

## 기술 특 집

탄소 나노 튜브 전자 방출원을 이용한  
디스플레이 및 광원 기술주 병 권 (KIST 디스플레이 및 나노 소자 연구실 E-mail jbk@kist.re.kr, Home page <http://diana.kist.re.kr>)

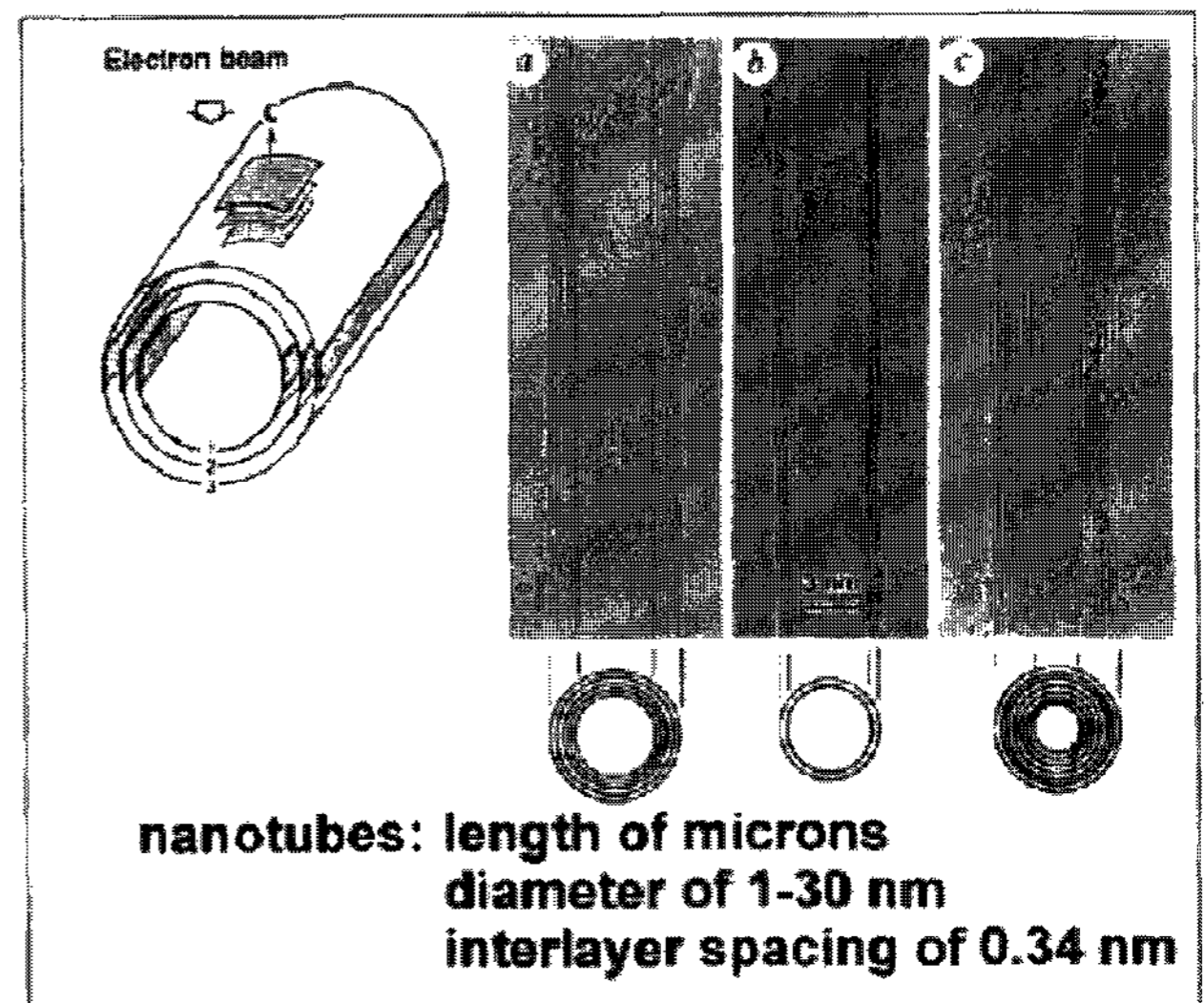
## I. 개 요

나노 테크놀러지를 대표하는 소재 중의 하나로서 탄소 나노 튜브(Carbon Nano Tube: CNT)를 들 수 있으며, 최근에 이를 소재로서 뿐만이 아니라 적용 제품을 통해서도 실용화와 연결시키려는 노력이 한층 가속화되고 있다. 이러한 후보군들 중에서 탄소 나노 튜브를 전자 방출원으로써 적용한 광 소자, 즉 전계 방출 디스플레이(Field Emission Display: FED)와 광원(Light source)이 주목을 받고 있으며, 최근에 이르러 그 연구 개발 결과가 시제품 수준에서 제품화 수준에 이르기까지 발표되고 있다. 즉, 전계 방출 디스플레이는 30~40인치급 저가격-고화질 중대형 텔레비전 시장에서, 광원은 고휘도-무수은을 특징으로 한 새로운 조명 기구로서 응용이 기대되고 있으며, 따라서 이와 관련된 연구 개발 동향을 주시할 필요가 있다. 본 고에서는 이와 관련하여 탄소 나노 튜브의 전자 방출원으로써의 특징과 이를 이용한 디스플레이 및 광원 기술, 그리고 유관 연구 그룹들의 개발 동향 및 전망 등에 대하여 분석하고자 한다.

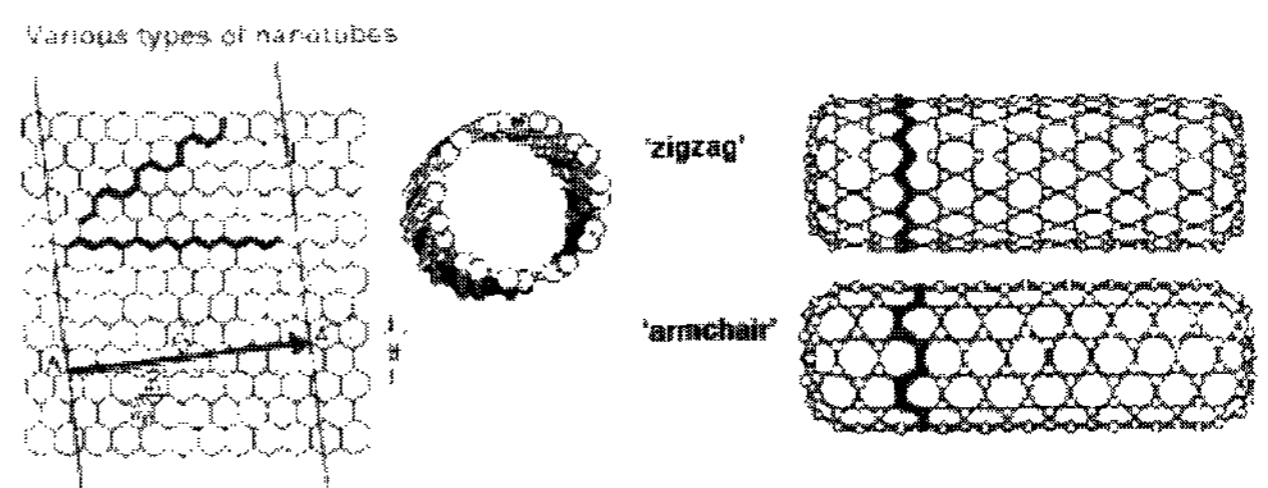
## II. 탄소 나노 튜브 전자 방출원

## 1. 탄소 나노 튜브

1991년에 NEC의 Thukuba 연구소의 S.Ijima가 고분해능 TEM(transmission Electron Microscope)을 이용하여 두 개의 탄소 전극간의 아크에 의해 발생된 탄소 부산물들을 관찰하는 과정에서 탄소 나노 튜브를 발견하였으며, 이는 [그림 1]에 보인 바와 같이 다중벽 탄소 나노 튜브(Multi wall-CNT) 형태를 띠고 있었다. 1992년에 NEC의 T.Ebbesen과 P.Ajayan이 이를 대량으로 제조할 수 있는 방법을 개발하였으며, 1993년에 S.Ijima 그룹과 IBM의 Almaden 연구소의 D.Bethune 그룹에 의해 직경이 1~2 nm에 불과한 단일벽 탄소 나노 튜브(Single wall-CNT)가 발견된 이래로 현재에 이르기까지 발전을 거듭하여 오고



[그림 1] 1991년에 Ijima에 의해 발견된 다중벽 탄소 나노 튜브



[그림 2] 탄소 나노 튜브의 기본 구조

[표 1] 탄소 나노 튜브의 특징

특징	단일벽 탄소 나노 튜브(SW-CNT)	비교
크기	0.6~1.8nm 직경	전자선 리소그래피에 의한 선폭 구현~50nm
밀도	1.33~1.40g/cm <sup>3</sup>	Al: 2.7g/cm <sup>3</sup>
인장 강도	4.5×10 <sup>10</sup> Pa	고강도 합금~2×10 <sup>9</sup> Pa
탄성	힘 후 복원시 손상이 없음.	금속 및 탄소 섬유: 입체에서 휘어짐.
전류 수송	최대 1×10 <sup>9</sup> A/cm <sup>2</sup>	구리선: 최대 1×10 <sup>6</sup> A/cm <sup>2</sup>
전계 방출	1~3V/μm turn-on 전압	Mo-tip: 50~100 V/μm Turn-on 전압
열 전달	6,000 W/m·K	다이아몬드: 3,320 W/m·K
온도 안정성	2,800°C (진공), 750°C (대기)에서 안정함.	집적 회로내의 금속선: 600~1,000°C에서 녹음.
가격	\$ 500~1,000/g	금~ \$ 10/g

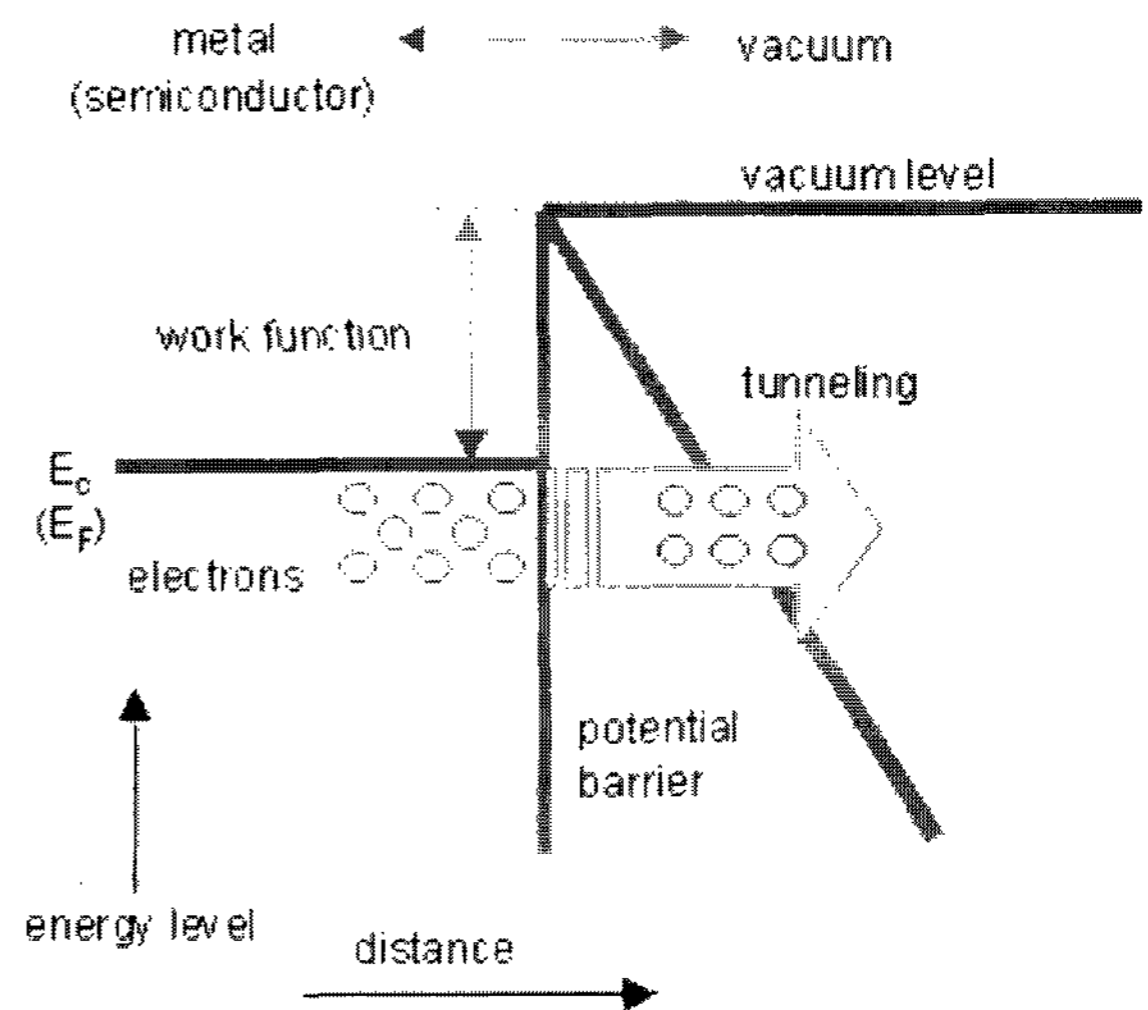
있다.

탄소 나노 튜브는 [그림 2]에 보인 바와 같이 탄소 원자들로 이루어진 육각형의 네트워크를 둥글게 말은 형태로 생각할 수 있다. 이때, 말은 각도에 따라 끝 부분이 지그재그(Zigzag) 모양과 팔걸이 의자(Armchair) 모양을 갖는다. 또한, 둥글게 말리어진 형태는 벽이 하나인 단일벽과 여러 개인 다중벽 구조를 취하게 되며, 이 외에도 튜브가 다발로 되어 있는 형태(Nano tube bundle), 튜브의 내부에 금속이 존재하는 형태(Metal-atom-filled nano tube) 등과 같이 여러 모양과 구조를 취할 수 있다. 초기에는 이러한 구조들이 자연적으로 발생하였으나, 기술이 발전함에 따라 인위적으로도 조절할 수 있도록 되고 있으며, 아울러 모양 및 구조에 따라 기계, 재료, 전기, 화학적인 특성들이 서로 다른 양상을 보이고 있다.

이러한 탄소 나노 튜브의 특징을 단일벽 탄소 나노 튜브를 대상으로 하여 [표 2]에 요약하여 보았다. 즉, 직경이 수 nm로 리소그래피 공정으로는 구현할 수 없을 정도로 가늘어 단전자 소자나 양자 소자와 같은 초 미세 전자 소자를 구성할 수 있고, 인장 강도는 고강도 합금의 10 배 이상으로 고강도 섬유 소재로 활용할 수 있으며, 전계 방출 성능의 경우, 동작 개시 전압 및 내구성이 우수하여 고성능 전자총으로서 전계 방출 디스플레이와 광원 등에 이용할 수 있다. 아울러, 내부가 비어 있어 모세관(Capillary) 현상, 수소를 비롯한 기체 저장 및 감지 등에 활용할 수 있으며, NEMS(Nano-Electro-Mechanical Systems)의 주요 부품, 즉 나노 파이프, 피펫, 트위저, 도선 등에도 응용이 가능하다.

## 2. 전자 방출원으로서의 특징

전계 방출 현상은 1897년에 Wood가 진공 용기 내에서 두 개의 백금 전극간에 생기는 아킹을 연구하는 과정에서 최초로 발견되었으며, [그림 3]에 보인 바와 같이 진공 내에 있는 금속 표면에 0.5 V/Å 이상의 전계가 인가될 경우,



[그림 3] 전계 방출 현상

금속 표면의 전위 장벽이 얇아지면서 금속 내의 전자들이 양자 역학적으로 터널링하여 진공 내로 방출되는 현상을 일컫는다. 이때 전계 방출 전류는 식 (1)과 같은 Fowler-Nordheim (F-N) 식으로 표현된다. 여기서 J는 방출 전류 밀도[A/cm<sup>2</sup>], a와 b는 상수(실제로는 전계에 약간 의존함.), E는 인가 전계[V/cm], 그리고 Φ는 일함수[eV]에 해당한다.

$$J = aE^2\Phi^{-1} \exp(-b\Phi^{3/2}/E) \quad (1)$$

이러한 F-N 식을 전류-전압 관계로 다시 표현하면 식 (2)와 (3)으로 표현되는데, 식 (3)에서 <math>\langle I/V^2 \rangle</math>과 <math>\langle I/V \rangle</math> 간의 관계는 직선으로 표현될 수 있으며, 이를 통하여 전계 방출 전류임을 확인함과 동시에 유효 일함수나 방출 면적을 구할 수 있다.

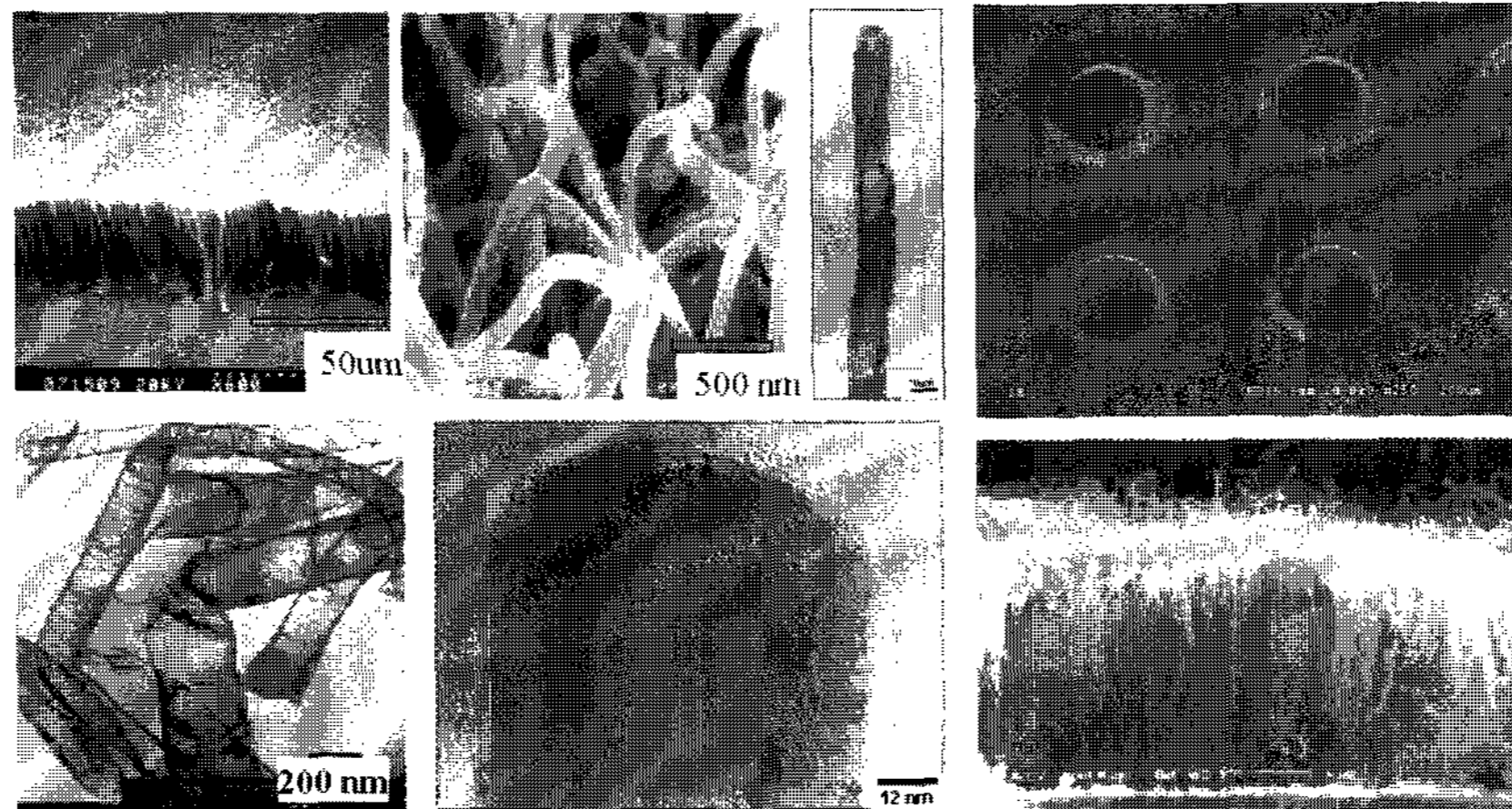
$$I = MV^2 \exp(-N/V) \quad (\text{단, } M \text{과 } N \text{은 상수}) \quad (2)$$

$$\log(I/V^2) = -N/V + \text{상수} \quad (3)$$

또한, 식 (1)로부터 작은 영향들을 무시한 상태에서 F-N 식을 수식화하면, 식 (4)와 같으며, 이 식에서 우세한 항은 지수항으로서 전계가 증가하고(<math>E=1.74 \times 10^7 \sim 8 \times 10^7 \text{ V/cm}</math>) 일함수가 감소하면(<math>\Phi=0 \sim 5 \text{ eV}</math>) 전류 밀도(J)는 매우 급격히 증가한다는 것을 알 수 있다. 예를 들어, 방출부에 인가되는 전계가 25% 증가하면 방출 전류가 3.7×10<sup>4</sup>%가 증가하고, 방출부의 일함수가 25% 증가하면 방출 전류가 2×10<sup>6</sup>%나 증가하게 된다.

$$J = 1.54 \times 10^{-6} E^2 \Phi^{-1} \exp(-6.83 \times 10^7 \Phi^{3/2}/E) \quad (4)$$

따라서 전자 방출원을 설계할 때 방출원에 인가되는 전계가 최대가 되고 방출원의 일함수가 최소가 되도록 설계하는 것이 작은 인가 전압에서 큰 방출 전류를 얻는데 매우 중요하며, '전자'와 '후자'는 각각 전자 방출원의 '구조'와 '재료'적인 특성에 관계한다. 전계를 증가시키는 방법으로는 외부



[그림 4] 탄소 나노 튜브의 다양한 모양 (KIST &amp; 일진 나노텍)

인가 전압을 증가시키는 방법이 있으나 이는 주변 회로와의 매칭 및 절연 파괴 전압에 의해 제한되며, 방출부와 전극 간의 거리를 줄이는 방법은 리소그래피의 한계에 제한을 받는다. 따라서, 방출부의 형상을 변화하는 방법이 가장 효과적인데, 이에 관계되는 것이 전계 증배 계수  $\beta$ 로 식 (5)에 나타낸 바와 같이 전극에 인가되는 전압(V)과 이로 인해 방출부에 인가되는 전계(E)의 비례 상수이다.

$$E = \beta V \quad (5)$$

$$\beta = kh/r \quad (6)$$

이 때,  $\beta$ 는 식 (6)에 나타낸 바와 같이 비례 상수(k)에 의해 방출부의 높이 h에 비례하고, 반경 r에 반비례하며 50~500 범위의 값을 갖는다. 즉 [그림 4]에 보인 탄소 나노 튜브들의 모양과 같이, 끝이 높고 뾰족한 팁일수록  $\beta$ 가 크고, 따라서 인가 전압(V)이 동일하더라도 방출부에는 큰 전계가 걸리게 된다.

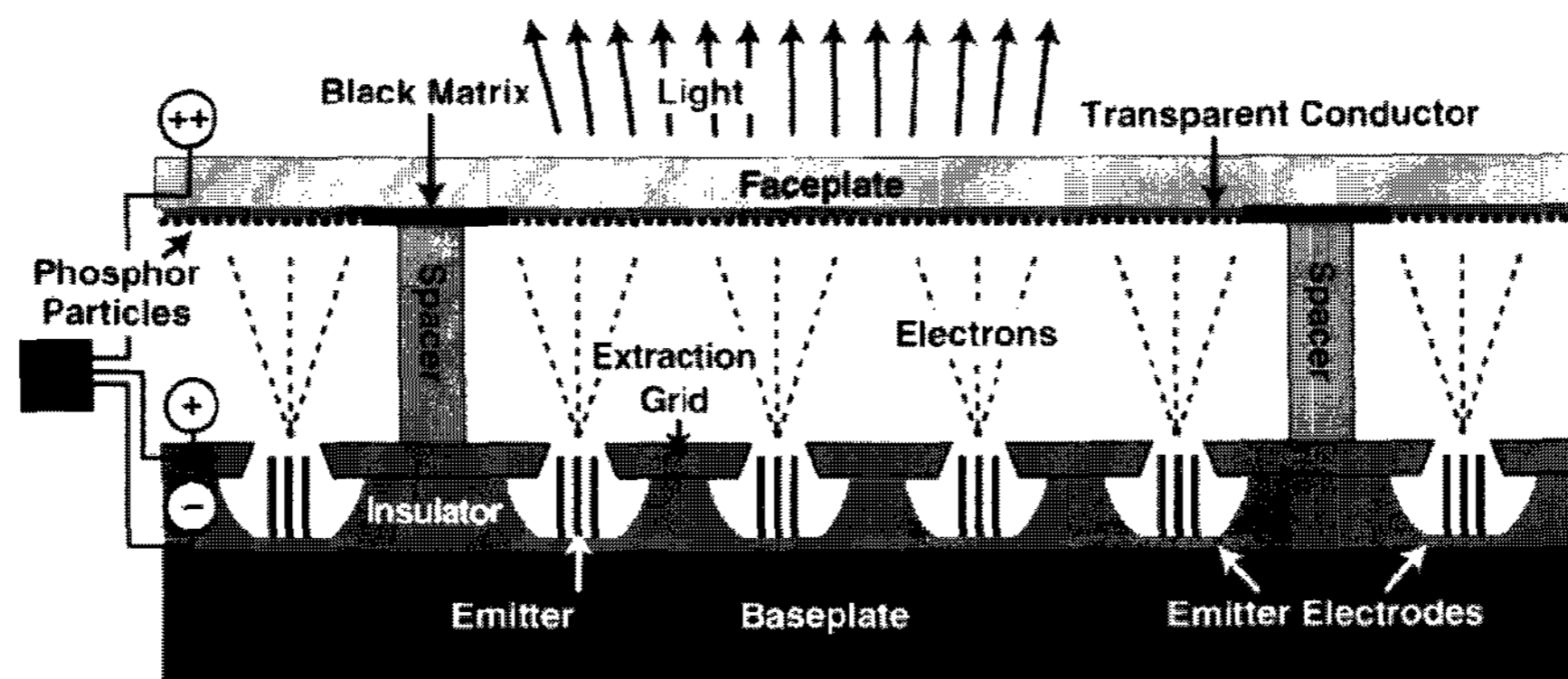
또한, 일함수는 물질 자체가 갖는 고유의 값으로 재료의 개발을 통해 개선될 수 있다. 일함수가 낮을수록 방출 전류는 증가하지만, 전계 방출 재료로서 이용하기 위해서는 이외에도 열-화학-기계적 내구성, 재료의 온도 특성(온도 변화에 따른 일함수의 변화 추이), 그리고 팁 구조로서의 가공성 등이 고려되어야 한다. 결과적으로, 탄소 나노 튜브는 모양

이 전자 방출에 유리한 바늘 구조로 되어 있고, 일함수 면에서도 금속 재료들에 비하여 유리한 특성을 지니고 있으며, 이와 함께 열, 물리, 화학적인 내구성도 높아 소자의 신뢰성과 수명 측면에서도 우수하다.

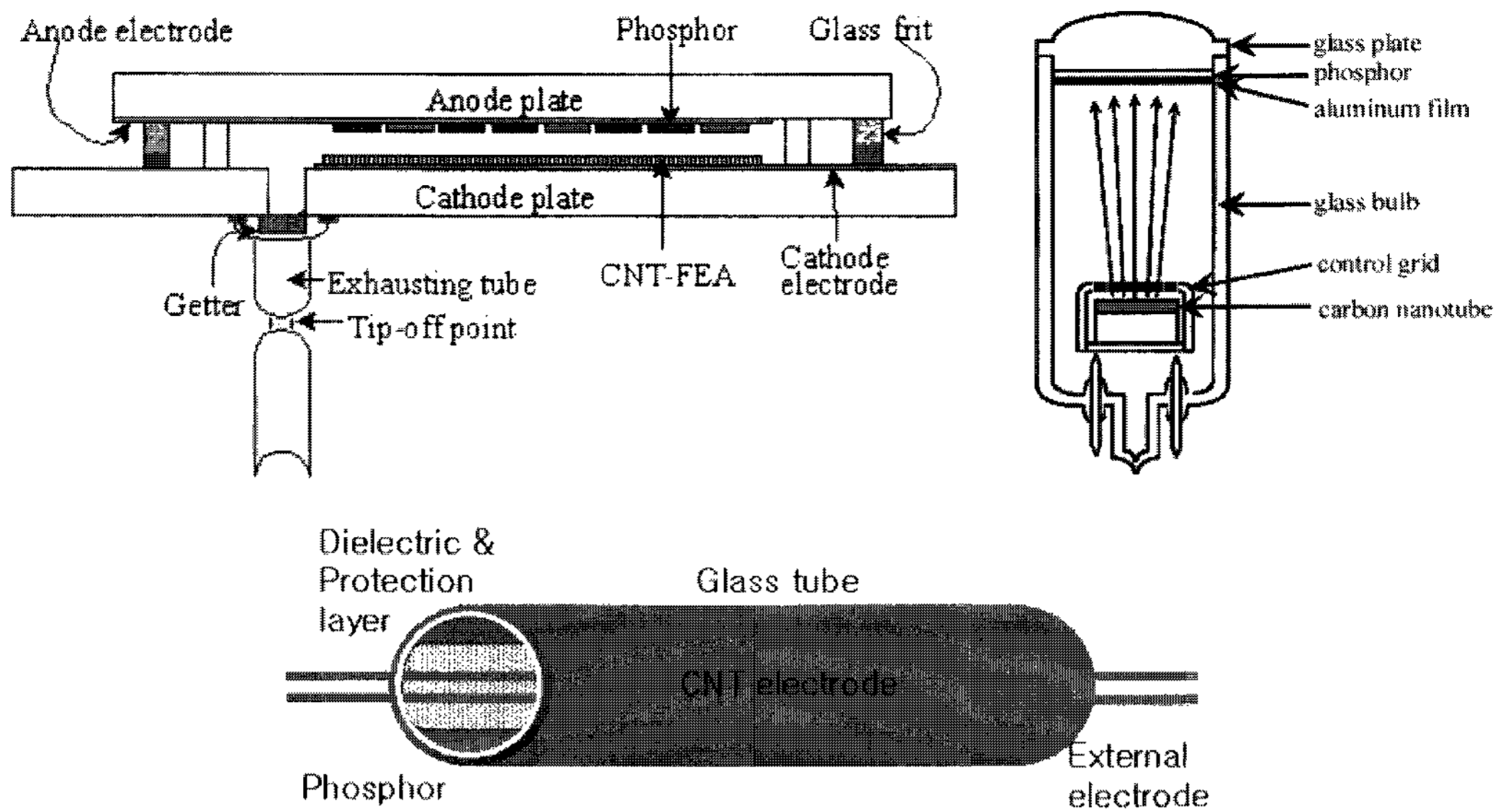
### III. 디스플레이 및 광원에의 응용

#### 1. 디스플레이 응용

탄소 나노 튜브를 이용한 전계 방출 디스플레이(CNT-FED)는 제 1세대 소자인 박막 및 반도체 공정을 토대로 한 금속 팁 전계 방출 디스플레이가 신뢰성과 수명을 중심으로 한 성능, 화면의 크기, 그리고 가격 및 시장면에서 한계를 나타내면서 연구 개발이 급격히 진행되고 있다. 이와 같이 전계 방출 디스플레이가 대화면화와 저가격화를 강하게 추구하게 된 배경에는 소형 디스플레이 분야에서의 유기 전계 발광 디스플레이(Organic Light Emitting Display: OLED)의 빠른 등장과 박막 트랜지스터 액정 디스플레이(Thin Film Transistor Liquid Crystal Display: TFT-LCD) 및 플라즈마 디스플레이(Plasma Display Panel: PDP)의 중 대형 영역 다툼에 따른 일부 공동화 영역의 발생이 중요한 원인 제공 요소인 것도 확실하다. 결과적으로



[그림 5] 탄소 나노 튜브 전계 방출 디스플레이의 기본 구조



[그림 6] 탄소 나노 튜브를 이용한 광원의 종류(평면형, 벌브형, 직관형)

전계 방출 디스플레이가 대화면 및 저가격을 지향함에 따라 전자 방출원의 신뢰성 및 수명 향상, 대형 유리 기판 및 후막 공정의 적용, 그리고 기존의 음극선관 디스플레이(Cathode-Ray Tube)와 플라즈마 디스플레이 기반 공정 및 라인의 적용 등을 추구하게 되었고, 탄소 나노 튜브 전자 방출원을 통하여 이에 대한 활로를 모색하고 있다.

탄소 나노 튜브를 이용한 전계 방출 디스플레이는 기본적으로 [그림 5]에 보인 모양을 갖는다. 즉, 일반적인 금속 팁을 이용한 구조에서 폴리브덴 팁을 탄소 나노 튜브 방출원으로 대체한 구조이며, 탄소 나노 튜브가 갖는 소재와 공정 특수성으로 인하여 음극 부분에서 소재 및 제조 공정, 그리고 구조상의 변형은 있을지라도 음극 및 게이트 전극의 역할, 양극 구조, 스페이서를 비롯한 진공 패키징 구조, 그리고 구동 방식 등은 전반적으로 3극관형 전계 방출 디스플레이의 기본 원리와 구조를 따른다.

특히 고려하여야 할 점을 살펴보면, 탄소 나노 튜브 소재면에서 균일한 크기와 방향을 갖는 대량 제조 기술이 개발되어야 하며, 또한 전계 방출 성능이 우수한 구조, 예를 들어 단일벽이나 이중벽 구조 등이 최적화 되어야 한다. 이러한 탄소 나노 튜브를 대형 유리 기판 위에 형성 및 배열하는 공정도 확보되어야 하는데, 탄소 나노 튜브가 너무 밀집되어 있을 경우, 높은 종횡비에 의한 전계 증배 효과가 크게 감소되므로 이들을 수직 방향으로 형성함과 동시에 주기적으로 일정 간격을 갖도록 배열시키는 노력이 필요하다. 또한, 탄소 나노 튜브 소재 및 프린팅 공정이 추가 되는 특징으로 인하여 게이트를 집적화 시키는 것이 용이하지 않으며, 이로 인해 게이트의 가공과 설치 방법, 위치 등에 관한 기술적인 정립이 요구된다. 이 외에도 소재 및 제조 공정, 그리고 전계 방출 소자 및 디스플레이 시스템 차원에서 많은 과제를 안고 있음에도 불구하고, 기업들을 중심으로 탄소 나노 튜브를 적용한 전계 방출 디스플레이 패널의 시제품이 발표되어 오고 있으며, 일부 회사는 가까운 시일 내에 제품 생산에 착수할 계획으로 있다.

## 2. 광원 응용

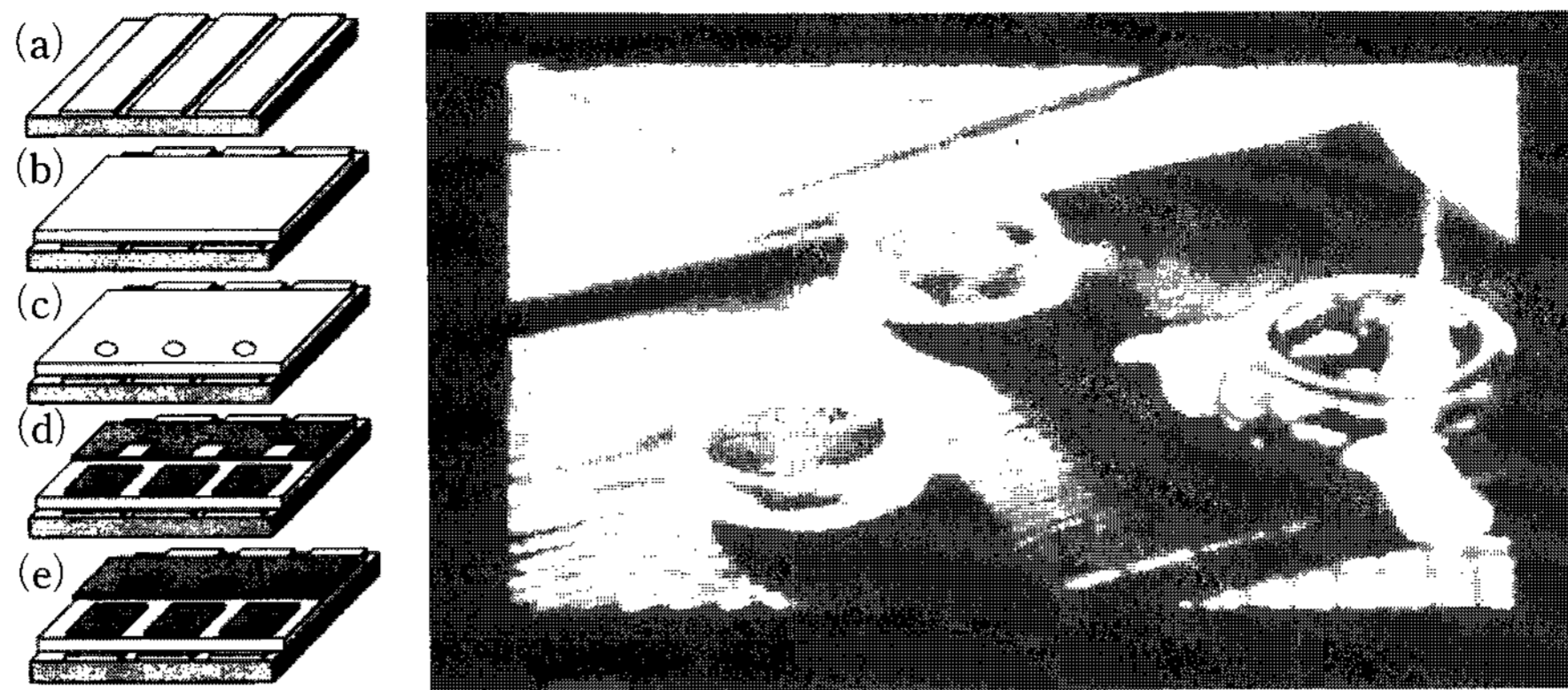
탄소 나노 튜브를 이용한 광원의 동작 원리와 기본 구조 등은 디스플레이를 단순화 시킨 것에서 크게 벗어나지 않는다. 이러한 광원에 관한 연구는 기존의 조명 기구들이 주로 수은을 함유하고 있어 환경 오염 문제를 내포하고 있고, 이외에도 휘도와 효율을 개선시키는 데에 한계가 있다는 점에서 비롯되었다. 전계 방출 디스플레이와는 달리 광원의 경우, 상대적으로 구조는 간단한 반면에 휘도가 수 만  $cd/m^2$  정도로 높아야 하고, 용도에 따라 다양한 형태를 가져야 하며, 특히 색상, 연색성, 전력 소모, 수명 등에서 상이한 규격을 필요로 한다.

현재 연구되고 있는 광원의 형태는 [그림 6]에 보인 바와 같이 디스플레이 구조와 유사한 평면형 광원, 램프 구조를 갖는 벌브형 광원, 그리고 형광등 형태를 갖는 직관형 광원 등으로 구분할 수 있으며, 용도에 따라 모양이나 성능이 매우 다양해질 수 있다. 탄소 나노 튜브 광원을 개발하기 위해서는 높은 밀도의 전자를 방출하기 위한 탄소 나노 튜브 소재 기술, 탄소 나노 튜브의 성장과 프린팅, 그리고 금속선과 같은 임의의 모양에 도포하기 위한 기술, 고휘도와 장수명을 특징으로 한 형광체 소재 및 도포 기술, 특수한 모양의 유리 관들을 진공으로 패키징 하기 위한 기술, 그리고 구동 회로 및 등기구와 같은 주변 지원 기술 등의 개발에 초점이 맞추어져야 한다.

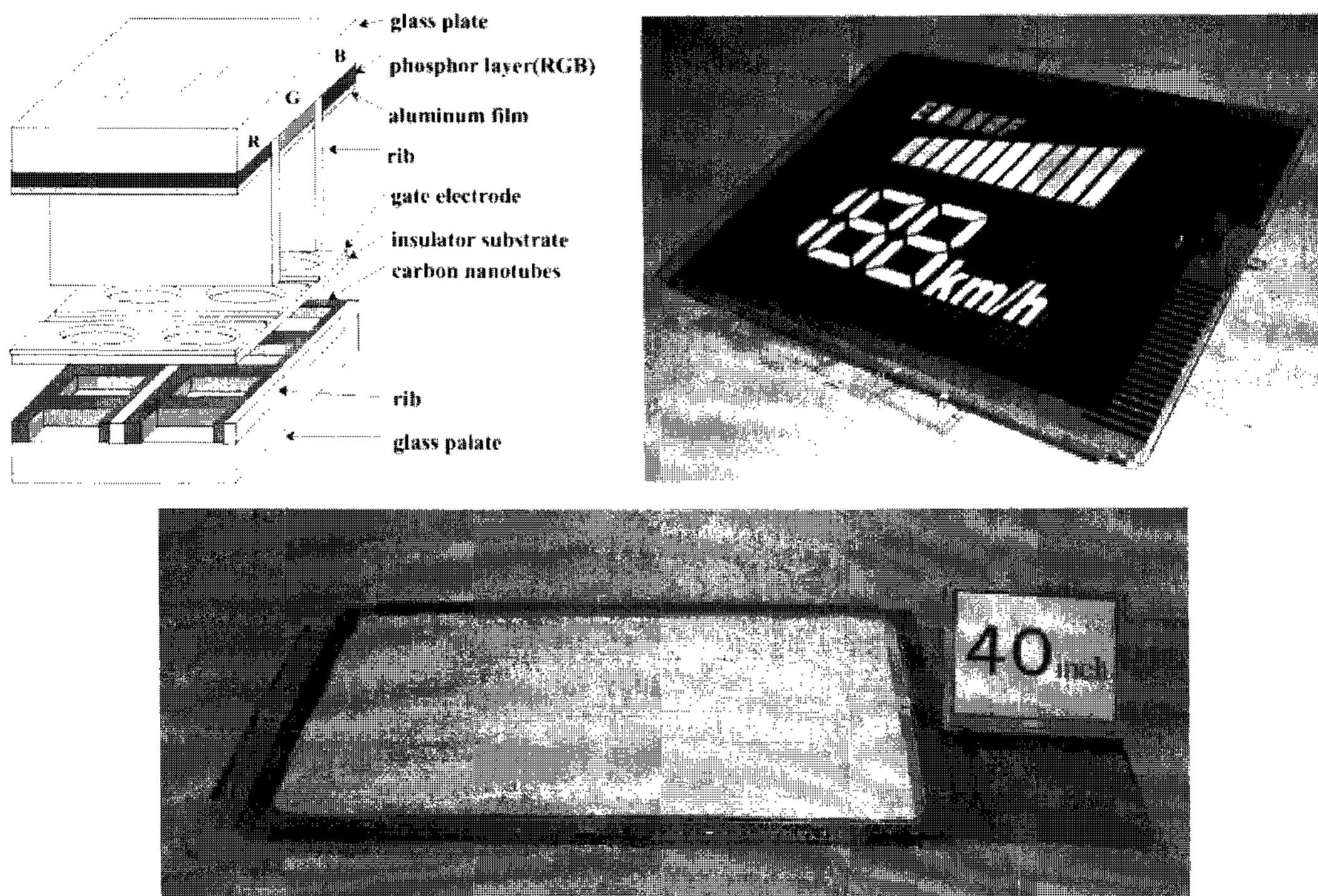
## IV. 연구 개발 동향 및 전망

### 1. 디스플레이 분야

전계 방출 디스플레이를 개발하고 있는 회사는 한국의 삼성과 LG, 일본의 Canon, Matsushita, Sony, Toshiba, 미국의 SI Diamond Technology, 그리고 유럽의 PFE 등을



[그림 7] Normal gate와 under-gate 구조를 갖는 3극형 탄소 나노 튜브 전계 방출 디스플레이 및 32인치 패널의 동작 모양



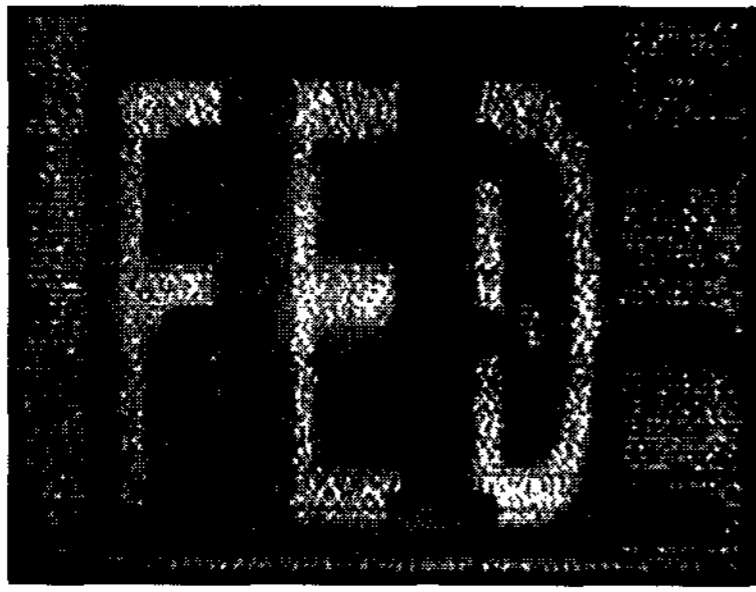
[그림 8] 전계 방출 디스플레이의 구조 및 대형화 (Ise Electronics)

비롯하여 약 10여 개 정도가 되며, 이들 중 절반 이상이 전자 방출원으로써 탄소 나노 튜브를 비롯한 탄소 계열 물질들을 적용하고 있다.

삼성 SDI-삼성 종합기술원에서는 약 50~60명 정도의 개발 인력이 전계 방출 디스플레이의 제품화를 위하여 매진 중이며, 최근 대면적 및 가격 경쟁력을 이유로 몰리브덴 텅텅형에서 탄소 나노 튜브를 이용한 쪽으로 방향을 선회한 바 있다. 삼성에서 2002년에 발표한 32인치급 3극형 탄소 나노 튜브 전계 방출 디스플레이의 제조 공정 및 동작 모양을 [그림 7]에 나타내었는데, 후막 프린팅 공정에 의한 대화면, 저가격화를 특징으로 하고 있다. 제조 공정은 (a) 유리 기판 상에 패터닝된 하부 게이트의 형성, (b) 후막 절연체 프린팅 및 소성, (c) 습식 식각법에 의한 전기적 접촉창 형성, (d) 스퍼터링에 의한 음극 박막 증착 및 패터닝, (e) 스크린 프린팅에 의한 CNT 후막 형성 순으로 진행된다. 이 회사는 플라즈마 디스플레이 제조 시설을 기반으로 하여 현재

에 이르기까지 5 ~ 10 인치급을 거쳐 최근에는 30~40인치급 칼라 패널을 개발 중이며, 이의 규격은 구동 전압-100V 이하, 휘도-200 Cd/m<sup>2</sup> 이상이 될 것으로 보인다. 10인치급 이하는 2003년경에 차량용 등으로 실용화되어 진공 형광 디스플레이(Vacuum Fluorescent Display : VFD) 등을 대체할 예정이며, 다음 단계로서 2005~2010년에 30~50인치급 패널의 실용화 시기를 예측하고 있다.

Ise Electronics의 경우, Noritake의 자회사로서 그 동안 축적되어 온 진공 형광 디스플레이 경험을 토대로 하여 탄소 나노 튜브를 이용한 3극형 고휘도 전계 방출 디스플레이를 개발하고 있는데, 이는 [그림 8]에 보인 바와 같이, 프린팅 기술을 위주로 하고, 금속 그리드를 게이트 전극으로 적용하는 등 대면적, 저가격화를 지향하고 있으며, 문자 표시기나 중대형 텔레비전 등을 목표로 하고 있다. 2000년에 발표한 문자 표시형 패널과 2002년에 발표한 40인치급 3극형 탄소 나노 튜브 전계 방출 디스플레이의 모양도 함께 나



[그림 9] 탄소 계열 전자 방출원을 적용한 디스플레이 (Motorola)

타내었다.

Motorola는 금속 팁 전자 방출원과 함께, 탄소 계열 전자 방출원을 이용한 3극형 전계 방출 디스플레이 개발도 시도하고 있는데, 전자 방출원으로는 질소가 도핑된 비정질 탄소막을 사용하고 있으며, 평면형 구조를 갖고, 동작 전압을 줄이고, 리소그래피에 여유를 두어 공정 비용을 낮춘 점, 기타 제조 비용을 낮춘 점 등을 특징으로 하고 있다. [그림 9]에 탄소 전자 방출원을 적용한 5.1인치 전계 방출 디스플레이 패널의 1/4 영역이 동작하는 모양을 보였다.

SI Diamond Technology의 경우, Applied Nanotech이란 자회사를 통하여 탄소 박막을 이용한 대형 전계 방출 디스플레이 (Hybrid FED: HyFED)를 개발 중인데, 2000년에 [그림 10]에 보인 바와 같은 3.5인치 패널을 발표한 바 있다. 이를 보면 알 수 있듯이 HyFED는 전계 방출 디스플레이의 탄소 박막 전자 방출원 소자와 음극선관 디스플레이의 전자 광학 개념을 결합한 점을 특징으로 하는데, 종래의 고전압 형광체를 사용할 수 있고, 넓은 간격과 여유있는 공간으로 인해 스페이서와 구동부 관련 문제점들이 간단해지며, 기존 음극선관 디스플레이 시설 및 인프라를 활용할 수 있다는 등의 특징을 바탕으로 초대형 전광판형 디스플레이를 중심으로 한 저가격-대면적 제품 적용을 계획 중이다. 이 외에도 LG 전자와 Sony를 비롯한 여러 회사들이 탄소 나노 튜브나 탄소 계열 전자 방출원을 적용하는 전계 방출 디스플레이의 개발을 진행 중이다.

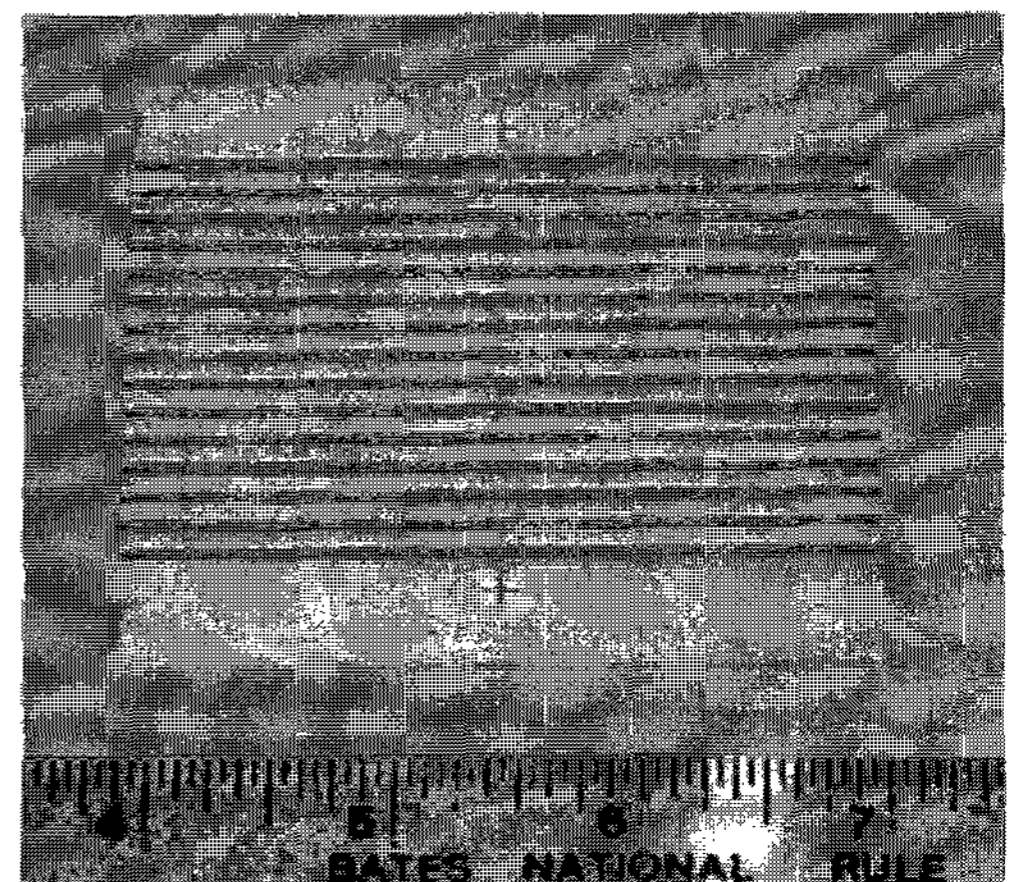
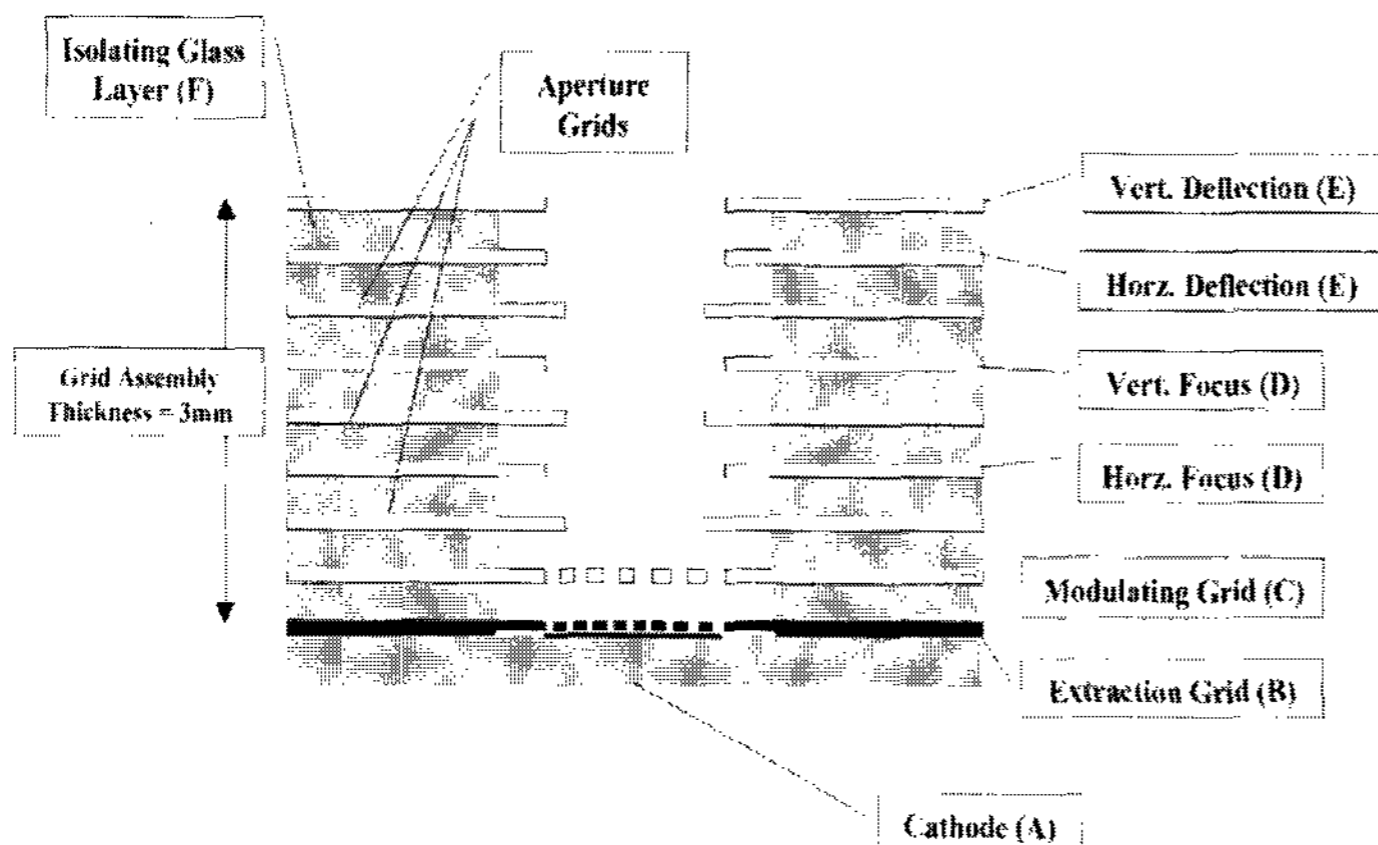
## 2. 광원 분야

탄소 나노 튜브 전자 방출원을 이용한 광원을 개발하고 있는 연구 기관이나 회사는 KIST와 일진 나노텍(한국), Applied Nanotech(미국), EPFL(Ecole Polytechnique Federal de Lausanne, 스위스), Ise Electronics(일본) 등이 대표적이며, 이 외에도 Moscow State Univ.(러시아), Nanocs International(미국), Nanyang Technical Univ.(싱가포르) 등이 있다.

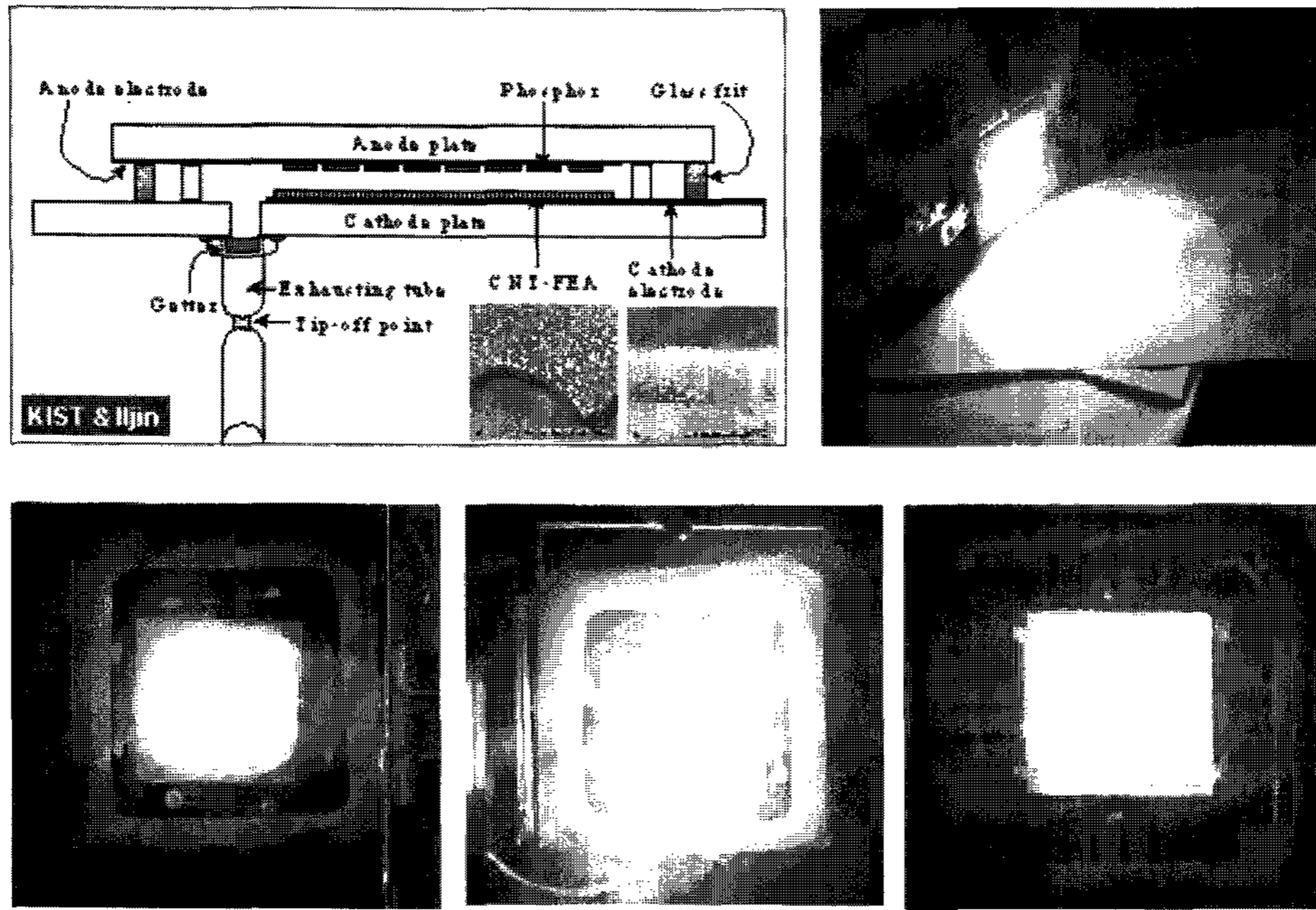
KIST와 일진 나노텍은 2002년부터 공동으로 탄소 나노 튜브를 이용한 평면형 광원을 연구하여 오고 있다. 이의 구조 및 발광 모양(빨강, 초록, 파랑)을 [그림 11]에 모였는데, 이때 사용되는 탄소 나노 튜브 음극은 화학 기상 증착법 (Chemical Vapor Deposition)에 의한 성장이나 합성 후에 스크린 프린팅을 이용하여 제작되며, 양극으로는 음극선관용 형광체가 도포된 유리 기판을 적용하였다. 진공 패키징은 일반적으로 유리 관을 이용한 패키징과 함께 유리 관이 없는 패키징 (Tubeless packaging) 및 진공 인 라인 패키징 방법을 모두 적용할 수 있다. 현재, 1~5인치 크기의 평면형 광원 시제품이 발표된 상태이며, 휘도는 15,000cd/m<sup>2</sup> 이상을 얻을 수 있다. 이와 함께 3극형 게이트 구조의 배치, 집적화 기술의 적용 등도 함께 진행 중이다.

Applied Nanotec은 SI Diamond Technology의 계열 회사로서, 탄소 계열 전자 방출원을 이용한 평면형 광원과 함께 Ise Electronic의 모델과 유사한 모양의 벌브형 광원을 연구 중이다. [그림 12]에 개발된 일례를 보였는데, 단일 광원으로 사용하는 것 외에도 대형 전광판 (Electronic billboard)에 적용하기 위한 시도를 하고 있다.

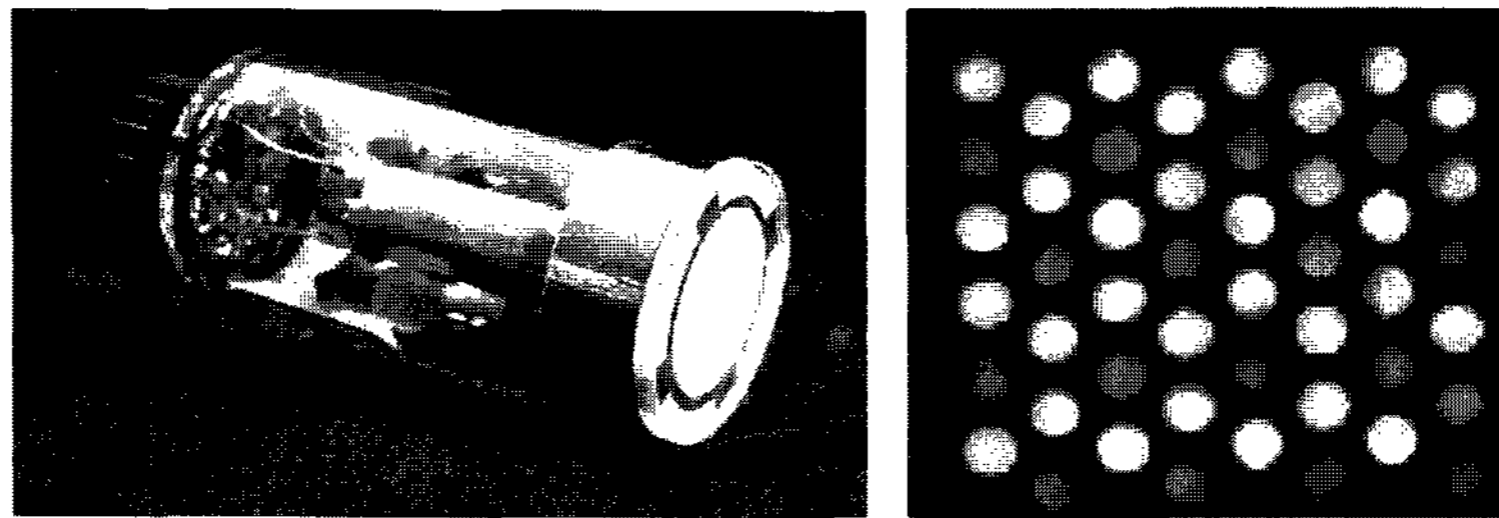
EPFL은 유럽의 조명 관련 회사와 협력하여 기존의 형광등을 대체하기 위한 직관형 광원을 개발 중이다. 즉, 효율과 가격은 기존 형광등과 동일하나, 수은이 없고, 휘도가 높은 점을 특징으로 하는 신광원을 개발 중인데, 이의 내부 구조와 동작 모양을 [그림 13]에 나타내었다. 현재까지 얻어진 주요 특성을 보면, 길이와 직경은 각각 400 mm와 40 mm이고, 정상 상태에서의 휘도와 전력 소모는 각각 10,000 cd/m<sup>2</sup>



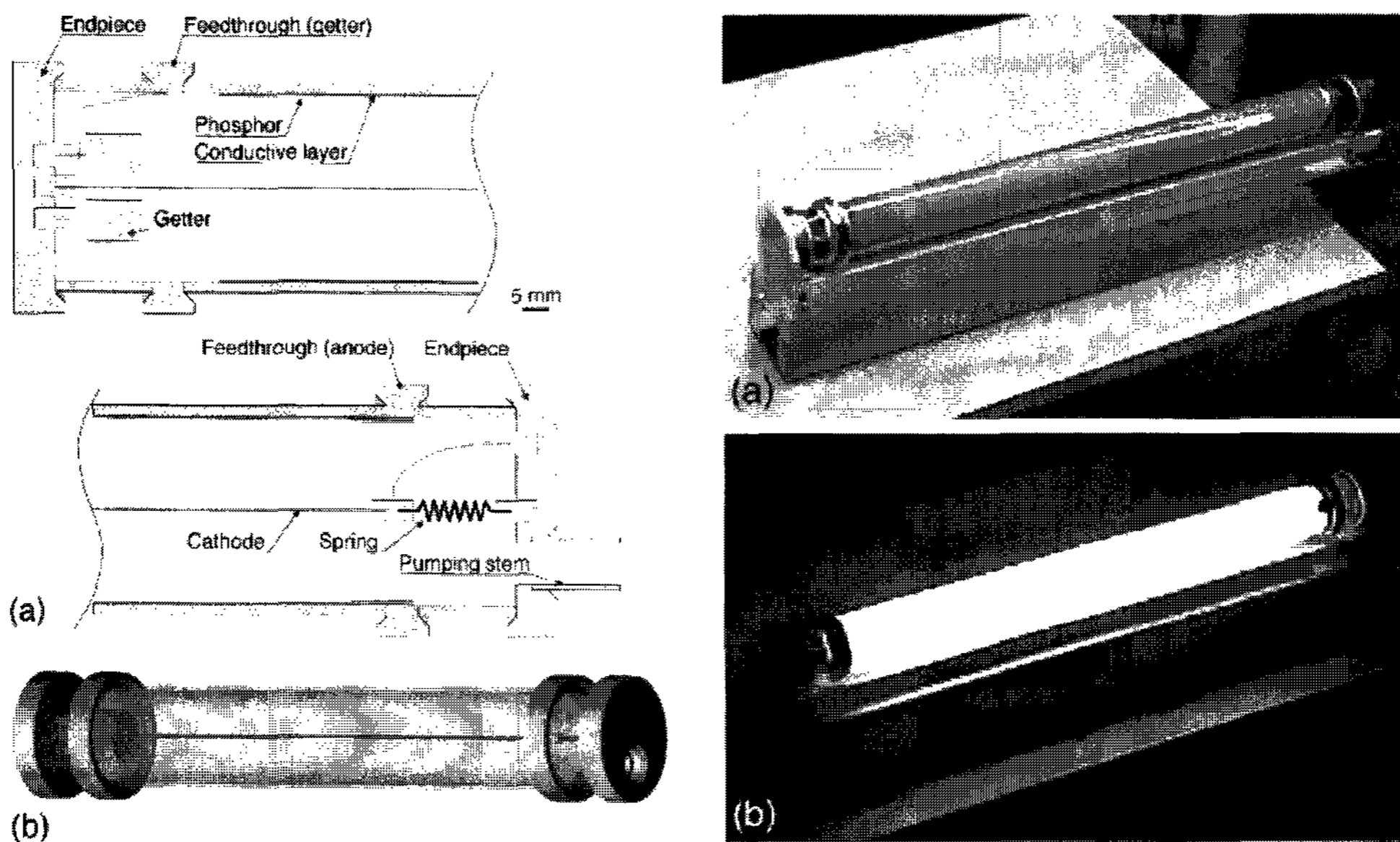
[그림 10] 탄소 박막 전자 방출원을 이용한 HyFED의 음극 구조 (SI Diamond Technology)



[그림 11] 평면형 광원의 구조 및 동작 모양(KIST & 일진 나노텍)



[그림 12] 대형 전광판용 벌브형 광원(Applied Nanotec)

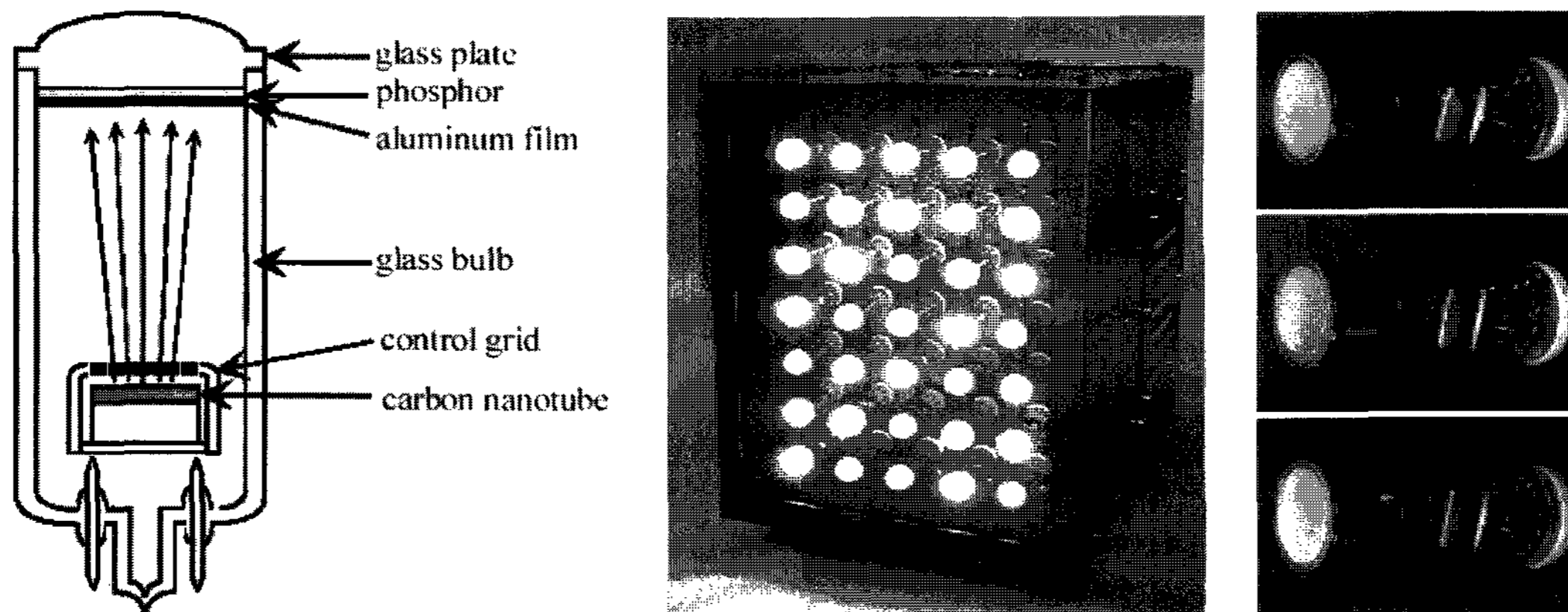


[그림 13] 형광등 대체를 위한 직관형 광원(EPFL)

과 16 W, 발광 균일도는 5% 이내, 수명은 10,000 시간 이상, 공급 전원은 교류 230 V 및 110 V 등으로 알려져 있다.

Ise Electronics는 Noritake의 계열 회사로서, 그 동안

축적되어 온 진공 형광 디스플레이 기술을 광원에도 적용하고 있는데, 1998년부터 탄소 나노 튜브를 이용한 고휘도-저전력-장수명을 특징으로 하는 벌브형 광원을 개발하여 왔으



[그림 14] 다양한 색상과 높은 휘도를 갖는 벌브형 광원의 배열 (Ise Electronics)

며, 최근에 이르러 이를 생산하는 수준에까지 이르고 있다. 이는 프로젝션 액정 디스플레이를 위한 후면 광원, 실외용 대형 전광판 등을 주요 응용 분야로 보고 있다. 이의 구조 및 시제품을 [그림 14]에 보였는데,  $50,000\text{cd}/\text{m}^2$ 에 이르는 휘도를 가짐과 동시에 가열원이 없고 효율이 높아 저전력 동작이 가능하고, 색상 변화가 자유로우며, 수명이 길다는 특징이 있다.

이외에도, Moscow State Univ.는 탄소 나노 튜브를 이용한 여러 모양의 광원을 연구 중이고, Nanocs International 과 Nanyang Technical Univ. 에서는 간단한 문자 표시용 평면형 광원을 발표한 바 있다.

## V. 맺음말

탄소 나노 튜브는 나노 시대를 열어갈 가능성 있는 신소재로서 나노 크기, 특수한 내부 구조, 고강도, 탄성, 전류 수송, 전기 전도도, 전계 방출, 열 전달, 내열성, 내화학성 등에서 물질적인 특징이 있으며, 현재 실용성과 생산성도 입증받을 수 있는 단계에 이르고 있다. 이들 중 전자 방출 특징을 기반으로 하여 제품화에 강하게 접근하고 있는 분야가

디스플레이와 광원이며, 이는 대면적, 저가격, 친환경성을 요구하는 세계적인 추세에도 부합되고 있다. 물론, 수직 배향성과 균일성, 게이트의 형성 및 배치, 소재 및 시스템 가격 등에서 해결하여야 할 문제점들이 적지는 않지만, 이는 우리 연구자들의 노력에 의해 충분히 풀어낼 수 있는 범주 내에 있다. 나노 시대의 도래와 더불어 그 선두에서 항로를 밝혀 줄 수 있는 씨치라이트로서 디스플레이와 광원의 발전을 기대해 본다.

## 참고 문헌

- [1] 주병권, "Field emission display의 최신 기술 분석," 월간 전자부품 (2003. 3~5.)
- [2] 주병권, "탄소 나노 튜브 광원의 연구 개발 동향 분석 및 전망," KIST 분석 자료 (2003. 3.)
- [3] 주병권, "CNT-Field emission display 기술," LG 전자 디지털 디스플레이 연구소 발표 자료 (2003. 1.)
- [4] 주병권, "탄소 나노 튜브," 월간 전자부품, pp.129-139 (2002. 1.)