

## 1. 개요

인터넷, 위성 방송을 비롯한 각종 정보 통신 산업의 발전에 따라, 예전에는 상상할 수 없었던 많은 양의 각종 정보들이 홍수를 이루는 지식 산업 사회에 우리는 살고 있다. 이러한 다양한 종류의 디지털 콘텐츠를 화상 이미지로 표현할 수 있는 실감형 디스플레이 장치가 요구되고 있다. 실감형 디스플레이는 콘텐츠의 화상 크기뿐만 아니라 색상 및 역동성까지도 자연 그대로를 표현할 수 있는 것이어야 한다. 이러한 실감 영상을 구현하기 위해서는 먼저 디스플레이 화면의 크기가 실물 크기에 근접하여야 한다. 화면 크기가 40인치 이상인 대형 디스플레이에 있어서는 기존의 디스플레이 장치인 CRT는 두께 및 무게가 실용적으로 사용할 수 있는 한계를 초과하게 되었

저 에너지 상태로 천이할 때 방사되는 진공 자외선이 photoluminescent 형광체를 자극하여 발생시키는 가시광으로 정보를 표시하는 장치이다. 이러한 PDP는 1927년 Bell Telephone Laboratory에서 최초로 그의 개념적인 연구 개발이 시작되었는데<sup>1)</sup>, 이것은 가스 방전을 이용한 발광 장치의 수준이었다. 그러나 이 방전 표시 장치는 CRT의 대두로 경쟁력을 상실하여 디스플레이 장치로서의 연구가 그동안 중단되었었다. 그러던 중, 1964년 미국의 일리노이 대학에서 AC형 PDP의 기본적인 구조가 발명되었다<sup>2)</sup>. 이를 시작으로 70년대에는 일본에서 이 개념을 더욱 발전시켜, 90년대 초에 PDP의 면 방전 구조와 ADS(address display separated) 구동 방식이 개발되어 현재 상용화된 PDP의 기본 골격을 이루고 있다. Plasma를 이용한 표시 장치의 개발에서부터 디스플레이

# 특집 ─ 디스플레이 II

## Plasma Display Panel의 원리와 발전 전망

김용석\*

다. 따라서 CRT를 대체할 수 있는 대화면용 디스플레이 장치를 개발하기 위하여 많은 연구가 진행되어 plasma display panel(PDP), liquid crystal display(LCD), field emission display(FED), organic light emission display(OLED), projection TV 등이 개발되었다. 이들 각종 디스플레이 중, PDP는 자체 발광 방식으로 이미지를 구현하기 때문에 시야각이 넓고, 색의 재현성이 우수하며, 구조가 단순하여 제조 공정이 간단하고, 대면적화가 용이한 장점이 있다. 이러한 장점들 때문에 그림 1에 나타내었듯이 대화면 디스플레이로서 이들 장치에 대한 수요 및 생산이 급격하게 증가하고 있다.

PDP는 방전셀 내에 가스 방전 현상에 이용하여 플라즈마를 형성시키고, 플라즈마 내의 가스 여기종이

장치로써 발전하기까지 약 70년의 시간이 걸렸으나, 그 이후 불과 10년의 시간도 지나지 않아 현재는 80인치의 full color 표시가 가능한 대화면 실감형 디스플레이 장치로 급속히 발전하고 있는 상황이다(그림 2).

### 2. PDP의 구조와 특징

PDP는 그림 3에 모식적으로 나타낸 것과 같이 전면과 배면 유리판으로 구성된 단순한 구조를 가지고 있다. 전면 유리판은 기판 유리, 유지 전극(sustaining electrode) 및 버스 전극(bus electrode), 투명 유전층과 보호막으로 구성되어 있다. 기판 유리는 왜점(strain point)가 570℃

\* 홍익대학교 신소재 공학과

## Plasma Display Panel의 원리와 발전 전망

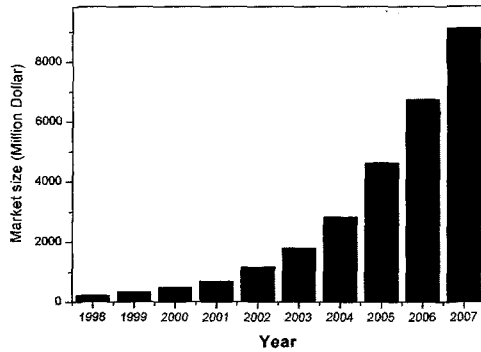


그림 1. 세계 PDP 시장 전망



그림 2. 80인치 Full HD PDP TV

로 높은 soda lime alumino silicate계 유리 판재이고, 유지 전극은 전도성 투명 세라믹인 ITO(indium tin oxide) 박막으로 형성되고, 버스 전극은 ITO 유지 전극에서 발생하는 전압 강하를 보상하기 위하여 고 전도성 Ag 후막이 사용된다. 이들 전극 위에는 투명 유전층이 형성되어 있는데, PbO-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-ZnO 계열의 유리 재료가 사용된다. 이 유전층은 플라즈마 방전 전류를 제한하는 역할을 하고, 벽전하를 형성하여 PDP의 가장 중요한 특성중의 하나인 메모리 구동을 가능하게 하는 역할을 한다. 이 기능에 관하여서는 다음 절에서 좀 더 자세히 설명할 예정이다. 유전체의 표면에는 보호막이 형성되어 있는데, 이 보호막층은 플라즈마에 의하여 투명 유전체층이 스퍼터링 되어지는 것을 방지하고, 플라즈마로부터 이온 충돌에 의한 2차 전자의 방출을 유도하여 플라즈마 방전이 저 전압에서 유지되도록 하는 MgO 박막이 사용된다.

배면판은 배면 유리 기판, 3원색 photoluminescent 형광막, 격벽, 배면 유전층 및 어드레스 전극(addressing electrode) 등으로 구성되어 있다. 배면 유리 기판은 전면 유리 기판과 동일한 고 왜점 유리 판재가 사용되고, 기판의 상면에는 방전셀을 선택적 구동을 위한 어드레스(address) 전극이 형성되어 있다. 어드레스 전극을 보호하고, 발생된 가시 광선을 반사하기 위한 백색의 배면 유전체 층이 어드레스 전극상에 형성되어 있다. 배면 유전층의 재료에는 가시 광선의 반사도를 높이기 위한 filler로 TiO<sub>2</sub>가 주로 사용되고 있다. 플라즈마가 발생하는 공간을 구획하여 화소(방전셀)를 정의하는 격벽(barrier rib)은 배면 유전체 상부에 형성되어 있다. 격벽 재료로서는 소성 온도가 570~590℃ 정도인 leadborosilicate

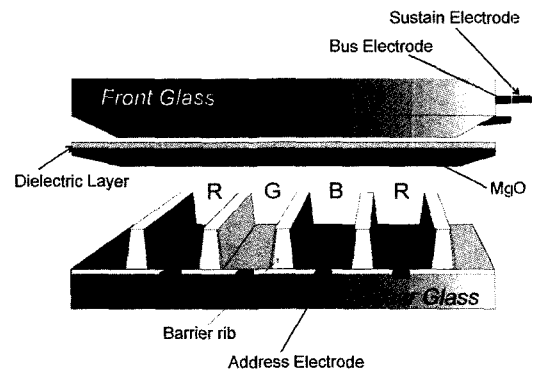


그림 3. PDP의 기본 구조

glass frit에 알루미늄이 filler로서 첨가된 복합 재료가 사용되고 있다. 이들 격벽의 측면과 배면 유전체층의 상면에는 3원색 형광막이 방전셀에 각각 도포되어 있다. 형광막은 플라즈마 방전으로부터 발생하는 진공 자외선에 의하여 적색((Y,Gd)BO<sub>3</sub>:Eu, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu, Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu), 녹색(Zn<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>:Mn, BaAl<sub>12</sub>O<sub>19</sub>:Mn, YBO<sub>3</sub>:Tb), 청색(BaMgAl<sub>10</sub>O<sub>17</sub>:Eu)의 가시 광선을 발생시키는 photoluminance 산화물계 세라믹 분말이 주로 사용되고 있다.

전면판과 배면판을 정렬한 후 sealing glass frit을 이용하여 접합시키고, 이들 사이에 있는 공기 및 수분등의 불순물 가스를 배기한 후, 플라즈마 방전 gas를 채우는 배기 봉착 과정을 거쳐서 패널이 제작된다. 이렇게 제작된 패널에 플라즈마의 구동을 위한 구동회로, 로직 회로, 파워 부품이 부착되어 모듈이 제작되는 것이다.

### 3. PDP의 발광 원리

PDP에서는 Ne와 Xe이 혼합된 페닝(Penning) 개스가 방전 개스로 사용되고 있다. 페닝 효과는 여기된 준안정 상태의 Ne 원자가 기저 상태에 있는 Xe 가스와 충돌하여 Xe을 이온화시키는 현상을 지칭한다. Ne의 이온화 에너지와 준안정 에너지 준위는 각각 21.6 eV와 16.56 eV인데, Xe의 이온화 에너지 준위는 12.13 eV이다. Ne 준안정 여기종이 기저 상태에 있는 Xe과 충돌하면 Xe을 이온화시키기에 충분한 에너지를 공급하여 페닝 효과를 구현하는 것이다. 플라스마 방전이 발생하고 있는 페닝 개스내에서 Ne 여기종의 생성 속도와 Xe 양이온의 생성 속도는 거의 유사한데, 준안정 Ne 여기종의 재결합(recombination) 시간이  $Xe^{1+}$  이온의 재결합 시간에 비하여  $10^6$ 배 이상 길기 때문에 Ne 여기종의 밀도는 플라스마 방전이 지속됨에 따라 증가된다. 따라서 이와 같은 준안정 여기종 원자를 이용하면, 낮은 인가 전압으로도 방전 개스를 이온화 시키는 것이 가능하기 때문에, 플라스마 방전 유지 전압을 낮추는 것이 가능하고, 이에 따라 플라스마의 방전 효율을 향상시키는 것이 가능하게 된다.

한편 플라스마 방전이 대향된 유지 전극사이에 발생할 경우, 전자는 양극, 양 이온은 음극 쪽으로 이동하게 된다. 양이온이 cathode fall 구역을 통과하며 가속되어 보호막인 MgO에 충돌하게 되면, 이온의 충돌 에너지가 보호막에 전달되어 전자를 방출시키는 Auger 효과에 의한 감마( $\gamma$ ) 과정에 의하여 전자가 방출된다. 감마 과정에 의하여 발생된 전자를 이차 전자라 하는데, 입사된 이온 하나당 방출되는 전자의 개수를 이차 전자 방출 계수라고 한다. 이차 전자 방출계수는 이온의 종류 및 에너지에 따라서 변화하는데(그림 4), Ne 이온의 계수가 Xe에 비하여 상대적으로 높은 계수를 가지고 있는 것을 볼 수 있다. 이차 전자의 방출이 용이하게 이루어지면 플라스마 방전 개스 내의 전자 밀도를 증가시키기 때문에, 방전 전압이 저하한다. 따라서 이차 전자의 방출 계수가 높은 보호막 재료 및 가스 조성을 개발하는 것이 PDP의 방전 개시 전압을 감소시킬 수 있는 지름길인 것이다.

Xe 가스는 플라스마 방전 개스 내에서 전자 및 원자간의 충돌에 의한 복잡한 에너지 전달 과정을 거친다. 먼저 Xe 가스의 일부는 페닝 효과 및 전자와의 직접 충돌에 의하여 이온화되고, 일부 Xe 가스는 저에너지 전자와 충돌

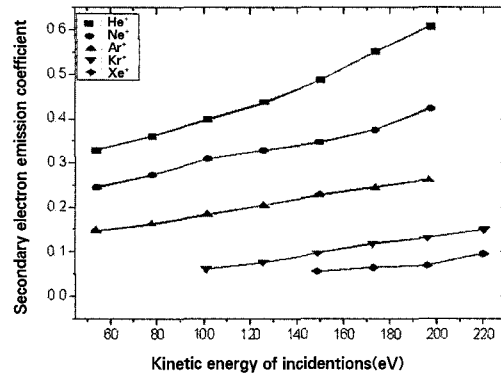
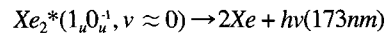
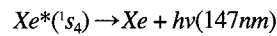


그림 4. 2차 방전 개스의 종류 및 에너지에 따른 전자 방출 계수<sup>3)</sup>

하여 여기종을 형성하게 된다. 이 여기종은 충돌 에너지의 크기에 따라 여러 에너지 준위를 가지게 된다. 이 여기종은 기저 에너지 상태로 천이하면서 진공 자외선을 방출하는데 이 과정을 그림 5에 모식적으로 나타내었다. 발생한 진공 자외선은 공명선 147nm과 분자선 173nm의 파장으로 방사되는데, 다음의 반응 방정식을 따라서 발생하는 것으로 알려져 있다.



여기서  $Xe^*(^1s_4)$ 는 Xe 원자의 공명 준위,  $Xe_2^*$ 는 여기 상태의 Xe 다이머(dimer)를 나타낸다.  $Xe^*(^1s_4)$ 는 주로 기저 상태의 Xe 원자가 전자와의 충돌에 의하여 생성되고,  $Xe_2^*$ 는 공명 에너지 준위의  $Xe^*(^1s_5)$  원자와 기저 에너지 상태의 Xe 원자 2개와의 3-body 충돌 반응에 의하여 생성되는 것으로 알려져 있다. 따라서 Xe 함량 및 방전 가스의 분압이 증가함에 따라 이 3-body 반응 속도가 증가하여 분자선의 방사 강도가 공명선에 비하여 상대적으로 빠르게 증가하는 것으로 알려져 있다. 이렇게 방사된 진공 자외선은 형광체를 자극하여 가시 광선을 발생시키는 것이다.

형광체란 기본적으로 여러 형태의 에너지를 받아들여 이를 가시광선으로 방사하는 물질이다. PDP에서는 진공 자외선을 형광체에 조사하는데, 이 에너지는 모상에 흡수되어 격자 진동 에너지의 형태로 모상에 수 %정도 첨가된 활성 원소(activator)에 전달된다. 이 활성 원소가

## Plasma Display Panel의 원리와 발전 전망

에너지를 전달 받게 되면 자유 전자와 정공쌍을 형성시키고, 이들이 재결합될 때 가시광선이 방출되는 것이다. 따라서 형광체로부터 발생하는 가시광선의 파장 및 세기는 이들 활성 원소의 모상내 에너지 준위 및 농도에 따라서 결정되는 것이다.

유지 전극 사이에 전압이 인가되어 플라즈마 방전이 발생하는 동안 전극의 표면은 부도체인 유전 재료로서 덮여 있기 때문에, 유지 전극으로 이동된 전자와 이온은 유전체의 표면에 축적되게 된다(그림 6). 이와 같이 표면에 축적된 전자와 이온을 벽전하라 하고 이들 전하로부터 발생하는 전압을 벽전압이라고 한다. 벽전하의 축적이 증가하면 벽전압의 크기도 증가하는데, 이것은 양 유지 전극에 가해지는 전압을 감소시키는 역할을 하게 된다. 따라서 일정 시간동안 방전이 발생한 후에는 방전이 그림 6 (ii)와 같이 종료되게 되는 것이다.

한편 그림 6 (ii)와 같이 방전이 완료된 상태에서 방전을 개시하기 위해서는 전압의 방향을 역전시키는 것이 필요하다. 이 과정이 AC PDP의 방전 원리이다. 벽전하가 형성되어 있는 상태에서는 방전 전압을 벽전위를 뺀 만큼만 가하여 주어도 방전이 개시되는데, 이 전압을 유지 전압(sustaining voltage)라 한다. 대개의 경우 PDP에 있어서 벽 전압이 수십 V정도 이기 때문에, 방전 유지 전압은 방전 개시 전압에 비하여 이 값 정도에 해당하는 만큼의 낮은 값을 사용하는 것이 가능하다. 벽전하가 형성되지 않은 방전셀에서는 동일한 유지 전압을 가해도 방전이 발생하지 않는데, 이것을 메모리 효과라고 한다. 이 효과를 이용하면, 벽 전하를 형성시킨 화소만을 선택적으로 유지 방전을 시키는 것이 가능한데(addressing 된), 이 효과를 이용하면 PDP의 구동 회로를 크게 단순화시킬 수 있다.

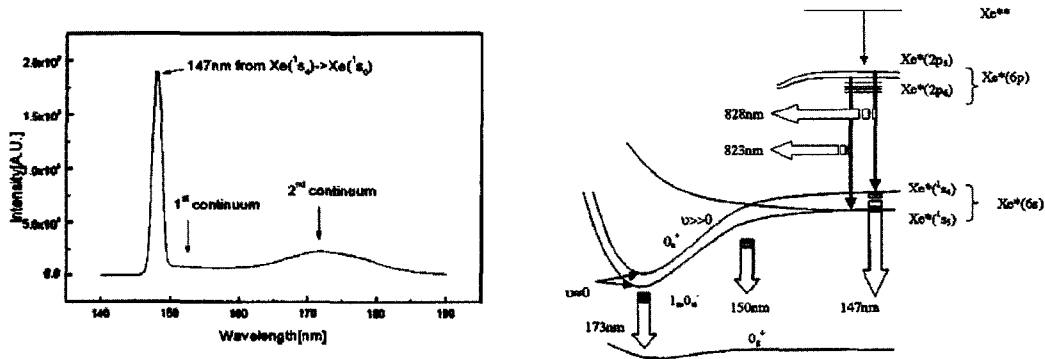


그림 5. VUV spectrum과 Xe의 에너지 준위

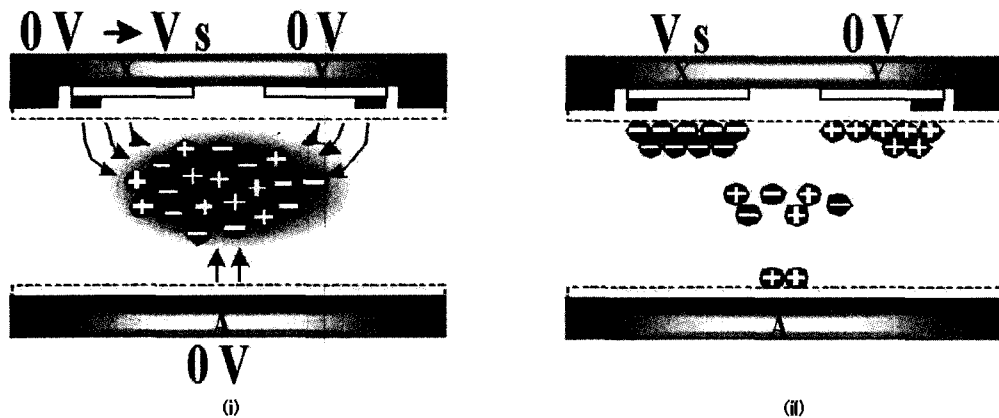


그림 6. 벽 전하 축적 과정의 모식도 i) 방전 개시, ii) 방전 완료 후

## 4. PDP의 구동 원리

PDP는 CRT와는 달리 화소의 On-Off 상태만이 존재하기 때문에 색의 밝기 즉 계조는 단위 시간당 발생하는 플라즈마의 방전 횟수를 조절하는 방법으로 표현하고 있다. 현재 PDP에서 계조를 표현하는 대표적인 구동 방식은 ADS(address display separated)방식인데, 이 방법은 일본의 Fujitsu사에서 제안한 방식이다. 이 방식에서 계조는 256단계로 구분하여 표시하는데, 이를 구현하기 위해서는 하나의 이미지 표시 시간을 8개의 서브 필드(subfield)로 분할하고, 각각의 서브 필드에 방전 회수를  $2^n$ 으로 변화시켜, 이들 서브 필드에서 발생하는 방전 시간을 조절함으로써 밝기를 표현하는 방법이다. 이러한 서브 필드 내에는 방전을 발생시킬 것을 지정하기 위한 벽전하 형성을 위한 address 기간과 방전을 발생시키는 서스테인 전압을 인가하는 display 기간, 그리고 이전 서브 필드에서 형성된 벽 전하를 제거하는 reset 기간으로 구성되어 있다.

그림 7은 ADS구동 방식의 서브 필드 배열을 보여주고 있다. 서브 필드의 구성은  $2^0$ 에서  $2^7$ 까지의 밝기 비율을 가지고 있는 8개로 분할함으로써 각각의 서브 필드의 휘도 상대비가  $1 : 2 : 2^2 : 2^3 : 2^4 : 2^5 : 2^6 : 2^7$ 의 비율이

되도록 하는 것이다. 각 서브 필드의 점등, 비점등을 표시 휘도에 따라서 8개의 서브 필드를 조합하면, 256 단계의 계조 표시를 실현할 수 있게 된다. 하나의 서브 필드 내에는 각각의 스캔 전극을 따라서 address 기간과 유지 방전 기간을 분리하여, 모든 유지 방전이 동시에 일어나도록 배열한 것이 가장 큰 특징이다. 그 순서를 보면, 전 단계의 방전으로 형성된 벽전하를 지워주는 Reset과정이 가장 처음이다. 그 다음 벽전하를 쌓고 지우면서 cell마다 다른 전압 차이를 보정하고, 어드레스가 성공적으로 이루어 질 수 있도록 준비기간을 거친 뒤, 유지 전압을 유지 전극 사이에 가하여 특정 방전셀을 점등하게 된다. 그러나 ADS방식은 전체 구동에서 reset과 어드레스 시간이 전체 방전의 70%가량을 차지하고 있기 때문에, PDP의 고휘도화를 위해서는 개선해야 할 과제를 안고 있다.

## 5. PDP의 발전 방향

PDP의 발광 과정을 에너지 변환 과정에서 살펴보면, 전기 에너지 → 방전 에너지 → 진공 자외선 에너지 → 가시 광선 에너지로 4단계의 에너지 변환 과정을 거치는 것을 알 수 있다. 외부에서 모듈에 공급된 에너지는 전기

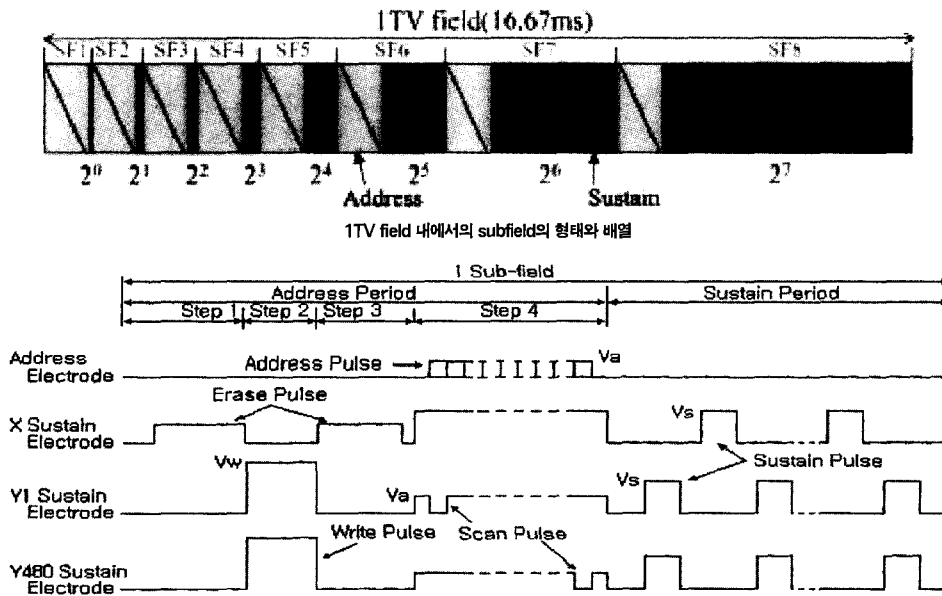


그림 7. ADS구동법과 구동 파형

# Plasma Display Panel의 원리와 발전 전망

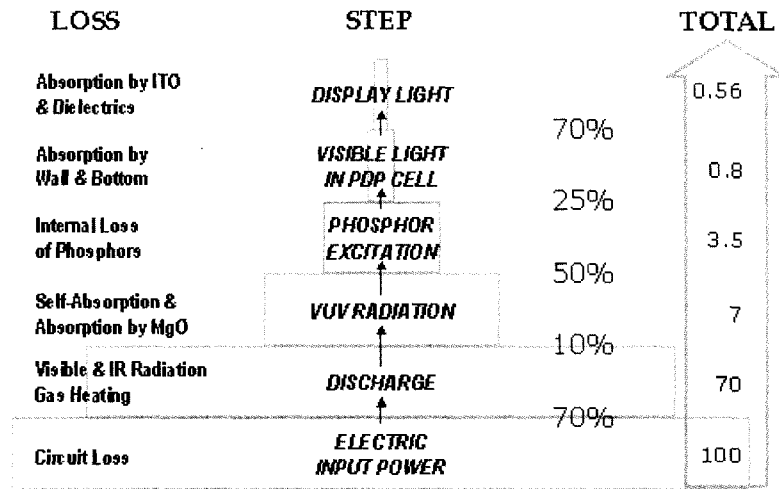


그림 8. PDP 발광 단계별 에너지 효율

회로 및 소자를 통하여 모듈의 전극단에 공급되고, 인가된 전기 에너지는 플라즈마 에너지로 변환이 이루어진다. 이 플라즈마 에너지 중에서 일부만이 진공 자외선을 만드는 에너지로 사용되고, 형광체에 입사된 진공 자외선 에너지 중 일부의 에너지만이 가시광선을 발생시키는데 사용되는 것이다. 이러한 각 에너지 변환 단계에서 개략적인 효율을 그림 7에 나타내었다. 그림에서 보면, PDP의 최종 에너지 효율은 약 0.56%에 불과한 것을 알 수 있다. PDP의 발광 효율은 현재 1.2~1.6 lm/watt 정도 인데, CRT는 ~5 lm/watt, LCD는 2~3.5 lm/watt 정도이다. 따라서 PDP가 대면적 정보 표시 장치로서 사용되기 위해서는 발광 효율을 향상시켜야 하는 것이 가장 중요한 당면 과제이다.

PDP의 발광 효율에 영향을 미치는 인자는 크게 방전 개스 조성 및 압력, 방전 셀의 형상, 형광체 및 보호막의 종류, 에너지 회수 회로 등이 있다. 먼저 방전 개스에 Xe의 함량을 증가시키는 것이 방전 효율 및 휘도를 향상시키는 데 탁월한 효과가 있는 것으로 보고되고 있다(그림 8). 그림 8에서 보면, Xe 함량을 증가시키면, 방전 효율이 기존의 방전 개스에 비하여 3배 가량 향상되는 것을 알 수 있다. 최근에는 실험실적으로 방전 효율이 5 lm/watt에 도달한 결과도 보고되고 있고<sup>65)</sup>, 일부 연구자들은 8 lm/watt의 방전 효율을 목표로 설정하여 연구를 진행하고 있다. 그러나 Xe 함량을 증가시키면, 그림 8에서도 볼 수 있듯이 방전 전압이 따라서 상승하는 문제

점이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 유전체에 groove를 형성하는 등 많은 연구가 진행중이다<sup>66)</sup>.

전통적으로 PDP 방전 셀의 형상은 스트라이프(stripe) 형상이 주로 사용되었으나, 이 형상은 형광체의 도포 면적이 작고, 콘트라스트 비(contrast ratio)가 작은 단점이 있다. 따라서 최근에는 방전셀의 형상에 형광체의 도포 면적을 최대화 할 수 있는 벌집(honeycomb type) 또는 와플 형상(waffle type)의 닫힌 셀(closed cell)이 채용되고 있다. 그림 9에 나타낸 바와 같이 이와 같은 닫힌 셀을 채용에 의한 형광체 도포 면적의 증가, 유지 전극의 형상

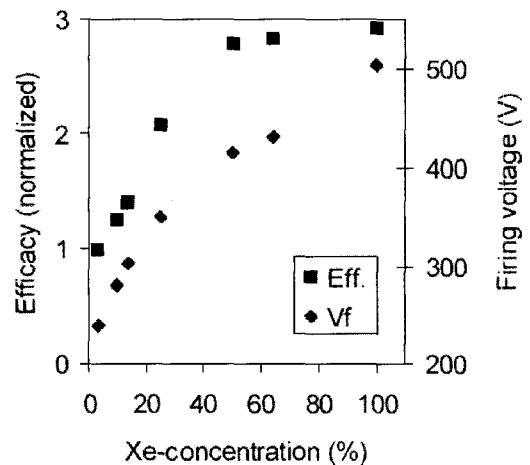


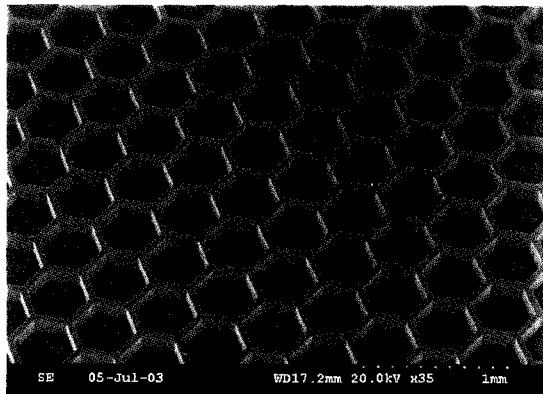
그림 9. Xe 함량이 방전 효율 및 방전 전압에 미치는 영향<sup>4)</sup>

변화 및 방전 공간의 증가 효과에 의하여 PDP 모듈의 방전 효율이 Ne-4%Xe 방전 개스를 채용한 상태에서 2.13 lm/watt에 도달한 것으로 보고되고 있다<sup>7-9)</sup>.

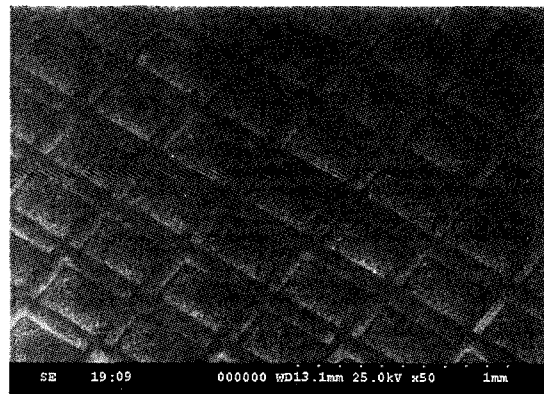
형광체의 경우, 광변환 효율이 우수한 재료를 개발하기 위한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 활성제 원소의 종류, 함량, 모재의 종류 등을 변화시켜 에너지 변환 효율을 향상시키기 위한 많은 연구가 진행되고 있다<sup>10)</sup>. 보호막은 이차 전자 방출 계수 및 플라즈마에 대한 내 스퍼터링 특성이 동시에 우수한 재료가 필요하다. 그러나 현재까지는 MgO를 대체할 만한 새로운 재료가 발견되지 않고 있다. 그러나 보호막에 전계를 증폭하기 위한 나노 팁 재료를 적용하는 것이 방전 효율 및 발광 휘도를 향상시킬 수 있는 가능성을 보여주고 있다<sup>11)</sup>. 방전셀 내에서 발생하는 가시 광선 및 진공 자외선은 일부분만이 이미지를 구현하는데 사용하고 있다. 따라서 이들을 격벽 및 배

면 유전체로부터 반사시키기 위한 반사막을 채용한 결과가 최근 보고되고 있다. 그림 10에 나타난 바와 같이 TiO<sub>2</sub> 반사막을 격벽 및 배면 유전체층에 코팅하게 되면, PDP의 발광 휘도가 약 50%가량 향상되는 것이 확인되었다<sup>12)</sup>.

이와 같이 PDP의 효율을 향상시키기 위한 다방면의 연구가 진행됨에 따라, PDP 효율은 머지 않아 CRT에 근접하는 5 lm/watt 수준까지 도달할 것으로 예상된다. PDP 당면하고 있는 또 하나의 큰 과제는 제조 공정의 원가이다. PDP의 가격은 대량 생산 체제가 본격 가동함에 따라서 지속적으로 저하되고 있는데(그림 11), 최근 LCD가 대형 평판 TV 시장에 진출함에 따라, 가격을 저하시켜야 하는 압력이 더욱 거세게 작용하고 있다. PDP에서 가격의 많은 부분을 차지하고 있는 것은 구동 회로 및 부품이기 때문에 구동 부품의 개수를 줄이고, 저가격

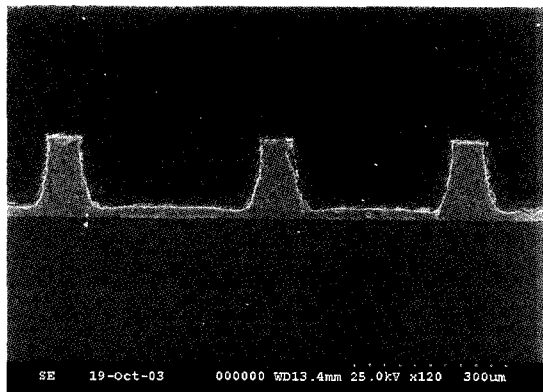


(a) 벌집 형상

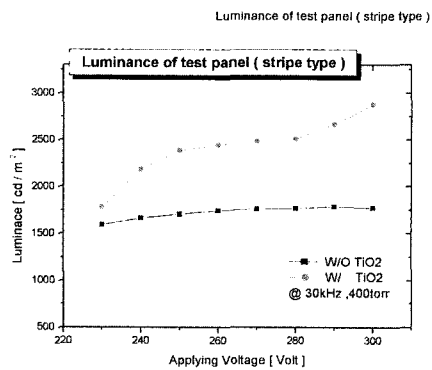


(b) 외층 형상

그림 10. 달린 방전셀의 형상



(a) 미세 조직



(b) 휘도 측정 결과

그림 11. TiO<sub>2</sub> 반사막이 발광 휘도에 미치는 영향

# Plasma Display Panel의 원리와 발전 전망

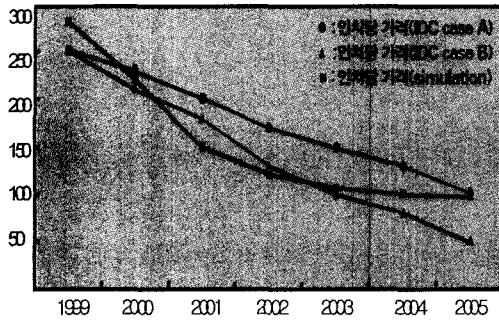


그림 12. PDP의 인치당 가격 변화 추이(예상치)

부품을 채용하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다<sup>[13]</sup>. 또한 저가격 재료 및 저 가격 제조 공정의 개발에 대한 연구도 요구되고 있다. 예를 들면 한장의 유리 원판에서 여러 장의 기판을 제조하는 다면취 기술, 저가격 격벽 형성 공정<sup>[14]</sup> 등이다.

PDP가 대형 디스플레이 표시 소자로서 확고히 자리를 차지 하기 위해서는 위에서 언급한 고효율화 및 저가격화의 과제를 이루어야 한다. 또한 화질의 향상 및 고정세화도 빠질 수 없는 연구 과제이다.

## 참고 문헌

- (1) F. Gray, et al., Bell Sys. Tech., 6(10), pp.560-603(1927).
- (2) D. L. Bitzer and H. G. Slottow, AFIPS Conf. Proc., Vol. 29, p541(1976).
- (3) S. K. Lee, J. H. Kim and K.-W. Whang, Thin solid films, 435, pp.69-71(2003).
- (4) M. F. Gillies and G. Oversluizen, J. of Appl. Physics, 91(10), pp.6315-6320 (2002).
- (5) G. Oversluizen, S. de Zwart, T. Dekker, and M. F. Gillies, SID' 02, pp.848-851(2002).
- (6) T. J. Kim, H. S. Bae, D.C. Jeong, and K. W. Whang, IDW 03, pp.1017-1020(2003).
- (7) O. Toyoda, et al, IDW 99, pp.599-602(1999).
- (8) T. Komaki, et al, IDW 99, pp.587-590(1999).
- (9) K. Amemiya, et al, IDW 98, pp.531-534(1998).
- (10) 박희동, 김윤찬, 정보디스플레이 학회지, 2(6), pp.63-72(2001).
- (11) Y.-S. Kim, K.-S. Yoo, S.-H. Yoon, and H.-J. Jeon, IDW03, pp.877-880 (2003).
- (12) T.-J. Chang, Y.J. Cho, S.-H. Yoon and Y.-S. Kim, IDW 03, pp.889-892 (2003).
- (13) 유세준, 조삼제, 류병길, 장우성, 유은호, 정보디스플레이 학회지, 4(5), pp.16-19(2003).
- (14) 김용석, 정보디스플레이 학회지, 2(6), pp.43-52(2001).

## 약 력



### 김용석

1980. 2 : 서울 대학교 금속 공학과 졸업(학사)  
 1982. 2 : KAIST 재료 공학과 졸업(석사)  
 1989. 2. : MIT 재료 공학과 졸업(박사)  
 1989. 2 - 1991. 2 : University of Florida Post-Doc  
 1991. 3. - 현재 : 홍익대학교 교수  
 2002. 국가 지정 연구실 지정(마이크로 리플리케이션 실험실)  
 e-mail: yskim@wow.hongik.ac.kr