

# 교류형 플라즈마 표시기의 발광 효율 개선을 위한 신 구조의 방전 특성 분석

(Analysis on the Discharge Characteristics of New Cell Structure for Luminous Efficacy Improvement in an AC Plasma Display Panel)

배현숙\* · 황기웅

(Hyun-Sook Bae · Ki-Woong Whang)

## 요약

본 논문은 수치 해석을 이용한 교류형 플라즈마 표시기의 발광 효율 개선에 대한 연구를 주 내용으로 하고 있으며, 긴 전극 간격을 가지는 유지 전극들 사이에 2개의 보조 전극을 삽입한 5전극 신 구조에서의 방전 특성에 대해 분석하였다. 2차원의 수치 해석 결과에 의하면 어드레스 전극에 보조 펄스가 인가되는 구동 파형을 적용했을 때, 신 구조는 일반적인 3전극 면방전 구조에 비해 대략 52[%]의 효율 증가를 보였다. 결과적으로 방전 초기에 보조 전극 사이에서 일어나는 방전의 크기는 축소되고 주방전에 해당하는 유지 전극 사이의 긴 간격에서의 방전은 확장될수록 플라즈마 표시기의 유지 방전에 있어서 VUV 생성 효율의 개선 효과는 커진다고 볼 수 있다. 이와 같은 수치 해석 결과에 대한 신뢰성은 실험 결과를 제시함으로써 검증할 수 있다.

## Abstract

Through two-dimensional numerical simulations, we analyzed the effects of new cell structure for the luminous efficacy improvement in an ac plasma display panel. In the new structure with 5 electrodes, two auxiliary electrodes are arranged between X and Y electrodes with long gap. Through the application of adequate auxiliary pulse on the address electrode, the luminous efficacy in the new cell structure showed the improvement of 52[%] in comparison with that of conventional cell structure with short gap between X and Y electrodes. Consequently, as the short gap discharge between auxiliary electrodes decreases and the long gap discharge between X and Y electrodes increases, the result of VUV generation efficacy shows higher improvement. The reliability of simulation result could be confirmed by the experimental result in the test panel.

Key Words : AC PDP, New Cell Structure, Luminous Efficacy Improvement

\* 주저자 : 서울대학교 전기공학부 연구원  
Tel : 02-880-9554, Fax : 02-872-3005  
E-mail : kitty01@snu.ac.kr  
접수일자 : 2008년 3월 4일  
1차심사 : 2008년 3월 25일  
심사완료 : 2008년 4월 14일

## 1. 서론

플라즈마 디스플레이 패널(PDP : Plasma Display Panel)은 두 장의 유리 기판 사이에 가스를 봉입하여

플라즈마 방전 시에 생성되는 진공자외선(VUV: Vacuum Ultra Violet)이 형광체를 여기시켜 나오는 가시광을 이용하여 문자 또는 그래픽을 표시하는 장치이다. PDP는 단순한 공정 과정과 비교적 가벼운 무게로 인해 40인치 이상의 대형화가 가능하며 풀컬러 구현 및 넓은 시야각 등의 장점을 가짐으로써 대형의 고품질 정보 표시 소자 중 가장 경쟁력 있는 평판 디스플레이라 할 수 있다. 그러나 PDP는 평균적으로 다른 디스플레이에 비해 비교적 높은 전력을 소모하며 낮은 휘도 특성을 나타내는데, 현재 PDP TV에서의 약 1.8[lm/W] 정도로 낮은 가시광 발광 효율을 CRT 수준인 5[lm/W] 이상으로 증가시키는 것이 무엇보다 시급한 연구 과제로 제시된다.

PDP는 전원으로부터 공급된 전기 에너지를 이용해 구동 회로가 동작하고 미소 셀 내에서 가스 방전을 형성하여 이온화, 여기 반응, 전하 이동, 이차 전자 방출 등의 여러 가지 복잡한 반응을 거쳐 하전 입자와 여기종들을 생성한다. 이렇게 생성된 여기종들에 의해 다시 여러 반응 경로를 거쳐 방출되는 VUV는 셀 내부에 도포되어 있는 형광체를 여기시켜 가시광의 형태로 방출되는데, 셀 내부의 굴절과 흡수 과정을 거쳐 그 일부만이 전면으로 방출된다. 따라서 PDP의 발광 효율은 전면으로 방출되는 가시광 에너지와 처음의 입력된 전기 에너지의 비로 정의될 수 있고, 전체적인 효율의 상승은 각 단계별 효율을 증가시킴으로써 가능해진다. 그러므로 PDP의 효율 개선을 위해서는 셀 내부에서 플라즈마가 생성, 소멸되는 과정과 VUV 발생 등의 방전 특성에 대한 정확한 역학적인 분석이 동반될 때, 보다 가치 있는 결과를 얻을 수 있을 것이다.

PDP는 미소 셀 체적을 가질 뿐만 아니라 수 [μsec]의 시간 내에서 플라즈마의 생성과 소멸 단계를 거치는 매우 역동적인 방전 특성을 보인다. 이런 이유로 인해 LIF(Laser Induced Fluorescence) 또는 Langmuir Probe 등의 실험을 통한 직접 진단법은 그 한계점을 수반할 수밖에 없으므로 수치 해석을 통하여 간접적으로 PDP 셀 내부의 방전 역학을 이해하고자 하는 노력이 있어왔다[1-2]. 수치 해석을 하는 수단으로는 컴퓨터 시뮬레이션이 이용되었으며, 이러한 수치 해석은 하전 입자 및 여기종들의 시

공간 분포, VUV의 생성 및 소멸 경로, 유전체 위에 쌓이는 벽전하의 형성 분포 등의 데이터에 대한 분석 과정을 통해 플라즈마 방전 특성의 역학 조사를 하는데 있어서 매우 유용한 도구임을 증명할 수 있다. 또한 방전 특성의 이해에만 국한되는 것이 아니라 최적화된 셀 구조, 새로운 구동 방법 및 최적의 가스 조성비 등을 제안할 수 있다는 점에서 수치 해석의 중요성은 더욱 부각될 수 있다.

현재 PDP의 발광 효율 개선에 대한 연구 주제 중 가장 관심이 집중되는 중심 화제로는, 가스 측면에서 Xe 가스의 높은 첨가비 조건과 구조적인 측면에서 긴 유지 전극 간격(이하 long gap)을 가지는 조건으로 정리할 수 있다. 특히 long gap을 가지는 PDP 셀 구조는 발광 효율 및 휘도의 개선에 있어 유리한 구조임에 틀림없지만, 구동 전압의 증가라는 단점도 수반하고 있다[3].

본 논문에서는 2개의 보조 전극을 유지 전극 사이에 삽입한 좀 더 확장된 개념의 새로운 long gap 구조를 제안하고 2차원의 수치 해석을 통해 이런 신 구조에서의 방전 특성 및 발광 효율 개선 효과에 대해 분석하였다. 따라서 보조 방전이 AC PDP의 유지 전극 사이의 면방전에 미치게 되는 영향에 대해서 방전 효율의 측면에서 분석된 결과를 중심으로 서술할 것이다. 또한 신 구조에서의 수치 해석 결과에 대한 신뢰성은 실험 결과를 제시함으로써 검증할 수 있을 것이다.

## 2. 본 론

### 2.1. 수치 해석 모델

그림 1은 면방전형 AC PDP의 한 화소를 이루는 적색, 녹색, 청색의 3개 셀에 대한 조감도로서, 본 논문에서는 이와 같은 일반적인 3전극 면방전형 AC PDP를 기본 구조로 채택하였고 이를 변형시킨 신 구조에서의 방전 특성에 대해 수치 해석을 이용하여 분석하였다. AC PDP는 상판에 2개의 방전 유지 전극과 하판에 1개의 어드레스 전극을 가지는 기본적인 3전극 구조를 유지하면서, 선형의 격벽으로 분리된 단위 화소들의 배열로 구성되어 있다.

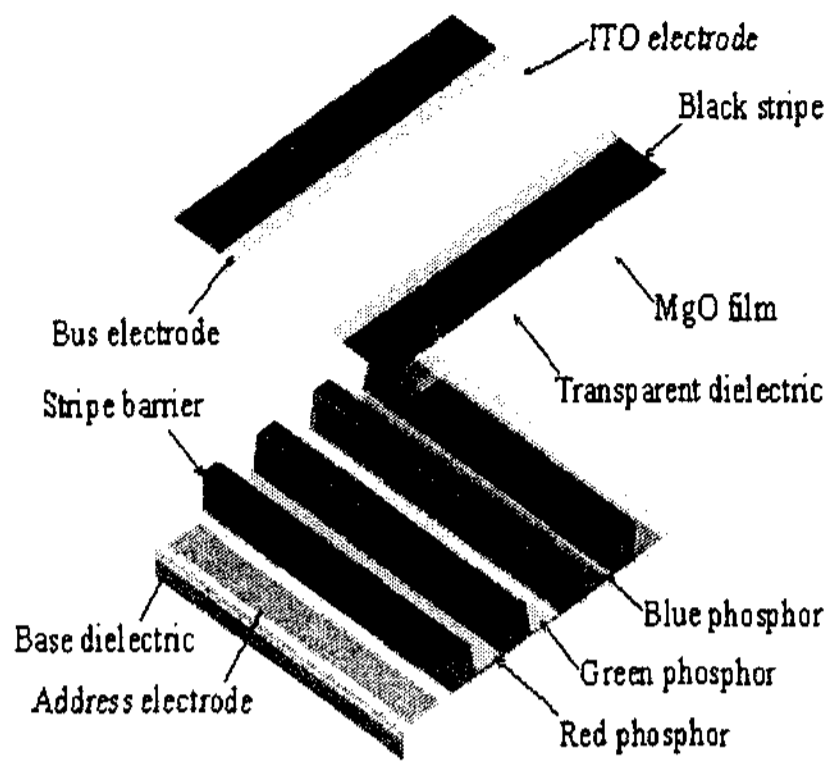


그림 1. 일반적인 면방전형 교류형 플라즈마 표시기의 화소 구조  
 Fig. 1. Conventional coplanar discharge structure of AC PDP

본 논문의 수치 해석에서는 2차원의 LFA(Local Field Approximation) 모델을 사용하였고, 해석 모델에 대한 자세한 설명은 참고문헌 4에 언급되어 있다. 볼츠만(Boltzmann) 코드를 이용한 영차원 수치 해석을 통하여 혼합 가스의 이온화율과 여기율을 분석한 다음, 유체식을 통하여 수치 해석을 하는 방법으로 PDP의 플라즈마 방전 특성을 분석하였다.

PDP는 Xe 가스에서 방출되는 VUV를 발광의 근원으로 이용하므로 일반적으로 He-Xe, Ne-Xe, He-Ne-Xe 등의 혼합 가스를 사용하는데, 본 연구의 2차원 수치 해석에서 가스 조건은 Ne-Xe[5%], 400[Torr]로 가정하였다. 그리고 Ne 가스의 에너지 모델에 대해서는 Ne(ground), Ne\*, Ne\*\*, Ne<sup>+</sup>, Ne<sub>2</sub><sup>\*</sup>, Ne<sub>2</sub><sup>+</sup>의 에너지 준위 모델을 가정하였고 Xe의 경우에는 VUV 방출을 고려하여 Xe(ground), Xe\*(<sup>1</sup>S<sub>5</sub>), Xe\*(<sup>1</sup>S<sub>4</sub>), Xe\*\*, Xe<sup>+</sup>, Xe<sub>2</sub><sup>+</sup>(1<sub>u</sub>, 0<sub>u</sub><sup>-</sup>, v≈0), Xe<sub>2</sub><sup>+</sup>(0<sub>u</sub><sup>+</sup>, v>>0), Xe<sub>2</sub><sup>+</sup>의 8개의 모델을 가정하였다.

## 2.2 결과 및 분석

그림 2는 3전극 면방전형 AC PDP에서 Ne-Xe [5%]의 가스 조건을 적용했을 때, 60, 200, 280[μm]의 각각의 유지 전극 간격을 가지는 구조에서 전류가 최대인 시점에서의 Xe 여기종 분포를 공간적으로 도시한 결과를 나타낸다. 그림 2 (c)는 전극 간격 280[μm]의 결과로서 상대적으로 long gap구조에 해

당하는데 이 조건에서 형성되는 방전 볼륨은 60[μm]의 짧은 유지 전극 간격(이하 short gap) 구조의 결과인 (a)에서의 방전 볼륨과 비교했을 때, 상대적으로 넓게 형성되어 있음을 확인할 수 있다[5]. Long gap 구조에서는 전극 간격의 확장으로 인해 전계의 세기가 약해지고 길어진 방전 경로를 따라 형성되는 플라즈마의 방전 특성 때문에 상대적으로 넓은 방전 볼륨을 가진다. 따라서 음극 쉬스의 강한 전계에 의해 가속된 전자들이 상대적으로 긴 방전 경로를 따라 이동하면서 더 많은 Xe 여기종 생성에 기여하게 되고 결과적으로 Xe 여기 효율은 물론, 더 나아가서 VUV 생성 효율의 증가에 기여하게 되는 것이다.

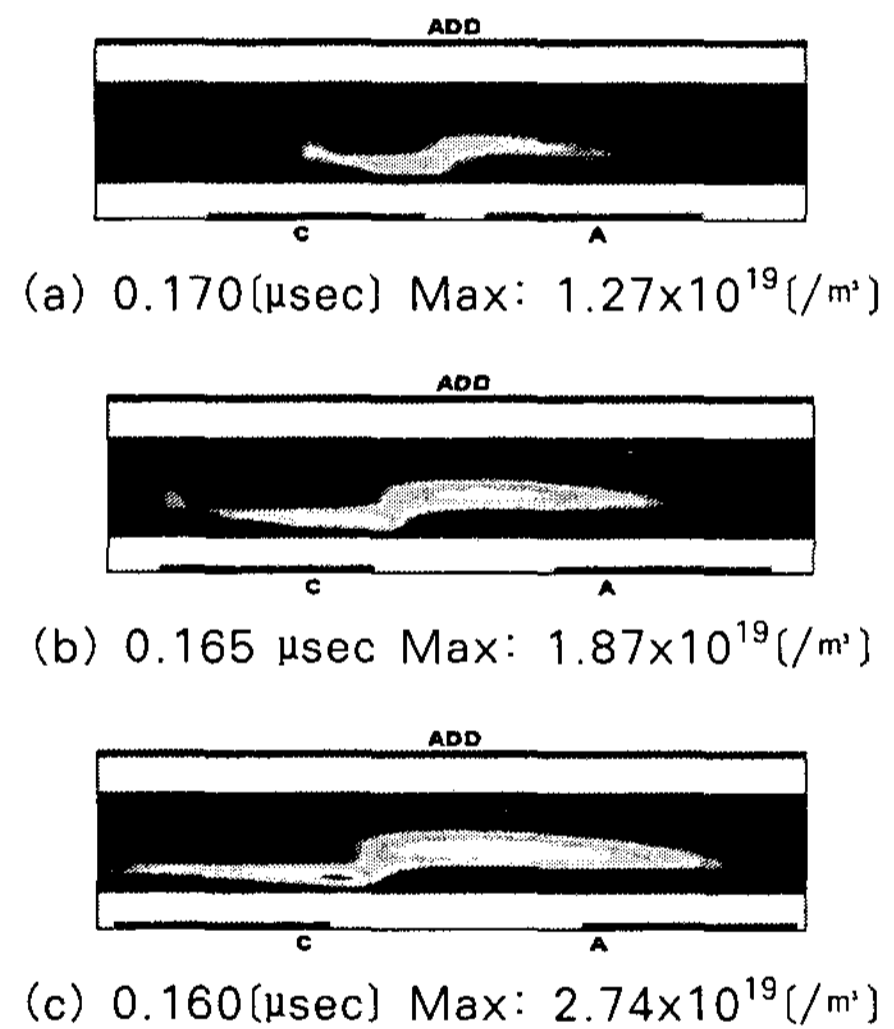


그림 2. 전류가 최대인 시점에서의 Xe\*\* 밀도  
 Fig. 2. Xe\*\* density profile at current peak time  
 (a) Gap 60[μm] (b) Gap 200[μm]  
 (c) Gap 280[μm]

이런 long gap 구조의 고효율 방전 특성을 바탕으로 하여, 본 논문에서는 long gap 방전을 보다 효율적으로 이용할 수 있는 신 구조를 제안하기 위해 그림 3의 다양한 신 구조에서의 방전 특성을 분석하였다.

신 구조는 셀 내에 short gap을 가지는 보조 전극을 삽입함으로써 long gap에서 유지 방전이 일어나기 전에 저전압 개시 방전을 일으키게 되므로 SCI(Self Contained Ignition) 구조로 지칭할 수 있

는데[6], 이러한 방전 원리를 가지는 5전극 신 구조는 그림 3의 (b), (c), (d) 세 종류로 구분하여 그 특성을 비교하였고, (a)는 일반적인 3전극 면방전 구조로서 기준(Reference) 구조에 해당한다. 그림 3 (b)의 Type 1구조와 (c), (d)의 Type 2, 3 구조는 상판의 전극들 사이에서 short gap의 위치가 어디 있는냐에 따라서 각각의 구조로 분류된다. 즉 short gap에서의 개시 방전이 셀의 격벽 부근에서 시작하는 Type 1구조와 셀의 중앙에서 형성되는 Type 2, 3 구조로 나누어지는 것이다.

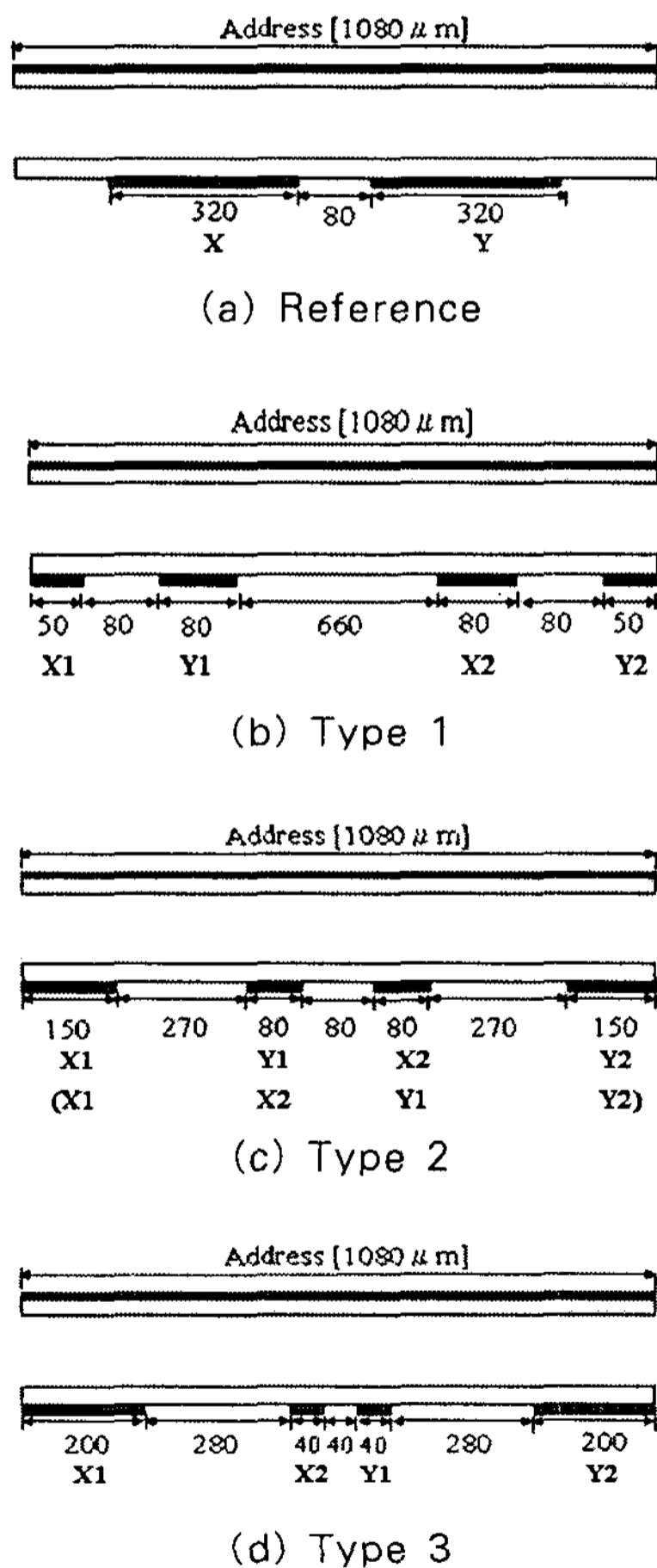


그림 3. 수치 해석에 이용된 셀 구조  
Fig. 3. Schematics of the PDP cell used in our simulation model

그림 4는 수치 해석의 결과로서 다양한 셀 구조와 구동 파형에 따른 발광 효율을 나타낸다. 이 결과에서 적용한 어드레스 보조 펄스는 어드레스 전극에 적절한 크기와 폭을 가지는 펄스를 인가하여 유지 전극 사이의 면방전 이전에 어드레스 전극과 유지 전극 사이의 대향형 방전을 일으킴으로써 Xe 여기 종 생성 및 VUV 생성 효율을 증가시키는 효과를 가져온다[7].

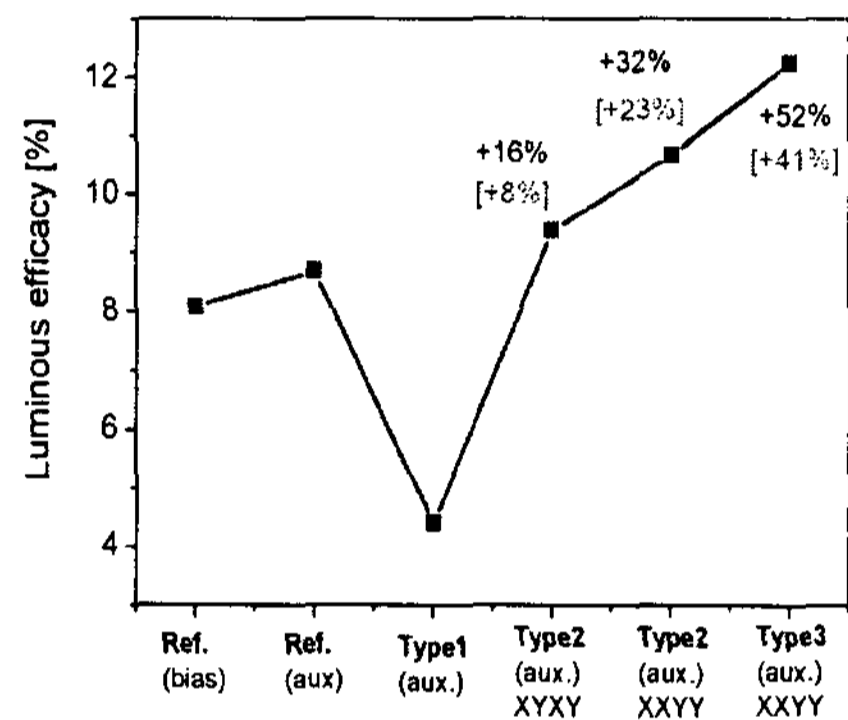


그림 4. 다양한 셀 구조와 구동 파형에 따른 발광 효율 (aux. : 어드레스 보조 펄스)  
Fig. 4. Luminous efficacy with various cell structures and driving waveforms (aux. : auxiliary pulse on the address electrode)

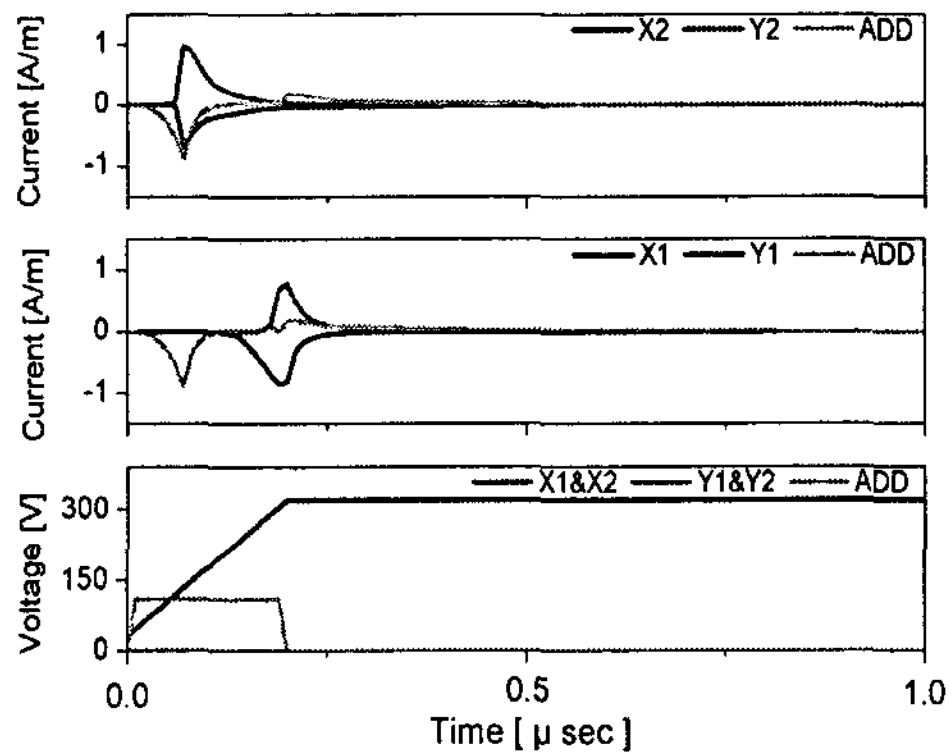
그림 4의 수치 해석 결과에 의하면 그림 3 (d)에서 제시한 Type 3 구조에서 어드레스 전극에 보조 펄스가 인가되는 구동 파형을 적용했을 때, (a)의 기준 구조에 비해 대략 52[%]의 효율 개선 효과를 보인다. 물론 기준 구조에서 어드레스 보조 펄스가 인가되는 경우와 비교한다면 이보다 낮은 41[%]의 효율 개선 효과를 나타낸다. 그리고 Type 1의 구조에서는 기준 구조에서보다 오히려 낮은 발광 효율 결과를 보임을 확인할 수 있다.

그림 5에서는 구조에 따른 전압 파형과 방전 전류를 도시하였다. 방전 전류 결과에 의하면, 그림 5 (a)의 Type 1에서는 X1-Y1의 전극들과 X2-Y2의 전극들이 각각 상판의 양 끝에서 따로 short gap에서의 방전만을 일으킬 뿐 유지 전극에 해당하는 Y1과 X2 전극 사이에서의 long gap 방전으로는 확장되지 않음을 확인할 수 있다. 이와는 달리 그림 5 (b)의

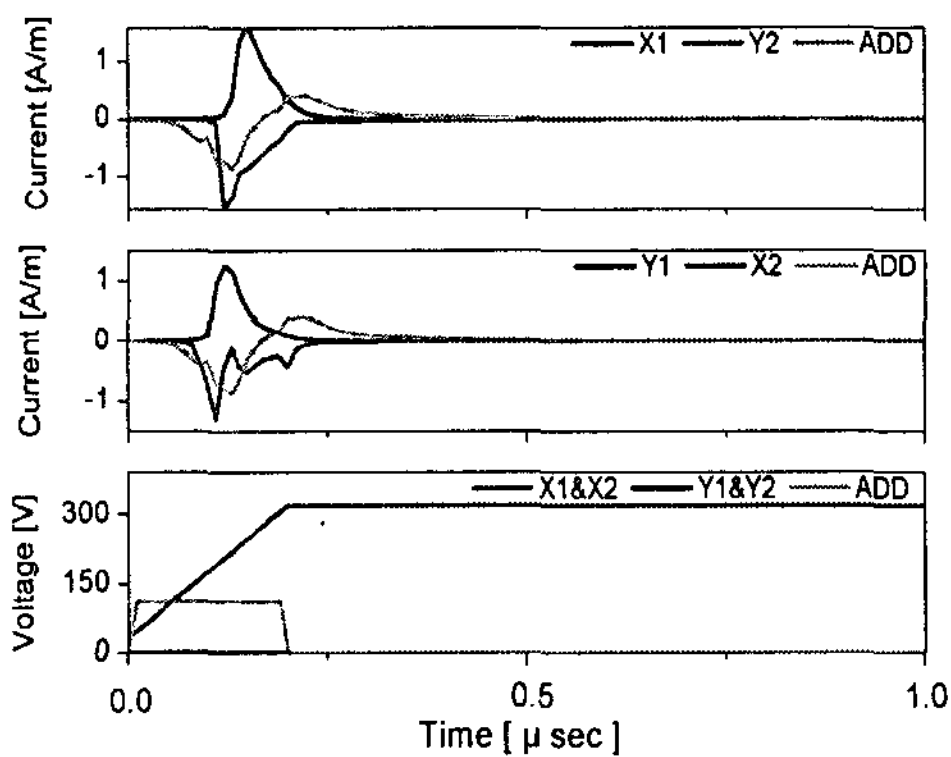
Type 2에서는 셀 중앙에 위치한 Y1과 X2 전극 사이에서 short gap 방전이 먼저 일어나고 이렇게 시작

된 방전은 X1과 Y2 전극 사이에서의 long gap 방전으로의 확장을 유도하게 된다. 그리고 이런 방전 특성은 그림 5 (c)의 파형에서도 나타난다.

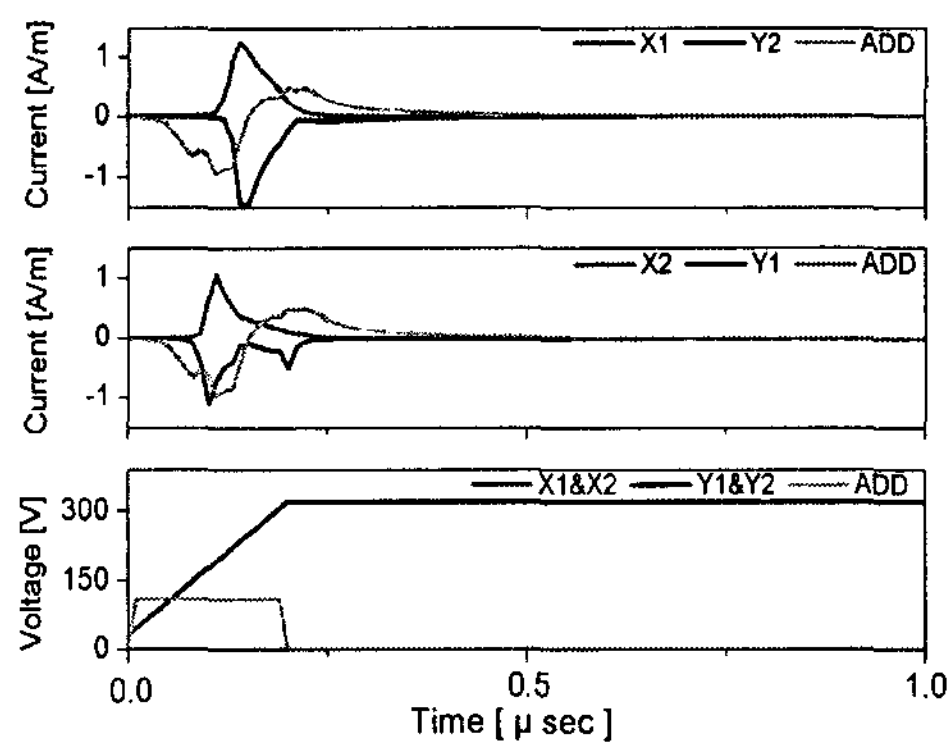
그림 6의 결과에서는 전자 밀도의 시공간 분포를 통하여 플라즈마가 생성되고 이동해 나가는 방전 메커니즘을 가시적으로 확인할 수 있다. 그림 6 (a)는 Type 1구조의 결과로서 앞서 방전 전류에서도 나타났듯이 상판의 좌, 우 양 끝에 위치한 short gap을 가지는 전극들 사이에서만 시간차를 두고 각각 방전이 일어나고 주방전인 long gap 방전으로 전이되기는



(a) Type 1(X1-Y1-X2-Y2)

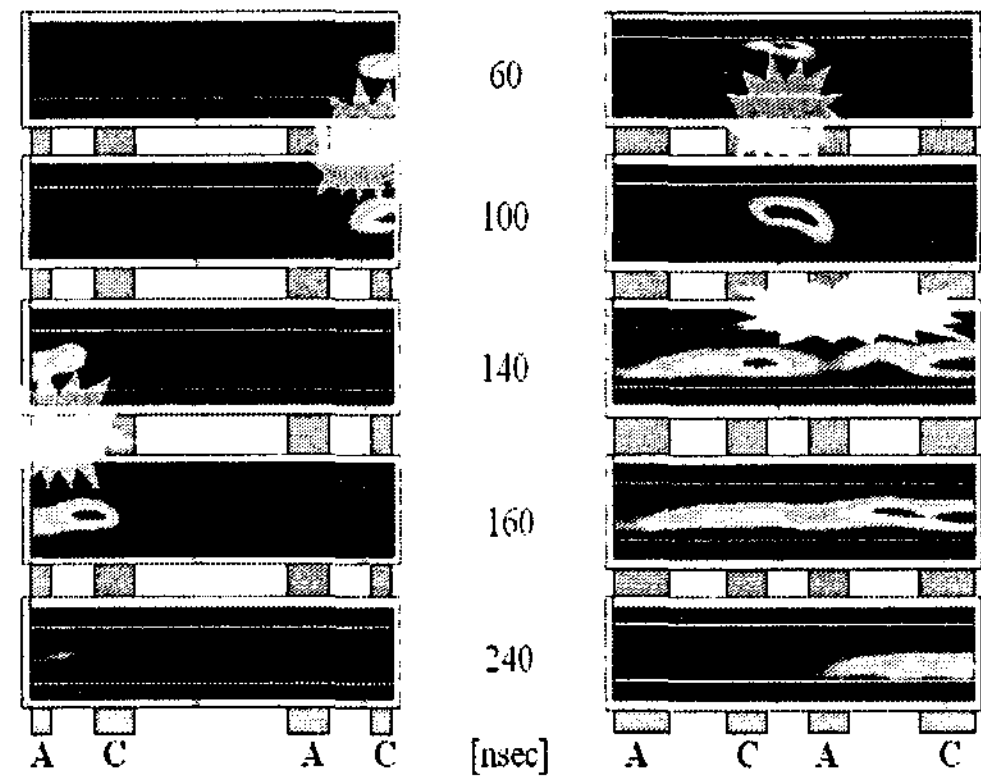


(b) Type 2(X1-Y1-X2-Y2)



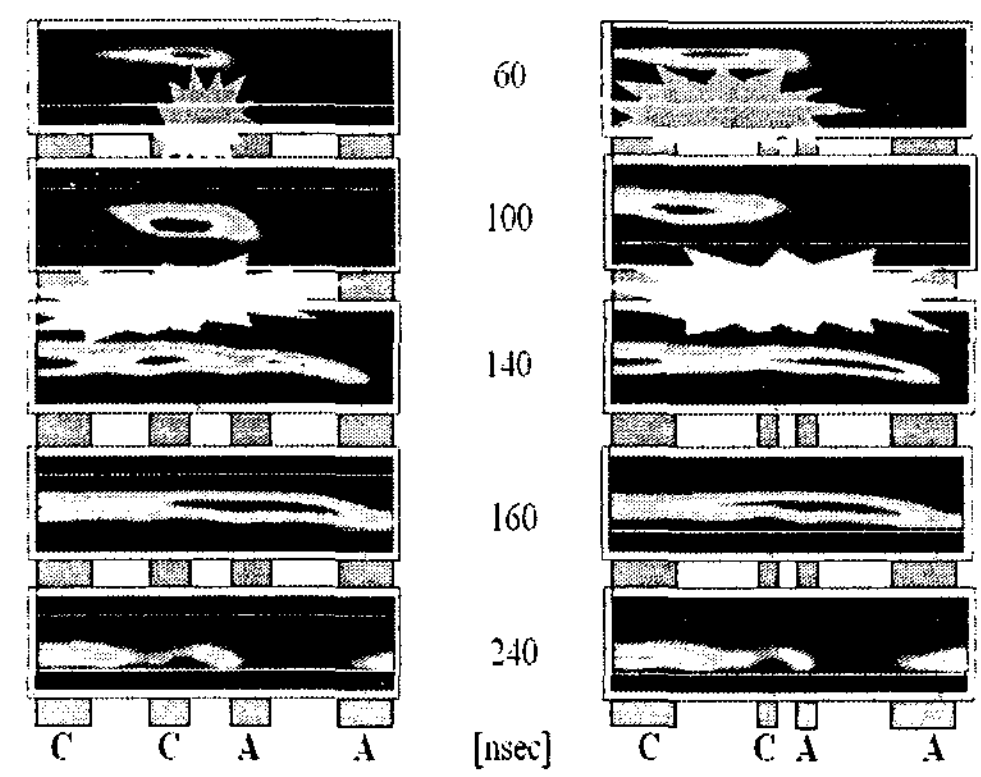
(c) Type 2(X1-X2-Y1-Y2)

그림 5. 구조에 따른 전압 파형과 방전 전류  
Fig. 5. Driving waveform and discharge current with various cell structures



(a)

(b)



(c)

(d)

그림 6. 전자 밀도의 시공간 분포  
Fig. 6. Spatio-temporal distribution of electron density (A: anode, C: cathode)  
(a) Type 1(X1-Y1-X2-Y2)  
(b) Type 2(X1-Y1-X2-Y2)  
(c) Type 2(X1-X2-Y1-Y2)  
(d) Type 3(X1-X2-Y1-Y2)

힘든 구조로 확인되었다.

그러나 그림 6 (b)와 (c)의 Type 2 구조의 결과에서는 처음 셀 중앙에서 short gap 방전이 일어나고 X1과 Y2 전극 사이의 long gap 방전으로 전이되는 양상을 보인다. 물론 이 경우에는 어드레스 전극에 적절한 보조 펄스를 인가하여 short gap 방전의 개시에 좀 더 도움을 줌으로써 효율 개선 효과를 더욱 기대할 수 있다.

앞서 그림 4의 발광 효율 결과에 의하면 Type 2 구조의 X1-X2-Y1-Y2 파형을 적용했을 경우, 같은 구조의 X1-Y1-X2-Y2 파형에서보다 더 높은 효율 증가를 보이는데, 그것은 그림 6 (c)에서 확인할 수 있듯이 X1-X2-Y1-Y2 구동 파형을 적용했을 때

long gap의 방전 경로가 좀 더 길어지기 때문인 것으로 보인다.

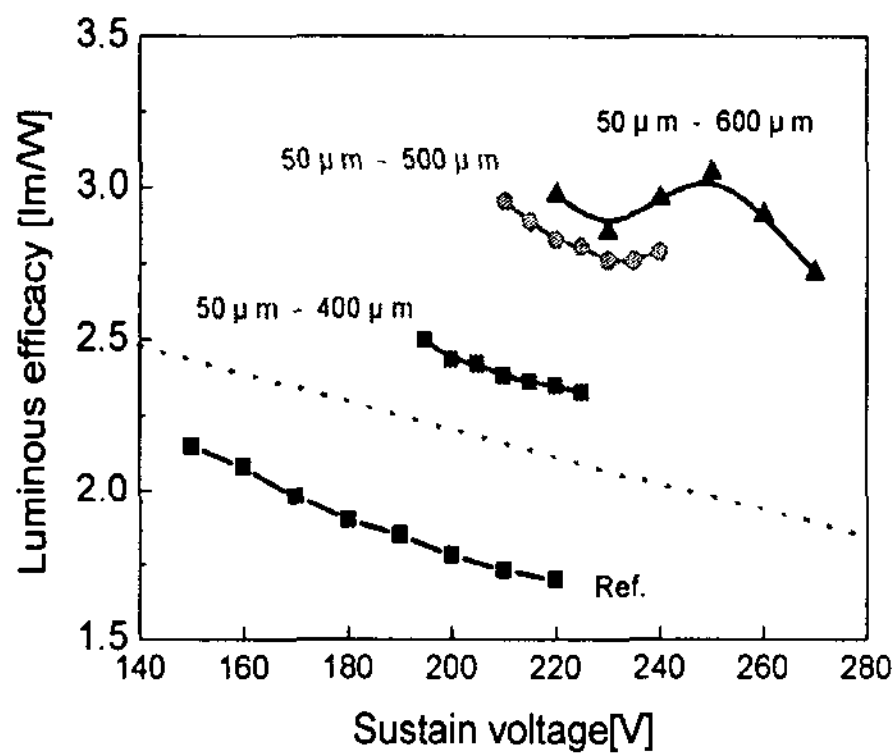
그리고 그림 6 (d)의 경우에 효율 개선 효과가 가장 크게 나타나는데, 그 이유는 방전 초기에 일어나는 short gap에서의 방전의 크기는 축소되고 주방전에 해당하는 long gap 방전은 확장될수록 유지 방전에 있어서 VUV 생성 효율의 개선 효과는 커지기 때문이다.

그림 7은 테스트 패널을 제작하여 주파수 25[kHz]와 듀티율 50[%]의 구형파로 구동 조건을 적용했을 때의 실험 결과를 나타낸다[6]. 방전 개시를 위한 short gap은 50[ $\mu\text{m}$ ]이고, long gap은 400[ $\mu\text{m}$ ]부터 600[ $\mu\text{m}$ ]까지 변화시켰을 때, 같은 구동 전압 조건을 적용했을 경우 발광 효율은 전극 간격의 증가에 따라 증가함을 확인할 수 있다.

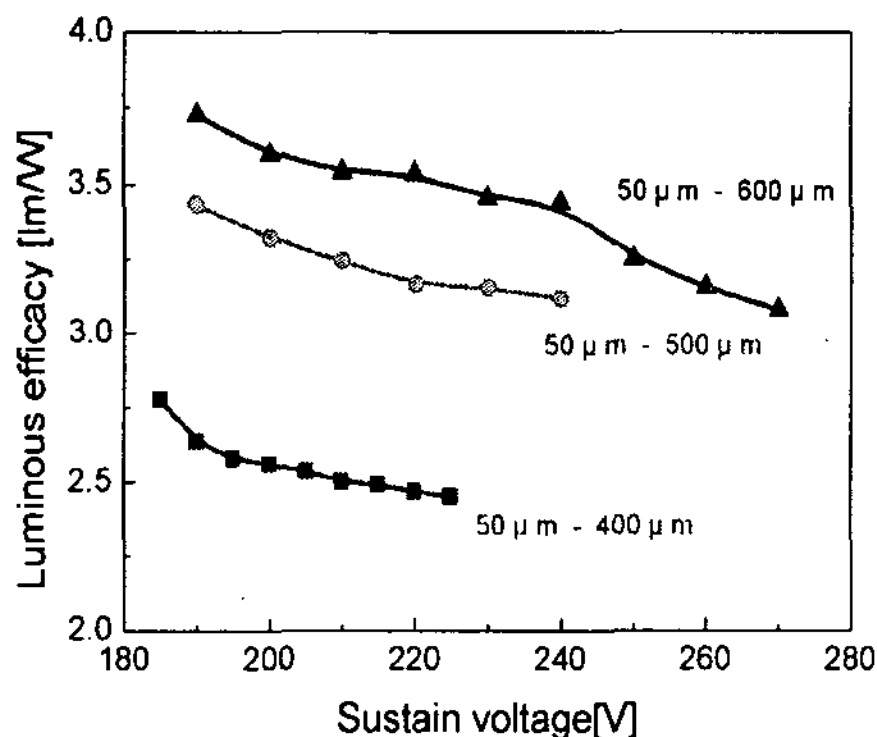
특히 그림 7의 (b)는 어드레스 전극에 보조 펄스를 인가하였을 때의 결과로, (a)와 비교하여 방전 전압은 소폭 감소하고 발광 효율은 증가하는 효과를 보인다. 따라서 이와 같은 실험 결과로부터 short gap을 가지는 보조 전극들을 삽입한 새로운 long gap 구조의 효과를 확인할 수 있으며 그 경향성은 앞서 수치 해석의 결과와 정성적인 측면에서 일치함을 보인다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 long gap을 가지는 유지 전극 사이에 2개의 보조 전극을 삽입한 신 구조에서의 방전 특성에 대해 분석하였다. 수치 해석 결과에 의하면, 보조 방전을 이용한 5전극의 신 구조는 일반적인 3전극 면방전 구조에 비해 대략 52[%]의 효율 개선 효과를 보였다. 결과적으로 방전 초기에 보조 전극 사이에서 개시되는 방전의 크기는 축소되고 주방전에 해당하는 유지 전극 사이에서의 long gap 방전은 확장될수록 유지 방전에 있어서 VUV 생성 효율의 개선 효과는 커진다고 볼 수 있다.



(a) 어드레스 전극에 보조 펄스를 적용하지 않은 경우  
(a) Without auxiliary pulse on the address electrode



(b) 어드레스 전극에 보조 펄스를 적용한 경우  
(b) With auxiliary pulse on the address electrode

그림 7. 실험 결과  
Fig. 7. Experimental result



## References

- [1] H. S. Jeong, B. J. Shin, and K.-W. Whang, "Two-dimensional multifluid modeling of the He-Xe discharge in an ac plasma display panel," *IEEE Trans. Plasma Sci.*, Vol. 27, No. 1, pp. 171-181, 1999.
- [2] C. Punset, S. Cany, and J. P. Boeuf, "Addressing and sustaining in ac coplanar plasma display panels," *J. Appl. Phys.*, Vol. 86, No. 1, pp. 124-133, 1999.
- [3] Kyung Cheol Choi, Nam Hoon Shin, Kyo Sung Lee, Bhum Jae Shin, 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.
- [4] 서정현, 교류형 플라즈마 표시기에서의 He-Ne-Xe 혼합 가스의 방전특성 연구, 서울대학교 대학원 공학박사 학위논문, 2000.
- [5] 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.
- [6] Tae Jun Kim, Joong Kyun Kim, and Ki-Woong Whang, "High Luminous Efficacy Characteristics of Long Gap Structure AC Plasma Display Panel with Self-Ignition Electrodes," *IEEE Trans. Plasma Sci.*, Vol. 35, No. 6, pp. 1775-1780, December 2008.
- [7] Heung-Sik Tae, Hyun Ju Seo, Dong-Cheol Jeong, Jeung Hyun Seo, Hyun Kim, Ki-Woong Whang, "Analysis of Microdischarge Characteristics Induced by Synchronized Auxiliary Address Pulse Based on Cross-Sectional Infrared Observation in AC Plasma Display Panel," *IEEE Trans. Plasma Sci.*, Vol. 33, No. 2, pp. 993-999, 2005.

## ◇ 저자소개 ◇

**배현숙 (裴賢淑)**

1977년 5월 15일생. 2001~2003년 서울대학교 공과대학 전기·컴퓨터공학부 졸업(석사). 2003~2008년 서울대학교 공과대학 전기·컴퓨터공학부 졸업(박사). 2008년~현재 서울대학교 공과대학 전기·컴퓨터공학부 연구원.

**황기웅 (黃琪雄)**

1950년 7월 28일생. 1974~1976년 University of California, Los Angeles(UCLA), 물리학과 졸업(석사). 1976~1981년 University of California, Los Angeles (UCLA), 물리학과 졸업(박사). 1981~1982년 UCLA 플라즈마 연구소 연구원. 1982~1983년 Maryland 대학 플라즈마 연구소 연구원. 1983년~현재 서울대학교 공과대학 전기·컴퓨터공학부 교수.