

2011년 노벨 화학상 - 준결정의 발견

(2011 Nobel Prize in Chemistry - Discovery of Quasicrystals)

글 | 도춘호(전 순천대 교수, choondo@sunchon.ac.kr)

노벨 화학상 발표를 들을 때마다 감탄하고 감격해 한다. 그것은 항상 화학의 새로운 분야와 새로운 발전을 개척하고 이끌고 있는 과학자들이 이미 오래전부터 심혈을 기울여 연구하고 있던 분야라는 것이 알려지고 그 연구의 의미를 새삼 깨닫게 해주기 때문이다. 어떤 분야에 대한 노벨상 시상은 마치 고치에서 나비가 되어서 날아가는 과정을 발표하는 것처럼 경탄을 자아내게 한다.

2011년 노벨 화학상은 우리에게 또 다른 의미의 경탄을 주었다. 2011년 노벨 화학상은 준결정(quasicrystal)을 연구한 이스라엘 테크니온(Technion - Israel Institute of Technology)의 셰시트만(Daniel Shechtman) 교수([그림 1])가 받는다고 10월 5일 스웨덴 왕립과학원이 발표했다.



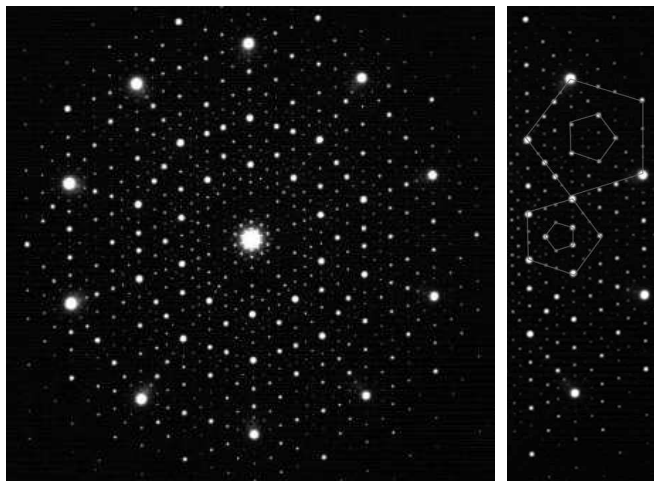
[그림 1] Daniel Shechtman 교수(1941년생, 이스라엘)

1. 연구 과정

셰시트만 교수는 이스라엘 하이파에 있는 테크니온에서 학사(1966년)부터 박사학위(1972년)를 마치고 계속해서 연구를 하고 있다. 1981~1983년 안식년으로 미국 존스홉킨스 대학에서 미국 표준국(National Institute of Standard and Technology)과 공동으로 항공 산업에 사용할 새로운 알루미늄 합금에 대한

연구를 시작했다. 연구 중의 하나는 합금에 전자를 쏘아서 합금의 원자 배열 형태를 연구하는 것이었다. 1982년 4월 14%의 망간을 함유한 알루미늄 합금의 원자 배열이 이상하다는 것을 발견했다. 선명한 Bragg 피크는 분명히 결정이라는 것을 나타냈지만, 결정 형태가 당시 상식으로는 불가능한 형태였다([그림 2]). [그림 2]는 10중 대칭(10-fold symmetry)을 나타내는데([그림 2]에서 한 원에서 점이 10개가 관찰된다), 이것은 결정학(crystallography)의 상식으로는 맞지 않는 것이다. 결정학에서는 결정은 2, 3, 4, 6중 대칭만 가능하다.

셰시트만 교수는 실험 결과가 두 결정이 꼬인 상태에서도 비슷하게 나타날 수 있는데, 결정을 조사하니 그런 경우도 아니



[그림 2]

고 단결정이라는 것을 확인했다. 다른 연구자들에게 결과를 설명하면, 세시트만 교수의 설명은 말이 안 되고 결정학 교과서를 보라고 하기도 하고 심지어 연구실에서 나가라고까지 했다. 다른 연구자들을 이해시키는데 약 2년이 걸렸다. 연구 결과는 1984년 *Physical Review Letters*에 실렸다(D. Shechtman et al., *Phys. Rev. Lett.*, 1984, **53**, 1951).

Bragg 형태의 원리는 [그림 3]에서 이해할 수 있다. 빛이 회절발(diffraction grating)을 통과하면 빛이 산란하게 된다. 이때 파장들이 서로 간섭이 일어나서 점들이 생기게 된다. 밝은 점은 파장의 최고점이 겹쳐서 보이고 검은 부분은 최고점과 최저점이 서로 상쇄되어서 검게 나타난다.

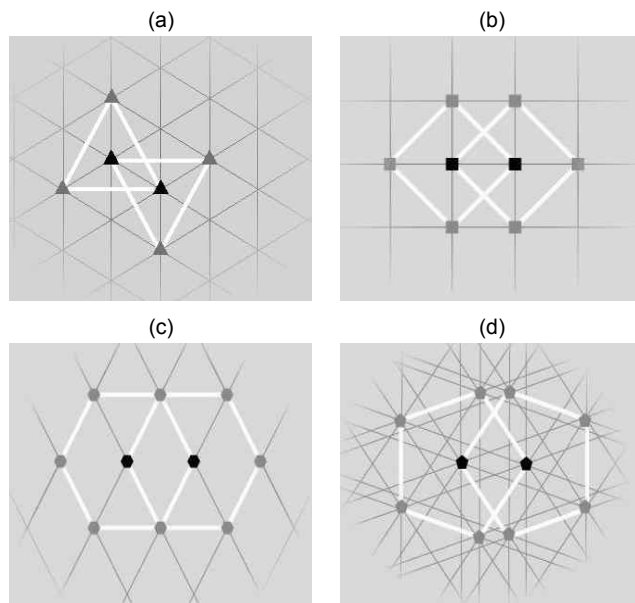


[그림 3] Bragg 형태의 원리

2. 반복되지 않는 결정 - 준결정(quasicrystal)

우리가 알고 있는 결정(crystal)이란 기본 격자가 반복되어서 생기는 것이다.

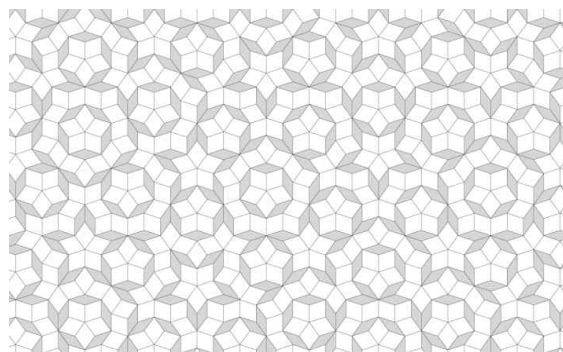
[그림 4(a)]는 3중 대칭을 나타낸다. 중앙의 한 원자는 같은 거리에 똑같은 3개의 원자로 둘러 쌓여있다. 이것을 120도 회전하면 똑같은 형태가 된다. [그림 4(b)]와 [그림 4(c)]도 똑같이 설명된다. 그러나 5중 대칭([그림 4(d)])에서는 원자 사이의 거리가 달라진다. 그래서 이것은 형태가 반복할 수 없다.



[그림 4] (a) 3중 대칭; (b) 4중 대칭; (c) 6중 대칭; (d) 5중 대칭

3. 준결정 존재의 증명

한편, 다른 영역을 살펴보자. 수학자들은 1960년대부터 조각을 사용해서 반복되지 않는 모자이크(aperiodic mosaic)를 만들려고 했다. 1966년에는 한 미국 수학자가 2만개 이상의 다른 조각을 사용해서 반복되지 않는 모자이크를 만드는데 처음 성공했다. 그러나 모자이크의 종류가 너무 많은 것이 흠이다. 1970년대 중반 영국 수학자 Roger Penrose 교수는 좁은 마름모와 넓은 마름모 두 종류의 조각으로만 반복되지 않는 모자이크를 찾아냈다([그림 5]). [그림 5]를 잘 살펴보면 5각형이 보이



[그림 5] Penrose 교수가 발견한 반복되지 않는 모자이크

지만, 반복되지는 않는 형태이다.

이 흥미 있는 결과는 다른 곳에서도 응용되었다. 13세기부터 아랍 예술가들은 5종류의 타일로 반복되지 않는 모자이크를 만들었다는 것이 판명되고, 스페인의 알람브라 궁전(Alhambra Palace)의 외부 장식에도 응용되었음이 밝혀졌다.

또 다른 한편, 1982년 결정학자 Alan Mackay는 이 그림을 보고 원자들을 쌓아서 Penrose 모자이크처럼 반복되지 않는 형태로 만들 수 있지 않을까 생각했다. Penrose 모자이크의 각 교차점에 원자를 배열하고 이것을 회절말로 사용해서 회절 형태를 조사했다. 그 결과 한 원에 10개의 밝은 점들이 나타나는 10중 대칭 형태를 나타내었다.

Mackay의 이론적 결과는 그사이 인정하지 않던 세시트만 교수의 실험적 결과를 인정하게 되는 결정적 근거가 되었다. 그래서 1984년 준결정에 대한 연구 결과가 발표되었다. 이전에 다른 연구자들이 쌍둥이 결정이라고 발표된 연구결과들을 다시 분석하게 만들기도 했다. 여러 가지 형태의 준결정에 대한 연구 결과가 쏟아지기 시작했다.

4. 준결정의 응용과 영향

화학자들은 이전까지 결정이 주기적이고 반복적인 구조를 가지고 있다고 설명했다. 그러나 세시트만 교수의 준결정 발견으로 이 설명은 적절하지 않게 되었다. 1992년 국제결정학연합회(International Union of Crystallography)에서는 “결정은 구성하는 원자, 분자 또는 이온들이 일정하게 정렬되고 삼차원

적으로 반복되는 형태를 가진 물질”로 정의하던 것을 “결정이란 본질적으로 구별되는 회절 형태를 가진 고체(any solid having an essentially discrete diffraction diagram)”라고 결정에 대한 정의도 새롭게 바꾸었다.

2009년 여름에는 러시아의 Khatyrka 강에서 주운 icosahedrite 라는 암석에서 준결정 형태를 발견했다. 이로써 준결정은 자연 상태로도 존재함이 밝혀졌다. 준결정은 알루미늄 합금에서 주로 발견되지만(예, Al-Cu-Fe), 다른 금속들의 합금에서도 발견된다(예, Yd-Cu).

준결정은 발견된 지 30년이 되지만 아직 응용 범위는 많지는 않다. 먼도날, 눈 수술을 하는 수술 바늘 같은 고강도 강철을 만드는데 응용된다. 부서지기 쉬운 성질이 있고 열 및 전기 전도도도 나쁘고 표면 접착이 잘되지 않는다.

노벨상을 두 번 받은(노벨화학상(1954년), 노벨평화상(1963년)) 폴링 교수(Linus Pauling)는 끝까지 준결정의 존재를 믿지 않았다. 과학자들은 “성립된 진실”이라도 너무 믿지 말고 항상 겸허하고 열린 마음으로 새로운 안목으로 사물을 보고 항상 질문을 할 수 있어야 한다는 교훈을 여기에서도 얻을 수 있다.

참고문헌

1. 노벨상 재단 홈페이지: "The Nobel Prize in Chemistry 2011 - Scientific Background". Nobelprize.org. http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2011/advanced.html
2. 영국화학회, *Chemistry World*, November 2011, pp. 38-41.
3. 국제결정학연합회 홈페이지: <http://www.iucr.org/>.

