

나노테크의 상용화 (I)-전략과 한계

임 석 원
강릉영동대학 신소재과

Commercialization of Nano Technology (I)-Tactics and Limitations

S. W. Lim

Dept. of Advanced Materials Engineering, Gangneung Yeongdong College, Gangneung 210-792, Korea

1. 서 론

최근 과학계의 화두로 떠오르고 있는 나노테크놀러지가 드디어 상용화되기 시작하였다. Fullerene, carbon nano-tube 등 나노테크 소재가 시장에 나오고 있다. 일본의 경우, 많아야 각 사 40톤/연간의 보잘 것 없는 규모이지만, 이것을 수% 첨가하여 제품의 기능이 향상된다면, 앞 다투어 채용하는 것은 당연한 일일 것이다. 효능을 이끌어 낼 사용자의 기술력이 문제이다. 초기의 CFRP(Carbon Fibre Reinforced Plastics)와 마찬가지로 우선 스포츠용품으로부터 출발하고 있다.

앞으로 3회에 걸쳐, 일본을 중심으로 한 나노테크 상용화의 실태 및 산업용도로 전개하기 위한 방책 등에 대하여 기술하기로 한다.

* Fullerene : 탄소만으로 합성되어 있는 구상의 거대분자를 말하며, 60개의 탄소가 축구공과 같이 연결된 C_{60} 이 기본이고, C_{60} , C_{70} , C_{76} , C_{82} 등 여러 종류가 있다. 이들 분자는 탄소가 6각형 혹은 5각형의 배치를 하고 있으며, 그 중에는 초전도성질을 나타내는 것도 있다. 예술가이며 건축가인 Buckminster Fuller가 제창한 「Fuller Dome」이 어원이다.

2. 상용화로의 출발

학문의 세계에서만 머물러 있던 나노테크놀러지가 상용화로 이동하기 시작하였다. 2004년 말부터, fullerene을 채용한 스포츠용품이 잇따라 등장하여,

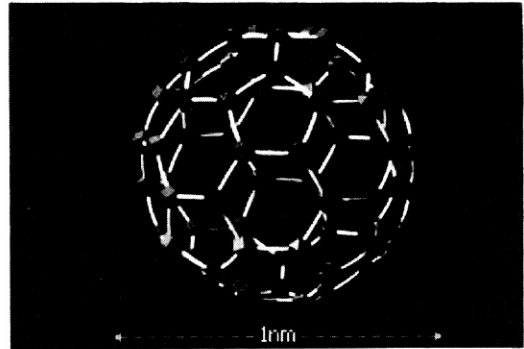


그림 1. Fullerene.

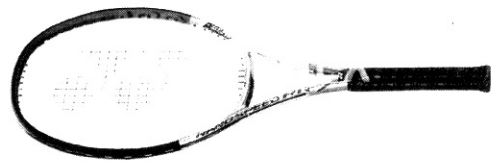


그림 2. YONEX 사의 테니스라켓 NANO SPEED RQ7.

fullerene이 우리에게 가깝게 다가오고 있다. 그림 1은 fullerene의 형상을 나타낸 것으로, 상세한 내용은 참조에 설명하였다. 그림 2는 fullerene으로 강화된 YONEX사의 테니스라켓 「NANO SPEED RQ7」이다. 기존의 라켓구조는 두꺼운 graphite 또는 탄소

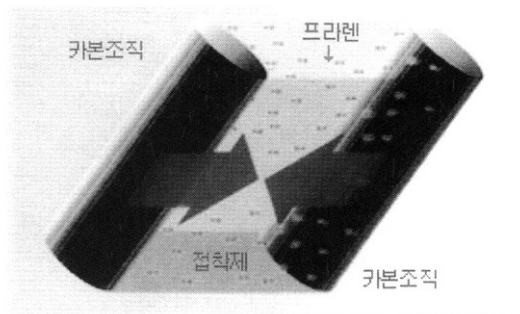


그림 3. NANO SPEED RQ 시리즈의 nano-carbon 모델.

섬유를 사용하여 강한 힘을 발휘하는 라켓들이었으나, 이러한 것들은 프레임의 무게가 증가되어 라켓의 기동력을 떨어뜨리는 요인이 되었다고 한다. 그러나 분자단위의 fullerene과 탄소를 나노 크기로 축소시킴으로서, 보다 섬세한 컨트롤을 가능하게 한다고 선전하고 있다[1]. 또한 그림 3의 모델에 나타나는 바와 같이, 높은 성능의 분자접착제를 사용하여 안정되고 얇으면서도 강한 헤드라이트 라켓으로, 스윙시 파워와 스피드를 제공한다고 설명하고 있다.

또 다른 나노테크 소재인 nano-tube는 이미 우리 가까이에서 와 있다. 전지메이커에서 적극적으로 선전하지 않아 잘 알려지지 않았으나, 현재 시장에 나와 있는 고성능 리튬이온전지의 대부분에 carbon nano-tube의 일종인 VGCF(Vapor Growth Carbon Fibre)가 들어가 있다. 또한, carbon nano-tube를 넣은 플라스틱 부품이 사용된 휴대전화기용 카메라의 샘플이 2005년 7월에 출하되었으며, 용도는 전지에서부터 카메라에 이르기까지 확대되고 있다.

3. 소재가격의 하락

학문적 흥미가 높게 평가되어, 연구자들의 주목을 모인 나노테크는 처음 등장한 이래 20년이 경과되었다. Fullerene에만 한정된 투고 문헌 수는 연간 2000건 이상에 이른다고 한다. 우선 의학, 약학으로의 응용이 유망시되고, 공업재료 중에서도 전극재료 등 전기적 특성에 착안한 것이 대부분이었다[2]. 그것이 스포츠용품에까지 확대된 이유에는 급속한 소재의 가격 하락이 있다.

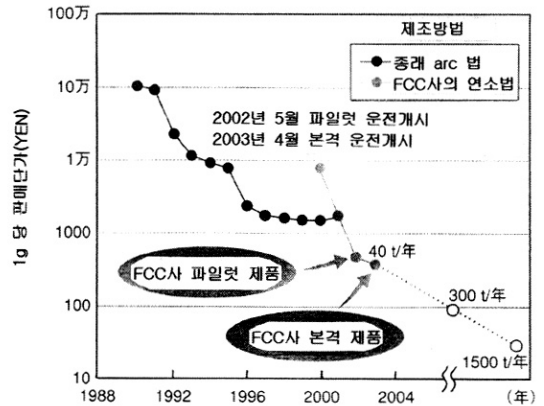


그림 4. Fullerene의 가격추이 (FCC : Frontier Carbon).

Fullerene의 예를 들면, 최근 수년 사이에 제조방법이 arc법에서 연소법, 다시 연속연소법으로 급속히 변화하였다. 연속연소법은 탄화수소를 원료로 하며, carbon black의 생산공정과 매우 유사한 방법이다. 톱 메이커인 Frontier Carbon 사가 본격적인 투자를 하여, 후쿠오카현 키티큐슈시에 연간 약 40톤을 생산할 수 있는 대규모 설비를 갖추었다. 그림 4는 fullerene의 가격추이를 나타낸 것으로, 15년 사이에 약 100배 이상 하락되었다[3]. 표준 상표인 「nano mix」 C₆₀이 60%, C₇₀이 25%, 그 이상의 고차 fullerene이 15%의 가격은 500엔/g까지 저감되었다. 1992년에 10만엔/g이었던 것과 비교하면 급속한 하락이다. Frontier Carbon 사에 따르면, 더욱 더 생산규모를 확대하여 300톤/연으로 하면 100엔/g 이하, 1500톤/연에 도달하면 50엔/g 이하로 될 것이라 한다.

Carbon nano-tube에 있어서는 촉매를 사용하는 기상성장법에 의한 VGCF의 양산이 궤도에 올라있다. 그림 5는 VGCF를 나타낸 것으로, 통칭 「ENDO FIBERS」라 불리운다. 크기가 70~100 μm으로 나노테크로 불리우는 것 중에서는 굵은 편이다. 리튬이온 전지용으로 VGCF를 공급하고 있는昭和전공의 생산능력은 신기하게도 Frontier Carbon 사와 같은 연간 40톤이다. 이상 두 회사의 생산규모에는 미치지 못하나, GSI 크레오스 사는 독자적인 구조의 cup 적층형 carbon nano-tube를 개발하여 용도개발을 추진하고 있는 등, 각 사가 생산확대에 박차를 가하고 있다. 그림 6은 cup 적층형 carbon

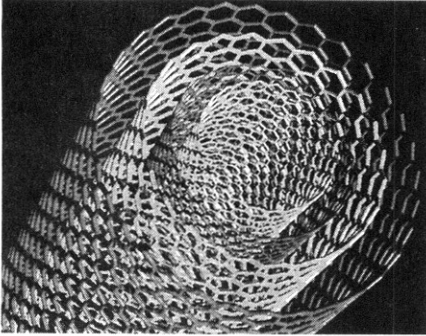


그림 5. VGCF.

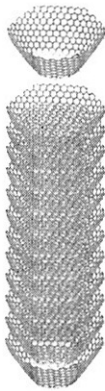


그림 6. Cup 적층형 carbon nano-tube.

nano-tube이며, cup을 쌓아올린 형태이므로, cup 끝 부분이 노출되어 주변과 잘 융합되는 장점이 있다. 또한 기존 유형에 비해 약 10% 낮은 전압으로 전자를 방출하기 때문에, 저소비전력형 FED(Field Emission Display)가 실현될 수 있다.

4. 스포츠관련 소재

Fullerene의 용도는 우선 스포츠용품과 같은 고가 격품으로부터 시작된다. 취미관련 용품이기 때문에 비용대 성능비율인 cost performance에 대한 기준이 그다지 엄격하지 않다. 이제부터 보급을 시작하여, 본격적인 구조재료로 키워 나가기 위한 방법은 기존 CFRP의 경우와 동일하다.

CFRP로 성공체험을 지닌 업체가 이번에도 중심에 있으며, 다시 한번 꿈을 이루려 하고 있다. Frontier

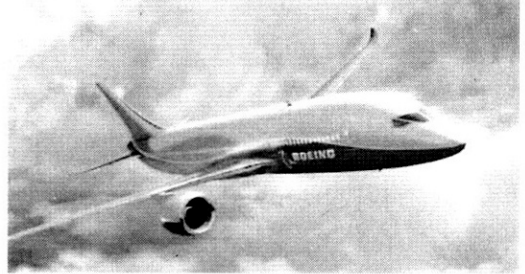


그림 7. Boeing 사의 여객기 B787 의 스케치 .

Carbon 사를 이끌고 있는 友納茂樹 사장은 이전에 Mitsubishi 化成에서 CFRP를 성공시킨 경험이 있다. 그는 「CFRP가 사업화되기까지 12년이 걸렸다. Fullerenes의 경우에는 3년에 동일한 결과를 얻을 기세이다」라고 말하고 있다. 이미 수요자와 수요자 후보를 합치면 40사도 넘고 있다. 머지않아, 지금의 CFRP와 같은 상황에 도달할 것으로 기대된다.

예를 들면, 톱 메이커인 Toray가 1971년 CFRP의 생산을 시작했을 때, 용도는 골프클럽의 샤프트나 낚시대였다. 그로부터 34년이 지난 현재, 스포츠 용도는 생산량의 1/4에 지나지 않고, 산업용도가 중심이 되었다. Toray는 愛媛공장에 250억엔을 투자하여 탄소섬유의 생산설비를 증강하고 있다. 2007년 1월부터 기동을 개시할 예정이다. 이로써 그룹전체의 탄소섬유 생산능력은 1만3100톤/연으로 prepreg(에폭시 레진에 함침된 탄소섬유 시트)는 2220만m²/연에 이르게 된다. 수요의 확대를 예상하여 과감한 투자를 한 것이다. 특히 2008년에 취항을 예정하고 있는 미국 Boeing 사의 여객기 「B787」이 기체 질량의 반 이상에 CFRP를 채용하였으며, 더욱이 그에 대한 수요가 순조롭다는 이유가 가장 크다(그림 7)[5]. PAN계 탄소섬유의 세계 수요는 앞으로 매년 10% 이상 성장할 것이라 예측되어, 2007년에는 3만톤을 상회할 것으로 예상된다.

5. 양산차로 진출하는 CFRP

Toray는 자동차 분야로의 본격적인 보급을 추진하고 있다. 현재 CFRP를 사용하는 자동차는 레이싱용이나 일부 스포츠카 등 소량생산 차종에 한정되어 있다. 그림 8은 CFRP로 제조된 Ferrari 사의



그림 8. 이탈리아 Ferrari 사의 ENZO.

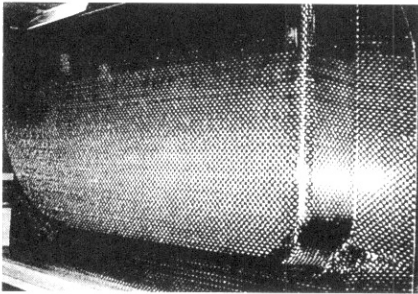


그림 9. Toray 사의 CFRP 제 door panel.

「ENZO」 자동차로, 가격은 5000만엔을 넘는다[6]. 양산차에서 사용되는 것은 프로펠러 샤프트 등의 한정된 부품이다. 그것은 비용이 높다는 것과, 더욱이 성형시간이 2시간이나 더 길다는 이유이다.

Toray는 NEDO(신에너지·사업기술 종합개발기구)로부터의 수탁으로, 2003년도부터 Nissan 자동차와 공동으로 추진하고 있는 국가 프로젝트 「자동차 경량화 탄소섬유강화 복합재료의 연구개발」의 일환으로서, 탄소섬유를 사용한 복합재료의 대량생산이 가능한 고속성형기술을 확립하였다. 성형시간을 10분 이하, 즉 종래의 약 1/15로 단축하여 자동차 차체로의 본격적인 실용화를 꾀하고 있다(그림 9).

개발된新工艺는 종래의 CFRP 금형성형법을 전면적으로 재평가하여, 탄소섬유와 조합되는 수지의 가공특성을 향상시켰다. 종래의 수지와 동등한 내열성, 열적특성, 내환경·내구성을 유지하면서, 성형시 수지의 유동성과 경화속도를 대폭으로 개선한 「하이사이클 성형수지」를 개발하였을 뿐만 아니라, 탄소섬유 시트를 입체적으로 함으로서, 재료의 세팅에서 완성품을 꺼낼 때까지의 전체 가공시간을 한번에 10

분 이하로 대폭 단축하였다. 이 프로젝트는 철강에 비해 50% 경량, 충돌안정성에서 1.5배의 에너지 흡수량을 지닌 CFRP제 자동차 차체의 시험제작 및 실증이 목표이다.

6. 전지분야로의 실용화

Carbon nano-tube는 fullerene 보다 일보 선행되었다. 스포츠용품을 발판으로 하는 단계를 넘어, 산업용의 거대한 사용처를 이미 확보하였다. 리튬이온 전지의 대부분에 VGCF가 들어가 있으며, 이미 실용단계에 도달하였다.

전지의 경우, 이전에는 도전 네트워크를 만드는 것이 중요시되었으나, 최근에는 오히려 전기적이 아닌 구조적인 기능이 평가되고 있다. Carbon nano-tube가 graphite 입자들을 서로 결합시키며, 더욱이 그것이 탄성적으로 연결되어 있기 때문에, graphite 끼리의 간격을 적정하게 유지하여 spacer의 역할을 수행하고 있는 것이다. 전지수명에 있어서 carbon nano-tube를 넣지 않은 경우에 비해 15배로 연장된다는 것이 판명되고 나서 수요가 폭발하였다. 이 숫자라면, 상당한 고가라도 사용할 가치가 있는 것이며, 이러한 용도가 더욱 요구되고 있다.

7. 나노테크놀러지의 장벽

이제까지 급속히 성장해 온 나노테크놀러지가 앞으로 더욱 신장하기 위해서는 커다란 벽이 있다. 사용하고자 하는 판단을 하는 데에 많은 시간이 소요된다는 것이다.

어쨌든 너무 미세하여 관찰할 수 없기 때문에, 무엇이 어떻게 효과를 내는가 하는 인과관계를 설명하기가 매우 어렵다. 아직 확고한 이론이 성립되어 있지 않다. 「이렇지 않을까?」하는 추측, 가설만으로는 신뢰할 수 없다. 인과관계를 알 수 없다면, 상관관계로 공략할 수밖에 없다. 사용자가 데이터를 가지고 실제로 특성을 측정하여 채용을 결단할 수 있다면, 그것으로 충분하다. 이미 채용을 시작한 사용자의 거의 대부분이, 이 절차를 밟아 채용을 결정하였다.

이것은 힘 있는 메이커에서만 가능한 일이다. 계속 장치에 투자할 필요가 있으며, 그 결과 유의차(통계

표 1. Frontier Carbon 사가 제시한 fullerene 의 특징 17 항목

- 탄소동위체 (graphite, diamond)
- 탄소동위체중에서 유일한 분자
- 바구니 형상의 3 차원 구조를 지닌 구상분자
- 분자직경이 약 1 nm(10 억분의 1m)
- 유기용매에 용해된다.
- 전자수용체 (전자를 끌어당기는 힘이 강하다)
- Radical 포착능력이 높다.
- 화학적으로 관능기를 부여하기 쉽다.
- 전기를 통하지 않는다 (탄소입에도 유전률을 지닌다).
- 빛을 흡수한다.
- 고분자화하기 쉽다.
- 승화한다.
- 열에 강하며, 열을 통과시키기 어렵다.
- 무해하다 (발암성이 매우 낮다).
- 쉽게 변형하지 않는다.
- 바구니 형상내부에 금속을 넣을 수 있다.
- 초전도성을 나타낸다.

상 우연히 생겼다고는 인정할 수 없는 차이) 없음이라는 결론이 될 위험도 있다. 결코 가볍게 채용할 수 있지만은 않다.

다음 2회에서 설명될 GOSEN 사는 Frontier Carbon이 제시한 fullerene의 특징 17항목 중 한 가지도 사용하지 않았다(표 1). 사용자가 특성을 찾아 독자적인 활용방법을 발견한 경우이다. 철강의 경우 「탄소(C)를 첨가하면 이러한 특성이 발현된다」, 「Mo을 첨가하면 이렇게 된다」라는 것이 교과서에도 쓰여 있다. 그 중에는 이론이 아닌 단지 경험에 의한 부분도 있다. 경험을 축적하고, 공유하며, 빨리 철강의 경우와 비슷한 상태로 접근하지 못하는 것은, 사용자가 채용을 결단하기 위한 문턱이 높으므로 어쩔 수가 없는 상황이다.

8. 나노의 브랜드화

다른 하나의 문제가 남아 있다. 나노테크놀로지 자체적으로 스포츠용품 이외의 분야에서는 브랜드의 힘

을 지니지 못하고 있다는 점이다. 리튬이온전지 메이커가 좋은 예로, carbon nano-tube를 채용한 것에 대해 선전을 하지 않고 지금까지 왔다. 개발한 측에서 보면 「강한 무기를 사용하였다고 생각하고 싶지 않다」, 「요술을 부렸다고 하고 싶지 않다」라는 의미가 있을 지도 모른다. 여하튼, 전지 속에 들어 있는 아주 미소한 성분이라는 것이다.

다음 3회에 등장하는 SONY 사는 스피커에 carbon nano-tube를 채용했음에도 불구하고, 그것을 적극적으로 공표하지 않았다. 「QUALIA」의 이미지 전략을 선행시키지 않으면 안되는 시기였던 때문이기도 하나, 적어도 「나노테크」의 브랜드가 「QUALIA」의 브랜드에 대해 마이너스로 작용한다는 판단이었던 것이다. Carbon nano-tube라는 이름에 브랜드 가치가 없다는 것이 명확히 밝혀진 경우이다.

이탈리아의 Ferrari 사와 같은 브랜드 가치가 있는 메이커에서 사용해 줌으로서 결과를 내는 것이다. Ferrari 사의 힘을 빌린 경우이다. 다음 2회에 등장하는 테니스선수 Daniela Hantuchova의 힘을 빌려도 된다. 「나노」라는 이름에 브랜드 힘을 더하기 위한 방안을 고려할 필요가 있다는 것은 틀림없는 사실이다.

일본에는 나노테크놀러지와 관련하여 노벨상 후보로 되어있는 연구자가 여러 명 있다. 이미지를 향상시켜 브랜드로 키우려면 지금이 찬스이다. 수상이 결정된 후에는 이미 늦은 것이다. 준비는 지금 해야 하며, 빠르면 빠를수록 좋다.

참고문헌

1. <http://www.yonex.co.kr/products>
2. 藤堂, 日経メカニカル, No. 5 (2001) 36.
3. 日経ものづくり, No. 6 (2005) 45.
4. 日経産業新聞, 2002. 2. 5.
5. <http://blogfiles10.naver.net/data6>
6. <http://www.web-cars.com/enzo/>