

20 년 월 일 요일
 시간 : 장소 : 🌈🌈🌈🌈🌈
 학교 학년 반
 번 이름 :

분자바구니

쿠커비투릴 cucurbituril

호박을 닮은 바구니 모양의 분자인 쿠커비투릴의 모형을 직접 만들어보고 쿠커비투릴의 간략한 특징과 학자들의 연구내용을 알아봅시다.

실험키트구성

분자바구니 도안, 양면테이프, 투명컵

준비를

펜

원리학습

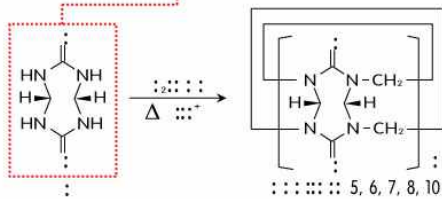
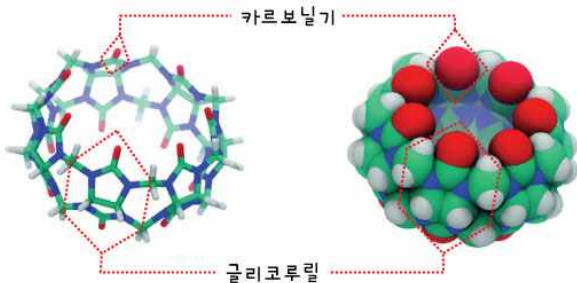
쿠커비투릴(cucurbituril) 이라는 분자의 이름을 들어보았나요?

원자현미경으로 들여다보면 둥글넓적한 호박 모양을 하고 있는데 이 때문에 호박의 학명 ‘쿠커비타세’의 앞부분을 따서 만들어진 이름이라 합니다.

이 물질은 1905년에 처음 세상에 등장하였지만, 1981년 미국의 윌리엄 목 박사가 이 분자의 모양이 속이 텅 빈 호박 모양이라는 사실을 밝혔습니다. 그리고 2007년 우리나라 포스텍 김기문 교수는 이 분자의 특징을 이용한 다양한 응용가능성을 제시하여 다시 한 번 쿠커비투릴이 주목받는 계기가 되었습니다.

[쿠커비투릴의 구조]

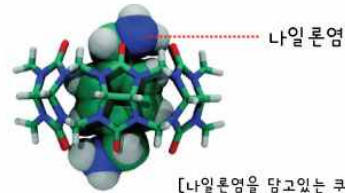
- 높은 호박의 위아래를 잘라낸 뒤 속을 파낸 모양
- 구조의 위 아래 카르보닐기(C=O)가 위치하고 있음



- 단위 구조인 글리코루릴(glycoluril)이 여러 개 결합하여 이루어짐
- ✓ 5개, 6개, 7개, 8개, 10개 등 다양한 결합을 보입니다.

[쿠커비투릴의 특징]

- 바구니처럼 속이 비어있어 다양한 분자나 이온을 담을 수 있음



- 바구니 위 아래의 카르보닐기(C=O)를 이용하여 다양한 이온을 붙일 수 있음



- 쿠커비투릴끼리 쉽게 결합하여 둥근공 모양을 만든다.



[수많은 쿠커비투릴이 모인 나노캡슐의 일부]

과학자들은 이러한 쿠커비투릴의 구조적인 특징을 이용하여 여러가지 분야에 적용시킬 방법을 연구하고 있는데 그 중 한 분야는 의학분야입니다.

쿠커비투릴들의 빈 공간에 항암제 등의 약물을 넣고 덮개 부분에 암세포에만 붙는 적절한 분자를 넣으면 암세포를 직접 찾아가 다른 정상세포에는 영향을 주지 않고도 약효를 나타낼 수도 있습니다.

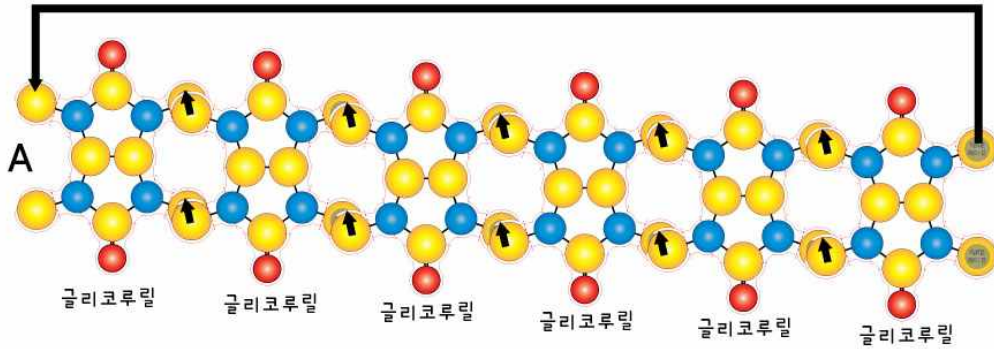
여러분이 직접 연구를 한다면 바구니 모양의 쿠커비투릴 속에 무엇을 넣고싶은가요?

이제 기특한 분자바구니 쿠커비투릴을 종이 모형으로 만들어 봅시다.

쿠커비투릴의 구조적 특징을 간단한 모형으로 나타내기 위하여 종이모형에는 수소원자를 생략하였습니다.

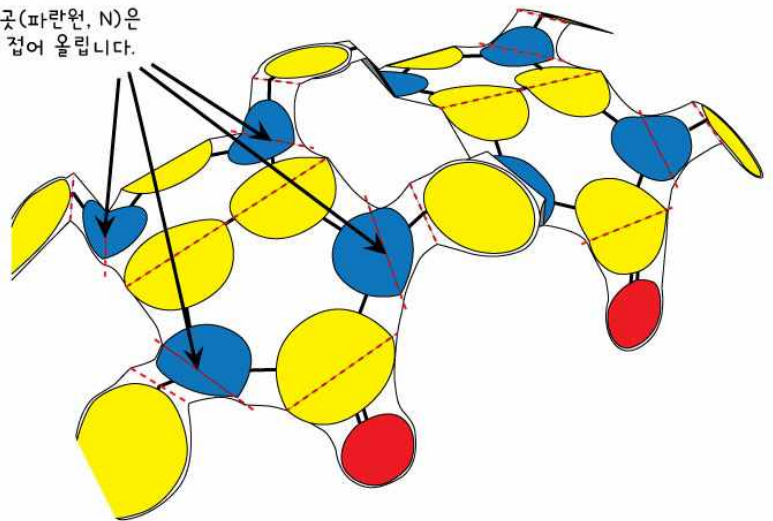
실험방법

1. 분자바구니 도안을 조심스럽게 떼어냅니다.
2. 도안의 양면 테이프 자리 총 24 군데에 양면테이프를 붙입니다.
3. 도안 A(글리코루릴) 6개를 그림과 같이 연결한 다음, 연결한 글리코루릴의 맨 앞과 맨 뒤를 연결하여 원통모양으로 만듭니다.
 - 도안 A 인 글리코루릴 모형은 앞면은 분자의 모형만, 뒷면에는 원소기호가 같이 표기되어 있습니다. 원통형으로 만들 때 원하는 방향으로 선택하여 만들 수 있습니다.

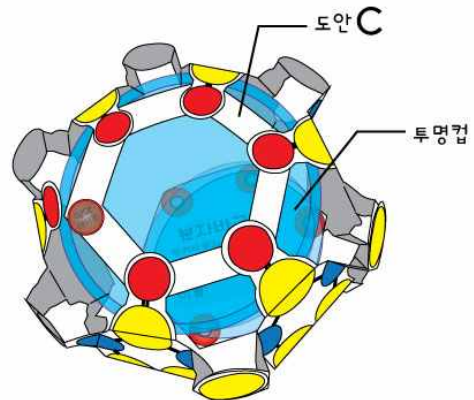
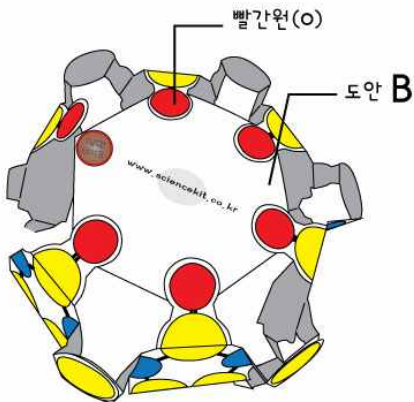


4. 접는선을 따라 그림과 같이 접어서 바구니 모양의 분자 형태를 잡습니다.
 - 오른쪽 그림에 표시한 파란원(N,질소)의 접는선은 위로 접어 올립니다.(안으로 접기)
 - 그 외 나머지 모든 접는선은 아래로 접어 내립니다.(밖으로 접기)

이 4곳(파란원, N)은 위로 접어 올립니다.



5. 도안 B에 연결한 분자의 빨간 원(O, 산소)을 위치에 맞게 고정시킵니다.
 - 도안 B 의 이름 칸에 이름을 먼저 씁니다.
6. 바구니 모양의 분자 안에 투명컵을 넣은 다음 도안 C에 연결한 분자의 빨간 원(O, 산소)을 위치에 맞게 고정시켜 분자바구니를 완성합니다.



7. 완성한 분자바구니 쿠키비투릴에는 문구나 악세사리를 담을 수 있습니다.

실험시 주의사항

1. 보고서의 그림을 잘 보고 접는 방향에 유의하여 접습니다.

확인학습

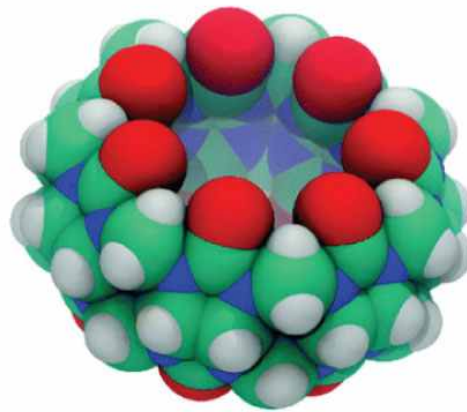
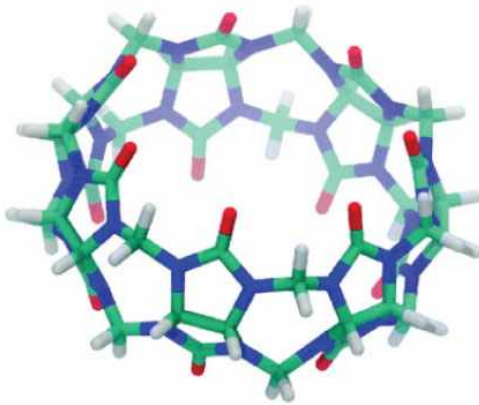
1. 우리가 만든 쿠커비투릴은 글리코루릴 몇 개의 결합으로 이루어졌습니까?

2. 쿠커비투릴을 이루고 있는 원자는 모두 4가지 종류입니다. 4가지를 모두 기호와 함께 적어 봅시다.



이 원소들 중 하나는 간단한 구조를 나타내기 위하여 종이모형에서 생략되어 있습니다.

3. 분자바구니로 여러가지 분자나 이온을 넣을 수 있는 쿠커비투릴의 응용방법은 무한합니다.
여러분이라면 이 분자바구니에 무엇을 넣고 싶습니까? 그 이유도 함께 써 봅시다.



느낀점

■ 교사용 실험 자료실 ■

실험 제목	분자바구니-쿠커비투릴		실험 원리	원자와 분자	
실험 시간	30분	실험 분야	화학	실험 방법	개별 실험
실험키트 구성	분자바구니 도안, 양면테이프, 투명컵				
교사준비물			학생준비물	펜	
실험 결과	학생 1인당 각자 만든 분자바구니 1개를 가지고 갑니다.				
실험팁	<p>TIP 1. 양면테이프로 먼저 6개의 글리코루릴을 연결한 후 접는 선대로 접을 때, 방향을 유의하여 접도록 지도해 주세요.</p> <p>TIP 2. 원소기호가 밖으로 보이도록 연결하거나, 원소기호가 안쪽 면에 있도록 연결할 수 있습니다.</p>				

실험 전에 선생님들께 드리는 말씀

1. 쿠커비투릴의 구조적인 특징(바구니모양)을 잘 나타내기 위하여 분자모형에서 수소(H)를 생략하였습니다.
2. 각 원자의 크기는 산소(O)1cm, 탄소(C)1.4cm, 질소(N)1.15cm 로 실제와 유사한 비율로 표현하였습니다.
3. 분자모형의 찍은선은 그 각이 정확하게 일치하지는 않으나 쿠커비투릴의 구조적인 특징을 살릴 수 있으면서 학생들이 만들기 쉽도록 제작되었습니다.
이런 점 양해하여 주시기 바랍니다.

확인학습

1. 우리가 만든 쿠커비투릴은 글리코루릴 몇 개의 결합으로 이루어졌습니까? **6개**
2. 쿠커비투릴을 이루고 있는 원자는 모두 4가지 종류입니다. 4가지를 모두 기호와 함께 적어 봅시다.
H 수소(생략된 원자), C 탄소, O 산소, N 질소
3. 분자바구니로 여러 가지 분자나 이온을 넣을 수 있는 쿠커비투릴의 응용 방법은 무한합니다.
여러분이라면 이 분자바구니에 무엇을 넣고 싶습니까? 그 이유도 함께 써 봅시다.
창의적인 다양한 대답이 나오도록 유도해 주세요.

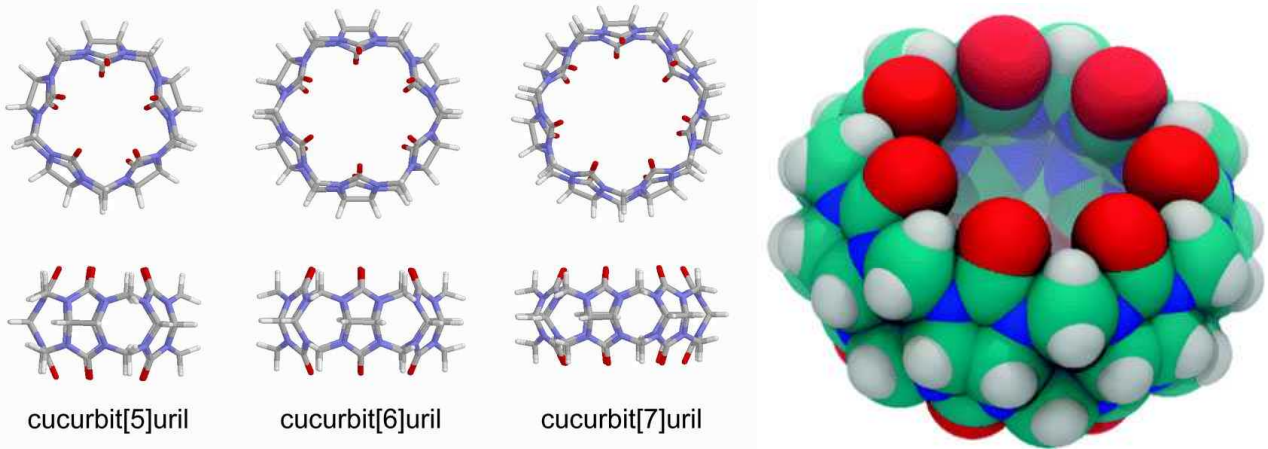
[쿠커비투릴 관련 기사]

‘쿠커비투릴’(Cucurbituril)이란 이름을 들어봤는가. 우스꽝스럽게 들리지만 최근 가장 각광받는 나노물질의 이름이다. 원자현미경으로 들여다보면 쿠커비투릴은 둥글넓적한 호박 모양을 하고 있다. 이 때문에 호박의 학명 ‘쿠커비타세’를 따서 이름이 지어졌다.

이 물질이 처음 세상에 등장한 건 1905년. 지금부터 약 100년 전이다. 그러나 그때는 이 물질이 어떻게 생겼고, 어떤 가능성이 있을지 몰랐다. 그 뒤 1981년 미국 윌리엄 목 박사가 쿠커비투릴을 X선회절법으로 분석해 속이 텅 빈 호박 모양이라는 사실을 밝혔다. 그리고 최근 우리나라 포스텍 김기문 교수는 쿠커비투릴을 일약 스타로 만들었다. 주목받는 호박형 분자, 쿠커비투릴에 대해 알아보자.

쿠커비투릴의 모양은 정확히 말하면 호박의 위아래를 수평으로 잘라낸 뒤 속을 파낸 모양이다. 쿠커비투릴 내부는 텅 비어있어 다양한 분자나 이온이 들어갈 수 있다. 무언가 넣을 수 있다는 뜻이다. 게다가 위 아래로 카르보닐기(C=O)가 있어서 다양한 이온을 붙일 수 있다. 무언가 붙여 우리가 원하는 조작용 할 수 있다는 뜻이다.

구조를 좀 더 자세히 들여다보면 쿠커비투릴은 ‘글리코루릴’이라 부르는 분자 6개가 모여 만들어졌다. 이렇게 작은 분자들이 모인 거대 분자집합체를 ‘초분자’라고 부른다. 초분자에서 분자와 분자 사이는 약한 힘으로 결합해 있다. 따라서 초분자에 있는 각 분자들은 조건에 따라 결합되기도 하고 떨어지기도 하는 특성을 보인다.



[위키피디아 발체 이미지입니다.]

초분자가 나타내는 주요한 특성은 크게 두 가지다. 첫 번째는 자신에게 꼭 맞는 짝을 찾아 결합한다는 것이고, 두 번째는 각각의 분자들이 자발적으로 모여 거대한 구조를 만든다는 것이다. 이런 초분자의 특성 때문에 쿠커비투릴은 다양한 가능성을 가지고 있다. 최근 김 교수는 쿠커비투릴이 가진 여러 가능성을 발견해 세계적인 관심을 받고 있다.

먼저 쿠커비투릴은 작은 분자를 담는 ‘그릇’으로 주목받고 있다. 이른바 ‘나노캡슐’이다. 김 교수는 쿠커비투릴을 메탄올 용액에 넣은 뒤 자외선을 쬐면 자발적으로 등근 공 모양을 만든다는 사실을 발견했다. 만들어진 공의 지름은 50~500nm(나노미터, 1nm=10⁻⁹m). 하나의 공에 3000~5000개의 쿠커비투릴이 들어간다.

그 전까지 나노캡슐을 만드는 일은 매우 어려웠다. 공 모양의 주형을 만든 뒤 바깥에 우리가 원하는 물질을 씌우고 속의 주형을 녹이는 복잡한 과정을 거쳐야 했다. 그러나 쿠커비투릴은 적당한 조건만 맞춰주면 스스로 캡슐 모양을 형성한다. 나노캡슐 속의 빈 공간에는 항암제 등을 넣어 약물을 전달하는데 사용할 수 있다. 항암제는 캡슐에 담겨 있다가 암세포 근처에서만 캡슐이 터져 다른 세포에는 영향을 미치지 않고 암세포만 선별적으로 죽인다.

이때 덮개 역할을 하는 쿠커비투릴에 있는 구멍이 큰 역할을 한다. 예를 들어 쿠커비투릴의 구멍에 암세포의 표면 단백질에만 붙는 적절한 분자를 끼워 넣으면 나노캡슐이 암세포로 찾아가는데 도움을 줄 수 있다. 쉽게 말해 미사일에 유도레이더를 붙이는 것이다. 과학자들은 적절한 유도레이더를 계속 찾고 있다.

쿠커비투릴이 주목받는 다른 분야는 ‘분자 기계’의 가능성이다. 분자 기계란 개별 분자를 우리가 원하는대로 움직여 작동하는 나노 단위의 기계를 말한다. 아직 미래의 일이지만 여러 후보 물질을 두고 연구가 진행 중이다. 후보 물질 중에 ‘로택산’(rotaxane)이 있다. 로택산은 실 모양의 분자에 고리 모양의 분자가 끼여진 초분자체다. 마치 구슬알을 목걸이에 끼워넣듯이 말이다.

쿠커비투릴은 가운데 구멍이 뚫려 있기 때문에 가늘고 긴 실 모양의 분자에 끼워넣어 로택산을 만들 수 있다. 김 교수는 초기 발견된 글리코투릴 6개로 이뤄진 쿠커비투릴 외에 5개, 7개, 8개 분자로 이뤄진 쿠커비투릴을 만드는데 성공했다. 분자의 수가 많을수록 쿠커비투릴의 크기는 커지고, 움직임은 더 유연해진다. 7, 8개 분자로 된 쿠커비투릴은 6개 분자로 된 쿠커비투릴보다 더 두꺼운 실에 끼울 수 있다.

이렇게 만들어진 로택산에 조건을 바꿔주면 쿠커비투릴의 위치가 이동한다. 전기를 흘리거나 산과 염기를 가하면 쿠커비투릴이 가운데서 옆으로, 혹은 옆에서 가운데로 이동한다. 기초적이지만 외부의 조건을 조절해 분자 단위의 결합을 조정하는 것이 가능하다는 얘기다. 움직임을 정교하게 하면 분자 기계의 부품으로 사용할 수 있다.

이 같이 쿠커비투릴은 쓰임새 많은 여러 재주를 가졌다. 아직 상용화까지는 많은 연구가 필요하겠지만 상상 속에만 있던 기술을 실현시킬 수 있는 유력한 물질이다. 분자 세계를 더 많이 이해할수록 통제할 수 없었던 나노 세계도 통제할 수 있게 될 것이다. 쿠커비투릴이 펼칠 미래를 기대해 보자.

[네이버 지식백과] 스스로 조립하는 나노 캡슐, 쿠커비투릴 (KISTI의 과학향기 칼럼, KISTI)

1. 더 자세한 분자 구조적 특징은 위키피디아 영문홈페이지를 참조하세요.
<https://en.wikipedia.org/wiki/Cucurbituril>
2. 연구학자들의 간략리포트입니다. 사진과 이미지가 잘 나와있는 홈페이지입니다.
<http://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2015/cs/c4cs00273c>