

# 나노 라디오 개발 동향

Development Trends on Nano Radio

박진아 (J.A. Park)      스펙트럼공학연구팀 연구원  
박승근 (S.G. Park)      스펙트럼공학연구팀 책임연구원

## 목 차

- .....
- I . 나노 기술 개요
  - II . 탄소나노튜브
  - III . CNT를 이용한 나노 라디오 개발 사례
  - IV . CNT를 이용한 나노 라디오 킬러 애플리케이션과 그 밖의 이슈
  - V . 시사점

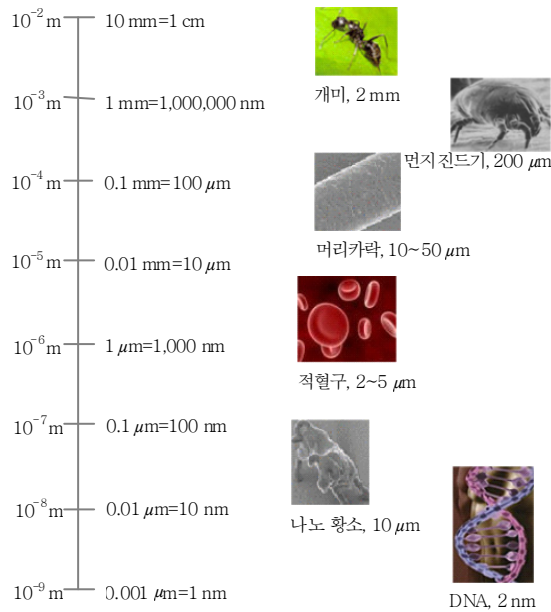
MIT의 '테크놀로지 리뷰'는 2008년 10대 유망기술 중 하나로 나노 라디오를 소개하였다. 이와 관련하여, 본 논문에서는 나노 기술을 지원하기 위한 각국의 정책과, 현재까지 개발된 나노 라디오가 탄소나노튜브(carbon nano tube)를 이용한 점을 고려하여 CNT의 발견 및 특성을 간단히 소개하였다. 또한, 잇따른 나노 라디오의 개발사례와 동작원리를 설명하고, 나노 라디오의 킬러 애플리케이션과 CNT를 둘러싼 그 밖의 이슈를 함께 살펴보았다.

## I. 나노 기술 개요

나노(nano)라는 용어는 작다는 뜻을 가진 고대 그리스의 난쟁이라는 의미의 'nanos'에서 유래되었다. 나노는 10억 분의 1 m를 나타내며, 1 나노미터 (nm)는 전자현미경으로나 볼 수 있는 수준으로, 원자 3~4개가 배열된 정도의 극히 미세한 크기를 의미한다. (그림 1)은 나노크기에 대한 이해를 돕기 위한 비교도이다.

(그림 1)에서 보는 것처럼 나노 기술은 물질을 나노미터 크기의 범위에서 조작하고 분석하여 이를 제어함으로써, 새롭게 혹은 개선된 물리, 화학, 생물학적 소재(material)나 소자(device) 또는 시스템을 창출하는 과학 기술이다. 흔히 보는 물질이라도 나노미터 크기를 갖는 나노 물질이 되면 물리적·화학적으로 독특한 성질과 현상을 나타낸다. 예를 들어 금과 은을 나노 크기(20 nm)에서 관찰하면 우리가 아는 것과 다르게 금은 붉은 색을, 은은 노란색을 띠게 된다.

이와 같이 극미세 물질일 때, 달라지는 여러 가지 특성을 이용하여 우리 삶에 이용할 수 있는 생활용



(그림 1) 나노 크기 비교도

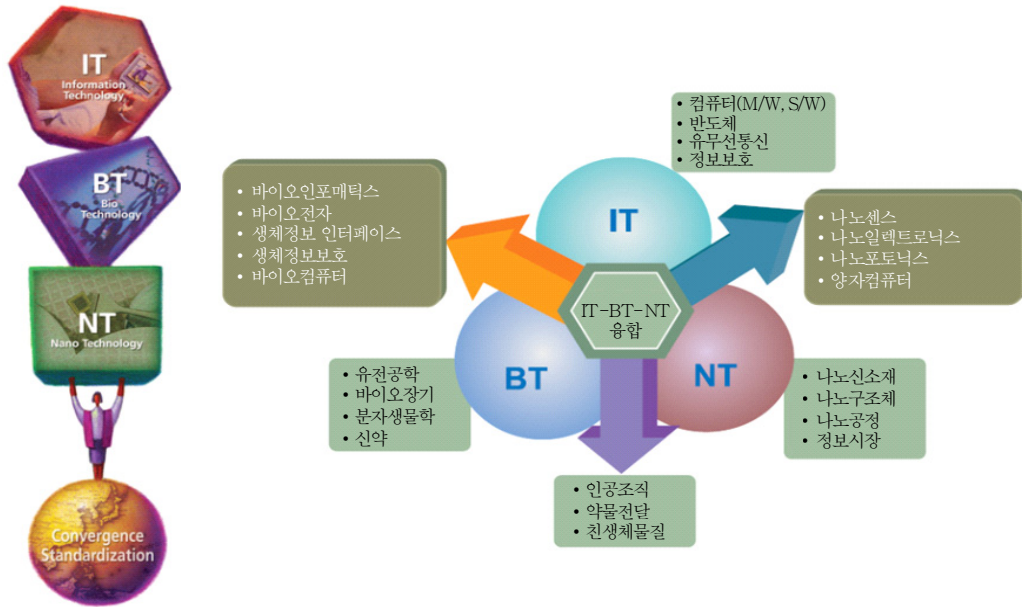
품에서부터 통신 소자에 이르기까지 나노 기술은 발전하고 있다. 처음 나노 기술에 대한 연구는 반도체 미세 기술을 극복하는 대안으로 시작되었으나, 현재 전자와 정보 통신은 물론 기계·화학·바이오·에너지 등 거의 모든 산업에 응용할 수 있어 인류 문명을 획기적으로 바꿀 기술로 떠올랐다. 나노 기술은 발전양상이 다양하므로, 정해진 분류법이 있는 것은 아니지만 크게 세 가지 핵심 분야로 분류할 수 있다.

- 1) 나노 소재로 극미세한 크기의 물질과 재료를 합성하는 기술
- 2) 나노 소자로 나노 크기의 재료들을 조합하거나 배열하여 일정한 기능을 발휘하는 장치를 제작하는 기술
- 3) 나노-바이오(나노 기술을 생명공학에 응용), 나노-IT(나노 기술을 IT 기술과 접목) 등의 이론 정립, 컴퓨터, 환경생태 및 융합과 관련된 모든 다양한 기술 및 기타

앞서 살펴본 것과 같이 나노 기술은 전통제조 산업뿐만 아니라 전통제조와 접목되어 전통제조 기술 혁신을 유도하고, 또한 (그림 2)와 같이 IT, BT 등의 첨단 기술과 융합하여 국가 미래 핵심전략 산업을 고도화 시킬 수 있는 기반 기술로서, 나노 기술은 21세기 국가 과학 기술 경쟁력 확보와 경제, 사회의 지속적인 발전을 위한 핵심기술로 인식되고 있다.

이와 같은 특징을 바탕으로 나노 기술은 2008년 2월 화장품, 은나노 치약, 음식물 보관함, 냄새 없는 양말, 테니스 라켓 등 총 600여 종의 상품을 출시하기도 하였다.

나노 기술의 시장은 2001년 460억 달러에서 2010년에는 1조 달러로 연평균 약 30% 이상 성장할 것으로 미국 NBA(나노조합)는 발표하였고, 일본 히타치 총연에서는 분야별로 나노전자, 통신분야 약 6천7백억 달러, 나노소재 분야 4천1백억 달러 그리고 계측 및 공정 분야 5백억 달러 등으로 시장을 예측했다. 또한, 미국 NSF(과학재단)에서는 향후 10년간 약 200만 명의 나노 기술 전문 인력이 필요할 것이라고 전망했다.



(그림 2) 첨단 기술과 나노 기술의 융합 1)

나노 기술이 미래를 짚어지고 갈 핵심 기술로 부상함에 따라 세계 각 주요선진국에서는 나노 기술에 많은 연구비를 투자하고, 인력 및 기술개발을 지원하고 있다. 세계 각국에서는 나노 기술을 핵심적으로 지원하기 위한 주요 제도를 정비하고 정책을 입안하였다.

미국은 2000년 1월, 제1기 NNI 전략을 발표하고, 나노 기술을 국가 경제 및 안보를 위한 최우선 전략과제의 하나로 공식 인정하였다. 이후 2003년 12월, 「나노기술개발법」 통과, 2004년 12월, 제2기 NNI 전략을 수립하여 NNI 추진 5년 만에 예산 2배 이상 증액하였다. 현재, 2015년경 실용화를 목표로 10개 전략과제(선폭 10 nm 이하 트랜지스터, 암의 조기발견·진단·완치, 첨단소재와 나노제조, 화학물질 제조용 신축매 등)를 선정하여 추진하고 있다. 또한, 나노 기술 인프라 확충을 위하여 나노전문센터(2003년 10개 ⇒ 2004년 17개) 및 나노 Fab.<sup>1)</sup> 네트워크(1993년 5개 ⇒ 2004년 13개 대학)를 확

충하고, 2006~2008년 완공예정인 국립연구소를 중심으로 5개 대형 나노랩을 건립중이다.

일본은 1991년 국가 프로젝트인 「Atom 프로젝트」, 2001년 6월 「n-Plan-21」을 추진하여 정부 부처간 연계를 강화(과학기술연계시책)하고 타 분야와의 융합연구 프로젝트 지원을 본격화 하였다. 2001년 이후 연구비 투자는 매년 증가하였으며, 융합분야 연구개발을 2005년도 최우선 연구분야로 선정하고, 정보통신용 나노소재, 에너지/환경 재료, 나노바이오, 공정/측정, 기능창출 재료 등 5개 분야로 나누어 기술개발을 추진하고 있다.

유럽연합집행위원회(EC)는 2004년 9월 나노 기술 전략을 수립하고, 2005년 4월 제7차 프레임워크 프로그램(2007~2013년)의 “나노 소재 산업화” 부문에 48억 3,200만 유로를 책정하였다. 또한, 2010년까지 나노 기술 연구개발의 투자규모를 3배 이상 확대할 예정이다.

국내에서도 국가차원의 나노 기술정책을 지속적, 체계적으로 추진하기 위한 정부차원의 중장기 정책이 수립되었다. 2001년 7월 제1기(2001~2005년), 2005년 2월 제2기(2006~2015년) 나노기술종합발전계획 및 연도별 시행계획을 수립하여 추진중이다.

1) 나노 기술의 연구개발을 추진하는 데 필요한 분석·가공·공정 또는 특성평가 등과 관련된 장비·시설의 일체

〈표 1〉 MIT 선정 올해의 10대 유망기술

2001	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Brain-Machine Interfaces	Wireless Sensor Networks	Universal Translation	Airborne Networks	Nanomedicine	Peer-to-Peer Video	Modeling Surprise
Flexible Transistors	Injectable Tissue Engineering	Synthetic Biology	Quantum Wires	Nano-bio Mechanics	Mobile Augmented Reality	Probabilistic Chips
Data Mining	Nano Solar Cells	Nanowires	Silicon Photonics	Epigenetics	Neuron Control	<b>Nano Radio</b>
Digital Rights Management	Mechatronics	Bayesian Machine Learning	Metabolomics	Comparative Interactomics	Single-Cell Analysis	Wireless Power
Digital Rights Management	Mechatronics	Bayesian Machine Learning	Magnetic-resonance Force Microscopy	Diffusion Tensor Imaging	Nanohealing	Atomic Magnetometers
Biometrics	Grid Computing	T-Rays	Universal Memory	Cognitive Radio	Metamaterials	Offline Web Applications
Microphotonics	Nanoimprint Lithography	RNA Interference	Bacterial Factories	Pervasive Wireless	Optical Antennas	Graphene Transistors
Untangling Code	Sofeware Assurance	Power Grid Control	Enviromatics	Universal Authentication	Compressive Sensing	Connectomics
Robot Design	Glycomics	Microfluidic Optical Fibers	Cell-phone Ciruses	Nuclear Reprograming	Personalized Medical Monitors	Reality Mining
Microfluidics	Quantum Cryptography	Personal Genomics	Biomechatronics	Stretchable Silicon	Quantum-Dot Solar Power	Cellulolytic Enzymes

\* 2002년 유망기술은 발표되지 않음

이러한 가운데, 지금 세계에서 가장 유망한 신기술은 무엇일까? 미국 매사추세츠공과대학(MIT)이 발행하는 ‘테크놀로지 리뷰(Technology Review)’는 향후 5년 이후의 경제 및 사회적 파급효과가 클 것으로 예상되는 10대 유망기술(emerging technologies)을 소개해 왔다. 참고로 <표 1>은 2001년부터 테크놀로지 리뷰가 선정한 유망기술을 정리한 것으로 대부분 BT, IT 및 NT 기술이 차지하는 것으로 나타났다.

2008년 올해 발표된 2008년 10대 유망기술의 하나로 ‘나노 라디오’ 기술이 소개되면서 전자·전기기업계의 많은 관심이 쏠리고 있다. ‘나노 라디오’의 단어 그대로의 의미는 나노 크기로 수신이 가능한 라디오를 만드는 기술이지만, MIT에서 선정한 <표 1>의 나노 라디오는 ‘탄소나노튜브(이하 CNT로 표기)’라는 물질을 이용해 수신이 가능하도록 설계된 장치로 한정한다. 즉, CNT의 전자기파에 따른 진동

특성을 이용해 만든 나노 크기 라디오로, 저전력 휴대전화기 생산뿐만 아니라, 인체 내의 극소형기간의 통신을 가능케 함으로써 미래 의학 분야에도 적용이 가능하다는 것이다.

실제로 세계 주요 나라의 매체에서는 나노미터 크기의 나노 라디오를 개발한 미국 대학들의 사례를 일제히 보도하며 미래 통신 및 미래 의학에 많은 가능성이 있다고 밝혔다. II장에서는 현재, 나노 라디오 개발을 가능하게 한 CNT의 발견 및 유형, 관련 특허, 시장 등 다양한 특징에 대해 살펴본다. III장에서는 나노 라디오 개발사례 및 동작원리를 소개하고, IV장에서 나노 라디오 킬러 애플리케이션과 CNT를 둘러싼 그 밖의 이슈를 살펴본다.

## II. 탄소나노튜브

20세기의 핵심 물질이 실리콘이었다면, 21세기

의 핵심 물질은 탄소가 될 것으로 예측하고 있다. 그 중에서도 나노 크기의 탄소 소재가 주목을 받고 있다. 본격적인 나노 기술의 구현은 (그림 3)에 나타나 있는 1985년 Kroto와 Smalley가 풀러렌(Fullerene: 탄소원자 60개가 모인 것, C<sub>60</sub>)을 처음으로 발견한 것에 기인한다.

또한, (그림 4)에 나타난 리지마 박사는 1991년 일본 전기회사(NEC) 부설 연구소에 근무하던 당시 긴 대롱 모양의 CNT를 처음 발견하고 Nature지에 발표하였다. 이후 나노 기술이 급격히 활성화 되었다.

CNT는 탄소원자가 벌집처럼 6각형으로 연결돼 다발을 이룬 모양으로 지름이 나노미터 단위이다. 앞서 설명한 풀러렌(C<sub>60</sub>)이나 CNT는 탄소의 동소체(allotrope)<sup>2)</sup> 중의 하나로, 탄소에 고온을 가하여 일종의 연소과정을 겪으면 합성방법에 따라 (그림 5)와 같이 8가지 동소체가 나타나게 된다.

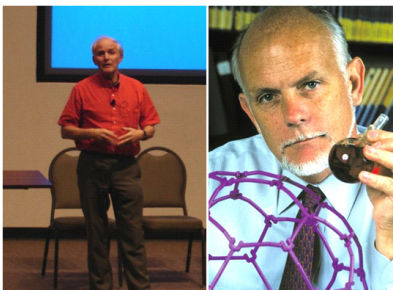
CNT는 나노 크기의 극미세 물질이고, 구리에 비해 1,000배나 되는 우수한 전기전도도를 가지며, 밀

도에 비해 강도가 좋고 그 강도가 강철의 100배에 달한다. 통상의 탄소섬유는 1%의 변형만 이루어져도 끊어지지만, CNT는 15%의 변형에도 끊어지지 않는 것으로 나타났다. 또한 알루미늄보다 가볍고, 열전도율이 자연에서 가장 뛰어난 다이아몬드와 비슷하다.

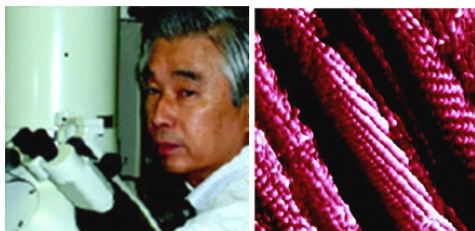
CNT는 결합유형에 따라 다양한 성질을 갖는 것이 특징인데, 예를 들어 (그림 5)의 (a) 다이아몬드와 (b) 그래파이트(흑연)는 거의 절연체에 가깝고, (h) CNT는 결정구조에 따라 다양한 성질을 나타낸다. <표 2>는 CNT의 다양한 구조에 따른 특징을 나타낸다.

이러한 여러 가지 특징으로 인해, CNT는 21세기 실리콘의 뒤를 이을 차세대 재료로 주목받고 있는 것이다. (그림 6)은 CNT의 응용기술로 상용화된 서비스를 나타낸다.

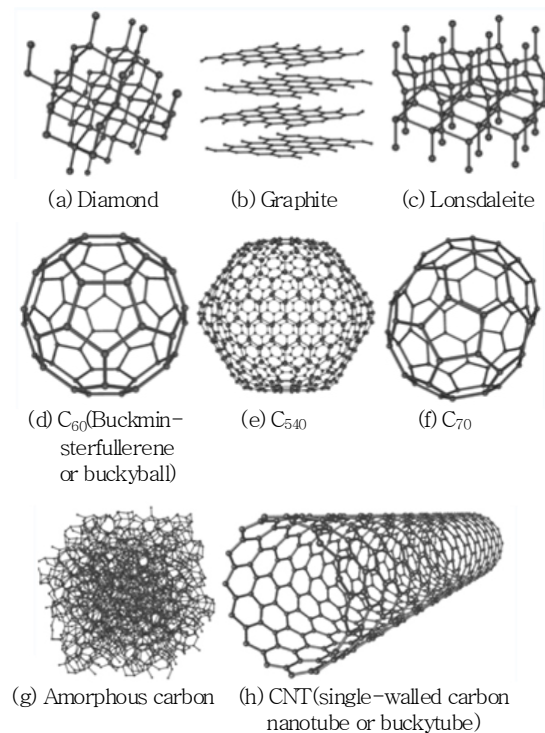
CNT의 서비스 중에서 산업적으로 가장 앞서 나가는 분야가 (그림 6) 상단 맨 좌측의 FED 분야로, 우리나라의 FED 기술은 세계적으로도 우위에 있다.



(그림 3) Kroto(좌)와 Smalley(우, 노벨상 수상)



(그림 4) Sumio Iijima 박사(좌)와 CNT(우)



(그림 5) 탄소의 8가지 동소체[2]

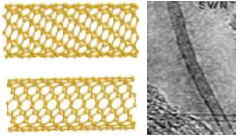
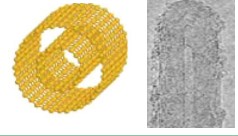
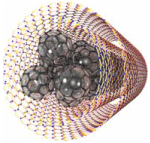

<sup>2)</sup> [명사]<화학> 같은 원소로 되어 있으나 원자의 배열 또는 결합 방법이 다른 물질, 산소와 오존, 흰인과 붉은인, 다이아몬드와 흑연 따위가 있다.



이 밖에도 노트북 컴퓨터의 전원을 며칠 동안 교체 없이 사용할 수 있도록 하는 휴대용 연료전지, 군용 비행기 등의 전자파 차단 코팅, 가벼움과 강한 강도가 필수적인 운동기구 등이 있다. 아직까지 대량생산이 활성화되어 있지 않기 때문에 현재까지는 가격이 비싼 편이지만, 원천 재료의 가격이 저렴한 탄소를 이용한다는 것이 큰 장점이 되고, 장기적으로 적절한 가격의 안정화를 이루면 더욱 더 활성화 될 것으로 기대된다.

디스플레이 등 전자부품 소재로 사용되는 emitter와 FED 분야가 1999년 이후 활발한 증가를 이

〈표 2〉 CNT의 다양한 구조

유형	사진	특징
단일벽 (Single-wall)		전기전도성, 열전도성이 가장 우수
이중벽 (Double-wall)		전기전도성, 기계적 특성이 뛰어남
다중벽 (Multi-wall)		전기와 열적 특성은 떨어지나 기계적 특성이 우수하고, 제조가 용이해 응용범위가 넓음
다발 (Rope)		단일벽 나노튜브가 여러 개 붙어서 다발을 이룬 튜브 형태의 다발형 나노튜브

루며, 연료전지와 이온분리 전극 분야도 많은 연구가 진행되는 것으로 파악된다. 이와 관련하여 일본에서는 1991년부터 CNT에 관한 특허가 출원되기 시작했으며, 정부와 민간이 합동으로 기술경쟁력 확보를 위한 방안으로 나노 기술 연구개발이 활발해져 현재 특허 출원이 급상승하고 있다. 미국과 우리나라도 일본과 비슷한 추이를 나타내지만 정도의 차이가 있으며, 미국은 1992년, 우리나라는 1997년부터 관련 특허가 출원된 것으로 파악된다.

참고로, 세계기술평가센터(WTEC, 미국 로올대 소재)에서 수행한 나노 기술 분야에 대한 국가간 경쟁력을 분석한 결과에서 나노 기술뿐만 아니라 전문 인력 등에서도 미국이 가장 월등하고 우리나라가 많이 부족한 것으로 드러났다. CNT의 구조가 쉽게 조절되고 물리적 특성이 다양하기 때문에 꿈의 신소재로 불리며, 다양한 분야에서의 활용이 예상되는 만큼 국내에서도 체계적인 지원 및 기술개발을 통해 나노 기술의 진화를 도모해야 할 것이다.

III장에서는 다양하게 개발되고 있는 나노 기술 중에서 CNT를 이용하여 개발된 나노 라디오에 대해 소개한다.

### III. CNT를 이용한 나노 라디오 개발 사례

앞서 언급한 대로, CNT는 구조에 따라 반도체 및 도체로의 조절이 가능하기 때문에 초소형 의하기 및 미래 전자·전기통신기기와 같은 IT 분야에서



(그림 6) CNT의 상용화 서비스

도 관심의 대상이 되고 있다. 휴대폰에서 RFID, 센서에 이르기까지 휴대하기에 편안하도록 장치의 소형화 및 컨버전스 기술이 진화하고 있으며, 나노 기술은 분명 이러한 무선통신분야의 진화추세에도 많은 영향을 미칠 것이다. 어떤 무선장치도 나노 크기에서 오는 장점을 가질 수 있기 때문이다.

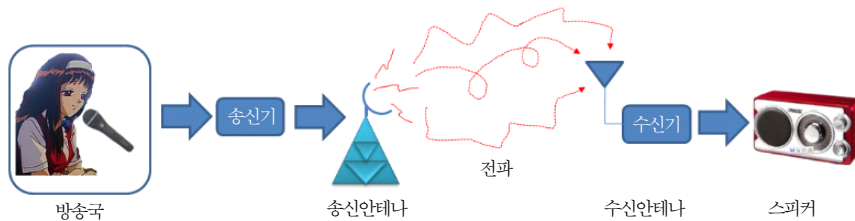
튜너(tuner)와 같은 작은 전자 구성요소는 전력 소비를 줄여 배터리 수명을 연장할 수 있다. 그 예로, CNT를 이용한 pnp 접합형 트랜지스터, 다층벽 CNT를 이용한 나노크기 커패시터(capacitor), 극초단파 증폭기(amplifier), 메모리칩(memory chip) 등 소형화된 소자들이 개발되고 있다. 특히, 2007년 말부터 CNT를 이용하여 잇따라 개발되고 있는 나노 크기의 검파기와 트랜지스터 라디오, 그리고 나노 라디오의 개발은 또 하나의 나노 기술에 획을 긋는 연구가 되었다.

라디오는 (그림 7)과 같이 방송국으로부터 음악, 드라마, 뉴스, 강연 따위 방송 프로그램의 음성을 전파로 내보내어 수신 장치를 갖춘 많은 사람들에게 듣게 하는 것이다. 좁은 뜻으로는 방송국에서 보낸

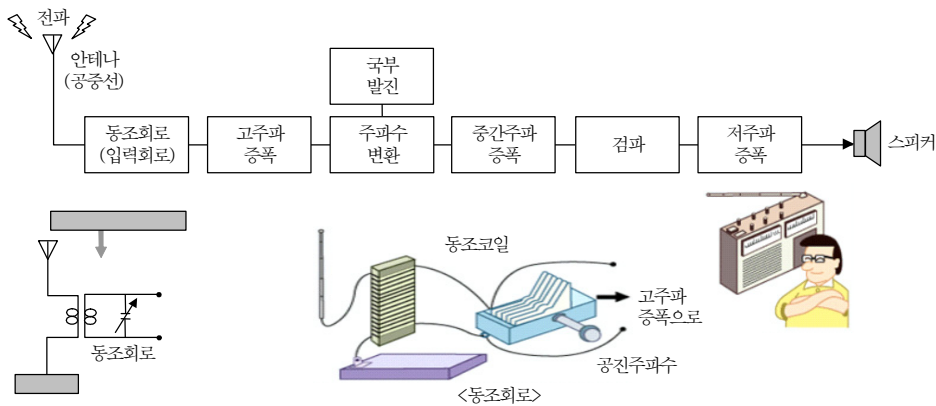
전파를 수신하여 음성으로 바꾸는 기계를 가리키는 경우가 많다. 라디오는 간단히 말해서 소리를 전기 신호로 바꾸어서 그것을 전파에 실어 보내어 다시 소리로 재생하는 것이라 할 수 있는데, 이러한 기능을 수행하기 위해서는 최소한 전파를 수신하는 안테나와 이를 소리로 전환하는 수신 장치를 구비해야 한다.

방송국의 안테나에서 방사된 전파를 수신한 후 고주파(반송파)에 실려 있는 저주파(음성 신호)를 분리하여 스피커를 통해 원래의 음을 재생하여 주는 수신기로서 (그림 8)과 같이 동조회로, 고주파증폭회로, 검파회로, 저주파증폭회로 등으로 구성된다. 즉, 라디오는 공중을 통하여 전달되어온 전파를 안테나가 포착하여 동조, 고주파 증폭, 검파, 저주파 증폭 등의 과정을 통하여 원래의 음을 재생하게 된다.

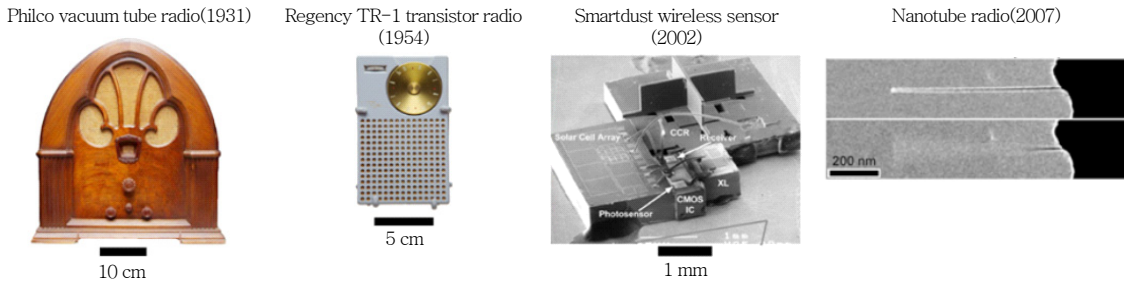
여기서 동조 회로는 전파 중에서 듣기를 원하는 방송의 전파를 골라내는 역할을 하고, 고주파증폭회로는 세기가 약한 고주파 신호를 세기가 강한 고주파로 증폭한다. 검파 회로는 증폭된 고주파 신호를 음성 신호와 반송파로 분리하고, 저주파증폭회로가



(그림 7) 라디오 동작원리



(그림 8) 라디오 수신부의 구성 및 동작원리[3]



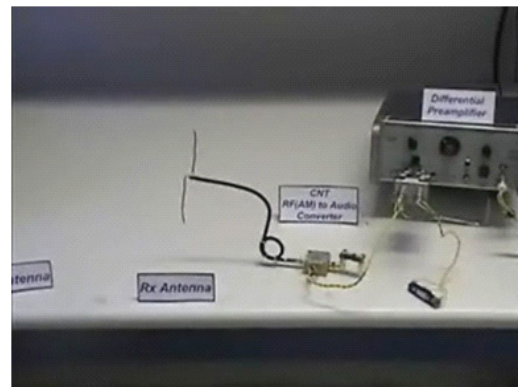
(그림 9) 라디오의 소형화 연구 사례

검파 회로에서 분리한 음성 신호는 스피커를 통해 듣기에는 세기가 약하므로 다시 한번 강하게 증폭하여 스피커로 보내게 된다.

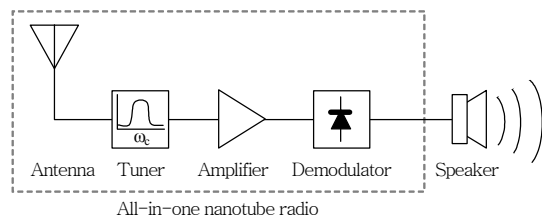
(그림 9)에서 볼 수 있듯이 과거 거대 진공관에서 이어져 이러한 라디오의 소형화 연구가 이루어지기 까지 다양한 연구 및 성과가 있었다. 먼저 1931년에는 진공 튜브를 이용한 10 cm 크기의 라디오를 개발하였고, 1954년 트랜지스터를 이용한 5 cm 크기의 라디오, 2002년 1 mm 크기의 센서 개발까지 급격한 기술 개발을 이루며 기기의 소형화를 실현시키고 있다.

2007년, 나노 라디오를 개발한 미국 UC 버클리 대학의 알렉스 제틀(Alex Zettle) 교수도 5년 전, 분자 크기의 라디오를 개발하기 위한 연구를 시도하였다. 제틀 교수팀은 라디오 수신기의 소자, 즉 안테나와 튜너 등을 개별적으로 소형화하고 통합하도록 연구하였으나, 구성 소자들을 개별적으로 통합하는 것은 아주 어려운 일이었다. 그러나 그 순간이 제틀 교수와 학생들에게는 또 다른 깨달음의 시간이었다. 즉, 하나의 나노 튜브를 이용하여 모든 라디오 기능을 구현할 수 있다는 것을 깨달은 것이다. 며칠 후 단일벽 CNT를 이용하여 나노 라디오를 개발하고, 데릭(Derek)과 도미노스(Dominos)의 “Layla”와 비치 보이즈(Beach Boys)의 “Good Vibrations” 곡을 들려주었다.

제틀 교수의 연구 이전에 미국 어바인 캘리포니아 대학 크리스 르터글렌(Chris Rutherglen) 박사과 피터 버크(Peter Burke) 교수를 포함한 연구진은 세계 최초로 CNT를 이용하여 AM 라디오 파를 소



(그림 10) 미국 어바인 캘리포니아 대학의 라디오 시스템



(그림 11) 나노 라디오의 블록 다이어그램[4]

리로 바꿀 수 있는 복조기를 개발한 사례가 있다.

그러나 이 연구진이 개발한 나노 라디오는 (그림 10)에서 볼 수 있듯이 검파기 부분만 CNT를 이용하여 나노 크기로 제작되었으며, 검파기를 제외한 다른 부분은 나노 단위가 아니었다. 이와 달리 제틀 교수진이 개발한 나노 라디오는 검파기뿐만 아니라 튜너, 안테나, 증폭기의 기능이 모두 구현된 진정한 나노 라디오를 개발하였다. (그림 11)은 라디오의 일반적인 블록 다이어그램을 나타낸다. 일반적인 라디오의 주요 구성요소는 안테나, 튜너, 증폭기, 복조기 기능이다.

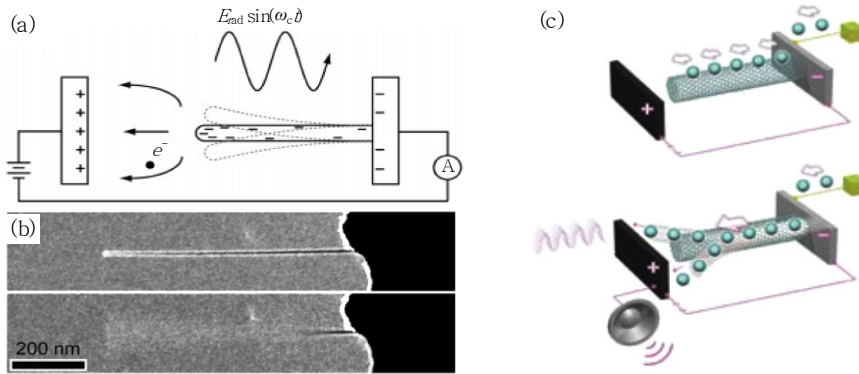


즉, 누군가 라디오 국(station)을 선택하면, 안테나에 수신된 여러 주파수의 신호 중에 튜너는 하나의 주파수로 맞추고(튜닝), 트랜지스터로 구성된 증폭기가 신호를 증폭하면 복조기가 음악 또는 다른 오디오 신호를 분리해내는 과정으로 동작된다. 그러나 제틀 연구진이 개발한 나노 라디오는 (그림 11)의 사각형 점선 부분이 하나의 단일벽 CNT로 구현되었다. (그림 12)는 (a) 나노 라디오의 동작원리와 (b), (c)는 나노 라디오의 비동작과 동작 시에 CNT의 진동상태를 나타낸다.

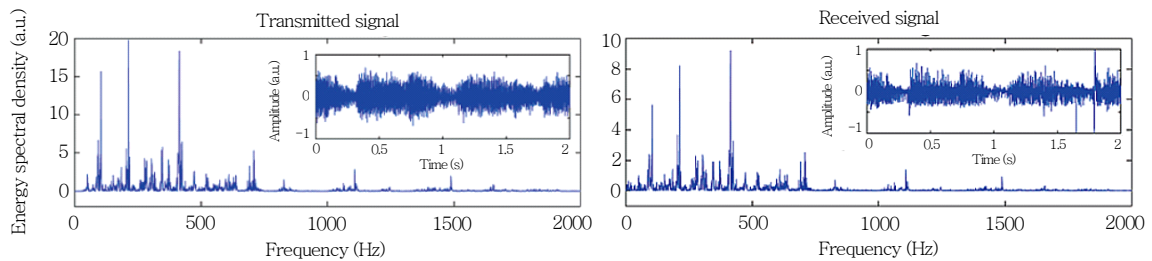
두 개(+, -)의 전극봉(판) 사이에 위치한 CNT는 라디오의 주요 구성요소인 안테나, 튜너, 증폭기, 복

조기의 기능을 통합한 역할을 수행한다. 전파가 나노 라디오에 전달하면 전파의 주파수에 따라 CNT가 좌우로 떨면서 진동을 하게 되고, 진동에 따라 CNT와 전극 사이에 걸려 있는 전기장이 달라지는 과정을 통해 신호를 복원해 낸다. (그림 13)은 송신 신호를 수신하여 상기 설명한 동작원리로 복원한 오디오 파형을 나타낸 것이다.

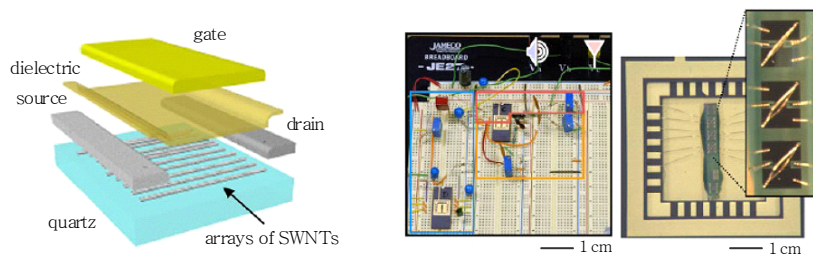
한편, 2008년 1월, 미국 일리노이 대학의 존 로저스(John Rogers)와 연구진은 CNT로 완전하게 작동되는 첫번째 트랜지스터 라디오를 만들었다. 이 연구진은 (그림 14)와 같이 박판(sheet) 형태로 단일벽 CNT 어레이를 평행하게 정렬하여 만들었다.



(그림 12) (a) 나노 라디오의 개략도 (b) 전자현미경으로 본 CNT의 동작/비동작시 측정사진 (c) [4]



(그림 13) 송신(좌) 및 수신(우)된 오디오 파형



(그림 14) 미국 일리노이 대학의 트랜지스터 라디오 구조도와 사진

이 방법은 기존의 일반적인 전자장치 공정기술을 사용할 수 있고, 반복적인 제조가 가능하여 재현성이 있다는 것이 가장 큰 장점이 될 수 있다.

#### IV. CNT를 이용한 나노 라디오 킬러 애플리케이션과 그 밖의 이슈

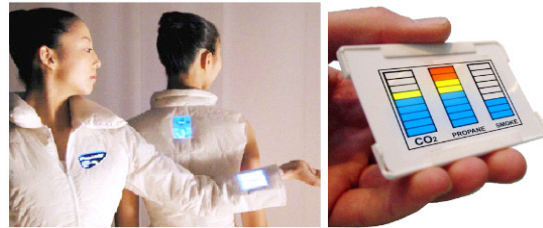
미국 어바인 캘리포니아 주립대학의 제틀 교수 연구진은 개발된 나노 라디오를 바이오센서에 부착하여 인체에 삽입하는 의료응용분야에 대한 연구계획을 갖고 있다. 나노 라디오가 전파를 받기도 하지만, 거꾸로 발신이 가능하기 때문이다. 이 연구가 잘 진행된다면, 초소형 바이오센서가 체내로 삽입돼 인체의 각종 정보를 취합하여 나노 라디오를 통해 전자기파로 바뀌어진 정보는 외부로 전달하는 것이 가능하게 될 것이다. 덕분에 (그림 15)와 같이 외부에서 신체 장기나 혈관의 이상을 세포 단위로 진단하게 될 수 있게 될 것이다.

CNT의 다양한 기술 및 시장규모에도 불구하고 2003년 3월, 미국화학회에서는 CNT가 인체에 유해하다는 결과를 발표하였다. 또한 캠브리지 대학의 포터(Porter)와 그녀의 동료들은 2007년 11월, Nature Nanotechnology에 세포를 이용하여 직접적으로 CNT가 세포를 공격하여 파괴시킬 수 있음을 발표하였다. 또한, 최근 ‘나노 레터스(NANO LETTERS)’ 학술지에 보고된 연구에 따르면, 실험용 쥐를 이용하여 CNT의 독성 여부를 조사하였고, (그림 16)과 같이 CNT가 쥐의 폐질환을 야기한다는 것을 직접적으로 보여주는 결과를 발표하기도 했다.

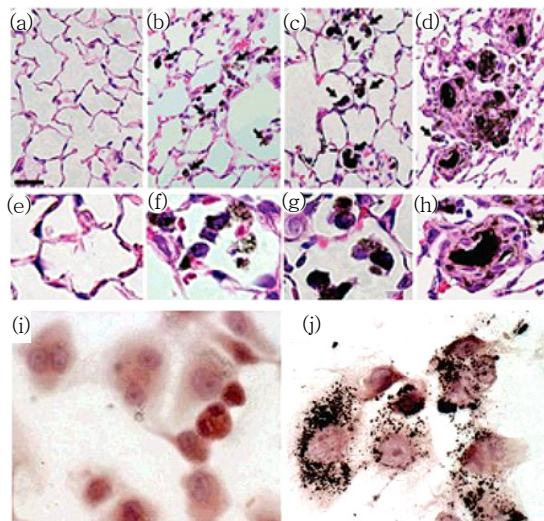
한편, 상기에 기술한 내용과 상반되는 결과도 발표되었는데, 텍사스 대학 앤더슨 암 센터(Rice University and University of Texas MD Anderson Cancer Center)와 라이스 대학은 CNT와 무선파를 결합하여 암세포를 치료하였다. 연구진은 4마리 토끼의 간암 세포 속으로 단일벽 CNT의 용액을 직접 주입했다. 그 후 이 토끼를 2분 동안 13.56 MHz에

노출시킨 결과, 종양이 완벽하게 파괴되었다는 것을 확인하였다. (그림 17)은 RF를 발생하는 데 사용된 장치의 사진이다.

CNT는 특별한 특성으로 인하여 향후 나노 라디오의 응용분야를 비롯하여 나노전자소자(nanoelec-



(그림 15) 미래 의료 IT 기기



(그림 16) CNT에 의한 쥐의 폐질환 진행 (알파벳 순으로 상태악화)[5]



(그림 17) 암 치료시 RF를 발생하는 데 사용된 장치의 사진

tronics)에 있어서 매우 중요한 물질로 사용될 것이 확실시 되고 있으며, 이미 국내외의 여러 연구기관들이 그 연구 결과들을 속속 내놓고 있다.

## V. 시사점

CNT는 구조에 따라 반도체 및 도체로의 조절이 가능하기 때문에 전자·전기통신기기와 미래 통신과 같은 IT 분야에서도 관심의 대상이 되고 있다. 최근 국외 대학을 중심으로 나노 라디오표를 비롯하여 CNT를 이용한 커패시터, 트랜지스터 등 다양한 소자들이 개발되고 있으나 국내 연구는 미진한 실정이다.

나노 라디오와 관련하여 나노 라디오의 킬러 애플리케이션을 미래 의료통신기기에 두고 있는 만큼 IEEE 802.15.6 WBAN 작업반에서 진행되는 인체와 근거리 무선통신 기기간의 연구동향을 파악할 필요도 있다. WBAN에서는 구체적으로 몸 속(in-body), 몸 위(on-body), 몸 주위(off-body)에 있는 기기들 사이의 통신 및 통신망으로 나누어 연구가 진행중이다. 게임, 웨어러블 컴퓨터 등 다양한 대상이 있지만, 주로 의료 분야 응용을 생각할 수 있겠다.

나노 라디오와 관련하여 인체와 통신기기간의 전파모델 및 체내 기기와 외부 기기간의 인터페이스, 이기종간의 표준화 문제 등 다양하게 연구될 필요성이 있다. 특히, 나노 라디오와 관련하여 CNT가 인체내 삽입되는 경우에 대한 부작용이 거론되고 있는 바, 추가적인 분석을 통하여 CNT의 인체내 영향을 분석할 필요가 있다.

미래의 언젠가 나노 라디오표를 비롯한 새로운 의료 및 기타 서비스가 출현하면, 국민이 유용하게 사용할도록 법과 제도 아래 도입하기 위해 전파법규와 관련된 제도의 선진화 및 개선 방향에 관한 연구가 함께 진행되어야 할 것이다.

## 약어정리

AM	Amplitude Modulation
BT	Bio Technology
CNT	Carbon Nano Tube
FED	Field Emission Display
IT	Information Technology
NNI	National Nanotechnology Initiative
RFID	Radio Frequency Identification
WBAN	Wireless Body Area Network

## 참고문헌

- [1] 정태형, "IT-BT-NT 산업간 융합 표준화 전략," *TTA Journal*, No.106, 2006.
- [2] [http://en.wikipedia.org/wiki/Allotropes\\_of\\_carbon](http://en.wikipedia.org/wiki/Allotropes_of_carbon)
- [3] [http://kin.naver.com/detail/detail.php?d1id=11&dir\\_id=110209&eid=T0hu9cH3oeZwa8lItF0hRhRclZ41dICr&qv=tvO18L/AwMcgv/i4rg==&pid=fMbMldoi5T8sssXQMBNsss--389426&sid=SOGMXF2H4UgAAHMDDIs](http://kin.naver.com/detail/detail.php?d1id=11&dir_id=110209&eid=T0hu9cH3oeZwa8lItF0hRhRclZ41dICr&qv=tvO18L/AwMcgv/i4rg==&pid=fMbMldoi5T8sssXQMBNsss--389426&sid=SOGMXF2H4UgAAHMDDIs)
- [4] K. Jensen, J. Weldon, H. Garcia, and A. Zettl, "Nanotube Radio," *NANO LETTERS*, Oct. 2007.
- [5] KISTI, "탄소 나노튜브가 쥐의 폐 질환을 야기," 글로벌 동향, GTB2008010801, 2008. 4.