

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

폴러렌 축구공

정오각형과 정육각형으로 이루어진 축구공을 만들어 보면서, 신물질인 폴러렌의 구조에 대해 알아보시다.

실험키트구성

풍선, 오각형모형 도안, 고무줄

준비물


색칠 및 꾸미기 도구, 풍선용 손펌프(없어도 가능)

생각해보기

탄소(C)로만 이루어진 물질은 어떤 것이 있는지 생각해봅시다.

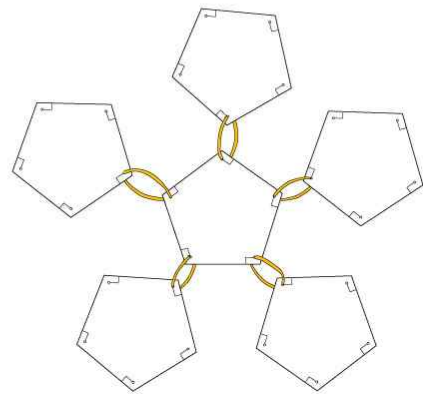
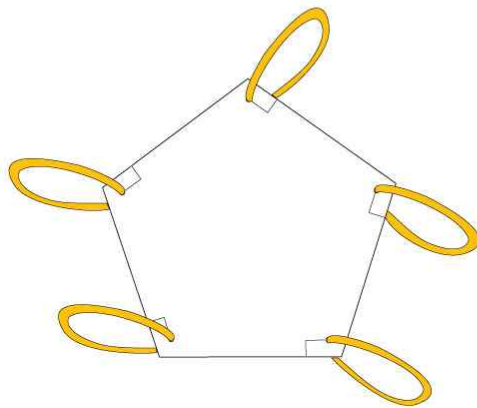
실험방법

1. 오각형모형 도안에 그려진 오각형들에 예쁜 그림이나 색칠을 하여 꾸민 다음, 조심스럽게 뜯습니다.

 오각형 모형을 뜯어내기 전에 색칠하면 편합니다.

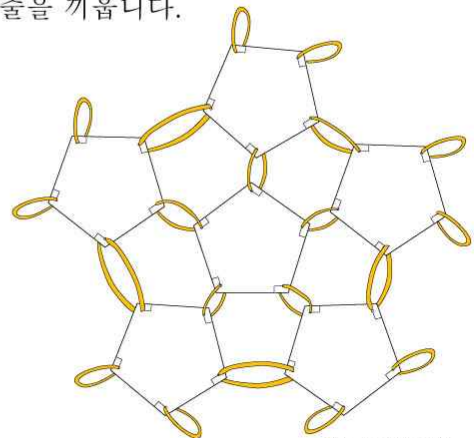
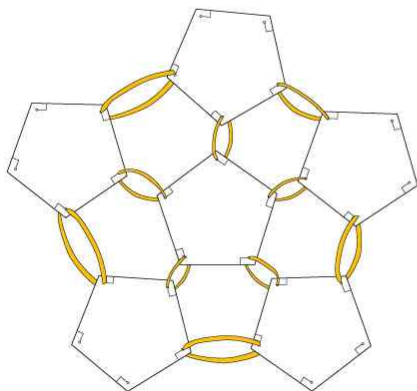
2. 오각형 1개를 선택하여, 각 꼭지점마다 고무줄을 끼웁니다.

3. 위의 고무줄(5개)마다 오각형 모형을 한개씩 끼웁니다.

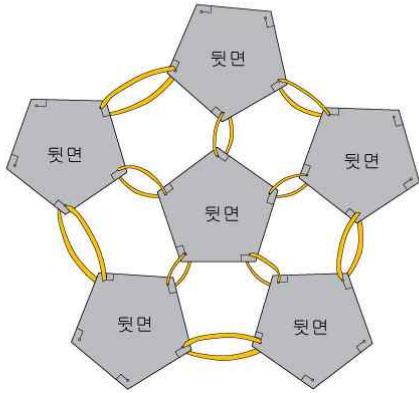


4. 가장자리에 위치한 오각형 모형 끼리 서로 연결되도록 고무줄을 끼웁니다.

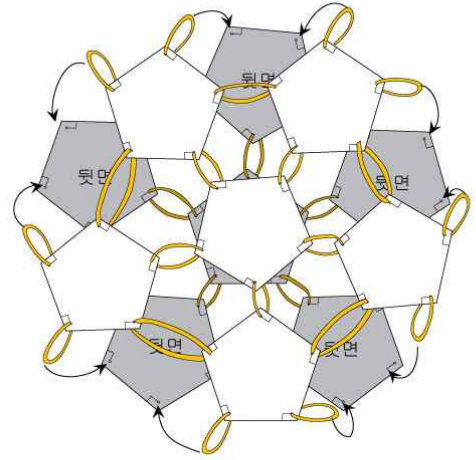
5. 서로 연결한 오각형의 나머지 꼭지점마다 고무줄을 끼웁니다.



6. 남아있는 6개의 오각형 모형도 4번 과정까지 완성하여 뒤집어 놓습니다.

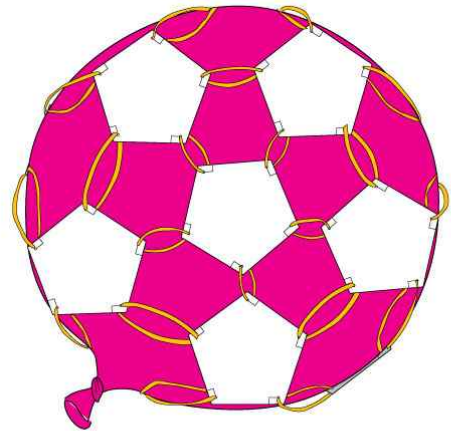
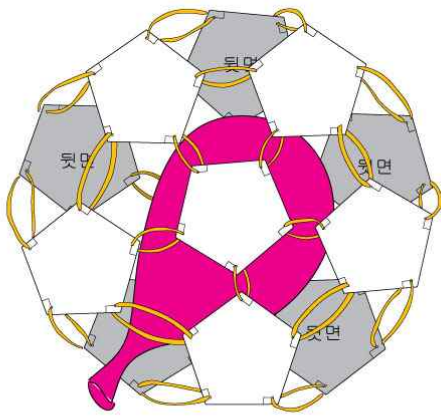


7. 2개의 결합체를 그림처럼 겹쳐 놓고, 화살표 대로 고무줄을 걸어 끼웁니다.



7. 주머니모양의 결합체 안으로 풍선을 밀어넣고 적당한 모양으로 커질 때 까지 붙여 묶습니다.

8. 풍선의 모양을 손으로 조금씩 만져 둥근 공모양이 되도록 하여 완성합니다.



실험시 주의사항

1. 오각형 모형과 연결된 고무줄을 너무 심하게 당기면 고무줄 끼우는 부분이 찢어질 수 있습니다. 주의하세요.
2. 아래 위를 결합할 때 방향에 유의하세요.
2. 오각형의 뾰족한 꼭지점에 풍선이 터지지 않도록 주의하세요.

확인학습

1. 만들어진 축구공을 관찰해 봅시다.
 - ⊗ 정오각형은 몇 개 사용되었습니까? ()
 - ⊗ 정육각형의 모습은 몇 개 발견됩니까? ()
 - ⊗ 그렇다면 축구공은 몇 개의 면이 모인 물체일까요? ()
 - ⊗ 축구공에서 찾을 수 있는 꼭지점은 모두 몇개 입니까? ()
2. 60개의 탄소원자로 이루어진 축구공 모양의 신물질이 밝혀 졌는데, 이 물질의 이름은 무엇일까요?
3. 이 물질은 어떤 특성을 가질까요?

원리학습

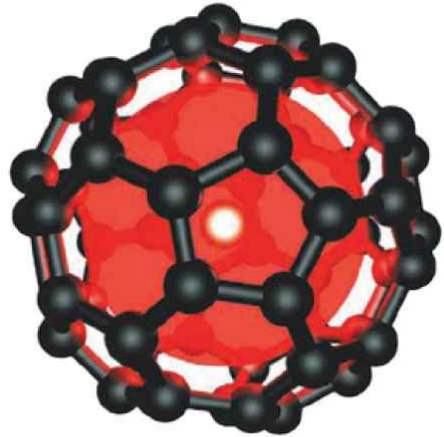
축구공은 구처럼 보이지만 사실 정오각형과 정육각형의 가죽을 이어 만든 형태입니다. 자세히 보면 축구공은 12개의 정오각형과 20개의 정육각형이 모여서 만들어진, 32면체 이지요.

최근의 과학계에서 축구공 모양이 신물질로 각광받고 있습니다. 탄소분자로 이뤄진 풀러렌(C_{60})이 그 주인공.

1985년에 미국의 화학자 리처드 스몰리와 영국의 해롤드 크로토는 60개의 탄소 원자가 뭉쳐진 덩어리 모양의 분자가 있다는 사실을 알아냈습니다. 이 분자의 구조를 밝히기 위해서 며칠 동안 고민하던 스몰리는 어느날 점심 식사 후에 식탁 위에서 종이를 잘라 이리저리 맞춰보다가 바로 축구공의 꼭지점이 60개임을 깨닫고, 탄성을 질렀다고 합니다.

그러니까 C_{60} (풀러렌)은 이 세상에서 가장 작은 축구공인 셈입니다. 이 합성물을 발견한 리처드 스몰리와 로버트 컬, 해롤드 크로토는 이 공로로 1996년 노벨 화학상을 수상했습니다.

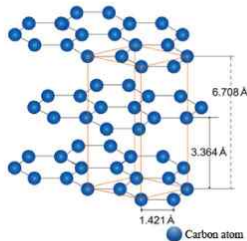
축구공이 무수히 많은 발길질에도 끄떡없듯이 이 합성물도 대단히 높은 온도와 압력을 견뎌낼 수 있을 정도로 매우 안정된 구조를 갖습니다. 따라서 윤활제, 공업용 촉매제, 초전도체, 축전지, 약품 전달 매체 등으로 이용될 가능성이 높습니다. 너무 안정된 구조 때문에 쉽게 이용되기 어렵다는 주장도 있지만 신물질로서의 가능성이 높은 것은 사실입니다.



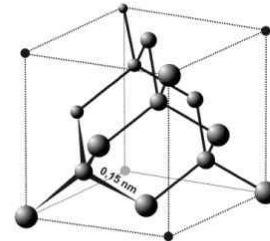
탄소원자 60개로 이뤄진 풀러렌의 구조 모형. 사진 제공 옥스퍼드대

이 외에도 탄소(C)로만 이루어진 물질에는 다이아몬드, 흑연, 숯, 코크스, 그을음 등이 있습니다. 이 중에 다이아몬드와 흑연은 그 모양이 일정하지만, 나머지 숯, 코크스, 그을음은 모양이 일정하지 않습니다.

탄소원자들은 다른 원자와의 결합 길이가 짧아 결합력이 매우 강합니다. 때문에 공통적으로 용해하기 어려우며 고온에서 기체가 됩니다. 물, 알코올 등 모든 용매에 녹지 않으며, 산이나 염기에도 반응하지 않습니다. 공기중에서 타면 산소와 화합하여 이산화탄소가 됩니다. 화학반응을 일으키는 정도는 숯, 코크스, 그을음 > 흑연 > 다이아몬드인데 다이아몬드는 어떤 물질과도 반응하지 않아 보석 중의 보석으로 인정받고 있지요.



흑연의 분자구조



다이아몬드의 분자구조

느낀점

■ 교사용 실험 자료실 ■

실험 제목	풀러렌 축구공		실험 원리	풀러렌구조 이해	
실험 시간	40분	실험 분야	화학	실험 방법	개별실험
세트구성물	풍선, 오각형도형 도안, 고무밴드				
교사준비물			학생준비물	색칠할 도구(색연필이나 크레파스)	
실험 결과	풍선으로된 축구공을 만들어 1개씩 가져갈 수 있습니다.				
실험팁	<p>TIP 1. 활동지의 모형도를 뜯어내기 전에 색칠을 해주면 더 깔끔합니다.</p> <p>TIP 2. 스타플러싱의 끝에 풍선이 눌러 터지지 않도록 잘 눌러주어야 합니다.</p> <p>TIP 3. 연결 부위가 모두 6각형이 되면 완성됩니다. 이 때 6각형은 고무줄 3개와 5각형이면 3개입니다.</p> <p>TIP 4. 풍선을 붙였을때 둥근모양이 아니라면 손으로 풍선을 잘눌러 둥글게 만져주시면 됩니다.</p>				

생각해보기 탄소(C)로만 이루어진 물질은 어떤 것이 있는지 생각해봅시다.

다이아몬드, 숯, 흑연, 코크스, 그을음 등이 있습니다.

- 확인학습**
1. 정오각형-12개, 정육각형-20개, 총 32면, 꼭지점-60개
 2. 풀러렌
 3. 원리학습 참조

축구공은 어떻게 만들어진 것일까. 정답은 '정이십면체로부터'라는 것. 모든 면이 정삼각형만으로 이뤄진 정이십면체로부터 정오각형과 정육각형 면을 가진 축구공을 만드는 과정은 매우 간단하다. 정이십면체의 각 모서리를 삼등분하고, 각 꼭지점을 중심으로 잘라낸다. 그러면 각 꼭지점에는 5개의 면이 모이므로 꼭지점의 개수만큼 12개의 정오각형면이 새로 생긴다. 그리고 원래의 20개 정삼각형 면은 정육각형이 된다. 이것이 바로 꼭지점이 60개이고 모서리가 90개인 삼십이면체이다. 가죽으로 이런 다면체를 만들고 내부에 바람을 넣으면 축구공이 완성된다. 이 실험은 특별한 과학원리를 이용해 사람들을 깜짝 놀라게 하는 것은 아니지만, 간단한 재료로 이와 같이 복잡한 다면체를 만들 수 있다는 점이 흥미롭다.

이 실험은 일본인 과학교사 고토 미치오의 '축구공 만들기' 실험으로부터 아이디어를 얻었다.

다음 글은 "과학동아 2000년 2월호" [생활속의 수학이야기]에서 광운대 허민교수가 쓴 글입니다.

축구공과 지오데식 돔

주변에서 정이십면체가 변형된 숨은 입체 도형을 찾아보자. 꼭 눈으로 보이는 것만을 고집할 필요는 없다. 분자세계에서 건축물까지 정이십면체가 어떤 모습으로 등장하는지 알아보자.

우리는 삼차원 공간에 살고 있기 때문에, 수학에서 다루는 입체도형을 곳곳에서 만날 수 있다. 그 중 매우 다양하게 접할 수 있는 것이 정이십면체이다. 정이십면체는 정다면체 중에서 면이 가장 많은 것으로 정삼각형인 면이 20개, 꼭지점이 12개, 모서리가 30개 있다. 관심을 갖고 주변을 둘러보자. 정이십면체는 어디에 숨어 있는가.

실험실의 축구공 풀러렌

축구공은 운동장만이 아니라 화학 실험실에도 존재한다. 다이아몬드와 흑연 분자는 순수하게 탄소로만 이루어진 것으로 유일한 탄소 분자 형태들이었다. 그런데 1985년 탄소만으로 이루어진 세 번째 분자가 실험실에서 합성됐다. 축구공의 60개의 각 꼭지점에 탄소가 위치하는 C60 이라는 합성물이 바로 그것이다. 이 합성물을 발견한 리처드 스몰리(Richard Smalley)와 로버트 컬(Robert Curl), 해롤드 크로토(Harold Kroto)는 이 공로로 1996년 노벨 화학상을 수상했다.

축구공이 무수히 많은 발길질에도 끄떡없이 이 합성물도 대단히 높은 온도와 압력을 견뎌낼 수 있을 정도로 매우 안정된 구조를 갖고 있다. 따라서 운할제, 공업용 촉매제, 초전도체, 축전지, 약품 전달 매체 등으로 이용될 가능성이 높다. 너무 안정된 구조 때문에 쉽게 이용되기 어렵다는 주장도 있지만 신물질로서의 가능성이 높은 것은 사실이다.

그 뒤 이와 유사한 합성물이 발견됐다. C60과 같이 탄소가 12개의 오각형 및 몇 개의 육각형을 형성하면서 이루어진 합성물들을 통틀어 '풀러렌'이라고 한다. 눈에도 보이지 않는 풀러렌이 과학자들의 사랑을 받을 수 있었던 것은 축구공과 같은 구조를 갖는다는 친숙함 때문이 아닐까. 한 마디로 풀러렌은 실험실의 축구공이다.

적은 재료 큰 공간

풀러렌 중에서 처음으로 발견된 C60을 간단히 '축구공'(buckyball)이라고 부르는데, 정식 명칭은 '벅민스터풀러렌'(buckminsterfullerene)이다. 이것은 입체도형을 활용해서 멋진 건축 구조물을 고안한 리처드 벅민스터풀러렌(Richard Buckminster Fuller, 1912~1983)의 이름을 딴 것이다.

리처드 풀러는 합금, 합판, 플라스틱 등의 자재로 돔을 형성하고 그 아래에 가능한 한 큰 공간을 얻는 건축 양식인 '지오데식 돔(geodesic dome)'을 개발해 세계적으로 유명해졌다. 지오데식 돔은 정다면체와 구, 그리고 건축사이의 관계를 멋지게 보여준다.

지오데식 돔은 어떻게 만들어진 것일까. 이것도 역시 정이십면체에서 출발한다. 커다란 정삼각형을 각 면이 합동인 정삼각형으로 분할하자. 그리고 이것을 구 안에 내접시키고 각 꼭지점을 구면에 투사시키자. 그러면 모든 면이 거의 같고 거의 정삼각형이며 구와 더욱 비슷한 다면체가 된다. 이것이 바로 지오데식 돔의 구조이다.

구는 똑같은 부피를 둘러싸는 입체도형 중에서 겉넓이가 가장 작으므로, 지오데식 돔은 전통적인 건축물보다 훨씬 더 적은 재료를 사용해서 훨씬 더 큰 공간을 얻을 수 있다. 여기에 매우 가볍고 안정되며 견고한 구조까지 제공한다. 이런 지오데식 돔은 엄청나게 큰 건물의 구조가 될 수 있는데, 리처드 풀러는 뉴욕시의 일부를 덮을 수도 있는 지름이 3km에 달하는 반구 형태의 지오데식 돔을 만들자고 제안하기도 했다. 눈과 비도 피할 수 있고, 햇빛과 공기도 적절하게 조절할 수 있는 지오데식 돔을 말이다.

리처드 벅민스터 풀러의 이런 제안은 실현되지 않았지만, 그의 지오데식 돔은 1967년 몬트리올 만국박람회에서 미국관으로 실현됐고, 그 뒤 실내 체육관, 극장, 온실, 전시회장 등을 만드는 데 이용되고 있다.



▲ 지오데식 돔은 전통적인 건축물보다 훨씬 더 적은 재료를 사용해서 훨씬 더 큰 공간을 얻을 수 있다. 여기에 매우 가볍고 안정되며 견고한 구조까지 제공한다.