

## 우주탐사용 나노기술 개발 동향

이호성\*, 채연석\*\*

# Current Status of Nanotechnology Development for Space Exploration

Ho-Sung Lee\*, Yeon Seok Chae\*\*

### ABSTRACT

Nanotechnology(NT) refers to a field of advanced micro-technology covering the creation and manufacturing of materials on the atomic and molecular scale and requires interdisciplinary study with various fields including materials science, physics, chemistry, electronics and others. Whileas nanotechnology is a kind of micro and small scaled science, space technology(ST) is one of the larger and system technologies utilizing broad fields of mechanical, materials, electronics and communication technologies.

It is necessary to select and concentrate the functional items of nanotechnology for efficient application to be utilized in space technology, due to the cross-sectional characteristics of nanotechnology within nanomaterials, nanoelectronics, and nanomanufacturing. This paper provides the current state of art of nanotechnology in space technology by evaluating NASA's activities and the 9th frame of the project ANTARES(Analysis of Nanotechnology Applications in Space Developments and Systems) with the support of the German Aerospace Center (DLR), Space Flight Management, Division Technology for Space Systems and Robotics. It has shown that it is necessary to apply nanotechnology to space technology in order to achieve international competitiveness, for the nanotechnology can bring the previously impossible things to reality.

Since KARI plans to send an unmanned probe to the moon's orbit and land a probe on the moon's surface in 2025, it is urgently needed to incorporate nanotechnology to national space development plan.

---

\* 이호성, 한국항공우주연구원 발사체미래기술연구실  
hslee@kari.re.kr

\*\* 채연석, 한국항공우주연구원 원장실  
yschae@kari.re.kr

## 초 록

나노기술(NT, Nanotechnology)은 분자 및 원자 수준에서 물질을 제작 및 가공할 수 있는 초극미세기술을 의미하며, 재료, 물리, 전자 등의 기존의 기술 분야들을 융합하여 새로운 기술 영역을 구축하는 학제간 연구(Interdisciplinary)가 필요한 분야이다. 국내에서는 탄소나노튜브가 향후 반도체를 견인할 10대 신성장동력 미래 기술로 선정되어 활발한 연구가 이루어지고 있다. 나노기술이 미소과학 분야라면 우주기술(ST, Space Technology)는 거대 복합과학 분야를 대표하는 기술로서 기계, 재료, 전자, 통신 등의 기술을 활용하는 시스템 기술이다. 우리나라의 우주개발은 선진국 보다 비록 40년 가량 늦었지만 15년 남짓한 기간에 기술자립화 단계로 나아가는 비약적인 성과를 보여주고 있다. 전남 고흥에 나로우주센터가 완공되면 우리 땅에서, 우리 위성을, 우리 발사체로 발사할 수 있게 된다.

나노기술분야는 나노재료, 나노전자, 나노제조 등 매우 광범위하므로 우주기술 개발을 위한 제한된 자원의 견지에서, 비용 대비 성능이 가장 우수하게 평가되는 나노 기술적 구성요소들에 집중하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 미국 NASA에서 수행중인 나노기술 개발현황과 유럽의 9차 나노포럼에서 보고한 우주항공분야의 나노기술을 기초로, 현재 우주항공선진국에서 수행중인 개발 현황을 정리하였다. 고성능 나노기술의 도움으로 이전에는 불가능하였던 우주 기술이 현실로 다가오고 있는바, 우주개발의 경쟁력을 얻기 위해서는 나노기술을 접목해야만 한다는 것을 알 수 있다. 우리나라는 국가우주개발중장기계획에 따라 2025년 달탐사 착륙선을 개발할 계획이므로, 나노기술을 적극적으로 활용하여 선진국수준의 기술을 확보해야 할 것이다.

**Key Words :** Nanotechnology(나노기술), Space Technology(우주기술), Nanomaterials(나노재료), Aerospace(항공우주), Nanomanufacture(나노제조)

## 1. 서론

나노기술 개발을 위하여 정부는 이미 2001년에 나노기술 선진국 진입을 위해 관계 8개 부처와 협의해 나노기술종합발전 계획을 수립했다. 2003년에는 국가 차원의 종합적이고 체계적인 추진을 위해 '나노기술개발촉진법'을 제정해 효율성을 높인 결과 많은 연구가 진행되어 왔다. 미국에서도 NNI(National Nanotechnology Initiative)의 7개 프로그램을 통해 '08년도 14.47억달러를 투자할 계획이며[1], EU는 제 7차 프레임워크 프로그램(FP7, '07~'13)에서 나노분야에 34.67억유로를 투자할 예정[2]이라고 한다.

현재 미국과 유럽의 우주항공전문가들은 우주 개발 기술에 나노 기술을 적용하기 위하여 많은 연구를 수행하고 있다. 태양계와 더 먼 우주에 대한 과학적인 탐구뿐만 아니라 우주 여행에 대한 상업화가 점점 늘어나면서 앞으로 더 효율적이고 경제적이며 성능이 우수한 우주비행체 시스템이 요구되고 있기 때문이다. 나

노 기술은 이 분야에서 기술적 돌파구와 해결책에 상당한 기여를 할 수 있을 것으로 기대되고 있다.

본 투고에서는, 이러한 목적으로 현재 우주항공 선진국에서 수행하고 있는 나노기술 개발 동향을 조사하고 적용대상에 따라 예를 제시하였다. 미국 국가과학기술심의회(NSTC, National Science and on Technology)의 NSET(Nanoscale Science, Engineering, and Technology) 소위원회가 국가 나노기술 조정국(NNCO, National Nanotechnology Coordination Office)을 통해서 개최한 주제워크숍[3] 중심으로 우주탐사를 위한 나노기술의 연구개발현황을 검토하였다.

NASA의 나노기술 개발은 주로 Ames Research Center의 CNT(Center for Nanotechnology)에서 주관하고 있다. 기술개발 로드맵[4]이 그림-1에 나와있는데 구조재료, 나노전자 및 계산, 그리고 나노센서, 이렇게 3가지 분야로 나눌 수 있다. 나노재료 분야의 경우 Single-walled nanotube(SWNT)이 가장 활발히 연구되고 있고, Bio-Inspired 재료 및 Biomimetic 재료 시스템을 포함하고 있다.

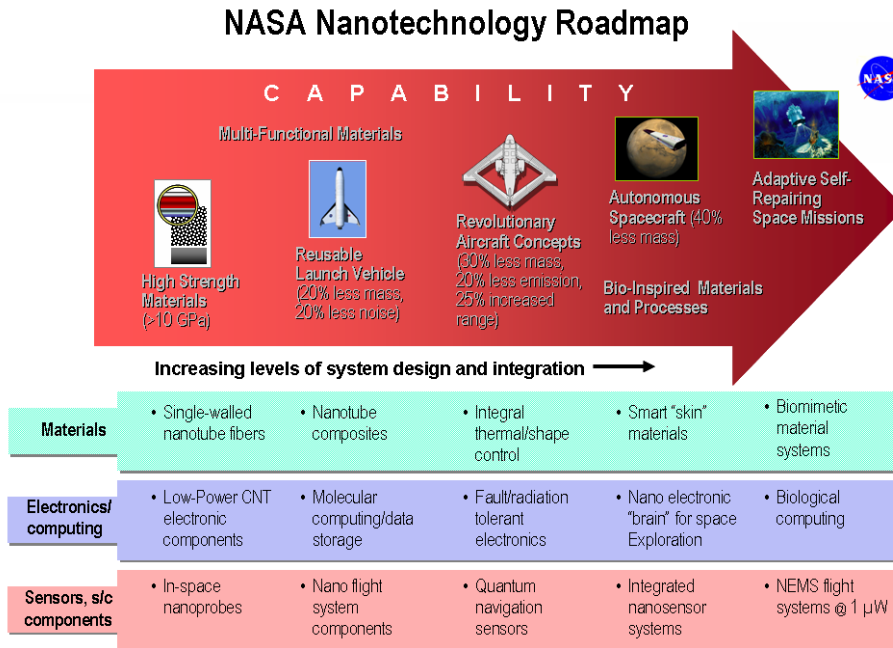
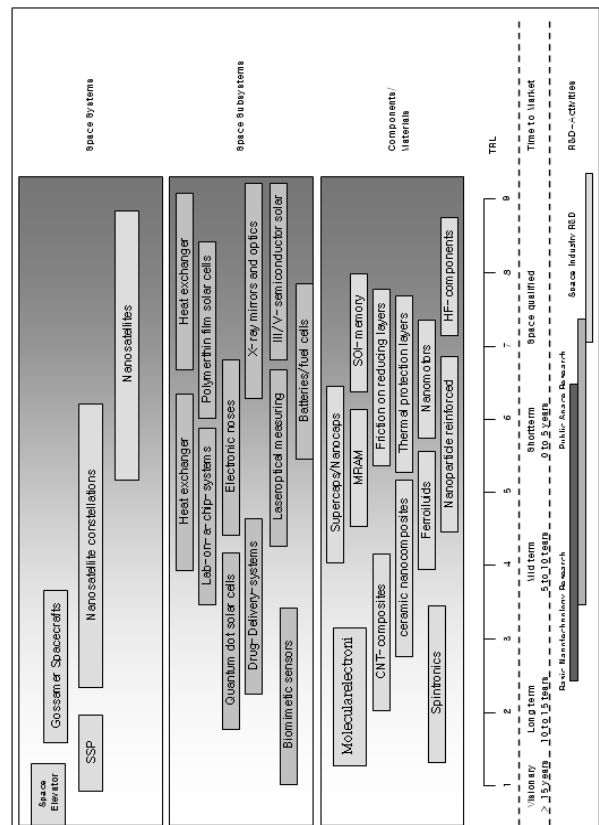


그림 1. NASA [4]

Nanoelectronic 분야에는 우주탐사를 위한 Nano electronic brain 시스템, 그리고 Sensor 분야에는 앞의 두 분야에 필요한 탐지기술로서 1μW의 아주 낮은 용량으로 작동되는 NEMS (Nano Engineered and Molecular Systems)을 비롯하여 화학, 광학, 그리고 생체를 이용한 Multi-sensor arrays를 포함한다.

우주분야에 적용이 가능한 나노기술이 각 시스템별로 표-1에 나와있다[5]. 그림에서 TLR (Technical Readiness Level)은 기술준비 수준으로 0에서 9까지 기본원리보고 수준에서부터 비행검증 수준까지를 단계별로 나타낸다[6]. 우주 적용을 위한 나노 기술 개발에 관한 연구 및 개발 활동은 기술 개발 상태와 관련해 각기 다른 수준에서 적용될 수 있다. 우주 개발 산업의 연구 개발 활동들은 개발 위험을 덜기 위해서 보통 TRL 6단계로 시작한다. 공공 자금 지원의 우주 연구는 예산의 제한 때문에 단기간에 시장 준비에 도달하는 나노 기술 구성요소의 첫 번째인 Qualification 단계에 초점을 둔다. 대량생산의 가능성이 있는 정보통신기술이나 생명과학과 관련된 나노 기술 개발을 위한 중, 장기간 연구 비용은 주로 공공 자금의 지원에 의하여 연구되고 있다.

표 1. [5]



본 조사연구의 결과는 우주항공분야는 물론이고 나노기술, 나노소재 등의 개발 계획 수립 등에 활용될 수 있을 것이며, 나노기술(NT)과 우주기술(ST)을 결합한다면 큰 시너지효과를 얻을 수 있을 것이다.

## 2. 우주분야 적용을 위한 나노소재

탄소나노튜브(CNT, Carbon Nanotube)는 우수한 기계적 특성(분자 수준으로 강철보다 약 50배 더 강하며 눈에 띄는 열과 전기전도도) 때문에 우주에서 우주 구조, 열 통제 장치, 센서 기술, 전자공학과 생체의학의 영역 안에서 적용이 가능한 분야가 많다. 따라서 NASA의 나노 기술 프로그램의 상당 부분이 CNT 기본 재료, 감지기와 전자공학의 개발과 적용에 기반을 둔다. 특히 우주 구조에서 부피 절감이 중요한데 CNT를 사용하면 우주비행체의 크기와 부피를 줄이고 탑재중량을 늘림으로써 우주 수송 비용을 절약할 수 있다. 현재 지구의 궤도로 운송하는데 kg당 약 1만에서 2만 달러이상의 비용이 드는 것으로 알려져 있다. NASA의 연구에 따르면[7], 우주왕복선을 복합재료로 제작할 경우 55%의 무게절감이 가능하고 나노튜브를 이용한 복합 재료를 사용한다면 최대 82%까지 무게를 줄일 수 있다(그림 2).

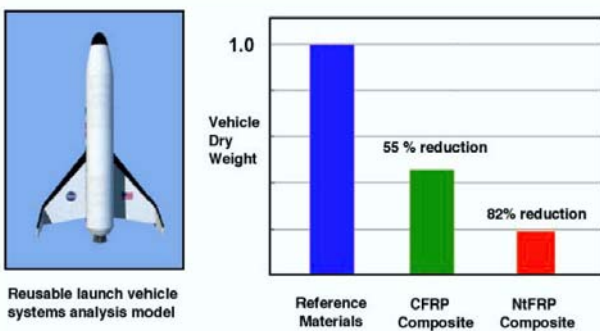


그림 2. Results of a systems analysis study of a reusable launch vehicle[7]

만일 미래에 우수한 특성의 CNT를 대규모로 제조할 수 있고, 뛰어난 분자 속성을 거시적인 재료로 이전하는 것이 가능하다면 향상된 전통적 우주비행체도 가능할 뿐만 아니라 현재에는 실현 불가능한 것 처럼 보이는 구조물에도 적용이 가능해질 것이다. 예를 들어

그림 3과 같이 스스로 지탱할 수 있는 CNT 로프로 구성되는 우주 승강기(Space Elevator)를 생각할 수 있는데 이것은 지구로부터 우주에 있는 대지 정지 물체까지 연결할 수 있다[8].



그림 3. Elevator [8] Space

지구 적도에서부터 35,787km의 궤도까지 선으로 연결하여 탑재체를 운반하는 것으로 요구되는 재료의 강도는 62 GPa이다. 이러한 기계적인 요구조건을 만족하는 재료는 현재 탄소나노튜브(CNT) 재료가 가장 유력하다. 개념도가 그림 3[8]에 나와 있다. 그림 4는 우주 승강기를 이용하고 있는 자기부상발사체(Magnetically Levitated Launch Vehicle)의 컴퓨터가상도를 보여 준다[8].

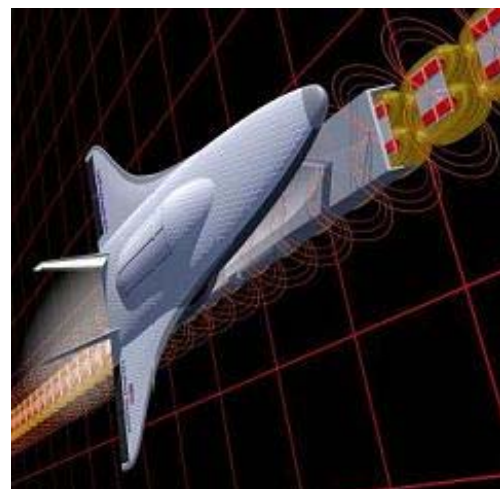


그림 4. Space Elevator 궤 따라 탑재체를 운반하는 자기부상발사체(Magnetically Levitated Launch Vehicle) 가상도[8]

NASA의 우주탐사계획에는 우주비행사를 달로부터 그리고 다음에는 화성으로부터 귀환시키기 위한 지구대기권 진입능을 가진 CEV(Crew Exploration Vehicle)의 개발이 포함되어 있다[9]. 이러한 임무의 경우, CEV 재진입 가열율은 각각 약 10-40배이며 우주왕복선의 날개 앞전보다 더 극심하다. 향후 NASA의 탐사임무들은 장기적일 것이며, 따라서 방사선에 대한 노출과 미소유성체 및 궤도잔해(MMOD, micrometeors and orbital debris)에 대한 노출이 확대될 것이다. 이러한 노출은 비행시간과 비례하여 선형적으로 늘어나기 때문에, 우주비행체용의 견고하고 내구성 있는 재료를 개발할 필요성이 시급하다. 나노기술의 발전은, 각각 잠재적으로 재앙을 불러올 수 있는 이 세 가지 위협들을 벗어나서, (질량감소를 통한) 임무안전 및 수행을 개선할 수 있는 단일 차폐물의 개발을 위한 새로운 개념들을 탄생시켰다.

NASA 에임스 연구소에서 개발된 열/방사선/충격 보호차폐물(TRIPS, Thermal, Radiation, and Impact Protective Shields)에 나노재료를 사용하기 위한 한 가지 개념이 그림 5[9]에 설명되어 있다. 격렬한 공력가열로부터 우주비행체를 보호하는 CEV의 열보호시스템(TPS, Thermal Protection System)도 열차폐막을 구성하는 재료를 현명하게 선택한다면 방사선 보호기능을 제공한다. 분석에 의하면[9], CEV TPS용의 고밀도 탄소페놀을 이용하면 50-70%의 방사선차폐 효과뿐만 아니라 우주에서 1년(화성탐사임무에 소요되는 전형적인 왕복여행시간)동안 머물 때 필요한 충분한 열보호 효과를 동시에 제공할 수 있다. TRIPS는 기존의 고밀도탄소페놀(갈릴레오호 진입탐사기 열차폐재료)이나 스타더스트호 귀환캡슐에 탑재된 페놀포화탄소 삭마제(PICA, Phenolic Impregnated Carbon Ablators)에서 비롯한 일회성 탄소 삭마제(ablator) 역할을 할 것이다. TRIPS 재료 또한 CNT로 구성되어 있어서 방사선차폐 기능을 추가하고 있다. CNT를 배열하면 TPS 지역을 가로질러 뜨거운 지점으로 향하거나 CEV의 열싱크로 향하는 수동열파이프의 역할을 함으로써 보다 가벼운 TPS를 만들어낼 수 있다. 그림 5에서 보는 바와 같이, 우주거주지(Space Habitats)를 위해 개발되고 있는 것과 유사한 내장형 MMOD 차폐막을 이용하면 제 3의 차폐 기능을 수행할 수 있다. 여기서, 직물의 단단한 세라믹 외피도 MMOD의 충격을 줄이는 역할을 한다.

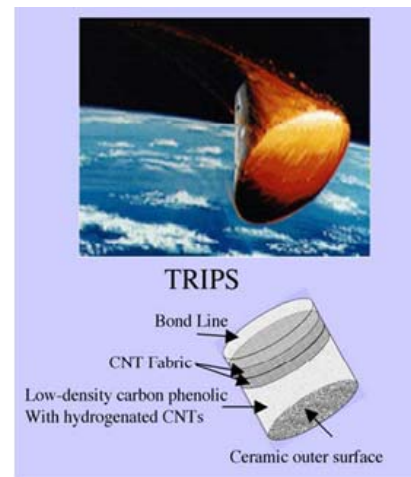


그림 5. A photograph of an Apollo-style CEV. A schematic of Thermal Radiation & Impact Protective Shield[9].

### 3. 우주분야의 나노전자 및 센서

전자분야에서는 초고성능, 저 파워 연산 및 통신 시스템을 위한 장치, 소형 우주비행체 시스템을 위한 저-파워, 통합 가능한 나노 장치, 장기간의 임무를 위한 bio-inspired adaptable, self-healing system, 초고 감도 감지, 분석, 통신을 위한 양자 장치와 시스템 등이 주로 연구되고 있다.

NASA에서는 최근에 최초로 나노기술로 제작한 전자기기를 우주에서 성공적으로 시험하였다[10,11]. 이 시험에서 나노센서가 우주비행체 내부의 미소기체를 탐지할 수 있다는 것을 보여주었다. 이 기술은 더 작고 더욱 기능이 높은 환경탐사가 가능하여 향후 우주인의 체류장소에 smoke 탐지기로 사용할 수도 있다. NASA의 Nano ChemSensor Unit은 미국 해군연구소의 MidSTAR-1 위성에서 2007년 3월 9일 2번째 시험을 완료하였다. 우주환경에서의 장기간의 임무에서 탐승인 공기공급원에 점차적으로 유독한 화학물질이 쌓이게 되는 문제가 있었는데 Nanosensor는 소량의 이러한 불순물을 탐지하여 탐승인에게 알려 줄 수 있다. 이 실험의 목적은 아주 작은 탄소 나노튜브에 센서소재를 입혀서 제작된 나노센서가 우주환경에서 견딜 수 있다는 것을 보여주었다. 또한 나노센서가 우주의 미소중력과 열과 cosmic radiation에서 얼마나 잘 작동하는지를 시험하였다.

탐지하기를 원하는 각 화학물질에 대하여 서로 다른 센싱소재를 사용하는데 미량의 화학물질이 센싱소재에 접촉했을 때 화학반응을 일으키게 되며 이때에 전류가 흐르게 된다. 우주환경에서 시험하기 위하여 32개의 나노센서가 있는 컴퓨터칩에 있는 작은 챔버에 20ppm의 NO<sub>2</sub>를 주입하고 기체와 센싱소재가 접촉할때의 전류변화를 측정한다. 32개의 나노센서가 있는 칩은 1.3cm보다 작은 크기이며, 같은 측정을 하기위해 사용되는 분석장비보다 훨씬 작고 비용도 저렴하다. 또한 사용하는 전력도 작고 견고하다는 장점이 있다. 현재 탄소나노튜브를 사용하여 암모니아, 과산화수소, 산화질소, 탄화수소나 다른 휘발성 화합물과 기체에 대한 센서를 개발하고 있다[11].

#### 4. 나노추력기

지금 사용중인 대부분의 로켓엔진은 화학추진에 의존하고 있다. 모든 우주비행체는 발사시에 어떤 형태든지 화학로켓의 형태를 사용하고 있고 인공위성의 각도조절, 회전 및 고도조정에도 사용하고 있다.

현재 연구 중인 새로운 형태의 우주추진시스템중의 한 분야[12]는 field emission electric propulsion (FEEP), colloid thrusters, 그리고 여러 다른 방식의 field emission thrusters (FETs)을 포함한 EP (Electric propulsion)이다. EP 시스템은 기존의 화학로켓에 비하여 요구하는 추진제 중량을 크게 줄일수 있으므로 Payload용량을 증가시킬 수 있고, 발사체 무게를 줄일 수 있다. EP는 NASA의 Deep Space 1, Japan's HAYABUSA, 그리고 ESA의 SMART-1 missions에서 기본추진시스템으로 성공적으로 사용된 적이 있다. 새로운 EP 개념은 정전기로 충전된 고속 나노입자를 추진제로 사용하는 것이다. 수백만개의 나노입자 추력기는 1 cm<sup>2</sup> 내에 가능하고 어느 정도 크기의 추력기 array의 제작이 가능하다.

Field emission 추력기는 우주비행체를 궤도에 발사하기에는 적합하지 않다. 주된 목적은 고도조정과 가속이다. 우주비행체를 원하는 궤도에 유지시키기 위해서는 drag, 중력, solar pressure, 그리고 magnetic streams 등 여러 가지 많은 힘 보정해야 한다. 여러 종류의 EP기술은 아주 적지만 고도로 조절이 가능한 추

력수준을 제공하기 때문에 다른 방법으로는 불가능한 새로운 임무를 수행하는데 적합하다.

미시간대학[13]에서 개발하고 있는 새로운 electrostatic thruster technology은 micro-and nano-electromechanical systems (MEMS/ NEMS)과 함께 나노입자를 추진제로 사용한다. nanoFET, 또는 nanoparticle field extraction thruster 라고 불리우는 추진기관은 효율이 높은 variable specific impulse engine 으로, 향후 우주과학과 우주 탐사임무를 위하여 대형화가 용이한 장점이 있다. nanoFET는 나노입자를 마이크론트기의 추력기를 통하여 생산 공급하고 가속하기 위하여 MEMS/NEMS 구조를 사용한다. 추진제로 사용하는 나노입자는 여러 가지 소재 및 형상으로 구성할 수 있다.



그림 6. NASA-173M V.1 [14]

작동원리는 다음과 같다. 먼저 전도성 나노입자가 micro-fluidic flow transport system에 의하여 작은 액체저장고로 이동하게 된다. 이때에 하부의 전도판과 접촉을 하는 입자는 하전되어 전기장에 의하여 액체표면까지 끌려온다. 만약 표면의 정전기력이 하전된 나노입자가 표면장력을 돌파하게 하게 하면 Field focusing이 표면을 통하여 입자를 급속히 가속하게 된다. 한번 추출하게 되면 하전된 나노입자들은 진공 전기장에 의하여 가속하게 되고 방출되어 추력을 생성하는 것이다.

그림 6에 NASA-173M V.1의 모습이 나와 있다 [14]. 5kW 고전압 추력기로서 300-1000V 와 5mg/s 조건에서 시험한 결과 600V 이상에서 50%의 효율성을 유지할 수 있었다.

2007년 7월에 최초의 Hall Thruster가 우주에서 사용되었다[15]. Microsatellite Propulsion Integration (MPI) 프로그램에서 BHT-200을 Air Force Research

Laboratory's (AFRL)의 TacSat-2 satellite에 장착하여 성공적으로 시험하였다. 200W에서 13mN의 추력을 냈으며 효율성은 43%였다. 그림-7에 BHT-200의 사진이 나와있다.



그림 7. BHT-200 Hall Effect Thruster Systems[15]

nanoFET의 장점은 나노입자의 생성, 보관, 공급 추출 그리고 가속뿐만 아니라 사용하는 전력에도 평판추력 설계가 가능한 MEMS/NEMS를 사용한 다는 것이다. 이 결과 모듈식으로 watts에서 megawatts 까지 크기를 높일 수 있으며 우주비행체 설계로부터 추력기 설계를 별도로 생각할 수 있다. 또 다른 장점은 하나의 엔진형태로 다양한 임무가 가능하다는 것이다. nanoFET는 전기 추진시스템으로 thrust-to-power ratio 가 아주 높으며 100s에서 10,000s 까지의 넓은 범위에서 특정 impulse로 조절이 가능할 뿐 아니라 전체 impulse 범위에서 90%이상의 고효율을 보여주고 있으며, ion thruster 처럼 수명이 제한되지 않는다는 것이다.

또한 사용하는 나노입자의 크기와 형상에 대하여 매우 유연하므로, 대부분의 전도성 소재, 예를 들면 metal nanospheres, nanowires 뿐만이 아니라 carbon nanotubes이나 fullerenes 등을 사용할 수 있다. 현재 5nm에서 70nm 크기의 니켈, 구리, 은 등의 나노입자를 사용하여 실험하고 있는 중이다[13].

국내에서는 국가우주개발중장기계획 따라 2025년 달탐사 착륙선을 개발할 계획이므로 지구에서 달까지의 비행을 위하여 나노 추력기를 이용하는 등 나노기술을 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

## 5. 분야별 응용가능한 나노기술

표 2

[5]

Space Technology	Nanotechnology
Structural Materials	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Nanoparticle reinforced polymers</li> <li>. CNT/CNT-composites</li> <li>. Metal matrix composites</li> <li>. Nanocrystalline metal/alloys</li> <li>. Nanostructured ceramic(s)...</li> </ul>
Energy Generation & Storage	<ul style="list-style-type: none"> <li>. III/V semiconductor solar cells</li> <li>. Thin film solar cells</li> <li>. QD solar cells</li> <li>. Fuel cells</li> <li>. Supercapacitors</li> <li>. Batteries/thin film batteries...</li> </ul>
Data Processing & Storage	<ul style="list-style-type: none"> <li>. SOI memory</li> <li>. Phase-Change-RAM</li> <li>. MRAM</li> <li>. Biological data memories</li> <li>. Molecular electronics</li> <li>. Spintronics ...</li> </ul>
Data Communication (Optical/EHF)	<ul style="list-style-type: none"> <li>. QD Laser</li> <li>. Photonic crystals</li> <li>. HF-components (HEMT, HBT, RTD)</li> <li>. SAW- components ...</li> </ul>
Sensor technology/instruments	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Gas sensors</li> <li>. QD IR sensors</li> <li>. Magnetoelectronic sensors</li> <li>. Scanning probe devices</li> <li>. X-ray optics/- mirrors...</li> </ul>
Life support systems/ biomedical applications	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Heat exchanger</li> <li>. Nanomembranes</li> <li>. Lab-on-a-chip Systems</li> <li>. Drug-Delivery-Systems ...</li> </ul>
Thermal protection/control	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Ceramic fiber composites</li> <li>. Thermal protection layers and isolations</li> <li>. Ferrofluids ...</li> </ul>

표 2에 우주탐구에 적용이 가능한 나노기술을 제시하였다. 이들 중에 몇몇 분야는 우주 개발의 상업적 활용이 가능한 분야로서 첨단 기술의 틈새 시장에서 mass production 시장으로 진입이 가능하다. 여기서 구동력은 무엇보다 FSS(고정 위성 서비스, Fixed Satellite Service), MSS(이동 위성 서비스, Mobile Satellite Services), DARS (디지털 오디오 라디오 시

스텔, Digital Audio Radio System) VSAT (Very Small Aperture Terminal, 극소 광학 터미널), 인터넷 등과 같은 위성 기반 서비스를 가지고 있는 정보통신 부문인데 이들은 지상 서비스의 보충으로서 확장을 늘릴 것이다. 또 다른 중요한 시장 부문은 기상 위성을 포함하는 지구 관측뿐만 아니라 위성 기반 항법과 GIS(지리 정보 서비스)다. 이러한 상업적 이용을 위해서는 공공 부분의 상당부분 예산을 적절한 운송 시스템과 우주 기반 시설에 투자해야 한다. 우주발사체 등 독자적인 기반기술 없이는 국제경쟁력이 없기 때문이다.

## 6. 맺음말

우주항공개발의 여러 분야에 걸쳐서 나노기술이 사용될 전망이다. 이로 인한 혜택은, 전자기기를 마이크로 규모로 소형화하고 나노탄소섬유복합재료를 개발하는 것처럼, 과거에 사용된 재료의 성능을 훨씬 능가할 것이다.

나노 기술과 우주 기술 둘 다 매우 광범위하고 서로 다른 기술 분야이다. 나노 기술 개발은 여전히 기초 연구 영역에 있으며 대개 제품 개발을 위해 높은 연구 개발 비용을 요구한다. 그러나 몇몇 분야에서 나노 기술은 이미 개발 단계에 이르렀으며 이것은 우주개발시 단기간에서 적용이 가능하다는 것을 알 수 있었다. 이제는 구체적인 우주 프로젝트와 임무, 우주 산업의 도출된 기술적 필요 조건들을 고려해서 개별 나노 기술적 구성요소/재료를 위한 기술적 필요조건 목록뿐만 아니라 상세한 타당성 연구를 포함하는 구체적인 방법이 우주 활용을 위해 만들어져야 한다. 우주에서의 기술 개발을 위한 제한된 자원의 견지에서, 비용 대 성능 비율에 관해 가장 유리하게 평가되는 나노 기술적 구성요소들에 집중하는 것이 필요하다.

국가우주개발중장기계획에 따르면 2020년 달탐사 위성을 발사할 계획이므로 나노재료 사용으로 인한 구조경량화, 행성간 비행을 위하여 나노입자를 추력기로 이용하는 등 나노기술과 병합한다면 우주항공 선진국으로서의 국제적인 경쟁력을 확보할 수 있을 것이다. 또한 센서와 Life supporting system, 에너지관리 및 전자부품에 나노재료 기술을 적용할 수 있도록 우주개

발 전문기관인 한국항공우주연구원의 주도로 장기적인 로드맵을 작성하여 국내의 나노기술 전문가를 활용하고 독점적으로 관련 기술을 점유할 수 있어야 하겠다.

## 참고문헌

1. National Nanotechnology Initiative, <http://www.nano.gov/>
2. FP7 : Nanotech, Materials, Processes, <http://cordis.europa.eu/fp7/dc/>
3. Nanotechnology Initiative Workshop, Nanotechnology in Space Exploration, Palo Alto, CA, National Aeronautics and Space Administration, August 24-26, 2004.
4. NASA Ames Center for nanotechnology, <http://ipt.arc.nasa.gov/index.html>.
5. ANTARES - Analysis of Nanotechnology Applications in Space Developments and Systems, VDI Technology Center, Dusseldorf, German, April 2003.
6. GAO/NSIAD-99-162 Best Practices Appendix I Technology Readiness Level Descriptions
7. NASA/TM-211664, National Aeronautics and Space Administration(2002)
8. NASA Science News Home web site, Audacious & Outrageous: Space Elevators, [http://science.nasa.gov/headlines/y2000/ast07sep\\_1.htm](http://science.nasa.gov/headlines/y2000/ast07sep_1.htm)
9. Nanotechnology in Space Exploration, Palo Alto, CA, National Aeronautics and Space Administration, August 24-26, 2004.
10. NASA MidSTAR-1 Successful Technologies May Be Revolutionary, <http://www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2008/midstar.html>, Feb 19 2008.
11. NASA Nanotechnology Space Sensor Test Successful in Orbit, June 18, 2007, [http://www.nasa.gov/home/hqnews/2007/jun/Q\\_07140\\_Nanotech\\_Sensor\\_Test.html](http://www.nasa.gov/home/hqnews/2007/jun/Q_07140_Nanotech_Sensor_Test.html)
12. Liu, T.M., Musinski, L.D., Patel, P.R., Gallimore, A.D., Gilchrist, B.E., Keidar, M., "Nanoparticle Electric Propulsion for Space Exploration", American Institute of Physics 978-0-7354-0386-4/07, Space Technology and Applications International



Forum (STAIF), Albuquerque, New Mexico,  
February 11-15, 2007.

13. Space exploration to be fueled by nanotechnology  
propulsion technology,

<http://aerospace.engin.umich.edu/spacelab/>  
14. NASA TM-2002-211880

15. BUSEK Co. Inc., Home Page,  
<http://www.busek.com/halleffect.html>