

# PDP의 등작가스기술 및 최근 연구동향

이든규(동국대학교 교수) · 박정후(부산대학교 교수)

## 1. PDP 소개

2000년도를 기점으로 디지털 방송이 본격적으로 시작되고, 멀티미디어 시대가 도래함에 따라 전 세계적으로 대형 FPD (Flat Panel Display)의 선호가 급증하고 있다. 따라서 디스플레이 장치의 초박형, 대화면, 고화질의 요구가 증대되면서 이전의 CRT (Cathode Ray Tube)에서 PDP (Plasma Display Panel), LCD(Liquid Crystal Display), Projection TV, OLED(organic light emitting diode), FED(field emission display)) 등의 새로운 디스플레이들이 매우 각광을 받고 있다.

PDP는 가스방전 현상을 이용한 평판 표시 장치로서 네온 또는 헬륨 가스에 Xenon 가스를 혼합한 기체를 좁은 전극 사이에서 방전시켜 이에 따른 발광 현상을 이용한 표시 장치이다(그림 1). 즉, 두 개의 평판유리사이에 적외선을 발광하는 불활성 기체 혼합물을 봉입한 후 한 면에는 투명전극을 설치하고 다른 한 면에는 형광체(phosphor)들을 도포하여 제작한 구조로 되어 있다. 이때 전극에 전압을 인가하면 가스관내의 가스들은 여기하여 자외선을 방출하게 되며 이 자외선이 인접한 면에 설치된 적, 녹, 청색(R, G, B)을 각각 발광하는 형광체들의 조합으로 이루어진 형광체면에 조사되어 원하는 색을 발광하게 된다.

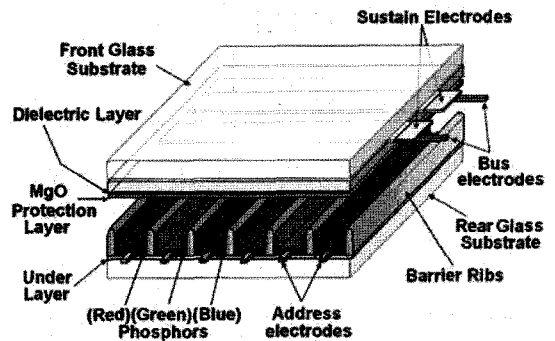


그림 1. PDP 패널의 구조 (출처 : LG전자)

현재 사용되고 있는 ac-PDP는 1964년에 미국 일리노이대학교 Bitzer 교수와 Slotow 교수가 최초로 개발하였고, 1993년에 Fujitsu에서 21인치의 면방전형 칼라 AC PDP가 처음 양산되었다. 1996년 일본의 NHK가 Las Vegas Show에서 개최된 NAB show에서 40인치 PDP TV의 prototype을 전시하면서 대형 평면 TV에 대한 세계적인 관심을 불러일으키게 되었고, 현재 PDP TV는 대형 TV 시장에서 projection TV를 몰아내고 LCD TV는 CRT TV를 몰아내면서 TV 시장은 완전히 FPD(flat panel display) TV로 전환하게 되었다. 2005년 LG전자와 삼성SDI의 100인치 이상 크기 PDP 발표와 일본 마츠시타의 150인치 초대형 PDP를 발표한 것은 최근 PDP 초대형화 기술의 현실을 보여 준다. 최근에는 100인치 이상의 대형 PDP 기술 개발은 큰 의미

가 없고, Full HD의 고화질 및 고효율화 기술개발에 집중하고 있다.

PDP의 광효율은 Xenon 가스의 여기종들에서 생성되는 진공자외선의 생성효율과 직접적인 관계가 있다. PDP에 인가되는 에너지가 Xenon 가스의 전리화 보다 여기화에 더욱 분포되면 방전효율이 더욱 좋아지게 되고, 이를 위해서는 Xenon 가스의 함유량이 높아지면 된다. 그러나 현재 상용화되는 Xenon의 함유량은 8~15(%)로 더욱 많은 Xenon가스가 함유될수록 방전전압의 상승과 오방전의 증가 등 많은 문제점들이 발생하게 된다. 즉, 단순히 Xe의 함유량을 늘리는 것이 아니라 다른 gas들을 혼합하는 등의 방법을 통하여 PDP의 전기적, 광학적 특성은 높이면서 상대적으로 발생하는 단점들을 보완하는 방법의 연구가 필요하다. 더불어 full HD 패널과 같이 방전공간이 극도로 좁아지는 경우에서도 고효율의 PDP를 유지할 수 있는 가스 혼합율의 연구도 필요하게 된다.

본고에서는 PDP의 방전특성을 결정하는 가장 중요한 요소인 gas의 혼합율에 따른 전기적 및 광학적 특성을 살펴보고, 더 나아가 cell의 정세화 따른 가스 혼합율 특성을 통해 앞으로의 working gas의 방향에 대해 조망해 보기로 한다. 가스의 혼합특성을 살펴보기 위해 사용된 기준 패널은 42인치 XGA 해상도(242×491×125(μm))를 가지는 7인치 패널을 사용하였으며, 고정세화에 대한 특성을 위하여 42인치 VGA급 패널과 50인치 full HD급(142×426×123(μm)) 7인치 패널을 사용하였다. 더불어 기준으로 사용된 패널(전극간 간격은 60(μm))보다 고휘도 및 고효율을 위하여 전극간 사이가 긴 150(μm)의 XGA급 패널을 준비하여 비교 분석하였다.

## 2. Ne + Xe working gas 특성

그림 2는 Ne 가스를 기본으로 하고 Xe 가스를 첨가함에 따른 방전개시전압의 특성과 압력에 따른 방

전전압의 특성을 3차원으로 나타낸 그림이다. Xe의 함유량이 증가하면 이차전자의 감소와 Xe 이온의 모빌리티의 감소 때문에 방전개시전압은 상승하게 된다. 방전유지전압 역시 Xe의 함유량이 증가함에 따라 상승하게 되지만, 방전개시전압이 높아 지면서 플라즈마의 밀도가 증가하여 생성되는 벽전하의 양이 많아지므로 방전개시전압의 증가량의 1/3정도만 상승하게 된다. 이에 따라 방전 마진은 Xe의 함유량이 증가함에 따라 증가하게 된다. PDP 내부 압력이 증가하게 되면 입자들 간의 잦은 충돌로 전자의 에너지가 낮아지기 때문에 방전전압이 증가하게 되고, 너무 낮은 압력에서는 입자간의 충돌이 줄어들어 전자생성이 제대로 이루어지지 않아 방전전압이 증가하게 되는 파셴커브(pachen' curve)의 형태를 이루게 되고, Xe이 증가함에 따라 전자 에너지가 낮아지게 되므로 방전전압의 최소값은 더욱 낮은 압력에서 생성된다. 또한, Xe의 함유량과 압력이 매우 높아지게 되어도 방전개시전압은 계속적으로 증가하지 않고 포화하는 특성을 보이게 되는데, 이는 과도한 방전개시전압으로 상판에서의 면방전이 이루어지지 않고 하판의 어드레스 전극과 먼저 방전이 일어나기 때문이다. 이런 방전전압의 포화는 상대적으로 낮은 방전유지전압에서는 일어나지 않게 되므로 상당히 높은 Xe의 양과

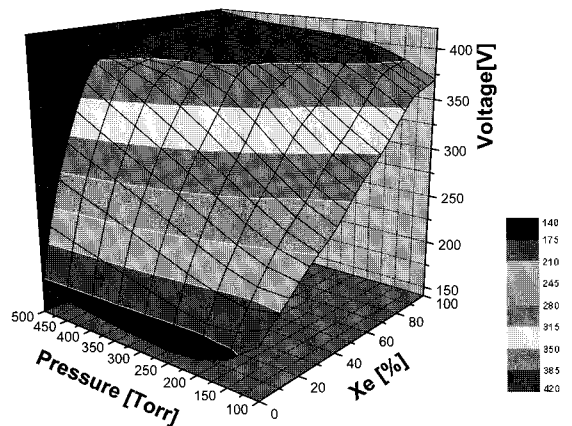


그림 2. 방전개시전압 특성

압력에서는 오히려 방전마진이 상당히 줄어들게 된다.

그림 3은 Xe 함유량과 압력에 따른 방전효율을 나타낸 그림이다. 효율은 광속을 소비전력으로 나누어서 구하였고, 광속은 휘도에 면적과  $\pi$ 를 곱하여 구할 수 있다. 그림에서 측정된 방전전압은 방전유지전압의 +10[V] 값에서 효율이 측정되었다. 이는 실제 양산되는PDP 구동전압을 설정하는 방법에 따른 것이다. Xe양과 압력이 증가 할수록 내부의 방전전압이 증가하므로 방전 플라즈마 내부의 전자밀도가 증가하고 여기종의 밀도가 높아져서 휘도가 상승하게 된다. 또한 높은 Xe양과 압력에서 삼체충돌이 증가하여 많은 VUV를 생성하는 Xe<sub>2</sub>\*이 증가하여 휘도가 상승하게 된다.

$Xe(^3P_2) + Xe + Xe(Ne) \rightarrow Xe_2^* + Xe(Ne)$   
 방전효율 역시 Xe 양과 압력이 증가함에 따라 이온화 보다 여기에 전자에너지의 사용률이 커지게 되어 효율이 상승하게 된다. 시뮬레이션을 통해 방전 전극 위에서의 E/P를 구해보면 Xe 10[%] (240[V])에서는 150[E/P]이고, Xe 30[%] (260[V])에서는 178[E/P]로서, 이때의 Xe의 여기화에 전자의 에너지가 사용된 비율은 각각15.4[%], 28.4[%]였다. 이는 실제 실험에서도 효율이 Xe 10[%]에서 30[%]

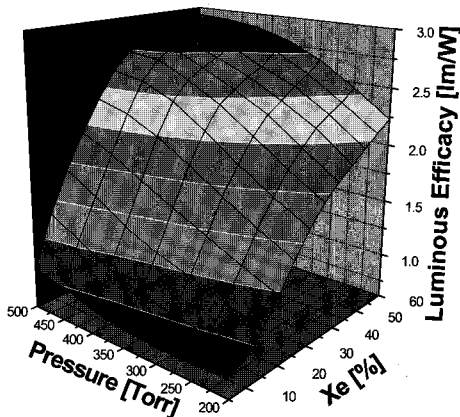


그림 3. 방전효율 특성

까지 2배정도 상승한 것과 동일한 결과를 나타낸다. 그러나 과도하게 VUV가 생성되면 형광체의 가시광 변환능력에 포화가 되어 휘도와 효율의 포화가 일어나게 된다.

그림 4는 방전전극 사이 간격에 따른 구동가능 영역을 나타낸 그림이다. PDP의 고효율화를 위하여 Xe의 여기화율을 높이기 위하여 전극사이의 간격을 계속적으로 넓히고 있다. 실제 실험에서 60[ $\mu$ m] 갭을 가지는 패널에 비해 150[ $\mu$ m] 갭을 가지는 패널의 휘도와 광효율은 약 100[%]와 20[%]정도 증가하였다(방전유지전압+10[V]에서). 그러나 전극 사이의 간격이 넓어지면 방전전압의 상승을 유발하게 되어 방전개시 전압은 약 15[%] 증가하고, 방전유지전압은 10[%] 정도 증가하였다. 즉, 방전전압이 증가함에 따라 구동 가능한 방전영역이 좁아지게 되고 이 영역을 나타낸 것이 그림 4이다.

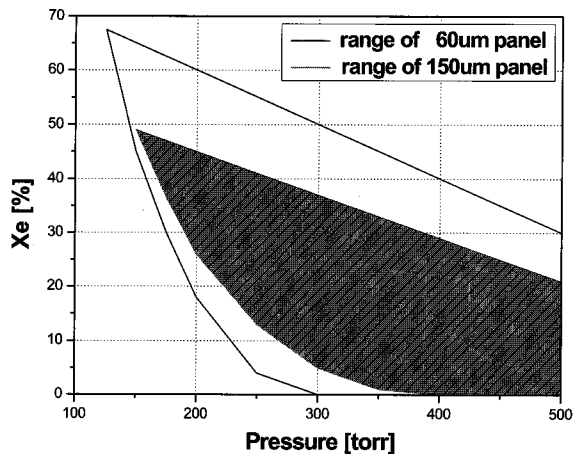


그림 4. 구동가능 영역

그림 5는 Xe 함유량이 10[%]와 30[%]이고 전극 갭간격이 150[ $\mu$ m]인 패널의 방전개시에 따른 전자밀도의 분포변화를 시뮬레이션으로 나타낸 그림이다. A 지점은 방전개시가 시작하는 시점의 전자밀도의 분포이고, D지점은 전자의 개수가 최대가 될 때의 전자밀

도의 분포이고, E지점은 최대전자수가 30[%] 감소 되었을 때의 전자밀도의 분포이다. 방전개시와 함께 Anode전극의 안쪽에서 전자가 생성되기 시작하여 Cathode전극으로 퍼져나간다. Xe의 함유량이 많이 첨가될수록 생성되는 전자의 밀도가 매우 커진다. 60( $\mu\text{m}$ ) 갭 구조에 비해 전극간 간격이 늘어날수록 cell 중심에서부터 전자밀도가 집중적으로 발생하기 시작하고, Xe의 함유량이 증가하면 어드레스전극과 상판의 Z전극 사이에서 전자가 생성되기 시작하면서 Y 전극까지 전자밀도의 피크부분이 이동한다. 즉, 방전전극의 간격이 넓어지게 되고 Xe의 함유량이 많아 지게 되면 방전이 일어날 때 어드레스전극과의 방전이 일어나게 되어 정상적인 구동이 일어나지 않게 되므로 그림 4와 같이 구동가능영역이 줄어들게 된다.

증가하고, Xe 30[%]에서는 각각 7.9[%] 와 15[%]로 더욱 많이 상승하였다. 방전유지 전압이 개시전압보다 많이 증가하는 이유는 저해상도에 비해 고해상도로 갈수록 격벽에 의한 손실이 커지므로 벽 전하의 양이 작아지기 때문이다. 고해상도가 될수록 방전전압은 높아지고 방전 공간이 좁아지게 되어 격벽을 통한 플라즈마 입자들의 손실이 커지게 되어 휘도와 효율이 각각 35[%]와 10[%] 감소하였다. 시물레이션을 통하여 한 펄스 내에서 생성되는 전자의 양을 비교해보면 XGA급에서 FHD로 될수록 약 30[%]정도 감소한다.

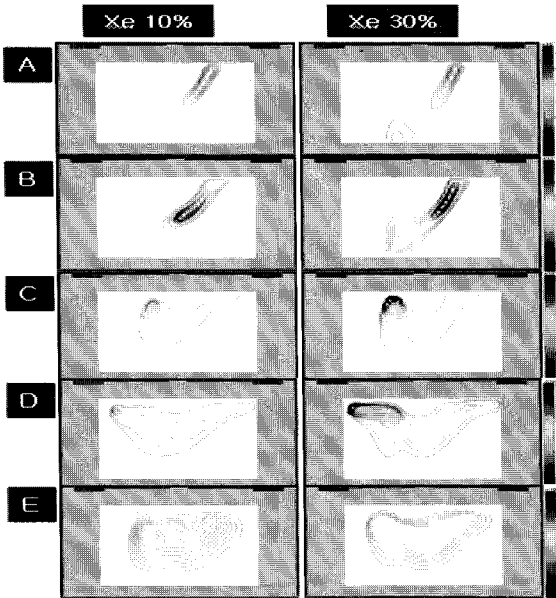


그림 5. 150( $\mu\text{m}$ ) 갭에서의 전자밀도의 변화

그림 6은 VGA급, XGA급, FHD급 패널에서의 Xe의 함유량에 따른 휘도 특성을 나타내고 있다. 고해상도의 cell이 될수록 Xe 10[%]에서는 방전개시 전압이 3.6[%] 증가하고 방전유지전압은 8.7[%]

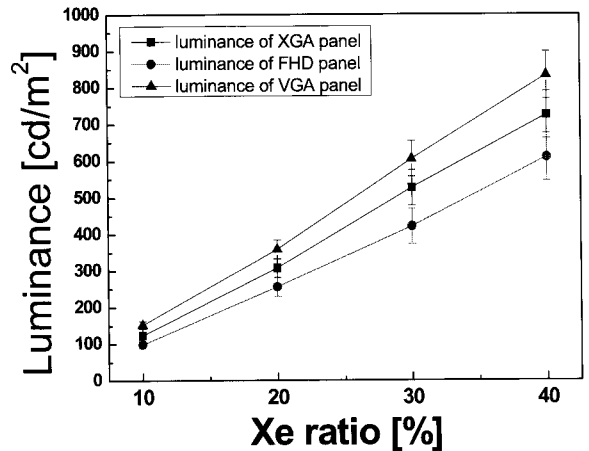


그림 6. 정세화와 Xe함유량에 따른 휘도특성

### 3. Ne + He + Xe working gas 특성

He + Xe 혼합가스는 색순도 면에서는 Ne 가스에 비해 우수하지만, He 이온의 큰 모빌리티 때문에 PDP의 수명을 짧게 하고, 방전이 매우 불안한 양상을 띄게 된다. 그러므로 He + Xe의 이원 가스 보다는 Ne을 함유한 3원 가스를 PDP 동작가스로 활용하는 것이 효과적이다. 실제로 50[%] 이상의 He 가스가 첨가된 경우 방전전압이 일정하지 않게 되어 안정적인 방전특성을 얻을 수 없었다.

He 가스가 10[%]정도 첨가되었을 경우 방전개시 전압과 방전유지 전압은 소폭 감소하다가 더욱 많은 He이 첨가되면 방전공간에서 플라즈마 밀도가 작아지게 되어 이차전자의 방출도 감소하므로 방전전압이 다시 상승하게 된다. 그림 7은 Ne + Xe + He의 혼합물에 따른 방전효율을 나타낸 그림이다. He gas가 첨가하여도 소비전력이 변화가 거의 없었기 때문에 휘도의 변화 양상과 거의 동일한 그래프를 얻을 수 있었다. 소비전력의 변화가 거의 없었던 이유는 He 첨가에 의해 방전전압이 상승하였으나 반면 전자의 감소로 전류가 줄어들었기 때문이다. He 가스가 첨가될수록 Low Xe에서는 휘도와 효율이 계속적으로 상승하게 되지만 High Xe에서는 10~15[%]까지 상승하다가 다시 감소하게 된다. 오히려 Xe 40[%] + He 50[%]에서는 오히려 He 가스가 첨가되지 않았던 패널보다 휘도가 감소하게 된다.

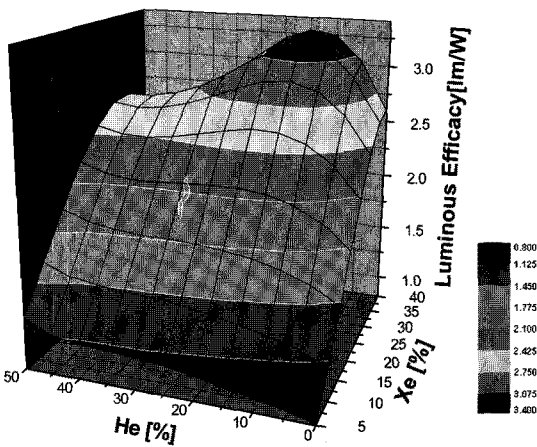


그림 7. 방전효율 특성

He의 특성이 가장 뛰어난 10[%]의 함유량에서 Xe의 함유량을 10[%], 20[%], 30[%]로 증가시키면서 60[μm]와 150[μm]의 전극간격을 가지는 패널의 특성을 비교한 결과, 역시 He의 첨가는 방전전압 감소와 휘도, 효율의 상승을 얻을 수 있었다. 또한,

long 갭에서 급상승하는 방전전압을 약간 보상하는 특성 역시 얻을 수 있었다. 그러나 short 갭과 큰 차이를 보이며 개선되지는 않았다.

FHD로 더욱 고정세화가 이루어진 패널에서는 모빌리티가 큰 He+ 때문에 플라즈마 손실이 커지므로 방전전압의 감소도 줄어들고 휘도, 효율의 증가분도 감소한다. 즉, cell이 정세화 되면 He gas의 효과가 감소하게 된다.

시뮬레이션을 통해 He 가스의 첨가에 따른 영향을 살펴보면, He 이 첨가되어도 Xe의 여기에 사용되는 에너지의 양은 거의 변화가 없다. 그러나, He이 첨가되면 방전시에 E/P가 약간 감소하게 되어 효율의 증가에 도움을 주는 것으로 추측된다. Xe 5[%]에서는 He이 첨가됨에 따라 상대적으로 Ne의 양이 감소하여 Ne+과 NeXe+이 줄어들게 되고 Xe+의 양은 약간 증가하게 된다.  $^3P_1$ 은 감소하고,  $Xe_2(^3\Sigma_u^*)$ 는 증가하게 되어 173(nm)의 양은 증가하고, 147(nm)와 150(nm)의 양은 줄어들게 된다. Xe이 10[%]에서는 He이 첨가됨에 따라 역시 Ne+과 NeXe+이 줄어들게 되지만 원래 Xe의 증가량에 의한 Ne의 양이 감소되어 있었으므로 그 양은 작다. 반면에  $Xe_2+$ 양이 줄어들기 시작하고, 173(nm)의 양은 더욱 증가하고, 147(nm)와 150(nm)의 양은 조금 줄어들게 된다. He이 첨가될수록 한 펄스내에서 생성되는 전자의 수는 증가하다가 20~30[%] 이상의 He가 첨가되면 다시 감소하였다. 즉, High Xe이 될 경우 Xe dimmer가 많이 생성되어 173(nm)의 양이 더욱 많아져 휘도, 효율이 상승하지만, 많은 He이 첨가되면 플라즈마의 손실이 많아져서 효율 감소의 원인이 될 수 있을 것으로 추측 된다.

#### 4. Ne + Xe + Kr working gas 특성

Xe 가스와 Kr 가스가 첨가될 경우 방전전압이 상승하게 되지만 Kr 가스의 이차전자 방출계수가 Xe

가스보다 높기 때문에 방전전압의 상승률은 Xe 가스의 1/3~1/2 정도 수준이다. 또한 Kr가스가 첨가됨에 따라 전자와 이온의 모빌리티 값이 감소하게 되지만, Xe 가스가 첨가될 때 감소되는 양보다 작으므로 방전전압의 상승률이 낮게 된다. 반면 휘도의 상승은 Xe 보다 낮게 되지만, 많은 Kr 가스가 첨가되면  $Kr_2^*$ 에서 생성되는 146(nm)가 증가되어 Xe의 147(nm)와 비슷한 자외선을 방사하여 휘도 상승이 커지게 된다. 그림 8은 Ne + Xe + Kr의 혼합율에 따른 방전효율을 나타낸 그림이다. 동일한 유지전압을 가지는 영역에서 휘도의 상승은 없었으나 효율은 20(%)까지 상승하였다. 이는 Kr 첨가시 방전유지전압의 상승이 작아서 유지전압 + 10[V]에서 측정된 휘도 값은 큰 상승을 나타내지 않았지만, 전류 값의 증가가 거의 없어서 효율이 매우 상승하였다(붉은 선은 동일한 방전유지전압을 가지는 지점을 나타냄).

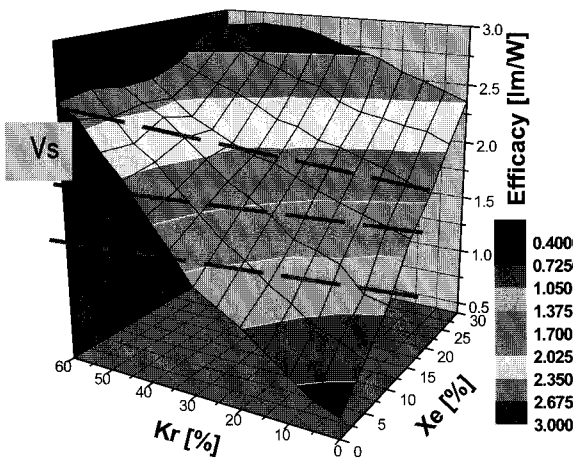


그림 8. 방전효율 특성

Ne + Xe + Kr의 삼원가스에 He을 10(%) 추가해 보면, 방전전압의 감소는 거의 나타나지 않았고, 휘도와 효율의 상승도 큰 효과는 없었다. 그러나 전극 간격이 150(μm)인 패널에서는 Kr 가스가 첨가될수록 방전전압의 증가가 매우 감소하였고 휘도와 효율

의 상승도 커졌다. 즉, long 갭구조가 되면 순수 Ne + Xe 이원가스보다 방전특성이 좋아지게 된다. 시뮬레이션을 통해 분석해보면, Ne + Xe 2원 가스보다 Kr이 첨가된 경우 여기화에 인가되는 에너지가 적어져 휘도와 효율의 증가는 Xe 가스보다 작지만, 낮은 e-field에서는 여기화 에너지 분포량이 많아져서 long gap 구조에서 Kr 가스의 사용은 더욱 휘도, 효율을 높일 수 있다. Kr gas를 Xe의 2배정도 첨가되면 Xe과 Kr의 여기화 비율이 거의 비슷해지고, 실제 실험결과도 Kr gas가 Xe gas의 2배정도 첨가되면 비슷한 값을 가진다.

## 5. Ne + Xe + α working gas 특성

### 5.1 Ne+Xe+D<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>) working gas 특성

H<sub>2</sub>와 D<sub>2</sub> 가스의 방전특성의 차이는 거의 없고, H<sub>2</sub>와 D<sub>2</sub> 가스 모두 0.3~0.4(%) 정도의 첨가에서 가장 낮은 방전전압을 가지고 10[V]까지 전압이 감소하고, 휘도와 효율은 약간 감소한다. 전극 사이의 간격이 150(μm)으로 넓어지면 방전전압이 15[V]까지 감소하게 되어 long 갭의 전극구조에서 더욱 효과를 얻을 수 있다. 그러나 0.5(%)이상의 D<sub>2</sub> 가스가 첨가되면 휘도와 효율 특성이 급격히 나빠지므로 미량만 첨가되어야 한다. D<sub>2</sub> 가스의 소량 첨가는 에너지 분포와 플라즈마 생성에 거의 영향을 미치지 못한다. D<sub>2</sub> 0.5(%)와 Xe 5(%)가 함유된 경우, 두 기체의 중성기체의 밀도비는 10배 이상 차이가 나고 High Xe인 경우에는 이 차이는 더욱 커지게 된다. 전자의 생성에 관여된 충돌단면적 역시 Xe이 10배 정도 크기 때문에 D<sub>2</sub>의 생성은 Xe+의 생성량에 비해 1(%) 미만이다. 뿐만 아니라 이차전자 방출 계수 및 Penning 효과도 Ne에 의한 값에 비해 매우 작기 때문에 결론적으로, D<sub>2</sub> 가스는 물리 작용 보다는 화학 작용에 큰 영향을 주는 것으로 분석할 수 있다. 즉,

표면에서 MgO layer와의 상호작용에 의해 MgO 물질 변화에 따른 Interaction Potential 변화로 이차 전자 방출계수가 변화하여 방전 전압의 감소가 일어난 것으로 추측할 수 있고, 이는 D<sub>2</sub> 가스가 함유된 패널을 장시간 구동한 후에 내부의 가스 성분을 분석해보면 D<sub>2</sub> 가스를 찾아볼 수 없는 것으로 더욱 신빙성을 갖는다.

## 5.2 Ne + Xe + N<sub>2</sub> working gas 특성

Ne + Xe 이원 가스뿐만 아니라 Ne + Xe + He 삼원 가스에서 N<sub>2</sub> 가스를 0.5[%]이하로 첨가해 본 결과, 방전 늦음 속도가 20[%]이상 상승하였다. 그러나 N<sub>2</sub> 가스는 활성화 기체이므로 내부의 재료들과 반응하여 광학적인 특성이 떨어지게 되는데 이를 He gas를 첨가하여 보상할 수 있다. 즉, Ne + Xe + He(10[%]) + N<sub>2</sub> 사원 가스를 사용하여 휘도와 효율성능을 높이면서 방전 늦음 속도를 월등히 높이는 효과를 얻을 수 있다.

## 6. 맺음말

본고에서는 가스 혼합비에 따른 PDP의 전기적 및 광학적 특성을 분석해 보았다. 더 나아가 방전효율을 높이기 위한 long 갭에서의 가스 혼합율과의 특성과 방전공간이 절반으로 줄어드는 full HD급 패널에서의 가스 혼합율과의 특성까지 조사하였다. 앞으로의 PDP의 cell pitch를 0.1[mm]로 축소하고 발광효율을 3[lm/W]로 한다는 것이 PDP maker들의 목표임을 고려해 볼 때 면적당 화소는 9배로 증가하고 발광 효율은 지금의 2배(0.3[mm] cell pitch로 환산하면 10[lm/W]가 됨)이상 향상 되어야 한다. 그러한 목표달성을 위해서는 cell 구조의 혁신적인 개선과 동시에 구동가스의 혼합율도 고려되어 개발되어야 할 것이다. 이사의 내용이 한국조명·전기설비학회의 회

원 여러분에게 조금이나마 참고가 되었으면 다행으로 생각한다.

## Reference

- [1] J.P.Boeuf, "Plasma display panels : physics, recent developments key issues" J.Phys.D: Appl.Phys. 36 (2003) R53-R79.
- [2] D.K.Lee et al, "The effect of N<sub>2</sub> gas mixture ration on discharge characteristics of an AC PDP cell", Eurodisplay pp279-282, 2005.
- [3] 박정후, 유수복, 이돈규, 이해준, 이호준, 김재성, "AC PDP의 전기광학적 특성과 동작 gas Xex+Ne+y+He1-y의 상관관계에 관한 연구", Trans. KIEE, Vol.56, No.9, SEP. 2007.
- [4] 박정후, 유수복, 이돈규, "AC PDP의 전기광학적 특성과 동작 가스 Xe+Ne+Kr의 구성비와의 상관관계에 관한 연구", Journal of KIEE, Vol.21, No.2, Feb. 2007.
- [5] 박정후, 유수복, 이돈규, 이해준, 이호준, 김재성, "AC PDP의 전기광학적 특성에 미치는 동작 gas Xex+Ne1-x의 영향", Trans. KIEE, Vol.56, No.1, Jan. 2007.

## ◇ 저 자 소 개 ◇



**이돈규 (李敦揆)**

1976년 10월 15일생. 2002년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 동의대 전임강사.

Tel : (051)890-2544

Fax : (051)510-1498

E-mail : donkyu@deu.ac.kr



**박정후 (朴正后)**

1945년 4월 8일생. 1968년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1974년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1980~1983년 일본 구주대학대학원 졸업(박사). 현재 부산대 공대 전기공학과 교수.

Tel : (051)510-2369

Fax : (051)513-0212

E-mail : parkch@pusan.ac.kr