은 반응이 일어나는 것이다.

--생략

산화 환원 반응 이용하면 인공암반응 시스템 만들 수 있어

인공암반응은 주로 산화 환원 반응을 이용해 유기물을 합성하는 시스템이다. 예를 들어, 광전기 화학 전지에서 수용액에 물뿐 아니라 이산화탄소도 함께 녹인다. 그리고 환원 반응이 일어나는 전극표면에 이산화탄소 촉매를 바르면 이산화탄소가 전극 표면에서 유기물로 환원된다. 칼빈 회로의 효소를 이용해 유기물을 만드는 방법도 있다. 암반응의 칼빈 회로에서는 여러 종류의 효소가 연쇄적으로 작용해 이산화탄소를 포도당과 같은 유기물로 만든다. 그중에는 NADP H를 산화시키면서 활성화되어 유기물을 합성하는 효소도 존재한다. 따라서 효소에 기질과 NADPH를 공급하면 NADPH가 산화되면서 동시에 유기물이 만들어지는 과정이 활성화된다. 이렇게 만들어진 유기물들은 의약품 등 다양한 분야에 활용될 수 있다.

--생략

관련 연구를 하는 우리 학교 신소재공학과 박찬범 교수는 인공광합성에 대해 “태양 빛을 에너지원으로 사용할 수 있고, 이산화탄소를 감축할 수 있는 등 여러 가지 이점을 가지고 있기 때문에 앞으로도 (학계에서) 연구가 계속될 것이다”라고 전망했다.

출처: <http://times.kaist.ac.kr/news/articleView.html?idxno=2527>