

# C<sub>60</sub> Cluster

이 상 영  
(KIST 초전도 연구실)

1991년 4월 18일자 Nature지에 AT&T Bell Lab.의 A. F. Hebard 등에 의해 발표된  $K_xC_{60}$ 는 절대 온도 18K에서 초전도 현상을 보이는 새로운 형태의 초전도체로서, C<sub>60</sub>물질에 대한 연구가 점차 학계의 관심사로 부각되고 있다. 이후 Potassium을 다른 종류의 Alkaline metal(Rb, Cs 등)로 치환하는 연구를 통해  $Rb_xC_{60}$ 에서의 초전도 현상이 30K에서 일어난다는 것이 UCLA의 Holczer 등에 의해 알려진 바 있으며, 1991년 9월에는 미국 Allied-Signal사 I. Iqbal 등에 의해 C<sub>60</sub>에 Rb와 Tl 등이 같이 첨가된  $Rb_xTl_yC_{60}$ 시편의 임계 온도가 42.5K로 보고되는 등 Alkaline metal-doped C<sub>60</sub>의 새로운 고온 초전도체로서의 가능성도 일부에서는 예견하고 있다. 본문에서는 C<sub>60</sub>에 대한 일반적인 성질 및 알칼리 금속 첨가에 따른 전자적 특성의 변화, 그리고 응용 가능성에 대해 살펴보았다.

탄소(Carbon)는 유기물체를 이루는 가장 중요한 원소라 할 수 있는 것으로서, C<sub>60</sub>는 이러한 탄소 원자 60개가 결합하여 특별한 구조 형태를 보이는 분자이다. C<sub>60</sub>는 1985년 미국 Rice 대학의 물리학자 R. Smalley와 영국 Sussex 대학의 H. Kroto가 Carbon 증기를 8,000°C까지 가열하여 일어나는 현상에 대해 연구를 진행하던 중 우연히 발견하게 된 물질이다. 이들은 이 신물질이 60개의 탄소 원자로 구성되어 있고 dangling bond(쌍을 이루지 않은 전자)가 없다는 것을 발표하였다. 이 물체의 모양이 이들에 의해 예측된 축구공 형태라는 것은 1991년 미국 버클리 소재 캘리포니아 대학

의 J. Hawkins 등에 의한 X-ray 실험을 통해서이다. C<sub>60</sub>는 그 존재가 1985년에 발견되었음에도 추출할 수 있는 sample의 양이 극미량에 불과했기 때문에 C<sub>60</sub>물질의 현미경을 통한 직접적인 관측은 1990년에 미국 애리조나 대학의 D. Huffman과 독일인 과학자 W. Kratschmer가 종전보다 획기적으로 많이 C<sub>60</sub>를 제조하는 기술을 개발하기까지 보고된 바가 없었는데 Huffman 등이 보고한 것은 C<sub>60</sub> 결정체 여러 개가 합쳐진 형태의 관측에 관한 것이다. C<sub>60</sub>분자는 개별적으로 존재할 때 분자가 매초 수십억 회의 회전을 하기 때문에 C<sub>60</sub>분자에 대한 구조를 확인하기 위해서는 C<sub>60</sub>분자의 회전을 적절히 조절하여 C<sub>60</sub>분자들이 결정 형태로 배열하게 하는 것이 필요하다. 미국의 J. Hawkins 등은 Os(osmium)을 이용, C<sub>60</sub>분자의 회전을 조절할 수 있었고 X-ray를 통한 구조의 확인에 성공하였다.

1990년 이후 C<sub>60</sub>시편이 상당량 추출될 수 있는 방법이 개발되면서 C<sub>60</sub>분자 구조에 대한 연구와 함께 특성 및 응용성에 대한 연구 또한 활발한데, UCLA의 R. Whetten은 C<sub>60</sub>분자를 27,350Km/h 속도로 탄소 혹은 실리콘 판에 쏘았을 때 이 분자가 변형되지 않고 그대로 튀어나오는 것을 관측함으로써 C<sub>60</sub>분자가 매우 견고한 구조를 지니고 있음을 확인한 바 있다. C<sub>60</sub>분자는 축구공 형태의 구조를 지니고 있으므로 분자 구조 내에 여러 종류의 다른 원소를 넣을 수 있으며 또한 C<sub>60</sub>분자 사이에 알칼리 금속을 넣는 등의 방법으로 C<sub>60</sub>의 전기적, 화학적 성질을 급격히 달라지게 할 수 있다. 미국 Bell

Lab.에서는  $C_{60}$ 박막을 만든 후 알칼리 금속 doping을 했을 경우 저항이 거의 1억 배까지 작아지는 것을 보고한 바 있는데 적절한 양의 알칼리 금속이 첨가될 경우에는 일정 온도 이하에서 초전도성까지 띄게 된다는 것은 앞에서 언급된 바와 같다.  $C_{60}$ 결정의 부도체적 성질 및 알칼리 금속 첨가에 따른 급격한 전도성 증가(즉, 저항 감소)는 이 물질이 전기적으로 반도체 이상의 응용성을 지닐 수 있음을 의미하며,  $C_{60}$ 분자 내부에 알칼리 금속 외 다른 여러 종류의 원소를 첨가하는 등의 방법을 통한  $C_{60}$ 의 응용도 장차 고려될 수 있을 것이다.

즉,  $C_{60}$ 분자 내부에 방사성 원소를 넣은 후 신체에 주입해서 암 치료시 방사성 원소의 정상 세포 침범을 막도록 하는 것은  $C_{60}$  물질이 의학적으로 응용될 수 있는 한 예라 할 수 있으며, 또한  $C_{60}$ 를 이용한 초경량 battery나 molecular wire에의 응용, 그리고  $C_{60}$ 의 견고성을 이용한 초소형 ball bearing으로서의 응용 등도 장차  $C_{60}$ 가 응용될 수 있는 분야로 여겨지고 있다.

$C_{60}$ 의 구조적, 전기적 특성에 대한 연구는 아직 초기 단계에 있기 때문에 불순물(알칼리 금속 등) 첨가에 따른  $C_{60}$ 의 특성 변화 및 특성의 물리 화학적 이해는 아직 확립되어 있지 않은 형편이다. 알칼리 금속이 첨가된  $C_{60}$ 물질이 초전도성을 보이는 현상에 대한 연구는 가장 활발한 연구 분야의 하나라 할 수 있는데, alkali-doped  $C_{60}$ 분자 하나 하나는 100K 이상의 임계 온도를 지니며 이러한 분자들이 Metallic Josephson Junction을 이루어서 전체적인 초전도성을 보이는 것이라는 이론이 Bell Lab.의 J. C. Phillips에 의해 보고된 바 있다. 이 경우 alkali-doped  $C_{60}$ 물질의 초전도성은 isovalent chevral compound  $B_yM_6S_8$ ( $B=Sn, Pb$ )와

같은 형태를 띠며  $Cs_xC_{60}$ 에서의  $T_c$ 는 47K 정도에 이를 것이라 알려져 있다.

$C_{60}$ 물질에 대한 연구를 위한 가장 중요한 것으로서 순수한  $C_{60}$  sample의 준비를 들 수 있다. 1990년까지 알려진 방법 중 가장 효과적인 것은 carbon ion beam을 이용하여  $C_{60}$  cluster를 만드는 것이었다. 그러나 이 경우 시간당  $C_{60}$ 시편의 생산량이 백만분의 1그램 정도에 불과하기 때문에 극히 제한적인 실험만 행해질 수 밖에 없는 형편이었다. 1990년에 발견된 carbon rod 간의 discharge를 이용하는 방법은  $C_{60}$ 시편의 제조량을 획기적으로 늘릴 수 있게 한 것으로서, 시편 제조량이 시간당 수십 mg 이상이므로  $C_{60}$ 에 대한 연구가 폭발적으로 일어나게 하는 동기가 되었는데, carbon rod의 discharge시 주로 형성되는  $C_{60}/C_{70}$ 의 혼합물에서 liquid chromatography법을 이용하여  $C_{60}$ 를 추출하는 것이 현재 사용되는 방법이다. 이러한 이유로 해서 고순도의  $C_{60}$  제조에는 여전히 상당한 시간이 소요되는데, 현재 미국, 일본의 몇몇 회사는 고순도  $C_{60}$ (98% 이상)를 제작, 판매하고 있기도 하다(0.1g 당 2000 달러 정도).

$C_{60}$ 는 현재까지 세상에 알려졌던 탄소 물질(Graphite와 Diamond)과 비교할 때 탄소로 이루어진 제3의 물질이라 할 수 있다. Graphite에서의 탄소 cluster는 hexagon 형태이며 diamond에서의 탄소 cluster는 작은 피라미드 형태인 반면에  $C_{60}$ 는 축구공 형태를 띠고 있다. 이러한  $C_{60}$ 의 발견은 과학자들로 하여금 신종 물질의 발견 가능성과 함께 새로운 분야에의 응용성을 기대하게 하는 것으로서 1987년의 고온 초전도체 발견과 함께 가속화된 초전도 분야 연구의 맥을 잇고 있다는 점에서 매우 흥미로운 것이라 하겠다.\*