

기술 특 집

# 고효율 PDP의 연구 동향

배현숙, 황기웅(서울대학교 전기공학부)

## I. 서 론

최근 HD 방송 수신이 본격화되면서 고화질의 대형 디스플레이 소자에 대한 시장 경쟁이 그 어느 때보다 가열화되고 있다. 특히 40"급 이상의 디스플레이에 있어서는 LCD와 PDP가 접전을 벌이고 있는 2자 경쟁 구도를 나타내는데, PDP가 향후 안정적으로 시장을 확보하기 위해서는 타 디스플레이를 능가할 수 있는 고효율 기술 개발이 무엇보다 시급하게 해결되어야 할 과제라 할 수 있다.

평균적으로 PDP는 다른 디스플레이에 비해 비교적 높은 전력을 소모하며 낮은 휘도 특성을 나타내는데, 현재 PDP TV에서의 약 1.8lm/W 정도로 낮은 가시광 발광 효율을 CRT 수준인 5lm/W 이상으로 증가시키는 것이 급선무이다. PDP의 발광 메커니즘은 가스 방전으로 생성된 플라즈마 내에서 여기되는 원자나 분자에 의해 방출되는 자외선이 형광체에 흡수되었을 때 나오는 가시광을 이용하는 원리로서, 방전에 의한 VUV 생성 효율 및 가시광 발광 효율의 증가는 방전 가스의 종류 및 혼합비, 구동 파형 및 방전 셀 구조의 최적화, 그리고 음극 재료나 형광체와 같은 재료 개선을 통해 얻어질 수 있다. 이러한 수 많은 변수들은 서로 밀접하게 관련되어 있으므로 PDP의 효율 개선을 위해 무엇보다 우선시 되어야 할 방전 특성에 대한 역학적 이해는 플라즈마 방전에 대한 기본적인 물성 및 여러 변수들이 방전에 미치는 영향에 대한 분석을 병행했을 때 가능해진다.

PDP는 미소 셀 체적을 가질 뿐만 아니라 수  $\mu\text{sec}$ 의 시간 내에서 플라즈마의 생성과 소멸 단계를 거치는 매우 역동적인 방전 특성을 보이기 때문에 LIF 또는 Langmuir probe 등의 실험을 통한 직접 진단법은 그 한계점을 수반할 수 밖에 없다. 따라서 수치 해석을 통하여 간접적으로 PDP 셀 내부의 방전 역학을 이해하고자 하는 노력이 있어 왔고 더 나아가 최적화된 셀 구조, 새로운 구동 방법 및 최적의 가스 조성비 등을 제안하는 범위까지 그 활용 범위를 확장할 수 있음을 제시할 수 있다.<sup>[1]</sup>

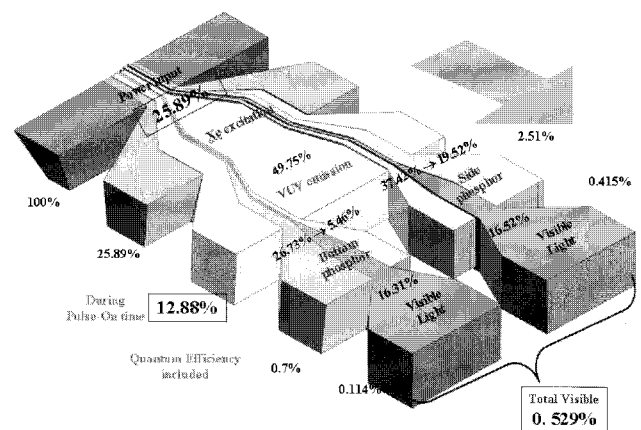
본 고에서는 수치 해석을 이용하여 방전 가스의 조성 및 다양한 셀 구조에 따른 방전 메커니즘 분석과 고효율 개선

안을 제안하는 내용을 중심으로 고효율 PDP 연구 결과에 대해 간략히 소개하고자 한다.

## II. 본 론

[그림 1]은 선형 격벽을 가지는 일반적인 면방전형 구조에서의 한 펄스의 유지 방전 시간 동안 에너지 흐름도를 나타낸다. 단계별 효율 결과에서 가장 큰 손실이 유도되는 단계는 가스 방전에 의해 Xe 여기종을 생성하고 VUV를 방출하는 과정에 이르기까지이므로 VUV 생성 효율, 즉 플라즈마 방전 효율의 개선은 최종적인 가시광 방출 효율, 즉 PDP 발광 효율의 개선에 직접적인 영향을 미칠 수 있는 가장 중요한 파트임을 인지할 수 있다.

방전의 특성에 영향을 미치는 주요 인자 중 가스 조성 부분에서는 보편적인 VUV 소스인 Xe 가스의 첨가비를 높인 고압 가스 조건과 He-Ne-Xe 3원 가스 조성비의 최적화 및 Kr, N<sub>2</sub>, D<sub>2</sub> 등의 새로운 가스의 적용과 같은 방안을 제시할 수 있다. 그리고 셀 구조의 측면에서는 방전에 직접적인 영향을 주는 격벽 높이, 유지 전극의 간격(gap) 및 폭,



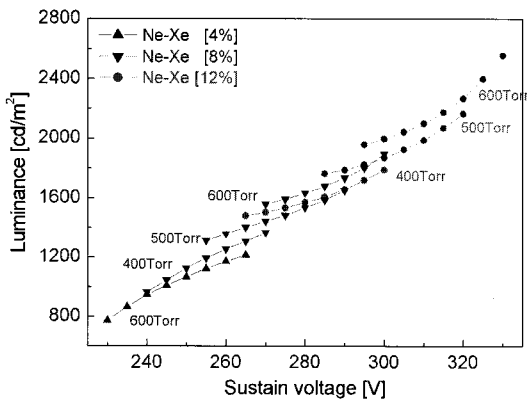
[그림 1] 선형 격벽을 가지는 기존 구조의 AC PDP에서 유지 방전의 에너지 흐름도

단위 화소 타입, 유전체 두께 등의 주요 인자를 최적화하는 방안과 보조 전극 삽입 등을 통한 전극 구조의 변형, 그리고 광효율 개선을 목적으로 하는 보호막 및 반사막에 대한 개선 등을 세부 사항들로 분류할 수 있다.

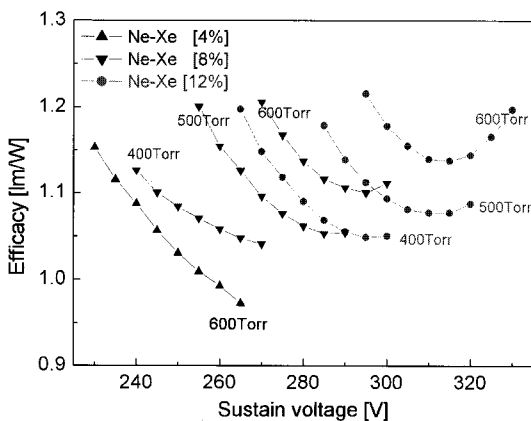
### 1. 고압 가스 조건의 발광 효율 개선 효과

PDP의 발광 효율 개선과 관련된 연구 주제로서, Xe의 첨가비를 증가시키고 전체 압력을 증가시킨 고압 가스 조건에서의 방전은 이목을 집중시키기에 충분한 고효율 결과를 나타낼 수 있었다.<sup>[2]</sup> 근래까지 높은 Xe 첨가비의 고압 가스 조건은 방전 유지 전압과 기압 방전 지연 시간의 증가와 같은 단점들을 드러내면서 그다지 주목 받지 못했던 주제였으나, 최근 효율 및 휘도 개선이 무엇보다 우선시 되는 연구 흐름에서 본다면 고압 가스 조건에서의 고효율 및 고휘도와 같은 장점이 보다 부각되어 나타남으로써 높은 Xe 첨가비의 가스 조건에 대한 관심은 점차 증가하는 추세이다.

[그림 2]는 Ne-Xe 혼합 가스에서 압력과 Xe 첨가비의 변화에 대해 유지 전압에 따른 휘도와 효율 특성의 실험 결과이다.<sup>[3]</sup> 압력 및 Xe 첨가비가 증가할수록 구동 전압의 측면에서는 방전 유지 전압이 증가하는 단점을 보이지만, 발광



(a) 유지 전압에 따른 휘도

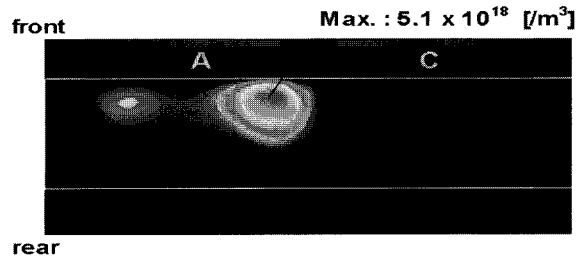


(b) 유지 전압에 따른 효율

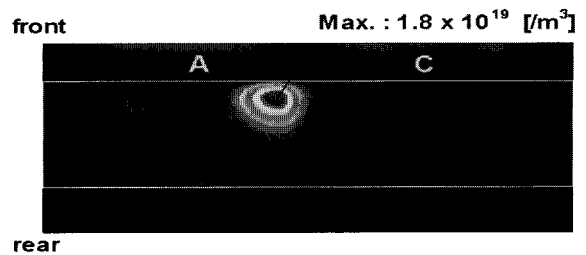
[그림 2] 여러 가스 조건에서의 휘도 및 효율



(a) color map



(b) Side view(저압 가스)



(c) Side view(고압 가스)

[그림 3] Xe 이온 밀도의 공간 분포

휘도와 효율에 있어서는 높은 개선 효과를 보인다. [그림 2]에서 특히 주목할 만한 특성은 낮은 압력이나 낮은 Xe 첨가비에서는 유지 전압이 높아짐에 따라 효율은 감소하지만, 높은 압력과 높은 Xe 첨가비에서는 전압 증가에 따라 효율이 증가하는 결과를 보임으로써 가스 조건에 따라 뚜렷이 구별되는 발광 효율 양상을 나타낸다는 점이다.

[그림 3]은 방전 전류가 최대값에 도달하는 시점에서의 Xe 이온의 밀도를 공간적인 분포로 도시한 수치 해석적 결과이다. 고압 가스 조건에서는 국부적으로 강한 쉬스 전계의 형성으로 인해 이온화 반응이 매우 활발해져 저압 조건에서의 Xe 이온 밀도에 비해서 더 높은 최대값을 가질 뿐만 아니라 방전 볼륨에 있어서도 매우 압축(constriction)된 형태를 보인다. 이와 같은 음극 쉬스 부근의 강한 전계 형성으로 인해 유지 전압의 증가에 따라 Ne 이온에 의한 이차 전자 방출량을 더욱 증가시킴으로써 저압 가스에 비해 더 많은 전자가 음극 쉬스를 통과하고 결국 전자와 이온의 밀도 비를 증가시킬 뿐만 아니라 강한 전계에 의해 전자를 가열 시키게 된다. 따라서, 고압 가스 조건에서 전자 가열 효율은 유지 전압이 증가함에 따라 증가하게 되고 Xe 여기중 생성 효율 및 VUV 생성 효율 증가에 기여하게 되는 것이다.

### 2. PDP 구조에 대한 Xe 첨가비 변화의 영향

고압 가스 조건은 발광 효율 개선의 장점을 나타내는 반면, 높은 유지 전압과 지연 시간의 증가를 비롯하여 cross

talk, 오방진, 블랙 휘도 상승 등의 문제점들도 동시에 수반하고 있으므로 고압 가스 조건을 적용하되 이상의 단점들을 보완하거나 발광 효율을 좀더 개선하기 위해서는 PDP의 셀 구조에 대한 연구도 병행해서 진행되어야 한다.

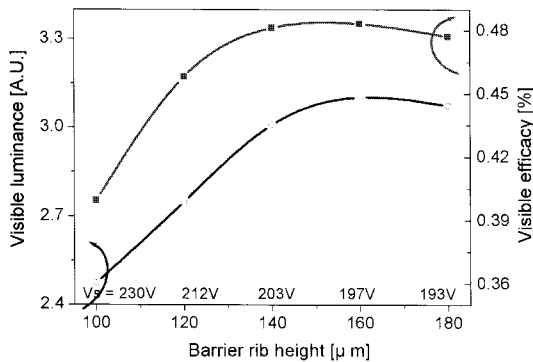
[그림 4]는 격벽 높이에 따른 가시광의 휘도 및 효율 결과를 나타내는데, (a)의 저압 가스 조건에서는 격벽이 높아짐에 따라 휘도가 증가하다가 150 $\mu\text{m}$  이상의 높이에 대해서는 그 증가율이 점차 감소하여 정체 상태에 접어드는 결과를 확인할 수 있다. 그리고 오른쪽 축의 가시광 효율 결과에 있어서는 대략 160 $\mu\text{m}$  정도의 격벽 높이에서 최대값을 나타낸다.

[그림 4](b)의 고압 가스 조건에서의 결과에서는 격벽 높이 120 $\mu\text{m}$  정도에서 휘도의 최대값을 보이고 그 이상의 높이에 대해서는 오히려 크게 감소하는 결과를 보이며, 가시광의 효율 결과에서는 140 $\mu\text{m}$  격벽 높이에서 최대값을 나타낸다. 격벽이 높아질수록 더 높은 VUV 생성량과 효율을 나타내더라도, 레이 옵틱스(Ray Optics) 코드를 통해 얻어진 가시광 결과에서는 최대의 휘도와 효율을 갖는 최적의 격벽 높이가 존재함을 보여준다.<sup>[4]</sup> 높은 격벽을 갖는 PDP 셀 구조가 더 많은 VUV 생성 및 방출에는 유리할지라도 형광체로부터 방출되는 가시광에 대해서는 그림자 효과(shadow effect)로 인해 오히려 부정적인 영향을 미치는 구조가 될 수 있다. 또한, 격벽이 높아질수록 전면판에 가까운 방전 영역에서 출발한 VUV가 형광체에 도달하는 평균 거리가 길

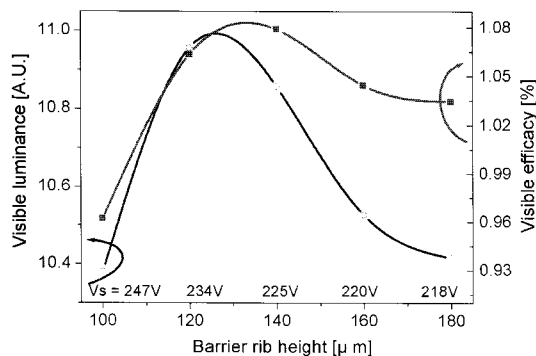
어져서 중간에 resonance trapping 등의 과정을 거치면서 가시광 방출로 연계되지 못할 가능성도 배제할 수 없는 요소가 된다. [그림 4](b)의 고압 가스 조건에서는 저압 조건에서의 결과보다 낮은 140 $\mu\text{m}$ 에서 최적화된 격벽 높이를 나타내는데, 이는 [그림 3]의 Xe 이온 분포에서 확인했듯이 압력 및 Xe 첨가비가 증가할수록 고밀도의 플라즈마가 상판 유전체에 가까이 집약적으로 형성되는 방전 특성과 연관된다. 즉 집약적인 유효 방전 볼륨을 형성하는 고압 가스 조건에서 더욱 낮은 최적 격벽 높이가 존재하게 되는 특성은 충분한 당위성을 가지는 결과라 할 수 있다.

현재 PDP의 발광 효율 개선에 대한 연구 주제 중 가장 관심이 집중되는 중심 이슈를 꼽는다면, 높은 Xe 첨가비의 가스 조건과 긴 유지 전극 간격(이하, long gap)을 가지는 구조적인 조건으로 정리할 수 있다. Long gap을 가지는 PDP 셀 구조는 발광 효율 및 휘도의 개선에 있어 유리한 구조임에 틀림없지만, 높은 Xe 첨가비를 갖는 고압 가스 조건에서의 방전 특성과 마찬가지로 구동 전압의 증가라는 단점도 수반하고 있다.<sup>[5]</sup>

[그림 5]는 전극 간격 변화에 따른 휘도 및 효율에 대한 수치 해석과 실험 결과를 나타낸다. PDP의 전면판을 통해 투과되는 가시광의 방출량은 VUV의 생성량과 비례 관계에 있으므로 실험에서의 가시광 휘도는 수치 해석에서의 VUV 생성량과 비교되고, 발광 효율은 VUV 생성 효율과 밀접한 관련성을 가지고 있는 결과라 할 수 있다.<sup>[6]</sup> [그림 5](a)의

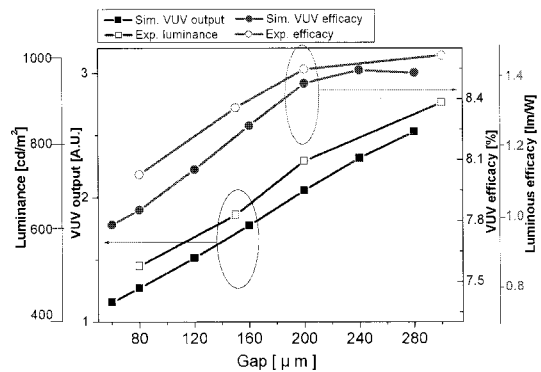


(a) 저압 가스 조건(Ne-Xe [5%], 300 Torr)

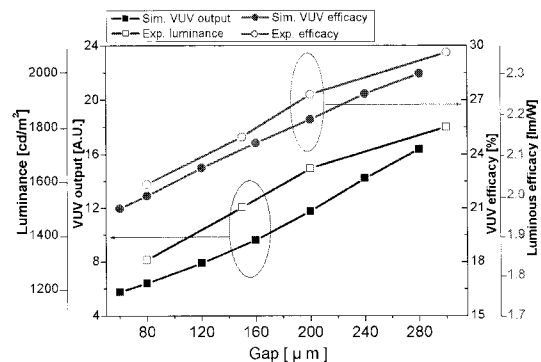


(b) 고압 가스 조건(Ne-Xe [10%], 400 Torr)

[그림 4] 격벽 높이에 따른 가시광 휘도 및 효율

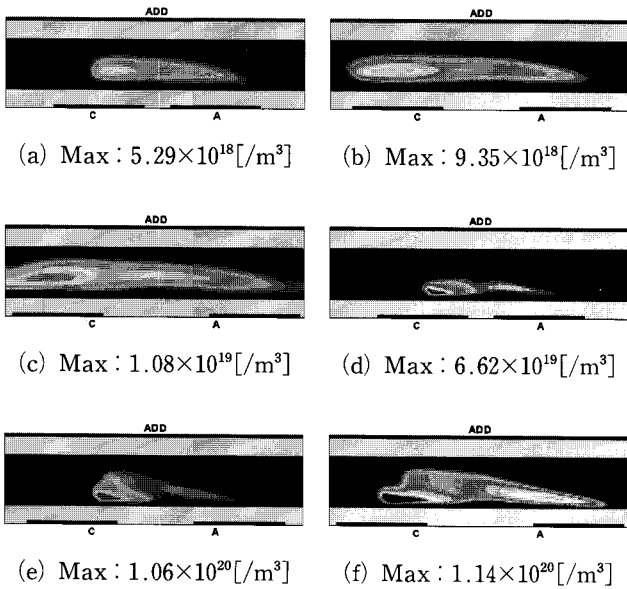


(a) 낮은 Xe 첨가비의 가스, Ne-Xe [5%]



(b) 높은 Xe 첨가비의 가스, Ne-Xe [20%]

[그림 5] 전극 간격에 따른 휘도 및 효율

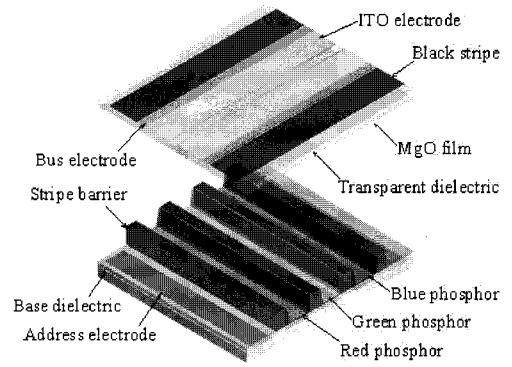


[그림 6] 전자 밀도의 공간 분포  
 (a) 60 $\mu\text{m}$  (b) 200 $\mu\text{m}$  (c) 280 $\mu\text{m}$ (Ne-Xe [5%])  
 (d) 60 $\mu\text{m}$  (e) 200 $\mu\text{m}$  (f) 280 $\mu\text{m}$ (Ne-Xe [20%])

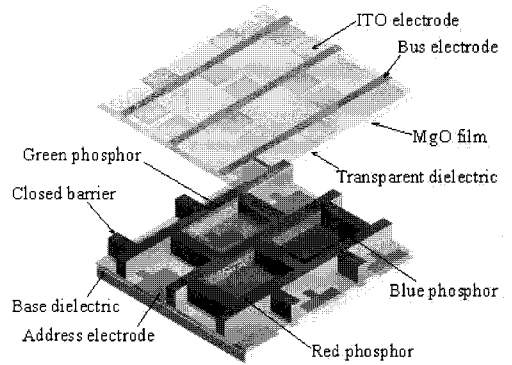
낮은 Xe 첨가비 가스 조건에서 오른쪽 축의 VUV 생성 효율과 발광 효율에서는 200 $\mu\text{m}$  이상의 long gap에 대해서 점차 그 증가율이 낮아진다. 그러나 [그림 5] (b)의 높은 Xe 첨가비에서는 낮은 Xe 가스의 결과처럼 특정 전극 간격 이상에서 효율 증가에 있어서 정체 상태를 보이는 것이 아니라 전극 간격 증가에 따른 효율의 지속적인 증가를 나타낸다.

[그림 6]은 전극 간격에 따른 전자 밀도의 공간 분포를 보여주는 결과로서 (a)와 (d)의 short gap인 60 $\mu\text{m}$ 와 (c)와 (f)의 long gap에 해당하는 280 $\mu\text{m}$  구조에서의 전자 밀도 분포를 비교해 보면, long gap 구조에서 X와 Y의 유지 전극을 따라 면방전이 형성되었을 때 전체적으로 더 넓고 큰 방전 볼륨을 확인할 수 있다. Long gap 구조에서는 음극 쉬스에 의해 가속된 전자들이 상대적으로 긴 방전 경로를 따라 이동하면서 더 많은 Xe 여기종 생성에 기여하게 되고 따라서 Xe 여기 효율은 물론, VUV 생성 효율의 증가에 기여하게 되는 것이다. 그러나 높은 Xe 가스의 경우에 있어서 낮은 Xe 첨가비의 가스 조건과 명백히 구별되는 차이점으로서 굉장히 압축되어 나타나는 전자 밀도의 공간 분포와 쉬스의 헤드(head) 부분이 음극에 상당히 고정되어 나타나는 특징을 관찰할 수 있다. 이런 높은 Xe 가스에서의 방전 특성은 강한 쉬스 전계의 형성으로부터 유도되는 결과로서 이온보다 전자에 의한 전기 에너지 소모가 훨씬 커지는 결과를 나타낸다고 할 수 있다.

[그림 7]은 AC PDP의 컬러 화소에 대한 조감도로서, (b)의 SDE(Segmented electrodes with Delta color arrayed, Enclosed sub-pixel) 구조는 하판과 격벽에 R, G, B의 형광체를 도포한 3개의 폐쇄된 4:3 비율의 종횡비를 갖는 직사각형의 단위 화소를 델타 형태로 배열하여 하나의 컬러 화소를 구성하는 타입이다. SDE 구조는 폐쇄형



(a) 선형 격벽을 가지는 기존 구조

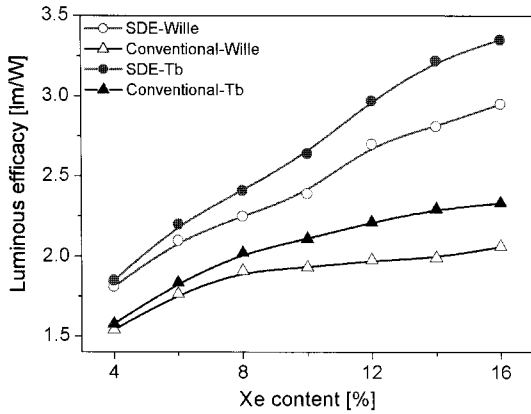


(b) SDE 구조

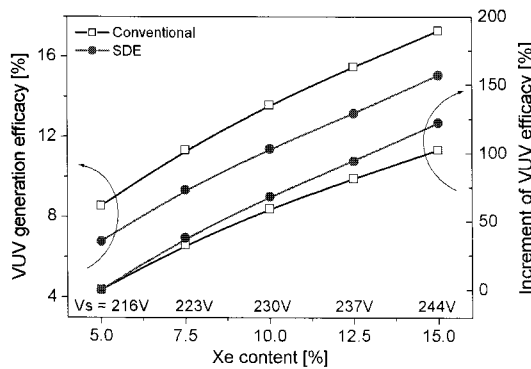
[그림 7] AC PDP의 화소 조감도

격벽에 넓은 면적으로 도포되는 형광체와 가로 격벽에 일치하는 버스 전극으로 인해 가시광 방출 개구율이 좋은 장점을 가지고 있다. 그리고 이 구조는 [그림 7] (a)의 선형 격벽을 가지는 1:3 종횡비의 기존 구조에 비해 가로가 긴 형태로써 완전히 폐쇄된 단위 화소를 채용함으로써 방전 공간의 사용을 극대화하고, 불필요한 전류의 발생을 최대한 억제하여 추가적인 방전 효율의 향상을 유도하는 구조라 할 수 있다.<sup>[7]</sup>

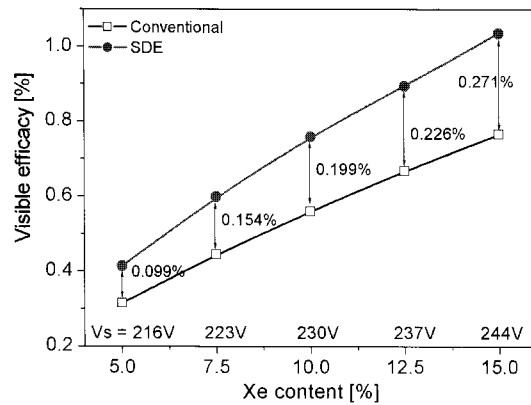
[그림 8] (a)는 Willemite와 YBT(YBO<sub>3</sub>: Tb<sup>3+</sup>)의 두 가지 green 형광체에 대해 Xe 첨가비에 따른 기존 구조와 SDE 구조의 발광 효율에 대한 실험 결과로서, 형광체 종류에 관계없이 Xe 첨가비 증가에 따라 SDE 구조의 높은 효율 개선 효과를 나타낸다. 물론, 선형 격벽을 갖는 기존 구조와 비교했을 때, SDE 구조는 폐쇄형 사각 격벽으로 인해 형광체의 도포 면적이 더 넓기 때문에 형광체 포화 특성이 상대적으로 작게 나타나면서 Xe 첨가비 증가에 따라 더욱 큰 증가율을 보이는 발광 효율의 결과에 영향을 미칠 수도 있다. 그러나, Willemite 형광체에 비해 형광체 포화 특성이 상대적으로 낮게 나타나는 YBT 형광체를 도포한 패널에서도 SDE 구조에서의 Xe 첨가비 증가에 따른 고효율 효과는 공통적으로 보이는 결과에 해당하므로, 단지 낮은 형광체 포화 특성만으로 SDE 구조의 효율 개선 효과를 설명하기는 다소 무리가 있다고 볼 수 있다. [그림 8] (b)의 수치 해석 결과에 따르면 SDE 구조의 VUV 생성 효율 값 자체



(a) 실험 결과



(b) VUV 효율 및 효율의 증가율



(c) 가시광 효율

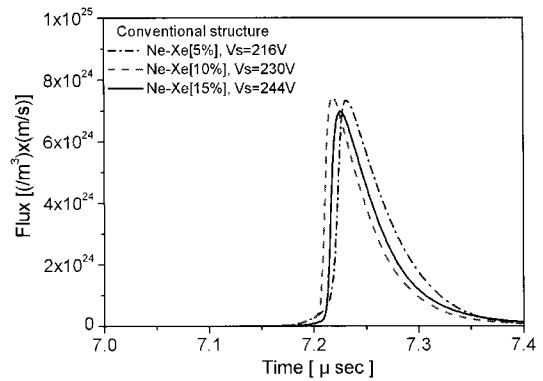
[그림 8] Xe 첨가비에 따른 구조별 발광 효율

는 기존 구조와 비교했을 때, 5%부터 15%에 이르는 다양한 Xe 첨가비에 대해 전반적으로 낮은 값을 보여준다. 그러나, 오른쪽 축의 VUV 효율의 증가율을 비교해 보면, SDE 구조는 Xe 첨가비 증가에 따라 기존 구조보다 더 높은 효율의 증가율을 나타낸다.

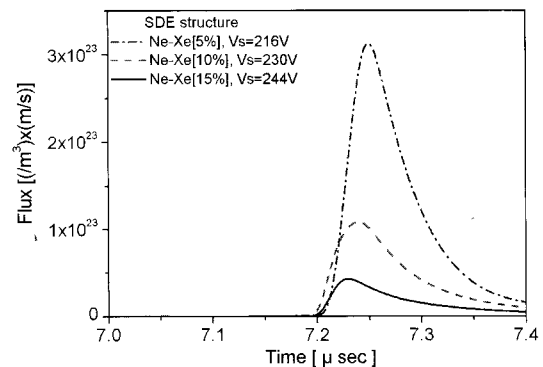
본 연구의 SDE 구조의 고효율 효과를 분석함에 있어서 낮은 VUV 효율 값보다 Xe 첨가비 증가에 따른 효율의 더 높은 증가율에 집중할 필요가 있다. 그 이유는 기존 구조와 비교하여 상대적으로 짧은 전극 폭을 가지는 구조적인 차이

로 인해 낮은 VUV 생성 효율을 나타내는 SDE 타입이지만, 높은 개구율을 가지는 구조적 특징에 의해 충분히 더 높은 값의 가시광 발광 효율로 변환 가능하기 때문이다. [그림 8] (c)에서 Xe 첨가비가 증가함에 따라 SDE 구조는 기존 구조와 비교해 볼 때, 가시광 효율의 값뿐만 아니라 그 증가율에 대해서도 더 높은 개선 효과를 확인할 수 있다. 실질적으로 SDE 구조에 있어서 하판과 사방 격벽에 형광체가 도포되는 면적은 기존 구조의 것과 비교하여 계산해 볼 때 불과 6% 정도 더 넓기 때문에, SDE 구조의 Xe 첨가비 증가에 따른 고효율 효과를 설명함에 있어서 낮은 형광체 포화 특성만으로 역학적인 분석을 결론 내리기에는 구조에 따른 형광체 도포 면적의 차이가 너무 근소하다고 볼 수 있다.

4:3의 중형비를 갖는 SDE 구조는 기존 구조와 비교했을 때 셀 중심에서 수직 격벽까지의 거리가 먼 구조로서 수직 격벽으로의 하전 입자 손실을 줄일 수 있는 공간적인 특징을 가지고 있다. [그림 9]의 (a)와 (b)는 기존 구조와 SDE 구조의 수직 격벽으로 재결합 등의 반응을 통해 손실되는 플라즈마 입자들의 플럭스를 나타내는 결과들이다.<sup>18)</sup> 두 구조는 공통적으로 Xe 증가에 따라 감소되는 플라즈마 손실을 나타내는데, 이것은 높은 Xe 첨가비의 가스 조건에서 매우 국부적이며 강한 음극 스위스 전계로 인하여 굉장히 압축된 분포를 보이며 형성된 방전 볼륨에서 유도된 특성으로 해석된다. 플라즈마 손실 결과에 있어서 구조적인 차이로는 가로

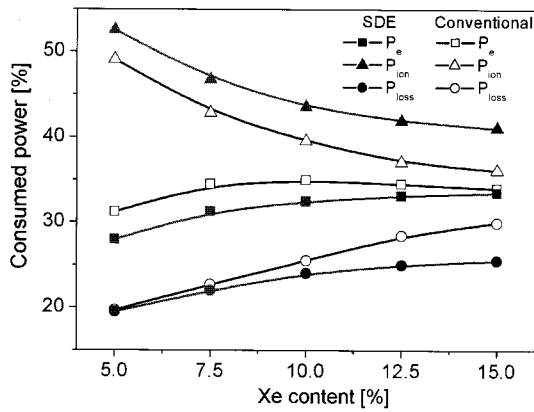


(a) 선형 격벽을 가지는 기존 구조



(b) SDE 구조

[그림 9] 플라즈마 손실



[그림 10] Xe 첨가비에 따른 구조별 소모 전력비

가 긴 SDE 구조에서는 Xe 첨가비가 증가함에 따라 수직 격벽으로의 손실 플럭스가 큰 폭으로 감소하는 반면에, 기존 구조에서는 그 감소율이 거의 근소하게 드러난다는 점이다.

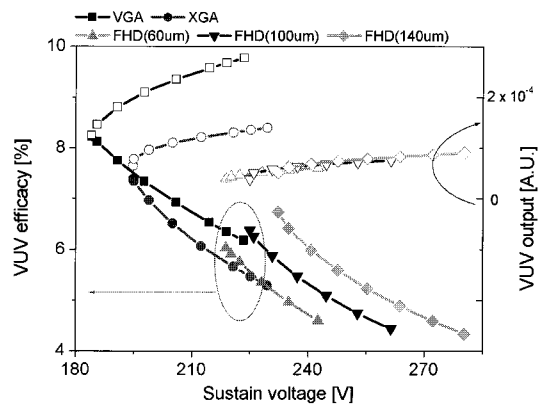
그렇다면, 플라즈마 손실로 잃게 되는 에너지는 전계로부터 전자와 이온이 얻은 에너지와 비교할 때 어느 정도의 비율을 차지하는 것일까? 그에 대한 해답은 [그림 10]의 구조별 전자, 이온 그리고 플라즈마 손실로 소모되는 에너지의 비율을 도시한 그래프로 확인 가능해진다. Xe 첨가비 증가에 따라 단위 화소를 둘러싼 각 면으로의 플라즈마 손실은 19%에서 30%로 증가하며, 특히 SDE 구조는 기존 구조에 비해서 대략 5% 정도 더 낮은 손실 비율을 보인다. 따라서 이러한 방전 특성은 VUV 생성 효율 및 가시광 효율에 있어서 높은 Xe 첨가비의 가스 조건일수록 SDE 구조의 더 높은 효율 개선 효과를 유도하는 주요 메커니즘으로 작용하게 된다.

### 3. 고정세 Full HD PDP의 효율 개선

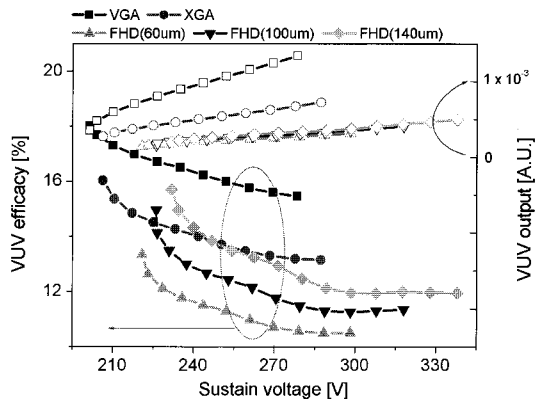
최근 HD 디지털 TV 방송이 보급되고 게임 콘텐츠의 개발이 성행하고 있는 가운데, 방송 규격에 있어서도 표준 화질(SD)에서 고화질(HD), 더 나아가 완전 고화질(Full HD)로 승격되면서 고정세 Full HD 디스플레이 소자에 대한 수요가 급증하는 추세이다. 그러나 고정세 셀의 발광 영역 감소는 발광 효율 감소와 구동 전압 증가라는 큰 단점들을 동시에 수반하고 있다.<sup>[9]</sup>

[그림 11]은 다양한 해상도와 가스 조건에 따른 VUV 생성 효율을 도시한 결과이다. VGA부터 Full HD에 이르는 세 가지 해상도에 대해서 전극 간격은 60 $\mu$ m로 동일하고, Full HD셀에 대해서 전극 간격 변화에 따른 특성까지 분석하기 위해 100 $\mu$ m와 140 $\mu$ m의 long gap 구조의 결과도 포함하였다. 고정된 Xe 첨가비와 전극 간격에 대해서 셀 사이즈가 감소할수록 효율은 감소하고 유지 전압은 증가하게 된다. 즉 해상도 증가에 따른 효율 감소와 전압 증가의 일반적인 결과들이 수치 해석을 통해서도 뚜렷이 나타남을 확인할 수 있다.

Xe 첨가비 증가는 극부적으로 강한 음극 쉬스 전계의 형



(a) Ne-Xe [5%]



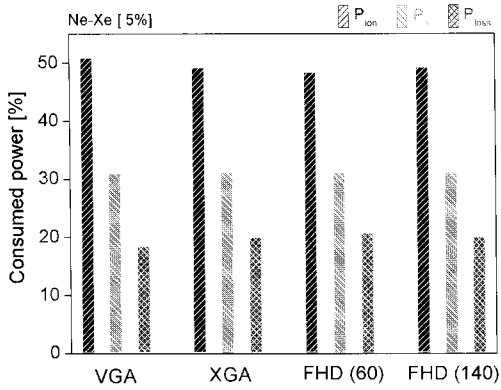
(b) Ne-Xe [20%]

[그림 11] 해상도에 따른 VUV 효율 및 생성량

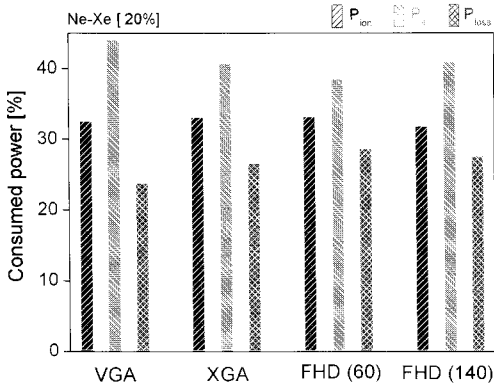
성으로 전자 가열이 활발해져 고효율 방전에 직접적인 영향을 미치게 되는데, [그림 11]에서의 Xe 첨가비 증가에 따른 Full HD 효율은 다소 상이한 특성을 보이고 있다. Xe 첨가비가 5%에서 20%로 증가했을 때 해상도 증가에 따른 효율의 감소율은 오히려 더 커지고, 이에 반해 Full HD 해상도의 결과 중 전극 간격 증가에 따른 효율 증가 현상은 뚜렷하게 나타난다. 특히, Xe [20%]의 Full HD 해상도에서 140 $\mu$ m의 long gap 구조는 60 $\mu$ m의 short gap을 가지는 XGA 해상도 셀과 유지 전압 마진이 겹쳐지는 비교적 낮은 전압 영역에서 거의 비슷한 효율을 나타낸다.

[그림 12]는 해상도 및 Xe 첨가비 변화에 따라 전기 에너지로부터 이온, 전자 및 플라즈마 손실에 의해 소모되는 에너지의 상대적인 비율을 도시한 결과이다. Xe 첨가비 증가에 따라 극부적으로 매우 강해진 음극 쉬스의 형성으로 전자 가열이 활발해짐에 따라 전자의 에너지 소모 비중은 낮은 Xe 첨가비의 가스에서보다 월등히 높아지게 되고 해상도 증가에 따른 플라즈마 손실의 증가도 더욱 뚜렷이 나타남으로써, 고해상도 셀에서의 효율 감소에 대한 방전 역학은 높은 플라즈마 손실 비율로 해석 가능함을 밝힐 수 있다.

[그림 13]은 해상도와 단위 화소의 구조에 따른 PDP 방전 셀의 각 면으로 손실되는 플라즈마 입자 에너지의 비율을 도시한 결과이다. XGA와 Full HD 해상도의 셀은 Rec-

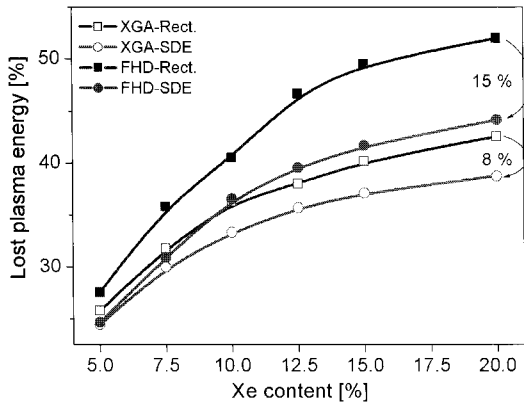


(a) Ne-Xe [5%]



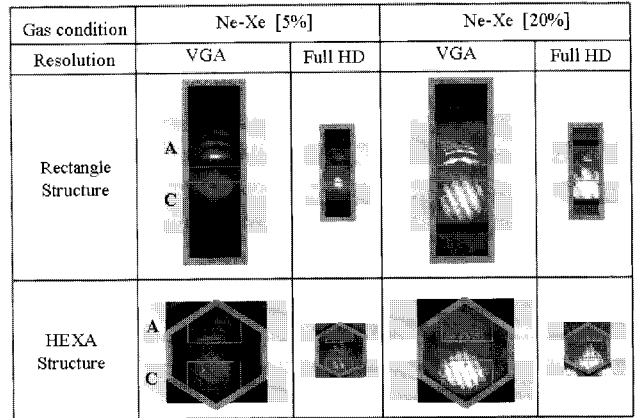
(b) Ne-Xe [20%]

[그림 12] 해상도에 따른 소모 전력비

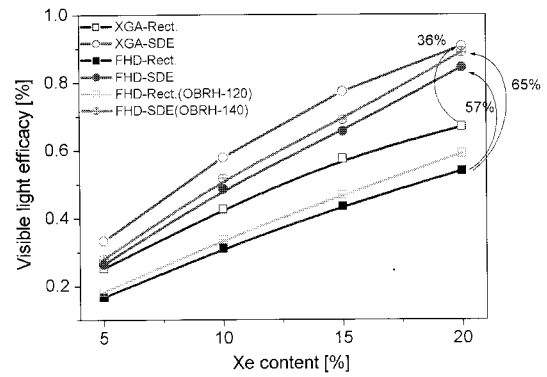


[그림 13] 구조와 Xe 첨가비에 따른 플라즈마 손실

tangle 구조에 비해 가로가 긴 4:3의 종횡비를 갖는 SDE 구조에 있어서 더 낮은 플라즈마 손실 결과를 보이고, 단위 화소의 구조에 따른 플라즈마 손실 차이는 Xe 첨가비가 증가함에 따라 점점 커지게 된다. Xe 첨가비의 증가에 따라, Full HD 해상도의 셀에서 SDE 구조는 Rectangle 구조에 비해 최대 15% 낮은 플라즈마 손실을 보임으로써 XGA 해상도에서의 8%에 비해 더 큰 감소율을 나타내며, 이것은 Full HD 해상도를 갖는 SDE 구조에 대한 효율 개선 효과를 직접적으로 설명할 수 있는 데이터가 된다.



[그림 14] 구조와 Xe 첨가비에 따른 IR image



[그림 15] 구조 및 Xe 첨가비에 따른 가시광 효율

[그림 14]는 PDP 전면판을 통해 측정된 IR image로 20%의 높은 Xe 첨가비 가스 조건에서 Full HD 셀의 Rectangle 구조는 수직 격벽으로 손실되는 높은 손실 비율을 나타냄을 가시적으로 확인할 수 있다.

SDE 구조의 적용과 격벽 높이 최적화와 같은 구조적인 측면에서의 효율 개선안을 종합적으로 고려해 볼 때, [그림 15]와 같은 최종적인 가시광 효율 결과를 도출할 수 있다.<sup>[11]</sup> Xe 첨가비가 증가함에 따라, Full HD 고해상도 셀에서의 최적 격벽 높이가 140 $\mu$ m를 갖는 SDE 구조는 기존 Rectangle 구조의 결과보다 높은 가시광 효율을 나타내는데, 결과적으로 Xe 20%의 가스 조건에서 최대 65%의 높은 개선 효과를 보이게 된다.

### III. 결 론

PDP가 고화질 대형 디스플레이 시장 경쟁에서 타 디스플레이보다 비교 우위에 서기 위해서는 무엇보다도 고효율 기술 개발이 시급한 실정이다. 이에 본 고에서는 발광 효율에 영향을 미치는 주요 인자들에 따른 방전 특성 분석을 통하여 도출한 고효율 PDP 연구 결과를 중심으로 구성하였다. 그에 대한 세부 내용으로는, 가스 방전에 있어 지배적인 역할을 하는 Xe 가스의 첨가비를 높인 고압 가스 조건과 최적화

된 격벽 높이, 긴 방전 경로를 갖는 long gap 구조 및 4:3의 중횡비를 갖는 SDE 구조에 대한 고효율 방전 특성을 분석하였고 해상도 및 Xe 첨가비에 따른 분석을 통해 고정세 Full HD PDP의 발광 효율 개선 방안을 제안하였다. 이외에도 다양한 방전 셀 구조 개발, 구동 회로의 개선 및 재료의 최적화 등의 분야에 있어서 지속적인 개선이 요구되는데, 현재 학계 및 산업계에서 많은 연구가 진행되고 있으므로 CRT에 버금가는 고효율 PDP를 장래에 볼 수 있을 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

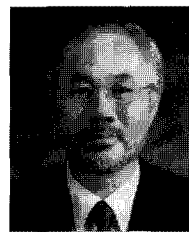
- [1] Hyun Sook Bae, Joong Kyun Kim, Hae Yoon Jung, Jong Keun Lim, and Ki-Woong Whang, "Effects of plasma loss on the luminous efficacy in a full high definition alternating current plasma display panel", *J. Appl. Phys.*, Vol. 102(12), pp.123308(1)-123308(7), 2007.
- [2] G. Oversluizen, S. de Zwart, S. van Heuden, and T. Dekker, "Dependence of PDP efficacy on the gas pressure", in *Proc. Int. Display Workshop*, pp.631-634, 2000.
- [3] Woo Joon Chung, Bhum Jae Shin, Tae Jun Kim, Hyun Sook Bae, Jeong Hyun Seo, and Ki-Woong Whang, "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.
- [4] Hyun Sook Bae, Woo Joon Chung, and Ki-Woong Whang, "Effect of barrier rib height variation on the luminous characteristics of ac plasma display panel", *J. Appl. Phys.*, Vol. 95, No. 1, pp. 30-34, 2004.
- [5] Kyung Cheol Choi, Nam Hoon Shin, Kyo Sung Lee, Bhum Jae Shin, and Seong-Eui Lee, "Study of Various Coplanar Gaps Discharges in ac Plasma Display Panel", *IEEE Trans. Plasma Sci.*, Vol. 34, No. 2, pp. 385-389, 2006.
- [6] Hyun Sook Bae, Joong Kyun Kim, and Ki-Woong Whang, "The Effects of Sustain Electrode Gap Variation on the Luminous Efficacy in Coplanar-Type AC Plasma Display Panel under Low- and High-Xe Content Conditions", *IEEE Trans. Plasma Sci.*, Vol. 35, No. 2, pp. 467-472, April, 2007.
- [7] Y. Hashimoto, Y. Seo, O. Toyoda, K. Betsui, T. Kosaka, and F. Namiki, "Invited Paper: High-Luminance and Highly Luminous Efficient AC-PDP with Delta Cell Structure", in *SID Int. Symp. Dig.*, pp. 1328-1331, 2001.
- [8] Hyun Sook Bae, Joong Kyun Kim, Tae Jun Kim, Dong Cheol Jeong, and Ki-Woong Whang, "The mechanism of high luminous efficacy in delta color arrayed, enclosed sub-pixel structured AC PDP with high Xe content", *IEEE Trans. Plasma Sci.*, Vol. 34, No. 3, pp. 954-960, June, 2006.
- [9] Tae-ho Lee, Min-sun Yoo, Su-bin Song, Jun-Yong Park, and Yoon-Hyoung Cho., "Expectation of Luminous Efficacy of Ultra Fine Discharge Cells using 2D-Simulator", in *SID Int. Symp. Dig.*, pp. 602-605, 2005.

### 저 자 소개



배 현 속

2001~2003 : 서울대학교 공과대학 전기·컴퓨터공학부 석사, 2003~2008 : 서울대학교 공과대학 전기·컴퓨터공학부 박사, 2008~현재 : 서울대학교 공과대학 전기·컴퓨터공학부 연구원



황 기 웅

1974~1976 : University of California, Los Angeles (UCLA), 물리학과 석사, 1976~1981 : University of California, Los Angeles (UCLA), 물리학과 박사, 1981~1982 : UCLA 플라즈마 연구소, 연구원, 1982~1983 : Maryland 대학 플라즈마 연구소, 연구원, 1983~현재 : 서울대학교 공과대학 전기·컴퓨터공학부 교수