

### **3. 학사논문 지도교수: 김 용 협**

3-1. 탄소나노튜브 섬유

3-2. 탄소나노튜브 멤브레인 필터

3-3. 물/기름 분리를 위한 다공성 3차원 구조물

3-4. 폐열 수집을 위한 열전지

실험실: 항공우주시스템 연구실 (Advanced Aerospace Systems Laboratory)

연구실 홈페이지: <http://aasl.snu.ac.kr>

교수 연락처: (02) 880-7385, E-mail: [yongkim@snu.ac.kr](mailto:yongkim@snu.ac.kr)

담당조교: 임형욱 (02) 880-1728, E-mail: [snugger79@snu.ac.kr](mailto:snugger79@snu.ac.kr)

### 3-1. 탄소나노튜브 섬유

탄소나노튜브(Carbon nanotube)는 기계/전기/화학적으로 매우 우수한 특성을 갖는 1차원 나노 소재로, 고감도 센서 및 기능성 나노 복합재료 등 다양한 응용분야를 창출하고 있다. 하지만, 탄소나노튜브를 다양한 응용에 이용하기 위해서는 나노 크기의 분말 형태를 제어해야 하므로, 상용화 및 양산에 어려움이 있다. 따라서 나노 크기의 탄소나노튜브 분말을 거시적 규모의 조립 블록(macrosopic building block)으로 합성하는 연구가 필요하며, 이를 이용한 다양한 차원의 구조물로 확대하는 것이 중요하다.

본 연구실은 세계 최초로 순수 담지 방법을 이용하여, 용액 상에 고르게 분산된 탄소나노튜브 콜로이드 용액으로부터 자기 조립된 1차원 구조의 순수 탄소나노튜브 구조물을 거시적 규모로 제작하는데 성공하였다 (그림 1). 본 습식방적법(wet-spinning)은 탄소나노튜브 용액과 기관의 표면 장력(surface tension) 및 모세관 응축 효과(capillary condensation) 등 기초적인 미세 유동 현상을 이용하므로, 매우 간편하고 공정 변수의 제어를 통해 순수 탄소나노튜브 구조물의 물리적 특성 변화 조절이 용이하다. 또한 다양한 인출 속도에서 탄소나노튜브 로프 형성이 가능하고 높은 재현성과 병렬 공정이 가능하다.

탄소나노튜브 섬유의 우수한 비강도(strength/density), 비강성(stiffness/density), 이방성(anisotropy) 등의 기계적 특성은 항공우주산업, 자동차 산업, 복합재, 스포츠 용품, 방탄 섬유, 인공 근육 등에 활용될 것으로 기대하고 있다. 또한 탄소나노튜브 섬유의 우수한 전기적 특성을 바탕으로 우주용 전기적 배선, 차세대 다기능/고성능/소형 X-ray 광원 등에 적용할 수 있을 것으로 예상하고 있다.

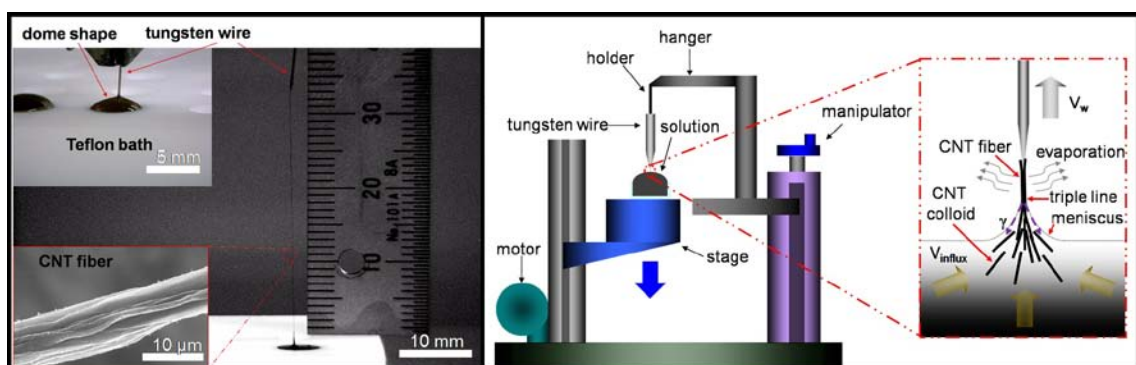


그림 1. 탄소나노튜브 섬유 형성 모습 (좌) 및 원리 도안 (우)

담당조교: 이정석 (E-mail: misty7@snu.ac.kr)

### 3-2. 탄소나노튜브 멤브레인 필터

산업화가 급격하게 진행됨에 따라 환경 오염에 의한 식수의 고갈이 심각한 상황에서 폐수의 정수화에 대한 관심이 커지고 있는 가운데 많은 연구팀에서 정수 관련 연구가 활발히 이루어지고 있다. 정수과정은 1차적으로 물을 모아 침전을 시켜 유해 입자들을 거르는 과정을 수반하는데 이때 중요한 역할을 하는 요소가 바로 필터이다. 유해 입자들의 크기에 따라 다양한 종류의 필터가 사용되는데, 매우 작은 입자들을 효율적으로 거르기 위해서는 필터의 기공 크기가 중요하다. 탄소나노튜브는 수 나노미터의 직경을 가지고 있기 때문에 작은 입자를 거르는 필터로 사용하기에 적합하다.

본 연구실은 화학기상증착법(chemical vapor deposition, CVD)을 이용하여 수직 성장된 고밀도의 탄소나노튜브 구조물을 제작할 수 있다. 이 구조물에 멤브레인(membrane)의 충전제 역할을 하는 에폭시(epoxy)를 부어 성형을 한 후 마이크로박편기(microtome)를 이용하여 원하는 두께로 썰어주면 모식도에서 보는 바와 같이 탄소나노튜브의 내벽의 나노크기 기공을 갖는 필터 멤브레인을 제작할 수 있다.

본 연구에 참여하는 학생은 CVD법을 이용하여 탄소나노튜브를 수직 성장시키는 공정과 멤브레인 제작을 조교와 함께 진행하게 되며, 필터로 사용하기 위해 투수율 및 다양한 입자 크기를 가지는 입자 제거에 관한 실험을 할 것이다. 실험을 조교와 함께 또는 개인이 진행함으로써 얻어진 결과를 가지고 논문을 쓸 수 있는 기회도 주어질 것이다.

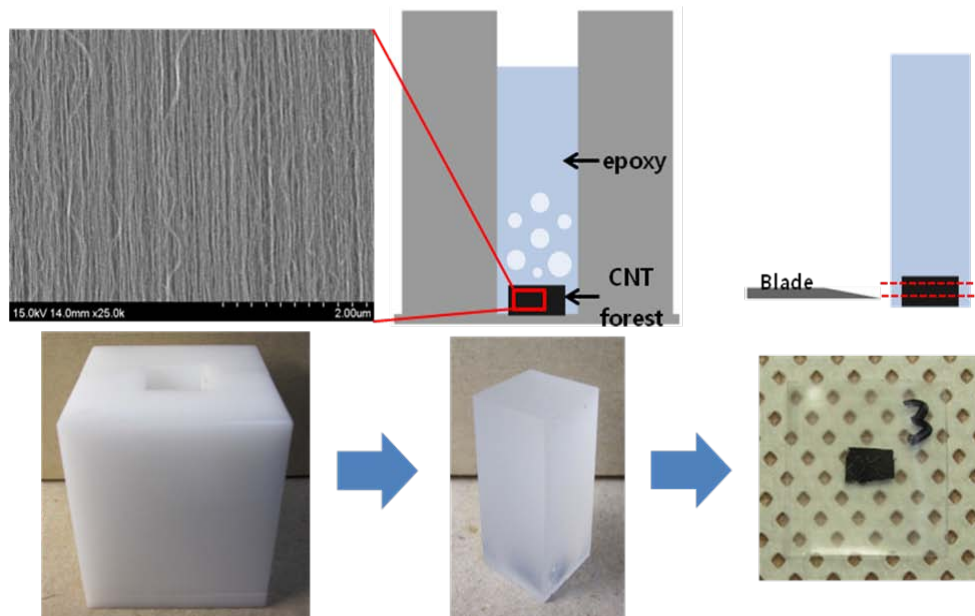


그림 2. 수직 성장된 탄소나노튜브를 이용한 필터용 멤브레인 제작 공정 모식도.

담당조교: 서동균 (E-mail: crew101@snu.ac.kr)

### 3-3. 물/기름 분리를 위한 다공성 3차원 구조물

뛰어난 전기적/화학적 특성을 가지고 있는 그래핀(graphene)은 탄소기반 나노소재로 다양한 응용분야에 적용하기 위한 연구가 진행되고 있다. 하지만, 현재 나노크기의 한계로 인해 제한적인 응용분야에 적용되는 실정이다. 따라서 응용성 확장을 위해서는 나노소재의 우수한 성능을 유지하면서 거시적 규모의 구조물로 조립하는 기술 연구가 매우 중요하다.

본 연구실은 수열합성법(hydrothermal method)을 이용하여 나노크기의 그래핀을 응집시켜 3차원 구조물로 제작하는 공정을 확립하였다. 수열합성법이란 그림 3의 개념도에서 보는 바와 같이 고온·고압을 이용하여 물에 분산된 산화그래핀(graphene oxide)의 환원을 촉진하고 그래핀간의 결합을 유도하여 구조물을 제작하는 방법으로써 제작된 3차원 구조물은 90%이상이 물로 채워져 있는 하이드로겔(hydrogel) 상태이다. 하이드로겔 구조물을 동결건조(freeze dry)를 하여 물을 제거하면 초다공성 에어로겔(aerogel)을 만들 수 있다.

본 연구에서 제작한 구조물은 그래핀 본연의 소수성(hydrophobic) 특성을 회복하는 과정을 포함한다. 이에 따라 제작된 구조물은 소수성이면서 친유성(oleophilic)인 특성을 가지고 있어, 구조물의 내부 기공에 기름을 채울 수 있다. 이러한 특성을 이용하여 물과 기름이 혼합되어 있는 폐수에서 기름만을 선택적으로 흡수하는 특성을 가지게 된다.

참여학생은 수열합성법을 이용하여 초다공성 그래핀 3차원 구조물을 제작하고 표면적과 구조물의 특성 등을 분석한다. 나아가 폐유에서 물/기름을 분리하는 실험을 수행하게 된다. 본 연구 내용을 토대로 해외 저널에 투고할 논문 역시 같이 작성할 수 있는 기회를 가질 수 있다.

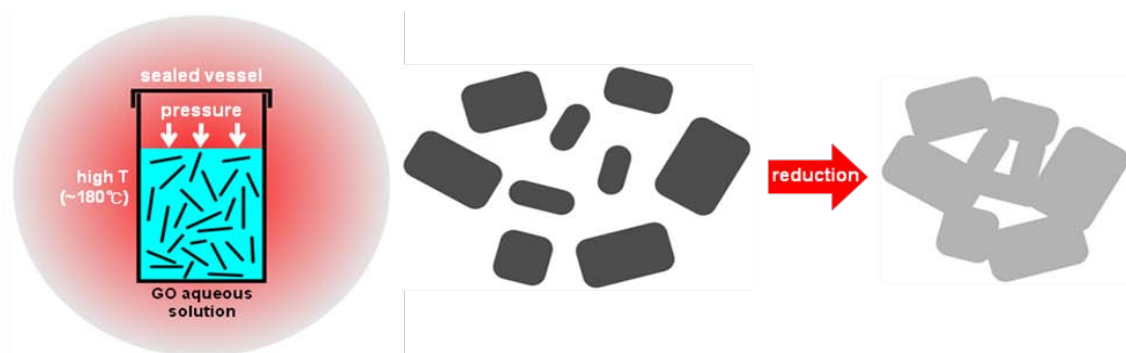


그림 3. 수열합성법과 산화그래핀의 환원 개념도

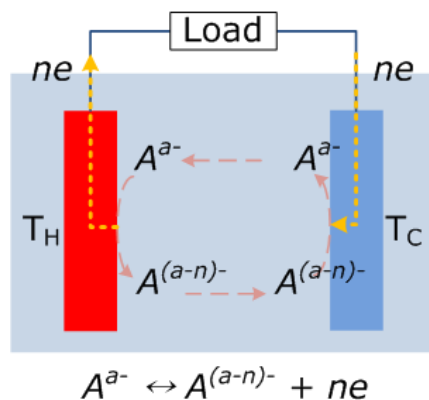
담당조교: 서동균 (E-mail: crew101@snu.ac.kr)

### 3-4. 폐열 수집을 위한 열전지

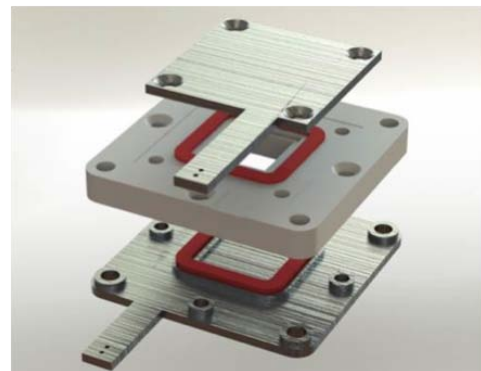
최근 화석연료 사용에 따른 환경오염 및 고유가 문제 해결을 위한 친환경 대체 에너지 개발 연구가 활발하다. 하지만 우리 생활 주변에서 버려지는 에너지, 특히, 자동차, LED 조명, 태양전지 패널 등에서 발생하는 100 °C이하의 폐열 에너지 활용에 대해서는 아직 효과적인 활용방안이 없는 실정이다. 고체 열전(solid-state thermoelectric) 및 스텔링 엔진(stirling engine)과 같은 열-전기에너지 전환 장치는 지난 수십 년간의 지속적인 연구에도 불구하고 초기설치/운영유지 비용 등의 측면에서 효과적이지 못하며, 장기적 운영을 위한 내구성 문제는 아직 해결해야 할 과제로 인식되고 있다. 따라서 폐열 에너지 수확 및 활용을 위한 에너지 전환 기술 연구가 필요하다.

온도차 부식 전지(thermogalvanic cell) 혹은 열-전기화학 전지(thermal electro-chemical cell)로도 알려진 열전지는 두 전극 사이에 인가된 온도차에 의해 전해질의 전기화학적 전위차가 발생하여 전력을 생산하는 장치로 열-전기에너지의 직접 변환, 단순한 구성요소, 반영구적 내구성, 낮은 유지비용 및 탄소 무배출이라는 장점을 가진다.

본 연구에서는 폐열을 수확하여 전기에너지로 활용할 수 있는 열전지 제작을 목표로 한다. 열전지는 그림 4a와 같이 뜨거운 전극과 차가운 전극 사이에 있는 전해질이 산화/환원 반응을 통해 구동되는 원리도 동작한다. 열전지는 그림 4b의 모식도와 같은 간단한 구조로 제작할 수 있다. 참여학생은 열전지의 원리와 전기화학 반응 등 기본적인 내용을 공부하는 동시에 열전지 제작에 직접 참여하고 성능을 평가할 것이다. 또한 분리막과 전극재료 등을 바꿔가면서 성능의 변화를 관찰할 것이다.



(a)



(b)

그림 4. (a) 열전지의 구동 원리. (b) 열전지 개념도

담당교교: 임형욱 (E-mail: snugger79@snu.ac.kr)