

# 전계방출 면광원의 기술적 이슈와 동향

김대준, 김광복(금호전기(주) 기술연구소)

## I. 서 론

최근 들어 평판 디스플레이 시장의 양적, 질적 성장은 저비용, 고품위에 대한 요구를 더욱 가속화 시키고 있다. 또한 RoHS(Restriction on Hazard Substances)와 같은 환경규제에 대해 능동적으로 대처하면서 고부가가치의 산업성을 확보하기 위한 노력도 병행되고 있는 상황이다. 디스플레이의 측면에서 가장 주목받고 있는 액정표시장치(LCD)의 경우, 중, 소형에서부터 대형 크기에 이르기까지 전 영역에 걸쳐 시장을 지배하기 시작했으며, 2010년경에는 약 1,000억 달러 이상의 시장을 형성할 것으로 예상되고 있다. 그러나, 비발광소자인 LCD의 핵심적인 요소로서 가장 큰 역할을 담당하는 백 라이트 유닛(Back Light Unit : BLU)의 경우 대형 TV 크기로 진행됨에 따라 LCD의 가격에서 약 40% 이상을 차지할 정도로까지 경제적 비율이 상승되고 있는 실정이다. 이와 더불어 동영상을 주로 표현해야 하는 LCD TV 응용에서는 기술적으로 잔상이 여전히 가장 큰 문제점이며, 낮은 명암비와 증대되는 소비전력 특성을 향상시켜야 할 필요성도 크게 대두되고 있다. 이에 기존 냉음극형광램프(CCFL)를 대체하여 개발이 활성화되고 있는 발광다이오드(LED) BLU는 우수한 발광효율과 수명 및 높은 동영상 특성을 보이고 있지만, 점광원 형태로 제작해야 하기 때문에 복잡한 광학 시스템을 필요로 한다. 다수의 LED를 패키징했을 때 발생하는 발열 문제로 발광효율이 급격히 떨어지거나 색순도가 변하는 문제점 또한 안고 있다. 가격이 비싼 것도 단점이다. 이외에 EEFL 및 FFL 등의 기술들이 개발되거나 진행 중에 있으나, CCFL과 마찬가지로 환경적인 문제(수은 Hg포함)와 더불어 가격 및 동영상 성능 면에서도 최근의 요구를 만족시켜 주지 못하고 있는 실정이다. 이러한 상황은 단지 TV시장에서 뿐만 아니라, 일반 조명시장에서도 마찬가지로 발현되어 친환경, 고효율 조명에 대한 시장의 욕구도 날로 증대되고 있다.

이에 대하여 현재 급속도로 성장하고 있는 나노기반 기술과 접목되어, 나노 전계 에미터 기반의 면(areal) 전계방출 광원(램프)가 위에서 언급된 제반 문제들을 극복할 수 있는

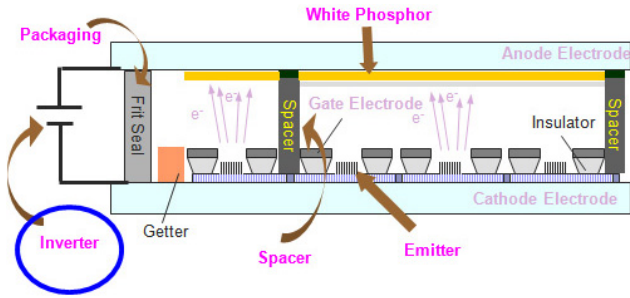
유리한 대안으로써 개발이 진행되고 있다. 전계방출 기술은 극미세 구조의 전계 에미터에 전기장을 인가하여 진공속으로 방출시킨 전자들을 형광체에 충돌시켜 광원을 이루는 구조이므로, LED BLU 이상의 우수한 동영상 표시특성을 표현할 수 있을 뿐만 아니라 경량, 박형화가 가능한 장점이 있다. 특히, 여타 광원들에 비하여 광 효율이 높고 소비전력이 낮기 때문에 미래 초절전형 기술 요구에 가장 적합한 기술로 구현될 수 있다.

이에 본고에서는 현재 진행되고 있는 전계방출 광원 기술에 대한 기술적 동향과 더불어 해결해야 할 이슈에 대하여 논하고자 한다.

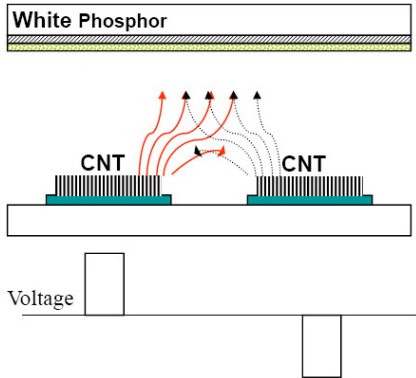
## II. 본 론

### 1. 전계방출광원(Field Emission Lamp : FEL) 기술

전계방출형 램프(Field Emission Lamp)의 기본 구조는 [그림 1]에서 보는 바와 같이, 전계 에미터(field emitter)를 가진 캐소드 판(cathode plate)과 형광체(phosphor)를 가진 아노드 판(anode plate)이 스페이서(spacer)를 지지대로 하여 두 개의 유리판이 봉착되어 패키징(packaging)된 구조이다. 게이트 전극이 전계에미터에 대하여 직상에 위치한 경우([그림 1]a)와 나란히 위치한 경우([그림 1]b)로 크게 나뉘지며 각 구조들의 장, 단점들이 서로 존재하나 전자방출의 매커니즘은 동일하다. 즉, 캐소드 판의 게이트 전극을 통하여 전계 에미터에 일정한 전기장을 인가하면 전자들이 에미터 팁으로부터 양자역학적으로 터널링되어 진공중으로 방출되며, 방출된 전자들은 더욱 큰 아노드 전압에 의해 형광체가 도포되어 있는 아노드 판으로 가속되며, 가속된 전자들이 형광체에 충돌하여 에너지를 형광체에 전달하면 형광체내의 특정 원소내에 있는 전자들이 여기되었다가 원래 상태로 떨어지면서 빛을 발생하는 음극선 발광(cathodoluminescence) 원리로 동작된다. FEL의 핵심 요소 기술을 살펴보면, 크게 냉전자 방출원을 중심으로 하는 캐소드



(a) Top gate 구조



(b) Lateral gate 구조

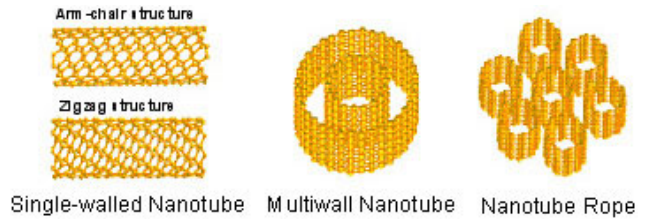
[그림 1] 전계방출형 램프의 기본 구조(a, b)

기술, 형광체를 중심으로 하는 아노드 기술, 패키징 공정 및 유지 기술, 그리고 구동 기술 등으로 나누어지며, 현재 대부분의 FEL 기술 개발은 캐소드 분야와 더불어 고전압 가속, 전자빔 제어 기술에 집중되고 있다.

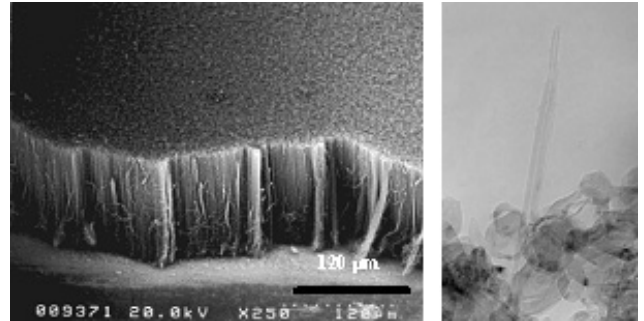
## 2. 전계방출광원(Field Emission Lamp : FEL) 요소 기술

### 1) 전계방출원(에미터) 기술

전계방출기술에 있어서 가장 핵심적인 요소는 전계방출원 입은 자명하다. 초기 금속팁(Spindt tip)에서부터 최근까지도 다양한 재료들이 전계방출원으로 개발되고 있으나, 가장 각광받고 있는 소재는 바로 카본나노튜브(Carbon nanotube : CNT)이다. CNT는 나노 크기의 팁 반경과 100 : 1 이상의 높은 종횡비, 그리고 물리·화학적 안정성, 낮은 일함수 등으로 인해 이상적인 전계 방출원 재료로 여겨져 많은 업체들이 CNT-FEL을 비롯한 다양한 전계방출소자 개발로 추진하고 있다. CNT는 [그림 2]의 구조에서 알 수 있듯이 특별한 후가공없이 그 자체로 전계 방출이 쉽게 일어날 수 있으며, 주로 아크-방전(arc-discharge)과 화학적 증착법(CVD)으로 합성되고 있다. 단일벽(single wall), 2중(double) 또는 다중벽(multi wall) 구조로 합성된 CNT 파우더를 유기 바인더, 필러, 용매 등을 섞어 페이스트(paste)로 만든 후 스크린 인쇄(screen printing) 공정으로



[그림 2] CNT 구조

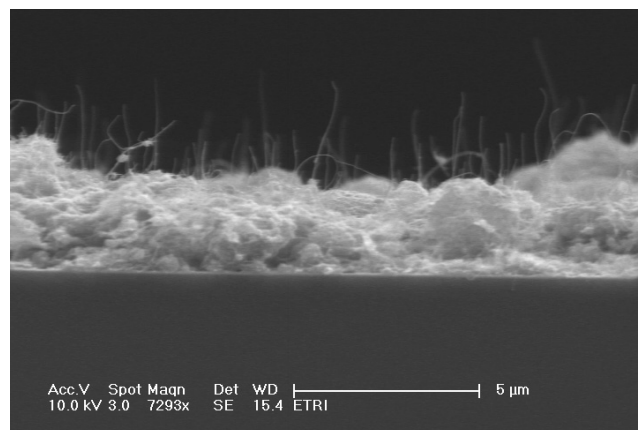


[그림 3] Multi-walled CNT의 SEM 및 TEM 사진

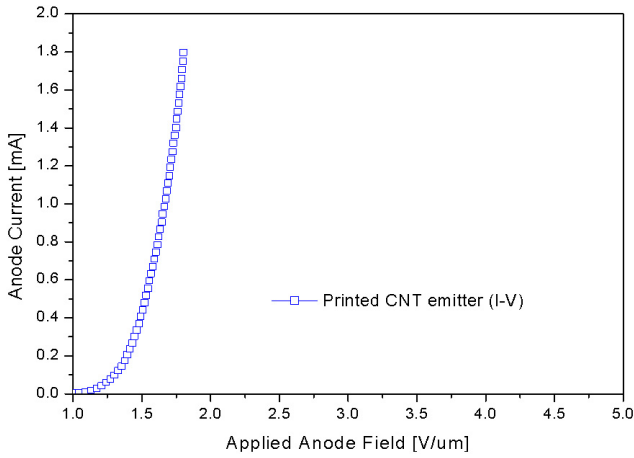
캐소드 기판을 만드는 방법과, CNT를 선택적으로 성장시켜 캐소드를 제작하는 방법으로 나눌 수 있는데, 유리 기판 위에 직접 성장시키는 방법은 아직까지 성장 온도가 높아 통상의 유리 기판에서 직접 성장시킬 수 있는 단계는 아니다. [그림 3]은 CVD 방법으로 합성된 다중벽 CNT의 전자현미경 사진으로, CNT가 한 방향으로 잘 정렬되어 있음을 보여준다.

페이스트 및 스크린프린팅 기법이 적용된 CNT를 이용하여 전계방출원(에미터)을 구현하는 경우 [그림 4], 페이스트 조성 및 공정법과 후처리 방법등에 의하여 전계방출원의 특성이 크게 좌우되나 최근의 가장 앞선 연구결과들에 의하면 통상 1~1.5V/μm의 낮은 전계에서 원활한 전자 터널링이 시작되고 있음이 확인되고 있다[그림 5].

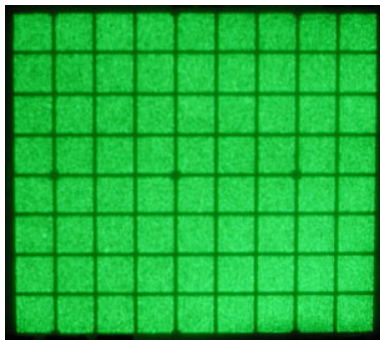
CNT의 우수한 특성을 유지시킴과 동시에 전계방출에 직



[그림 4] 스크린프린팅에 의해 형성된 CNT 에미터의 SEM 사진



[그림 5] CNT 에미터의 전계방출특성



[그림 6] CNT 에미터의 전계방출 이미지

접적으로 기여할 수 있는 CNT량을 최적화한 경우 [그림 6]에서 처럼 매우 균일한 전계방출이 가능함을 알 수 있다. 그러나 CNT를 이용한 전계방출원의 경우 아직 해결해야 할 기술적 이슈들이 많이 남아있는 것도 현실이다. 예를 들어 CNT 에미터의 신뢰성과 더불어 전계방출의 균일도 향

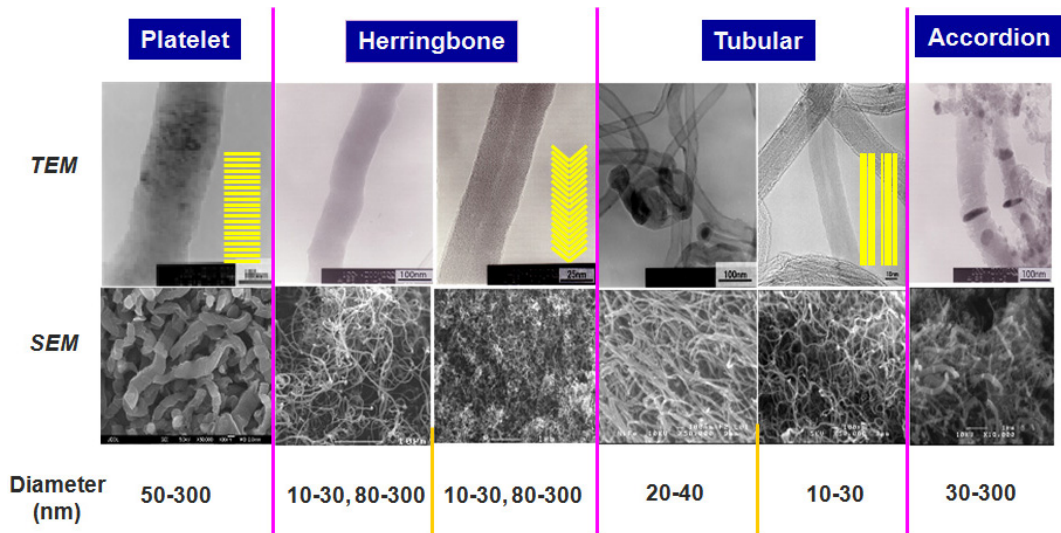
상 등 전계방출원으로써의 성능뿐만 아니라 CNT 소재 자체의 국내 원천성 부족 등 상용화되었을 경우의 재산권문제 등이 내포되어 있다. 그러나 이와 같은 문제들과 비교하여 CNT의 전계방출원으로써의 가능성은 더욱 큰 상황이며, 이에 따라 대부분의 연구그룹에서 CNT를 이용한 전계방출원 개발을 가속화하고 있다.

CNT 이외에도 여러 가지 소재들이 전계방출원으로 이용되기도 하는데, 아래에서 간략히 소개하도록 하겠다. 카본나노파이버 (Carbon Nano Fiber : CNF)를 전계방출원으로 적용하고자 하는 시도가 국내 및 일본 등지에서 시도되고 있는데, [그림 7]에서처럼 CNF의 내부치밀성을 토대로 전계방출원 신뢰성 향상을 도모하고자 하고 있다.

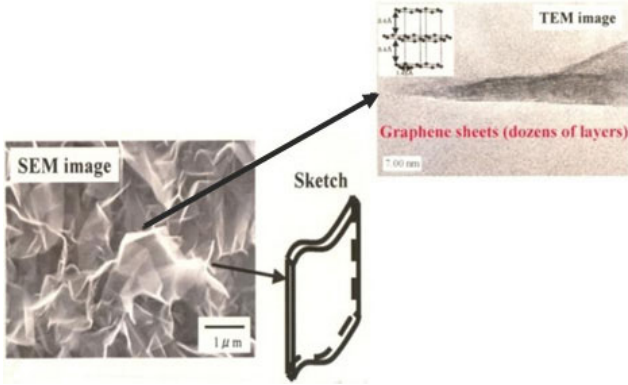
그러나, CNF의 경우 아직 CNT 대비 전계방출특성에 있어서 많이 취약한 상태이며, 에미터의 전계방출역할에 기여하는 절대량에서도 크게 못미쳐 신뢰성에 있어서도 CNT 대비 우위에 있는 결과를 나타내지 못하고 있다. 다만, 소재 자체의 구조적 특성은 분명 CNT보다 치밀하므로 CNF를 전계방출원으로 보다 적절히 구현할 수 있다면 매우 경쟁력 있는 소재가 될 수 있을 것으로 판단된다.

일본의 산학연을 중심으로 CNW(Carbon Nano Wall : [그림 8]) 및 GNF(Graphite Nano Fiber : [그림 9])와 같은 카본계의 또 다른 소재를 전계방출원으로 구현하고자 하는 시도도 있다. [그림 8]에서 보이는 CNW의 경우 CNT 대비 우수한 형상 특성과 이에 기반한 안정적 전계방출 특성을 보이고 있으나, 직접 성장방식의 한계와 더불어 CNW들 사이의 전계방출 특성이 균일화하지 못하다는 단점도 가지고 있다. [그림 9]의 GNF의 경우 또한 CNT 대비 낮은 중형비의 한계 및 전계방출균일도 취약 등의 문제가 해결해야 할 숙제이다.

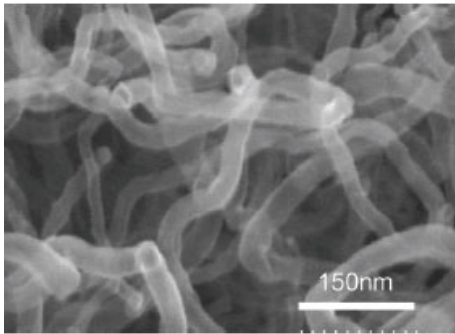
이외에도 FED(Field Emission Display)의 응용에서는 소니의 Spindt tip 적용 및 캐논의 나노갭 SED(Surface Emission Display) 등이 CNT 이외의 전계방출원 적용으로 이용되고 있다.



[그림 7] CNF의 종류 및 형상



[그림 8] CNW

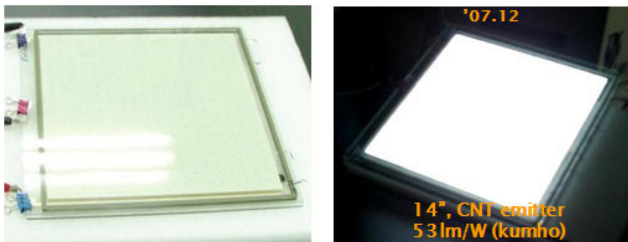


[그림 9] GNF

### 3. 전계방출형 광원 기술 동향

최근의 FEL 개발은 앞서 언급한 2가지 구조(Top gate 및 Lateral)를 중심으로 BLU 뿐만 아니라 일반 조명에 이르기까지 광범위하게 진행되고 있다. 이에 본 절에서는 다양하게 연구, 개발되고 있는 FEL 들을 소개하고 기술적으로 해결해야 할 문제들과 더불어 향후 전개방향에 대하여 논하고자 한다.

금호전기(주)에서는 일반 조명과 BLU의 응용에 대응되는 Lateral 방식의 CNT-FEL을 2009년 기초 상용화를 목표로 개발하고 있다. [그림 10]은 14인치급으로 제작된 Lateral 방식의 FEL 시작품 사진이며 아노드 가속전압 약 10kV 정도에 약 50lm/W 이상의 효율을 보이는 FEL 면광원을 개발 중에 있다. 향후 40인치 이상의 대면적 FEL도 개발할 로드맵을 발표하고 있으며, 친환경(무수은), 고효율



[그림 10] 14인치급 Lateral FEL 및 발광사진(금호전기(주))

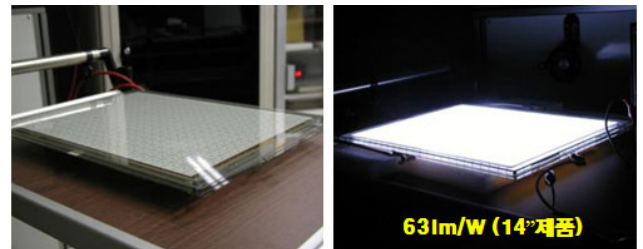
차세대 면광원으로써 그룹 차원의 공격적 투자가 진행되고 있다.

[그림 10]의 14인치급 FEL은 전계방출원으로써 CNT를 사용하고 있으며, 이외에도 다양한 전계방출원 소재를 접목하여 가능성을 확인하고 있다. Lateral FEL의 경우 게이트 전극과 캐소드의 구조 상 방출된 전자의 궤적이 광범위하게 퍼지므로 Top gate FEL에 비하여 보다 높은 Fill factor를 구현, 면광원에 더욱 적합한 발광형태를 보이게 되는 장점이 있다. 그러나 에미터가 높은 가속전압을 보이는 아노드에 직접적으로 노출되는 점과 절연층으로의 대전(Charging) 문제, 완벽한 삼극구동이 어려워 효율 증대가 쉽지 않다는 단점도 가지고 있다. 또한 약 300V 이상의 고전압 구동이 요구되므로 인버터와의 매칭 및 비용 증가도 해결해야 할 숙제이다. 하지만 FEL 패널을 구현하기가 Top gate FEL에 비하여 상대적으로 용이하며 저비용이므로 고전압 안정성 및 구조, 구동 최적화를 이룰 수 있다면 매우 효과적인 차세대 광원으로써 가능성이 크다고 할 수 있다.

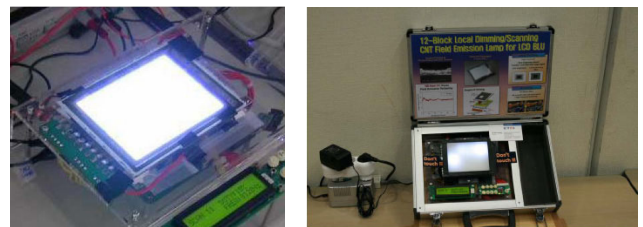
나노퍼시픽(주) 또한 금호전기(주)와 마찬가지로 Lateral 방식의 FEL을 개발 중에 있으며 [그림 11]과 같이 최근 14인치급 약 60lm/W의 FEL을 선보이기도 하였다. 그러나 Lateral 방식이 가지고 있는 구조적 한계를 아직 극복하지 못하고 있으며, 이를 해결하기 위한 노력을 소재적인 측면에서부터 구동에 이르기까지 다각도로 진행 중에 있다.

한국전자통신연구원(ETRI)에서는 Top gate 방식의 FEL을 개발 중에 있다. ETRI의 FEL은 아노드 전계가 게이트에 의하여 완벽히 차단될 수 있는 Macro 구조인 특징과 더불어 캐소드의 전류스위칭 구동에 의한 저비용 구동기술이 장점으로 지목되고 있다. ETRI의 경우 주로 BLU응용으로써의 FEL을 개발 중이며, 특히 [그림 12]에서처럼 FEL의 다이나믹 면 광원(로컬 디밍)의 기술적 가능성을 보여주고 있다.

Top gate FEL의 경우 방출된 전자의 직진성이 강하므로



[그림 11] 14인치급 Lateral FEL 및 발광사진(나노퍼시픽(주))



[그림 12] 다이나믹 구동이 가능한 Top gate FEL(ETRI)



[그림 13] 32인치급 LCD에 적용된 FEL 및 CCFL과의 비교 (삼성SDI)

로 Fill factor 측면에서 Lateral 방식에 비하여 상대적으로 취약한 점과 더불어 ETRI의 macro 구조를 구현하기 위한 게이트 구조 구현 및 FEL 패널 진공패키징의 저비용화 및 공정 단순화가 향후 해결해야 할 과제로 여겨지고 있다.

Top gate FEL을 개발하고 있는 그룹은 ETRI 외에 대표적으로 삼성SDI가 있으며, 삼성SDI 또한 다이내믹 BLU를 모토로 연구, 개발에 과감한 투자를 진행 중에 있다. 이미 TFT-LCD 패널의 강력한 기술력을 확보한 기관에서 보다 효율적이고 고성능의 BLU를 개발하기 위해 FEL을 택했다는 것은 의미하는 바가 크다고 할 수 있다. [그림 13]에서 보는 바와 같이 32인치급 FEL이 적용된 CNT-BLU 시작품을 TFT-LCD와 매칭하여 기존의 CCFL 보다 우수한 동영상 성능(잔상제거 및 고 프레임화) 및 저 소비전력이 가능함을 보여주기도 하였다. 다만, 삼성SDI의 경우 ETRI와는 다른 Micro 구조의 Top gate FEL을 채택함과 동시에 게이트 전극 이외의 포커싱 전극이 필요할 수 있다는 차이가 있다. 이에 따라 공정의 저비용화와 단순화가 극명히 요구되며, 전계방출 특성에 있어서도 아노드의 고전압 전계를 에미터에 영향을 주지 않도록 하기 위한 구조적 향

상이 요구되고 있다.

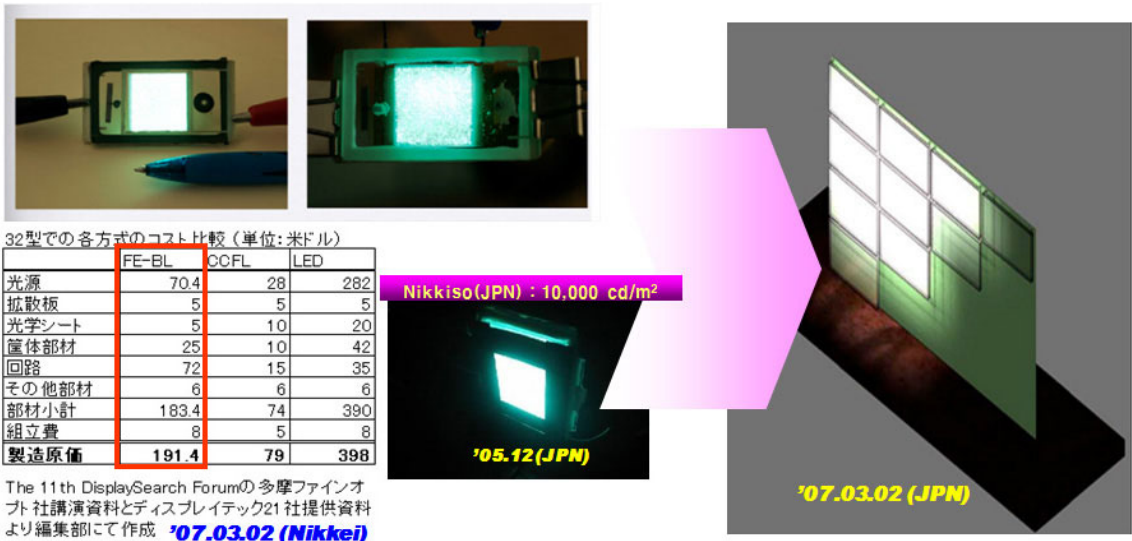
ETRI와 삼성SDI 외에도 대부분의 산학연에서 연구 및 개발 중인 FEL은 위와 같은 Top gate 방식의 FEL이며, Top gate 방식은 FEL 뿐만이 아니라 FED, X선 발생장치 등 광범위하게 적용될 수 있는 전계방출 구조이므로 국내에서 가장 활발히 연구되고 있는 구조라 할 수 있다.

위에서 언급한 Lateral 및 Top gate 방식의 FEL 외에도 아래와 같은 다양한 구조의 FEL 또한 개발되고 있다.

일본의 Display Tech21사는 [그림 14]와 같이 다이오드(2극형)구조의 FEL 면광원을 개발중에 있다. 소면적의 FEL 패널을 타일링하여 대면적까지 커버할 수 있는 특징이 있으며 다이오드 구조이므로 매우 단순한 구조에 기인한 장점을 가지고 있다. 다만, 발광 효율적 측면에서 방출된 전자량의 게이트 조절이 안되므로 삼극형 구조에 비하여 취약할 뿐만 아니라 고전압 안정성에서도 불리하다는 문제를 반드시 해결해야 할 것으로 판단된다.

Ise-Noritake사는 [그림 15]와 같이 벌브형 FEL을 집중적으로 개발하고 있다. 이동성이 용이한 집적화된 구조와 더불어 50,000cd/m<sup>2</sup>의 고효율 광원을 이미 개발하였으나, 게이트로 누설되는 전류가 약 50%에 이르는 등 효율의 증대와 더불어 발열에 대한 개선도 추가적으로 요구되는 문제라 할 수 있다. Ise-Noritake사는 FEL 외에도 FED 등에 있어서 매우 오랜기간 집중적으로 연구, 개발하고 있는 기관이며 해마다 독창적인 아이템을 선보이고 있으므로 전계방출관련 선도기업 중 하나라고 말할 수 있다.

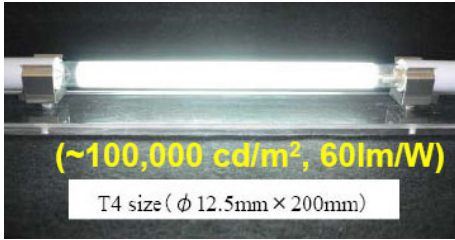
[그림 16]에서는 통상의 형광등과 비슷한 형태의 2극형 FEL을 보여주고 있다. [그림 16]a에서 보여주는 Dia-Light사의 FEL은 앞서 언급한 CNW를 이용한 특징이 있다. [그림 16]과 같은 구조는 기존 형광등과 같은 형태를 취하고 있으므로 시장으로의 접근성이 쉬울 수도 있으나 FEL 구조상 반드시 요구되는 고전압 대응 구동의 인버터 등 해결해야 할 문제가 많이 있으므로 아직 기초단계의 결



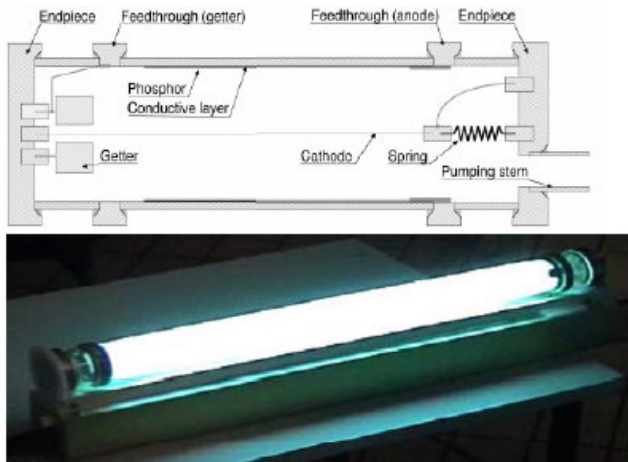
[그림 14] 다이오드(2극형) 구조의 FEL 면광원: 타일링 개념을 도입



[그림 15] 밸브형 FEL(Ise-Noritake)



(a) Dia-Light(일본)의 2극형 튜브램프



(b) EPFL(스위스)의 2극형 튜브 램프

[그림 16] 2극형 튜브형태의 FEL

과만이 도출되고 있는 상황이다.

이상과 같이 현재 연구 및 개발되고 있는 FEL의 대표적인 사례 및 동향들을 소개하고 각 구조에서 나타나는 한계와 개선점들을 알아보았다. 아직 FEL의 기술 표준화가 정립되지 못한 상황임은 분명한 현실이고 각 기관들에서 기술적 원천성과 우위를 점하기 위해 부단히 노력하고 있는 것도 또한 사실이다. 전계방출 기술의 기술적, 시장적 잠재력은 이미 분명한 시점에서 이를 조기 상용화시키기 위해서는 결국 공격적이고 지속적인 연구개발 투자가 반드시 필요할 것이다.

### III. 결 론

본 보고에서는 CNT를 위시로 한 고효율 전계방출 특성을 응용한 면광원의 기술적 동향과 이슈에 대하여 논하였다. FEL의 가장 큰 장점으로써 냉음극의 특징인 저발열 및 광범위한 작동 온도범위를 기본으로 초박형의 두께와 요이한 대면적화, 수은이 불필요한 친환경성, 빠른 반응속도와 안정화 시간 및 로컬 디밍과 같은 고기능성들이 도출될 수 있음을 확인하였다. 이를 구현하기 위한 구조로서 Lateral 및 Top gate의 삼극형 구조와 더불어 2극형 구조도 개발되고 있으며 각 구조의 장·단점을 간략히 논하여 기술적 이슈에 대하여 알아볼 수 있었다. 본 보고에서 논한 FEL의 특징을 발현하기 위하여 반드시 조속한 시기내에 상용화 할 수 있는 기술적 토대가 마련되어야 할 것이며, 이를 위한 기술적 인자는 [그림 17]로 요약할 수 있을 것이다.



[그림 17] FEL의 조기 상용화를 위한 기술적 이슈와 요건

### 저 자 소개



김 광 복

1994 : 충남대학교 금속공학과 학·석사 졸업, 2002 : 울산대학교 재료공학과 박사 졸업, 2002~2004 : ETRI 플렉시블 소자팀 박사후연구원, 2004~2005 : 알티전자 반도체 LED 사업부 선행개발 팀장, 2005~현재 : 금호전기(주) 기술

연구소 신광원연구팀장