



## 1 서론

본격적인 디지털 방송 시대를 앞두고 대형 TV 스크린에 대한 기술 개발 경쟁이 치열하게 전개되고 있다. 대형 디스플레이 소자로서 대표 주자인 Plasma Display Panel(PDP)의 양산에 한국, 일본 및 대만의 전자 업체들의 경쟁이 시작되었고, 이제는 30 인치 이상 대형 디스플레이로 상업화 가능성이 없었던 TFT(Thin Film Transistor) LCD(Liquid Crystal Display)가 40인치 이상의 TV 시장을 공략하기 위해서 대규모의 투자를 진행하고 있어서 PDP의 아성을 위협하기 시작했다(1)~(3). 그러나 TFT-LCD가 대형화 선언을 하였지만 아직 개발 수준과 가격 경쟁력을 비교하면 PDP가 대형 디스플레이 부분에서 선두 주자라고 할 수 있으며, 40~80인치 대형 디스플레이 소자 기술에 있어서 여전히 PDP가 기술적 우위를 점하고 있다고 할 수 있다. 그렇다고 PDP가 지금의 기술 수준을 담보 한다면 언제 가는 기술 개발을 통해 가격 경쟁력을 갖는 TFT-LCD, FED(Field Emission Display), OLED(Organic Light Emitting Diode) 등이 PDP 영역을 위협할 것이다.

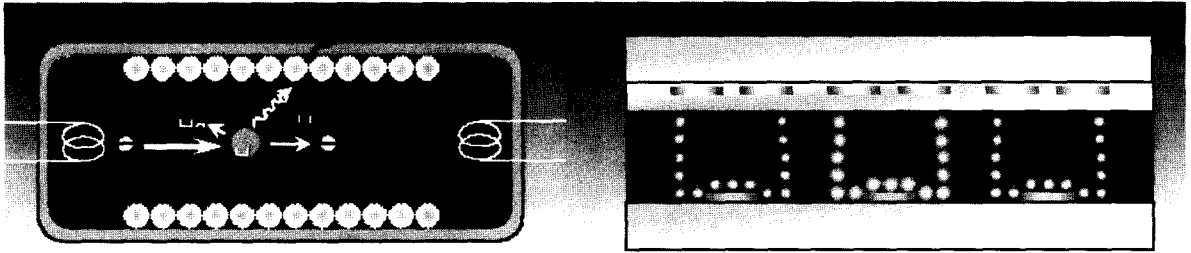
현재 PDP 기술의 문제점은 양산 수출, 재료, 구동 IC 등을 포함하는 가격(Cost) 문제와 패널 및 구동 회로 등을 포함하는 효율(Efficiency) 문제 그리고

수명 등을 포함하는 신뢰성 문제라고 할 수 있다. 그 외에도 PDP가 CRT(Cathode Ray Tube) 등과 경쟁하기 위해서는 화질 향상이 필수적이라 하겠다(4), (5). 이러한 기술 개발의 분야에 있어서 PDP의 생존의 열쇠는 효율의 개선이라고 할 수 있다. 현재 널리 사용되고 있는 CRT의 경우 효율이 3 ~ 5 (lm/W) 정도의 수준이며 향후 PDP의 효율 역시 5 (lm/W) 수준을 달성해야 한다. 따라서 효율 문제에 대해서는 PDP 관련 업계 및 학계에서 많은 투자와 관심을 갖고 해결하려고 노력하고 있으며, 상품화된 제품의 경우 일본의 Pioneer사가 1.8 (lm/W)의 수준을 달성하였으며(6), 최근 Philips사에서 High Xe의 방전 기체를 사용하여 5 (lm/W)를 달성하였음을 보고하였다(7). 본 고에서는 PDP의 방전 원리를 바탕으로 현재 진행되고 있는 고효율 기술의 동향을 간략히 살펴보고자 한다.

## 2. PDP의 정의 및 방전 원리

### 2.1 PDP의 정의

PDP는 Plasma Display Panel의 약자로서, 글로우 방전(Glow Discharge)을 이용한 영상 표시 소자이다. 즉, 방전에 의해 발생된 여기 입자가 기저 상태로 떨어지면서 방출된 광자 중에서 자외선 영역의 광자가 형광체를 자극하여 가시광을 방출하는 현상을



(a) 형광등의 단면도

(b) PDP의 단면도

그림 1

이용하는 것이 현재 color PDP의 기본 원리이다. Plasma Display Panel 이라는 세 단어의 의미를 살펴보면 다음과 같다. 먼저, 플라즈마(Plasma)란 제4의 물질의 상태(The fourth state of matter)인 전리된 기체를 의미한다. 플라즈마(Plasma)라는 명칭은 Nobel 물리학상을 수상한 영국의 Langmuir 에 의해서 붙여졌으며, 희랍어로 “mould(모양을 만든다)”라는 의미로서 방전관내에서 만들어진 방전 공간 전체를 가득 채우는 성질을 가지는 것이 유래이다. 어떠한 물질의 상태가 플라즈마가 되기 위해서는 단순히 전자와 이온으로 분리되는 것 이외에, 전자의 밀도(ne)와 이온의 밀도(ni)가 같아서 준 중성의 성질(Quasi-Neutrality)을 가지며, 집합적 행동(Collective Behaviors)을 보여야 한다[8],[9]. Display 란 용어는 다른 표시 소자에서의 의미와 같이 영상처리 및 전자 회로를 통해 문자 및 그림을 표시 한다는 의미이다. Panel 이라는 용어는, 문자 또는 그림을 표시하기 위한 최소의 단위인 pixel 을 포함한 표시소자의 물리적 실체를 의미하고, 이에 대한 제조 및 재료 기술을 포함하는 의미이다.

## 2.2 PDP의 방전 원리

PDP를 형광등과 비교하면 PDP가 다소 억울해 할 지 모르겠지만, PDP를 가장 쉽게 설명한다면 매우

작게 축소된 형광등 수백만 개를 우리가 흔히 보는 TV화면처럼 배치해서 화면을 구현하는 디스플레이 소자라고 할 수 있다. 그림 1의 (a)에서와 같이 형광등의 내부 표면에는 백색광을 방출하는 형광체가 도포되어 있고, 아르곤(Ar)과 수은(Hg)이 혼합된 기체가 봉입되어 있다. PDP의 경우에도 형광등과 같은 원리에 의해 빛을 방출하게 된다. 그림 1의 (b)는 현재 상용화된 제품에 일반적으로 적용되고 있는 반사형 3전극 면방전형(reflective 3-electrodes surface discharge type) AC PDP의 전극 구조의 단면을 보여 주고 있다[10]. 그림 1의 (b)에서 보는 것처럼 기본적으로는 형광등을 매우 작게 축소해서, 칼라를 구현하기 위해서 적색(Red), 녹색(Green) 및 청색(Blue) 형광체가 도포된 3개의 부화소(Sub-pixel)가 하나의 화소 단위를 형성하게 된다. 물론 전극 구조나 재료 및 기체의 종류는 다르지만 기본적인 동작 원리는 같다. PDP에서 사용되는 기체의 조성은 보통 Ne 기체(95[%])에 소량의 Xe 기체(5[%])를 혼합하여 사용하며, 방전을 형성하는 전극간의 거리가(보통 100[um] 이하) 매우 짧기 때문에 기체의 압력은 보통 400 ~ 600[torr] 정도에서 동작된다. 또한, 형광등의 경우에는 단순히 빛을 항상 켜주면 되기 때문에 2개의 전극만으로도 동작이 충분하지만 PDP에서와 같이 복잡한 동영상을 표현하기

위해서는 화소가 켜질 것(선택 : On)인지 꺼질 것(비 선택 : Off)인지를 결정하는 어드레스(Address) 동작과 화면의 밝기를 결정하는 유지(Sustain) 동작을 분리하는 것이 효과적이다. 따라서 그림 1. (b)에서 전면 기판상에 배치된 2개의 유지 전극은 형광등에서와 같이 밝은 빛을 방출하는 역할을 하고, 배면 기판상에 배치된 1개의 어드레스 전극은 화소의 선택/ 비 선택을 결정하는 역할을 하게 된다.

PDP에서 빛이 방출되는 원리를 간략히 살펴보면, 외부에서 양쪽 전극에 전압을 인가하면 전자는 양극(Anode)으로 이온은 음극(Cathode)으로 전기장에 의해 가속되면서 에너지를 얻게 된다. 이때 전자가 이온에 비해서 질량이 무척 작기 때문에 기체 방전에서 외부의 전기 에너지를 얻어서 기체에 전달하는 중요한 역할을 하는 것은 주로 전자에 의해서 이루어지게 된다. 이렇게 전기장에 의해 가속된(에너지를 얻게 된) 전자나 이온이 중성의 기체와 충돌(Collision)을 통해 에너지를 전달해서 새로운 전자와 이온을 형성 시키면서 방전이 형성되게 된다. 그림 2에 PDP의 기

체 방전에서 일어나는 중요한 반응을 나타내었다. 그림 2에서와 같이 전자가 중성 기체와 충돌을 통해 전자와 이온으로 분리되거나(이온화 반응 : Ionization), 광학적으로 들뜬 상태(Excited state)인 여기종(Excited species)이 되기도 하고(여기 반응 : Excitation), 전자와 이온이 다시 만나서 재결합을 하기도 하고(재결합 반응 : Recombination), 여기종이 다시 기저 상태(Ground state)로 천이하면서 빛을 방출하기도 한다(천이 반응 : Relaxation) [11,12,13].

물론 전자와 이온은 방전을 형성하고 유지하는 데 있어서 필수적인 역할을 하지만, PDP에서 화면을 구성하는 빛을 발생하는데 중요한 역할을 하는 것은 여기종들이다. 여기종들은 기체 입자가 전자와 충돌을 할 때 에너지가 부족해서 전자와 이온으로 분리되지 못하고 기체 내부에 에너지를 축적한 상태를 말하며, 충돌에 의해서 수많은 종류의 여기종들이 발생하게 된다. 기본적으로 여기종들은 매우 짧은 시간(보통 수 nsec)에 다시 광학적으로 안정한 기저 상태로 천

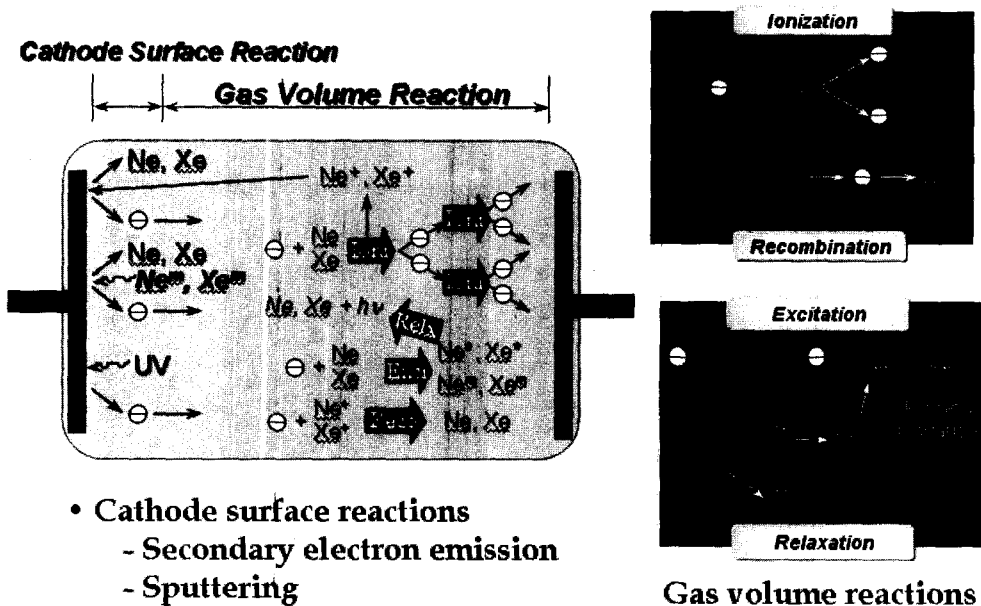


그림 2. 기체 방전의 주요 반응들

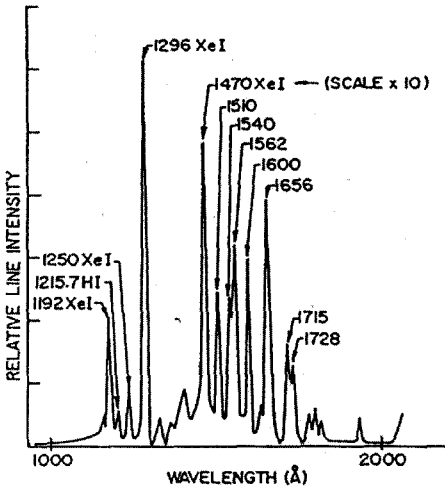


그림 3. Xe 방전의 스펙트럼(UV 영역)

발광색	형광체	CIE색표표		상대 방사 효율	관광 시간	기호
		X	Y			
Red	(Y, Gd)BO <sub>3</sub> :Eu	0.64	0.35	1.8	9 ms	D
	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :Eu	0.65	0.35	1.0	3 ms	E
Green	Zn <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> :Mn	0.24	0.71	1.0	14 ms	B
	BaAl <sub>12</sub> O <sub>19</sub> :Mn	0.18	0.73	1.1	17 ms	C
Blue	BaMgAl <sub>14</sub> O <sub>23</sub> :Eu	0.15	0.07	1.5	<1 ms	A

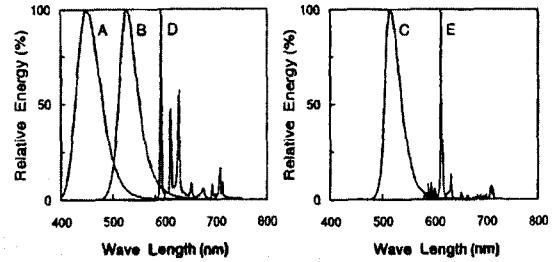


그림 4. PDP에 사용되는 형광체의 특성과 종류

이하게 되는데, 이때 여분의 에너지를 광자의 형태로 방출하게 된다. 따라서 방전이 일어나면 자외선에서부터 적외선에 이르기까지 무수히 많은 파장의 빛이 방출되게 된다. 물론 기체의 특성에 따라 특정한 파장을 많이 방출하게 되는 경향이 있다. 만약 단색의 디스플레이라면 적색광이나 청색광의 빛을 많이 방출하는 기체를 이용해서 화면을 표시하면 될 것이다. 따라서 PDP가 단색 디스플레이로 연구되었던 초기에는 Ne에 소량의 Ar 기체를 혼합해서 사용하였으며 방전에 의해서 발생하는 빛의 파장은 적색 계열이었다. 그러나 Color 디스플레이의 경우에는 브라운관(CRT)에서와 같이 R, G, B 삼원 형광체를 이용한다. 브라운관에서는 전자총에서 방출된 열전자가 형광체를 여기시켜 가시광을 방출하는 Cathodoluminescence의 메커니즘을 이용하지만, PDP에서는 방전에서 발생된 광자(Photon)중 파장이 짧은(에너지가 높은) 진공자외선(Vacuum Ultra Violet)을 이용하는 Photoluminescence의 메커니즘을 이용한다. 따라서 PDP는 진공 자외선을 많이 방출하는 Xe을 UV의 생성 기체(Source gas)로서 사용하고 방전의 전압을 낮추기 위해서 Ne을 버퍼 기체

(Buffer gas)로서 혼합해서 사용한다. Ne을 사용하는 가장 큰 이유는 Ne의 이온 에너지가 Xe의 이온의 에너지보다 매우 크기 때문에 음극 표면에서의 2차 전자를 효과적으로 발생시켜서 방전 전압을 크게 낮출 수 있으며, 혼합된 기체에서의 방출되는 가시광 영역의 빛도 매우 작기 때문이다. 그림 3에 Xe 기체 방전에 의해서 방출되는 진공 자외선의 스펙트럼을 나타내었다. 그림에서와 같이 Xe 기체에서 방출되는 스펙트럼은 공명상태(Resonance state)의 여기종에서 방출되는 147(nm)의 파장(Scale X10에 주의)이 주로 방출되며, 기체의 압력이 높아지면 170(nm) 부근의 dimmer에 의한 파장이 커지는 특성을 갖고 있다. 따라서 PDP에서 사용되는 형광체는 이러한 파장에 광 변환 효율이 높은 형광체를 이용하게 된다. 현재 널리 사용되는 형광체의 종류와 특성을 그림 4에 나타내었다.

### 2.3. PDP의 속성 및 방전 특징

PDP는 기본적으로 얇고 가볍게 만들 수 있는 평판형 디스플레이이며, 현재 최고 수준의 고화질을 자랑하는 CRT와 같은 자발광형(Emissive) 디스플레이

## 기술해설

이다. 자발광형 디스플레이의 특징은 색상을 구현할 수 있는 범위가 넓고 생생한 화질을 구현할 수 있는 장점을 가지므로 TV와 같은 고화질의 영상을 제공하는 디스플레이로서 우수한 장점을 갖고 있다고 할 수 있다. 또한, 시야각(160도 이상)이나 수명(30,000 시간 이상)과 같은 기본적인 디스플레이의 요구조건을 충족하고 있다. 그러나 무엇보다도 2004년 1월초에 삼성 SDI에서 발표한 80인치 PDP에서 입증되듯이 현재 연구되고 있는 여러 종류의 평판형 디스플레이 중에서 대형화에 가장 적합한 디스플레이이다. 물론, 현재 상대적으로 짧은 개발의 역사를 통해서 많은 기술적 진전이 이루어졌지만 휘도 효율(Luminous efficiency), 화질 개선 및 가격 저감과 같은 개선해야 할 숙제들이 남아 있다. 이 절에서는 PDP의 중요한 속성에 대해서 간략히 소개하고자 한다[11].

### 1) 매우 강한 비선형성(Very strong non-linearity)

그림 5와 같이 기체 방전은 방전 개시 전압(보통 수백 Volt 이상) 이하의 인가전압에 대해서는 방전이 일어나지 않는 강한 비선형성을 갖는다. 이러한 비선형성의 특징은 대부분의 평판형 디스플레이에서 사용하고 있는 행렬(Matrix) 구동 방식을 적용할 때 아주 강력한 장점이 된다. Matrix 구동 방식이란 그림 6에서 보듯이 행과 열에 선택 펄스가 동시에 인가되면 화소가 선택되는 개념의 구동법이다. 따라서 열의 라인에는 선택 펄스를 동시에 인가할 수 있지만 행의 라인에는 한번에 한 라인씩 밖에 선택 펄스를 인가할 수 없다. 이러한 특징 때문에 matrix 구동 방식을 line-at-a-time 방식으로 부르기도 한다. 물론 전체 화면을 표시하기 위해서는 행의 라인을 순차적으로 선택해서 전체의 행의 라인 중의 모든 화소에 대해서 선택 동작을 수행해야 한다. 그런데 Matrix 구동의 원리상 선택 되지 않는 화소에 대해서도 행의 라인이나 열의 라인에 인가되는 전압이 인가되게 된다. 따라

서 화소에 강한 비선형성의 특성이 없다면 선택되지 않은 화소가 오동작을 하거나 옆의 화소와의 coupling 효과에 의해서 원하는 결과를 얻을 수 없게 된다. PDP의 가장 큰 장점인 대형화는 PDP가 갖고 있는 수백 volt에 해당하는 강한 비선형성의 특징에서 오는 것이며 개념적으로 대형화에 가장 적합한 표시소자가 될 수 있는 배경이기도 하다. 반면 LCD의 경우에는 액정에 인가되는 전압에 따른 back-light의 투과도가 강한 비선형성의 특성을 갖지 못하므로, LCD가 초기에 대형화에 어려움을 겪은 이유도 실상은 이러한 문제에 기인한 것이다. 물론 현재는 전극의 저항을 낮추고 이를 보상하는 기술이 개발되어 40인치 이상의 디스플레이 쪽으로 응용이 가능하게 되었지만 PDP처럼 대형화가 용이하지 못하다.

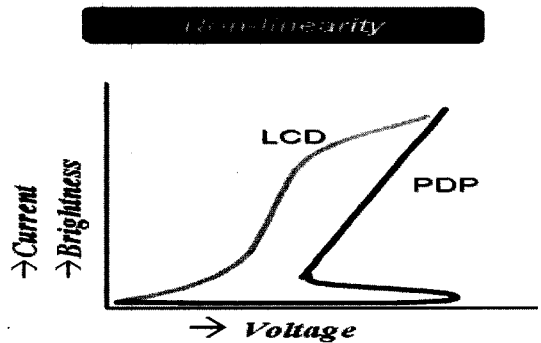


그림 5. 비선형성 특징

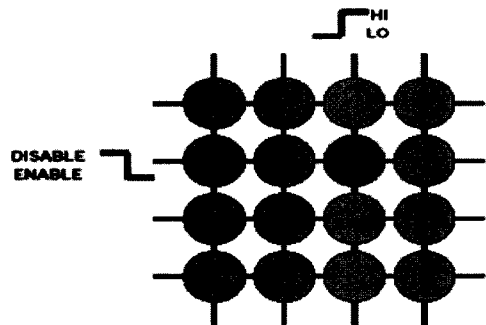


그림 6. Matrix 구동 방식의 개념도

2) 기억 기능(Memory function)

기억 기능이란 이전 상태의 조건에 의해 다음 상태가 결정되는 작용을 말한다. 현재 주로 이용되는 AC형의 기억 기능의 메커니즘을 간단히 설명하면, 방전이 일어나지 않은 화소 내에는 아무것도 없는 무(無)의 상태이지만 방전이 이전에 형성되었던 화소 내에는 방전에 의해 형성되었던 전자와 이온이 각각 자신이 좋아하는 양극(Anode)과 음극(cathode)으로 이동하여 각 전극의 표면을 덮고 있는 유전체에 축적되어 벽전압(Wall voltage)을 형성하게 된다. 따라서 벽전압이 존재하지 않는(이전에 방전이 일어나지 않은) 화소에 비해서 벽전압이 존재하는(이전에 방전이 일어났던) 화소의 경우에는 벽전압의 도움으로 더 낮은 전압으로 방전을 형성할 수 있다. 따라서 방전의 인가전압을 적절하게 설정해 주고 선택 동작(Address operation)을 수행해서 화소 내에 벽전압을 형성해 주면 이 후의 상태는 이전의 상태에 의해 결정되게 된다. 이러한 기억 기능의 특성은 빛의 밝기(휘도 : Luminance)의 저하 없이 초대형의 고해상도의 디스플레이를 구동하는 것에 있어서 필수적인 요소라고 할 수 있다. 따라서 LCD의 경우에는 액정에 자체적인 기억 기능이 없기 때문에 기억 기능을 부여하기 위해서 TFT(Thin Film Transistor)라는

소자를 삽입하게 되고, TFT는 반도체 공정을 통해서 제작되므로 가격 경쟁력에서 PDP에 비해 크게 불리하다고 할 수 있다.

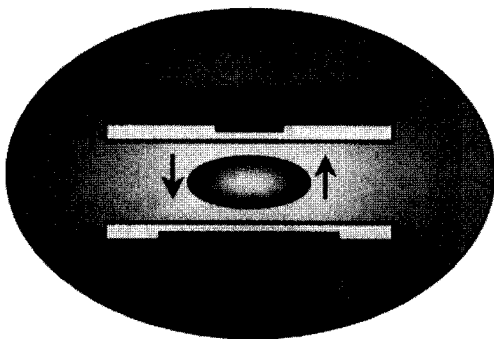
3) 빠른 응답 특성

기체 방전의 현상은 기본적으로 전기 에너지를 전자가 흡수해서 형성되는 것이므로 전자의 이동 속도에 의해 결정된다고 할 수 있으며, 보통 수 usec의 짧은 시간에 방전을 형성 시킬 수 있다. 이러한 수준의 응답 특성은 초대형의 고해상도의 디스플레이를 구현하는 전혀 문제가 없는 수준이지만 PDP의 경우 계조 표현을 위해서 사용되는 Sub-field라는 독특한 구동 방식을 적용하게 되므로, 하나의 영상을 구현하기 위해서 화소당 최소 8번 이상의 선택 동작이 필요하기 때문에 향후 개선이 필요하며, 현재 고속 구동 방식과 같은 여러 분야의 연구가 활발히 진행되고 있다.

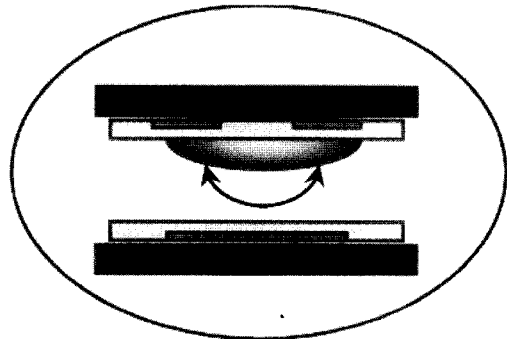
3. PDP의 전극 구조

3.1 PDP의 분류

PDP는 전극의 구성에 따라 크게 직류형(DC)과 교류형(AC) PDP로 나눌 수 있다. 직류형은 전극이 직접 플라즈마에 노출되어 있고 전류 제한을 위해 저



(a) 대향형 방전 AC PDP



(b) 면방전형 AC PDP

그림 7. AC PDP의 두 가지 종류

항을 부착한다. 교류형은 플라즈마와 저항 사이에 유전층이 존재하여 교번되는 펄스에 의해 방전을 형성하고, 전류도 이 유전체의 용량성 부하에 의해 제한된다. 현재는 DC PDP는 효율 및 수명 문제 때문에 AC PDP가 주류를 이루고 있다. AC PDP는 다시 유지 방전 전극의 위치에 따라 대향형(Vertical Discharge)과 면방전형(Surface Discharge)으로 분류된다. 대향형은 전극이 위 아래로 있어 수직형태의 방전을 형성하지만, 면방전형은 두 개의 유지전극이 동일 평면상에 있어 수평 형태의 방전을 형성한다. 그림 7은 두 방전 형태를 비교한 그림이다. 역시 수명 및 효율 문제 때문에 면방전형 구조가 AC PDP의 주류를 이루고 있다.

### 3.2 반사형 3전극 면방전형 AC PDP의 전극 구조

현재 대부분의 회사의 주류를 이루고 있는 PDP 구조는 반사형 3전극 면방전형(Reflective 3-electrode surface discharge type) AC PDP 구조로 Fujitsu사에서 최초로 상업화에 성공하였다. 그림 8에 그 구조를 나타내었다. 이 구조는 두 개의 기판, 전면기판과 배면기판으로 구성되어 있고, 전면기판에 두 개의 유지 전극(Sustain Electrode)과 배면기판에 한 개의 Address 전극 등 3개의 전극이 배치되어 있다. 그리고 Color를 구현하기 위해서 R, G, B 세

개의 부화소(Sub-pixel)가 결합하여 하나의 화소(Pixel)가 된다.

그림 8에서와 같이 배면기판에 coating된 형광체에서 방출된 가시광이 전면기판을 통과하게 되는 반사형의 구조이며, 가시광을 효과적으로 이용하기 위해서는 전면기판상에 배치된 각 층(Layer)은 빛을 투과할 수 있는 투명한 물질로 이루어져야 한다. 먼저 전면기판에는 화면의 밝기를 결정하는 유지 방전(Sustain discharge)을 형성하기 위해서 두 개의 유지전극(Sustain electrode)이 약 100(um)의 전극 거리를 유지하며 평행하게 배치되어 있으며, 디스플레이 소자에서 일반적으로 사용하는 투명도전체인 ITO를 사용한다. 그러나 ITO는 비저항이 크기 때문에 도전성을 보상하기 위해서 투명 전극 위에 불투명한 금속의 버스전극(Bus electrode)을 형성한다. 보통 도전성이 좋은 Ag나 Cu를 많이 사용하며 버스 전극에 의해 가시광이 차단되는 것을 최소화하기 위해서 선(line) 폭을 얇게 (보통 50 ~ 100(um)) 형성하며 방전의 강도가 가장 약한 주변부에 배치한다. 유지 전극의 위에는 전류의 용량을 제한하기 위한 투명 유전층이 도포되며 보통 30~50(um)의 두께를 갖게 된다. 투명 유전체의 경우에는 방전에 의해 형성된 이온의 충격(Sputtering)에 내성이 약하기 때문에 유전층을 보호하기 위해서 Sputtering에 강하고 방전 전압 특성이 우수한 MgO를 보호막으로 사용하게

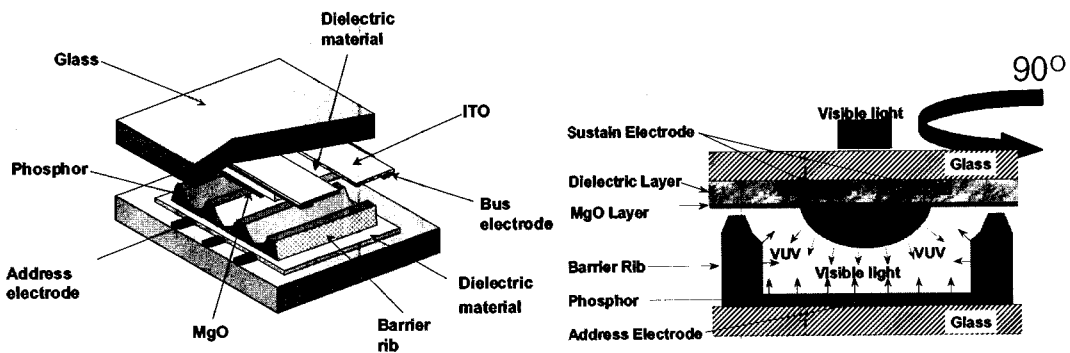


그림 8. 3전극 AC Plasma Display Panel의 전극 구조의 개략도 및 픽셀 단면

된다, 배면기판에는 화소의 선택 동작(Address)을 할 수 있는 어드레스 전극이 유지 전극과 직교하는 방향으로 배치되고 직류 방전에 의한 전극 손상을 방지하고 배면 기판으로 방출되어 손실되는 가시광을 전면 기판으로 반사시키기 위해서 백색의 보호 유전층을 도포한다. 그리고 각 부화소 별로 경계를 설정하고 기체를 봉입할 수 있는 공간을 확보하기 위해서 격벽을 형성한다. 보통 격벽은 100~150[um] 높이로 형성되고 격벽의 측면과 배면기판의 백색 유전층 위에 각 화소 별로 Red, Green, Blue 형광체를 줄 형태로 도포한다. 이렇게 이루어진 두 기판을 sealing과 배기 및 방전가스(Neon + Xenon, 또는 Helium + Neon) 주입 공정을 거쳐 패널이 완성된다.

#### 4. 효율 향상을 위한 방전 기술의 개발 Trend

현재 PDP의 기술 개발의 핵심 과제는 크게 휘도 효율의 향상, 화질의 개선 및 저가격화로 요약할 수 있다. 그중 PDP가 향후 디스플레이 시장에서 생존하기 위해서 가장 중요한 개발 과제는 휘도 효율의 향상이라고 할 수 있다. 휘도 효율이란 입력 전력에 대한 휘도의 비율로 정의되며, 현재 상품화된 PDP의 수준은 CRT의 절반 수준 정도이다. 따라서 PDP의 휘도 효율을 향상시키기 위한 많은 연구들이 진행되고 있다. 그림 9에 PDP와 형광 램프에서의 휘도 효율 변환에 대한 분석 결과를 나타내었다[14]~[16]. 그림 9에서 보듯이 휘도 효율은 입력 전력에 대해 불과 4[%] 정도만이 PDP의 형광체에서 이용되는 유효 UV를 생성하게 되며, 생성된 UV의 경우에 있어서도 약 60[%] 정도만이 형광체에 도달하여 가시광으로 변환되게 된다. 또한 현재 PDP에서 사용되는 형광체의 가시광 변환 효율도 약 20[%] 수준이며, 형광체에서 변환된 가시광도 약 60[%] 정도만이 전면 기판을 투과하게 된다. 따라서 PDP의 전체적인 휘도 변환 효율은 0.4[%]에 불과하며 이것은 형광 램프에

비해 수십 배나 작은 값이다.

PDP의 휘도 효율을 저하시키는 가장 큰 요인인 방전 효율은 회로에서 소비되는 전력과 방전에 이용되는 전력의 경우에 있어서도 약 60[%] 정도의 에너지가 ion heating에 의해 사용되며 UV를 생성하는 반응에 기여하는 electron heating에는 40[%] 정도만이 사용된다. 또한 전자의 에너지 중에서도 UV를 생성하는 Xe의 여기 반응에는 약 50[%] 정도만이 기여하게 되며 이중 약 20[%] 정도만이 PDP의 형광체에 유효한 UV를 생성하게 된다. 따라서 많은 연구들이 PDP의 방전에서 생성되는 UV의 생성 효율을 향상할 수 있는 방전 기체의 최적화나 새로운 방전 모드의 개발 및 생성된 UV와 가시광의 손실을 최소화 할 수 있는 전극 구조 등의 개선을 통하여 많은 향상이 이루어져 왔다[17]~[26]. 본고에서는 이러한 연구 결과 중에서 주요한 연구 결과에 대해서 간략하게 논하고자 한다.

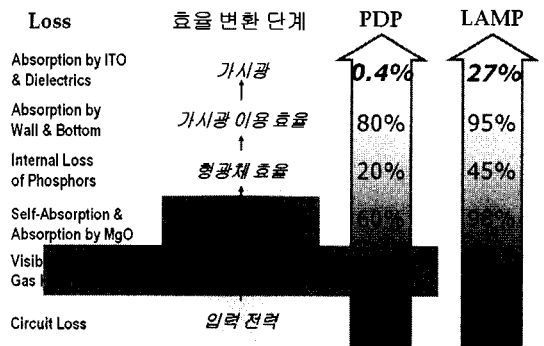


그림 9. PDP와 형광등의 효율 분석

##### 1) 전극 구조의 최적화

앞에서 설명한 것처럼 현재 주류를 이루고 있는 전극 구조는 반사형 3전극 면방전형의 구조이다. 90년대 중반까지만 하더라도 제조 공정의 기술 수준 때문에 복잡한 형태의 전극 구조가 제한을 받았었다. 그러나 90년대 중반부터 제조 기술의 비약적 발전을 통하여 새로운 형태의 전극 구조가 많이 연구 되었으며 일



본의 Pioneer사는 전극 구조의 개선을 통하여 현재 상품화된 제품 중에 가장 높은 휘도 효율을 보여주고 있다. 그림 10 (a)는 현재 사용되는 기본 구조이고 (b)는 방전에 불필요한 부분을 제거하여 무효 전력에 의한 손실과 격벽에 인접한 방전에 의해 손실되는 부분을 최소화한 구조이다. 또한 (c)는 전극의 형상을 T자형 전극 모양으로 개선한 구조이다. 이구조의 기본 개념은 전극간 거리를 크게 해서 방전 영역중의 양광주 부분을 확대하고 부 글로우 영역을 최소화하기 위해서 버스 전극에 가까운 부분의(음극 영역 쪽의 부분) 전극을 최소화한 구조이다. (d)는 기존의 stripe 형태의 격벽 구조에서 Waffle형의 격벽 구조로 변경한 구조로서 형광체의 도포 면적을 넓게 해서 휘도 효율을 향상시키는 것에 그 목적이 있다. Pioneer사는 이러한 일련의 전극 구조의 개선 과정을 통하여 기존의 전극 구조에 비해 40[%] 이상의 효율이 개선됨을 보고하였다.

2) 방전 기체의 최적화

PDP의 개발 초창기부터 방전 기체의 종류와 2원, 3원 기체에 대한 연구가 많이 진행되었으며 이러한 연구 결과를 토대로 Xe 기체를 UV 생성 source로

사용하고, 방전 전압을 낮추기 위한 buffer 기체로서 Ne 기체를 혼합한 기체가 주류를 이루게 되었다. 그리고 초창기의 두 기체에 대한 혼합비는 Xe 5[%] 에 Ne 95[%] 정도를 혼합하여 사용하였다. 초창기에 Ne 기체의 함량이 높게 설정된 이유는 앞서 설명한 것처럼 Ne 이온의 2차 전자 방출 계수가 Xe 기체에 비해 매우 높기 때문에 Ne 기체의 함량비가 높아져야만 방전 전압을 충분히 낮출 수 있었기 때문이다. 그러나 최근 Philips사에서 발표한 높은 Xe 기체 함량 비를 갖는 방전기체에서는 현재 효율의 2 ~ 3배 정도의 수준인 5(lm/W)까지도 달성할 수 있음을 보고하였다. 이것은 충돌 단면적이 큰 Xe의 함량이 높아질수록 전자의 온도가 낮아져서 UV를 생성하는 Xe의 여기 반응 효율이 향상되기 때문이라고 보고되고 있다. 이렇듯 방전 기체에 대한 연구는 오랜 기간을 통하여 진행되어 왔으나 PDP의 방전 체적이 매우 미소하기 때문에 방전 특성에 대한 진단 기술을 적용하기 어렵기 때문에 상대적으로 방전의 원리나 특성에 대한 이해가 부족한 실정이다. 최근 수치 해석적 기법이나 Laser 등을 이용한 진단 기술이 도입되어 방전 현상에 대한 보다 명확한 이해를 바탕으로 많은 개선이 기대된다.

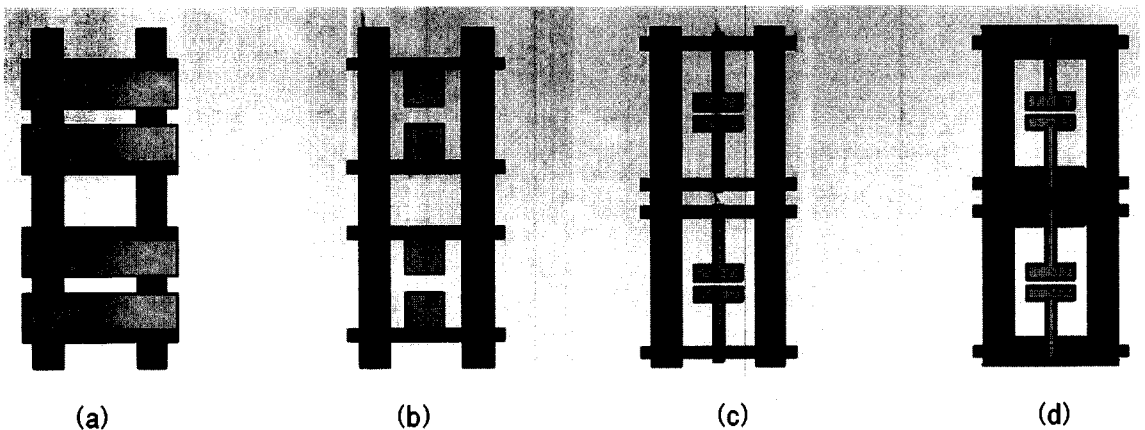


그림 10. 일본 Pioneer사의 전극 구조의 개선 예

### 3) 신 방전 모드의 개발

현재 PDP의 방전 효율이 형광등에 비해 턱 없이 작은 가장 큰 이유는 PDP의 방전 모드가 주로 부 글로우(Negative glow) 영역에 해당하기 때문이다. 즉, 형광 램프의 경우에 있어서는 수십[mTorr]의 낮은 압력 하에서 전극간 거리가 수십[cm] 이상의 조건에서 방전이 형성되기 때문에 방전의 대부분의 영역이 양광주(Positive column) 영역에 해당하게 된다. 기본적으로 양광주 영역은 전자와 이온의 밀도가 같은 진정한 plasma 영역이며 수치 해석의 결과에 의하면 이 영역에서의 Xe의 여기 효율이 2배 이상 높다고 보고 되고 있다. 그러나 PDP의 경우에 있어서는 화소의 크기가 1[mm] 이하의 크기로 제한되기 때문에 전극간 거리가 100[um] 이하로 매우 작으며 방전 체적 역시 매우 미소하기 때문에 방전의 대부분의 영역이 부 글로우 영역에 해당되며, 이 영역에서는 방전을 유지하기 위해 공간 전하가 형성되어 전자의 에너지가 높으며 PDP에 유효한 UV를 형성하는 Xe의 여기 반응이 일어나기 어렵다. 따라서 최근 이러한 문제점을 극복하기 위한 대안으로 전극 구조를 개선한 Long gap 방전에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. Long gap 방전 구조는 전극 간 거리가 현행의 100[um] 보다 수배가 큰 약 500[um] 정도로 이루어지기 때문에 방전 영역 중 양광주가 차지하는 비율이 높아져서 휘도 효율이 향상되게 된다. 그러나 전극간의 거리가 커지게 되면 방전 전압이 높아지게 되어서 특별한 구동 방식이 적용돼야 하며 이러한 문제점에 대한 해결 방안이 활발한 진행되고 있다.

## 5. 결 론

PDP의 인치 당 30달러, 효율 5[lm/W] 달성을 위한 경주는 시작되었다. 이것은 PDP가 대형 표시 시장에서 우위를 점하기 위해서 필요한 절대 명제이며, 또한 디지털 TV 시대에 계속해서 생존하기 위해

달성되어야 할 목표이다. 현재 PDP의 세계 시장은 LG전자와 삼성 SDI가 공격적인 투자를 통하여, 2004년 시장 점유율 1위, 2005년 세계 시장 점유율 50[%] 이상의 목표를 갖고 일본 따라잡기를 시작하였다. 그러나 제조 기술에서 앞서가는 한국은 핵심 원천 기술에서 일본에 뒤쳐져 있고, 특히 특허 문제 등이 불거지면서, 한일 간의 통상 마찰까지 일어나고 있는 실정이다. 이와 같은 한일 간의 PDP 기술 전쟁에 있어서, 우위를 점하기 위해서는 제조 공정의 혁신을 통한 저가격화와 더불어 효율의 향상과 화질의 개선 등을 위한 체계적인 연구가 절실히 필요한 시기이다.

## 참 고 문 헌

- [1] W.Weber, "The Promise of Plasma Displays for HD TV", SID'00, pp402~405, 2000.
- [2] Y.Yamamoto, "Home display technology and trends of market", IDW'03, pp11~14, 2003.
- [3] R.Young, "FPD market and technology overview", Seminar Lecture Notes, SID'03, ppM1/1~63, 2003.
- [4] W.Schindler, "Introduction to plasma displays", Seminar Lecture Notes, SID'03, M8/1-34, 2003.
- [5] H.Tolner, "Color-Plasma-Display manufacturing", Seminar Lecture Notes, SID'03, M9/1-210, 2003.
- [6] T.Komaki, et al, "High Luminance AC PDPs with Waffle structure Barrier Ribs", IDW99, pp587~590, 1999.
- [7] G. Oversluizen, et. al., "High-Xe-content high efficacy PDPs," Journal of the SID, 12/1, pp. 51-55, 2004.
- [8] B.Chapman, Glow discharge process, John Wiley & Sons, 1980.
- [9] F.Chen, Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion, Pleum Press, New York, 1984.

- [10] T. Shinoda, et. al., "Development of Panel Structure for a High-Resolution 21-in-Diagonal Full-Color Surface-Discharge Plasma Display Panel," IEEE Trans. Electron Devices, vol. 47, no. 1, pp. 77-81, 2000.
- [11] L.E.Tannas, Flat Panel Displays and CRTs, Van Nostrand Reinhold Co, New York, 1985.
- [12] Y.P.Raizer, Gas Discharge Physics, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1991.
- [13] M.A.Liberman, Principles of plasma discharges and materials processing, John Wiley & Sons, 1994.
- [14] J. P. Boeuf, et. al., "Physics of a PDP Discharge Cell: Improvement of Luminance and Luminous Efficiency," 38th IAS Annual Meeting, vol. 1, pp. 12-16, 2003.
- [15] G. J. M. Hegelaar, et. al, "Energy loss mechanisms in the microdischarges in plasma display panels," J. Appl. Phys., vol. 89, no. 4, pp. 2033-2039, 2001.
- [16] J. Meunier, et. al., "Numerical model of an ac plasma display panel cell in neon-xenon mixtures," J. Appl. Phys., vol. 78, no. 4, pp. 731-745, 1995.
- [17] H.Doyeux, "Color Plasma Display: Status of cell structure designs", SID'00, pp212~215, 2000.
- [18] K.Amemiya, et al, "High Luminous Efficiency and High Definition Coplanar AC PDP with T- shaped Electrodes", IDW98, pp531~534, 1998.
- [19] J.Kang, et al., "Improvement of Luminance and Luminous Efficiency in PDPs Driven Radio Frequency Pulses", IDW'99, pp691~694, 1999.
- [20] G. Oversluizen, et. al., "High Efficacy PDP," SID'03 DIGEST, pp28~31, 2003.
- [21] K.C.Choi, et al, " Discharge Characteristics of the AC PDP with Coplanar Long-Gap Electrodes", SID'03 Digest, pp426-430, 2003.
- [22] K.C.Choi, et al, "Improvement of the Luminous Efficiency and the Addressabilty by Using the Auxiliary Pulses in AC PDP", International Display Research Conference, pp129-132, 2003.
- [23] Larry F. Weber, "Positive Column AC Plasma Display", IDRC'03, pp119~124, 2003.
- [24] O.Toyoda, et al, "A High Performance Delta Arrangement Cell PDP with Meander Barrier Ribs", IDW'99, pp599~602, 1999.
- [25] K.C.Choi, et al, "Discharge Characteristics of Coplanar Long-Gap Electrodes in AC PDP with High Xe content", International Display Workshop, pp1025-1028, 2003.
- [26] Woo Joon Chung et. al., "Mechanism of High Luminous Efficient Discharges With High Pressure and High Xe-Content in AC PDP," IEEE Trans. Plasma Sci., vol. 31, no. 5, pp. 1038-1043, 2003.

◇ 저 자 소 개 ◇

**신범재(愼范宰)**  
 1990년 서울대학교 공과대학 전기공학과, 공학사. 1993년 서울대학교 대학원 전기공학과, 공학 석사. 1997년 서울대학교 대학원 전기공학과, 공학 박사 (PDP 전공). 1997 ~2000년 삼성 SDI PDP팀,선임 연구원 - PDP 제품 개발. 2000 ~ 2001년 미국 Stevens Institute of Technology(Research scholar) - PDP 기술 개발. 2002 ~ 2003년 서울 대학교 전기공학부 연구원 - PDP 기술 연구개발. 2003년 ~ 현재 세종대학교 전자공학과 연구교수.