

ICP 제논 램프의 가스 압력과 공급 전력에 따른 광학적 특성연구

최기승, 이종찬, 최용성, 박대희
원광대학교, 금호전기(주)

The study of optical properties by gas pressure and applied power in ICP Xe lamp

Gi-Seung Choi, Jung-Chan Lee, Yong-Sung Choi, Dae-Hee Park
Wonkwang university, Kumho Electric, INC

Abstract - The problem of lamp life have being solved before electrode-less lamps were developed. But, mercury is using till now. So people are concerned about friendly-environmental lamp, and many researcher hardly study it.

In this paper, an ICP lamp which is using Xe gas and Ne gas was designed after optical properties were measured and analyzed. As a result, H-mode properties and penning effect properties were known. Also xenon and neon of properties analyze by spectrum.

1. 서 론

ICP를 이용한 광원이 가지고 있는 여러 가지 장점으로 무전극 램프의 상업화를 실현하였다. 하지만 현재 개발되어있는 대표적 무전극 형광램프인 Philips의 QL Lamp, Osram의 Endura, GE의 Genura, Matsushita의 Everlight와 같은 제품들은 기존 형광램프와 같이 수은(Hg)을 사용하고 있기 때문에 환경문제를 야기 시킬 수 있다.[1] 따라서 수은을 사용하지 않는 광원시스템에 대한 연구가 광원분야의 큰 화두가 되고 있다. UV의 매체인 수은을 대체할 물질로 제논(Xe), 중수소(D₂), 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂) 등이 있다. 이 가운데 제논(Xe)은 수은과는 달리 친 환경적이고, 주위 온도에 의한 광 방출 특성에 영향을 주지 않으며 UV부터 가시광선까지 넓은 광 특성을 가지고 있다[2] 따라서 제논(Xe)의 이러한 특성을 이용하여 무형광체 램프로 설계가 가능하다.[3]

본 논문에서는 ICP를 이용한 램프로써, 제논(Xe)가스와 제논(Xe)과 네온(Ne)가스와의 혼합가스를 이용하여 램프를 설계 하였고, 가스의 압력과 혼합 비율을 변화하며 입력전력을 변화시켜 가면서 램프의 발광 특성을 측정 분석 하였다.

2. 본 론

2.1 실험 장치

본 실험에서 사용한 방전관의 구조와 실험장치의 개략도는 그림 1과 그림 2와 같다. 기본구성은 13.56MHz의 고주파를 발생시키는 RF 전원과 플라즈마 및 부하 임피던스와의 매칭을 위한 매칭 회로, 유도코일, RF전력에 의해 발광이 발생하는 방전관(160mm × φ 28mm)과 진공을 발생 및 유지 시키는 진공 시스템, 램프에 유입되는 제논의 양을 조절하는 유량조절장치(Mass Flow Controller: MFC)로 이루어진다.

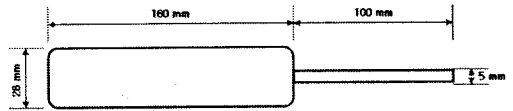


그림 1. 방전관의 구조

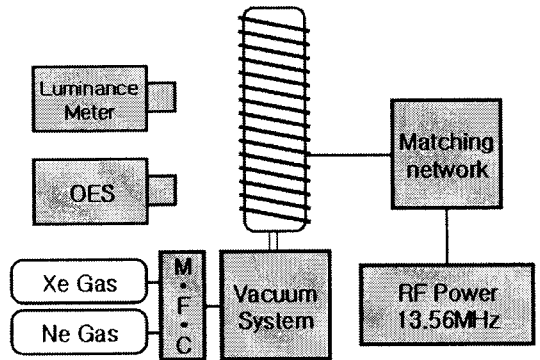


그림 2. 실험장치 개략도

2.2 실험 방법

가스의 원활한 방전을 위해 방전관은 길이 160mm, 외경 28mm인 Soda-lime 재질의 원통형 방전관과 배기 및 가스 주입을 위한 길이 100mm, 외경 5mm의 배기관으로 설계 및 제작을 하였다. 방전관의 외부에서 13.56MHz RF전력을 공급 받는 유도 코일은 RF전원과 플라즈마를 전자기적으로 결합시키는 유도결합소자로서, 외경이 1mmφ인 구리선을 8mm간격으로 15회 나선형(Helical)으로 방전관 외부에 감아서 사용하였다. RF 전원에서 발생하는 13.56MHz의 고주파는 매칭회로를 통해 유도 코일의 한쪽 끝으로 보내어지고 다른 반대쪽은 접지되어 있다. 또한 본 실험에서는 순도 99.999%의 네온(Ne)가스와 순도 99.999%의 제논(Xe)가스를 사용하였다.

첫 번째 실험에서는 제논(Xe) 가스를 0.1Torr에서 0.4Torr 까지 0.1Torr 단위로 주입하였다. 주입방법은 로터리 펌프와 터보펌프를 사용하여 400℃에서 1.0 × 10⁻⁶ Torr까지 고온 배기시킨 후 유지 시킨 후, 유량조절장치(M.F.C)를 이용하여 일정량의 제논(Xe)가스를 방전관 안에 배기관을 통하여 주입하였다. 가스 주입 후 1분의 가스 안정화 시간을 갖은 후 13.56MHz의 고주파발생장치와 매칭회로를 이용하여 방전관 외부의 코일에 입력 전력을 30W에서 200W까지 공급하여 방전을 유도하였다.

두 번째 실험에서는 제논(Xe) 가스와 네온(Ne) 가스를

1:1, 1:2, 2:1의 비율로 혼합 하여 0.1Torr에서 0.5Torr 까지 0.1Torr 단위로 첫 번째 실험의 주입 방법과 동일하게 혼합가스를 주입하였다. 방전관의 방전도 같은 방법으로 방전을 유도하였다.

광학적 측정은 Minolta LS100을 이용하여 휘도를 측정 하였고, PSI DARS2000을 이용하여 스펙트럼을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

순도 99.999%의 제논(Xe)가스를 방전관에 0.1Torr 부터 0.4Torr까지 주입 하여 13.56MHz RF Power를 30W 부터 200W 까지 변화시켜 가면서 휘도를 측정한 결과를 그림 3에 나타내었다. 제논가스가 0.1Torr일 때 가장 좋은 휘도특성을 보였고, 입력전력이 증가 할수록 휘도는 일정하게 증가 하였다. 특히 E-모드에서 H-모드로 전환 될 때 급격하게 휘도가 증가하는 것을 알 수 있었다. 가스 압력이 증가함에 따라 E-모드로부터 H-모드로 전환 하는데 더 많은 전력이 필요 하였다. 하지만 가스 압력이 증가함에 따라 휘도 또한 감소하는 특징을 보였다. 이는 제논가스 압력이 증가 할수록 가스분자간의 충돌로 인한 에너지 손실이 높아졌을 것으로 사료된다.

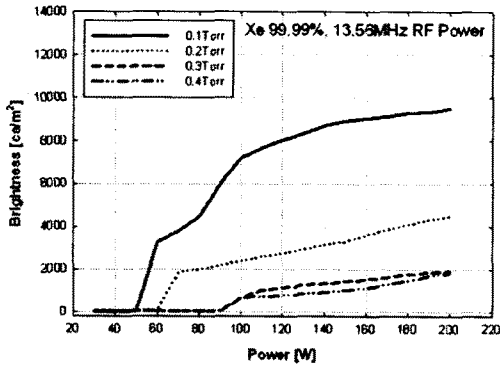


그림 3. 제논가스 압력과 입력전력에 대한 휘도특성

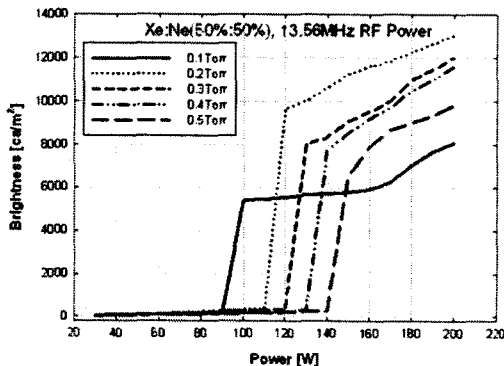


그림 4. 제논과 네온의 1:1 혼합가스 압력과 입력전력에 따른 휘도특성

제논(Xe)가스와 네온(Ne)가스를 1:1로 혼합하여 총 가스 압력이 0.1Torr부터 0.5Torr까지 주입하여, 첫 번째 실험과 같은 방법으로 휘도특성을 측정하여 그 결과를 그림 4에 나타내었다. 총 가스 압력이 0.1Torr일 때 H-모드 전환이 가장 빨랐지만 모드 전환 후 휘도의 증가는 크지 않았다. 이러한 결과는 여기 가스인 제논가스의 양이 충분하지 않았기 때문으로 사료된다. 총 가스의 압

력이 0.2Torr일 때 110W에서 모드 전환을 하였고 휘도 특성은 가장 우수 했다. 이는 발광기에 적당한 양의 여기가스와 네온 가스의 패닝효과가 특성을 좋게 한 것으로 사료된다. 총 가스의 압력이 증가 할수록 모드 전환 전력이 증가 하고 휘도는 감소하였다.

제논(Xe)가스와 네온(Ne)가스의 혼합 비율이 2:1일 때의 휘도 특성은 그림 5와 같다. 모든 혼합가스 압력에 대해 30W의 입력전력이 인가되었을 때 H-모드로 전환이 되어 낮은 전력에서도 1000cd/m² 이상의 휘도가 측정 되었다. 이러한 특징은 효과적인 패닝효과로 인해 H-모드 전환에 필요한 최소에너지가 낮아진 것으로 유추 된다. 한편, 혼합가스의 양이 증가함에 따라, 입력 전력이 증가함에 따라 휘도는 증가하는 특성을 보였다. 입력전력에 따른 휘도특성을 보면 Dimming특성이 좋은 혼합비율을 알 수 있다. 따라서 Dimming이 필요한 램프에 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

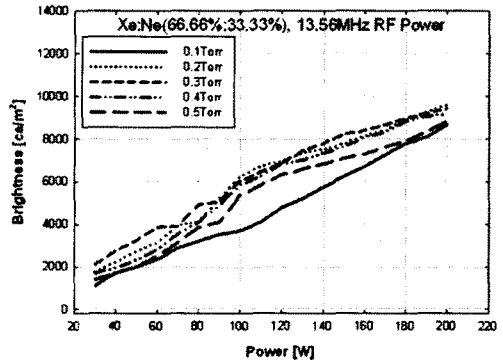


그림 5. 제논과 네온의 2:1 혼합가스 압력과 입력전력에 따른 휘도특성

제논(Xe)가스와 네온(Ne)가스의 혼합비율이 1:2일 때 휘도특성은 그림 6에 나타내었다. 모든 혼합가스 압력에 대해 H-모드의 전환이 비교적 쉽게 일어났지만 휘도의 증가는 크지 않았다. 그 이유는 제논(Xe)가스가 아닌 네온(Ne)가스가 주 여기가스로 작용했기 때문으로 사료 된다. 이러한 결과는 제논(Xe)가스가 여기 되기 이전에 상대적으로 작은 에너지로 여기 되는 네온(Ne)가스가 에너지를 흡수하여 발광함으로써 제논을 여기 시키기 위한 에너지가 축적되지 않고 네온(Ne)가스의 발광에 거의 모든 에너지를 소비했을 것으로 유추된다.

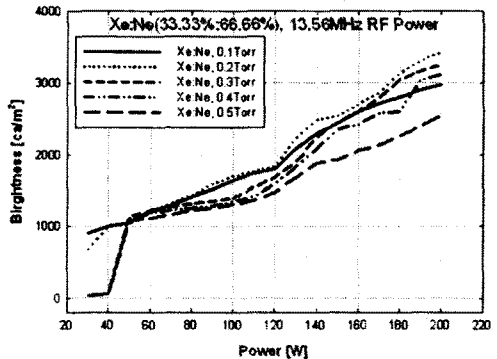


그림 6. 제논과 네온의 1:2 혼합가스 압력과 입력전력에 따른 휘도특성

그림 7은 각각의 실험에서 가스의 압력이 0.1Torr로 주입 하고 입력전력을 200W로 방전시켜 그 스펙트럼을

측정한 결과 이다. 그림 7 (a)는 제논(Xe)가스만을 주입하였을 경우의 스펙트럼 측정 결과이다. 거의 모든 가시영역에서 발광이 일어남을 알 수 있었다. 이것은 제논(Xe)가스의 발광 특성으로, 형광체를 사용하지 않는 램프에서도 고연색성의 램프를 제작할 수 있다[3]. 그림 7 (b)는 1:1의 혼합비율로 제논(Xe)과 네온(Ne)가스를 혼합하여 방전시킨 스펙트럼의 결과를 보여준다. 제논(Xe)가스만을 사용했을 때 보다 붉은색으로 방전되었는데, 스펙트럼을 통해 760nm, 660nm, 590nm 파장들이 보다 강하게 발광됨을 알 수 있었다. 그림 7 (c)는 제논(Xe)과 네온(Ne)가스의 혼합비가 2:1의 경우다. 약간의 네온(Ne)가스 발광 스펙트럼을 가지고 있고 있지만 전체적으로 고른 스펙트럼 분포를 보이고 있으며 390nm 파장의 발광 강도가 높게 나타났다. 이것은 혼합된 두 가스의 분자의 패닝효과에서, 여기된 네온(Ne)원자가 390nm의 파장을 발산하는 제논(Xe)원자의 전자궤도에 많은 영향을 주었을 것으로 사료 된다. 그림 7 (d)는 혼합비율이 1:2일 때의 발광 스펙트럼이다. 그림 6의 실험 결과에서와 같이 네온(Ne)만의 의한 방전으로만 볼 수 있는 스펙트럼이 측정 되었다. 다른 스펙트럼에서 볼 수 있었던 제논(Xe)방전의 470nm, 390nm 파장의 강도가 매우 약하고, 네온(Ne)방전의 특징적인 760nm, 660nm, 590nm 파장의 강도가 매우 강하게 나타났다. 이러한 결과는 1:2 혼합 비율에서의 방전은 네온(Ne)가스의 방전 특성이 강함을 알 수 있었다.

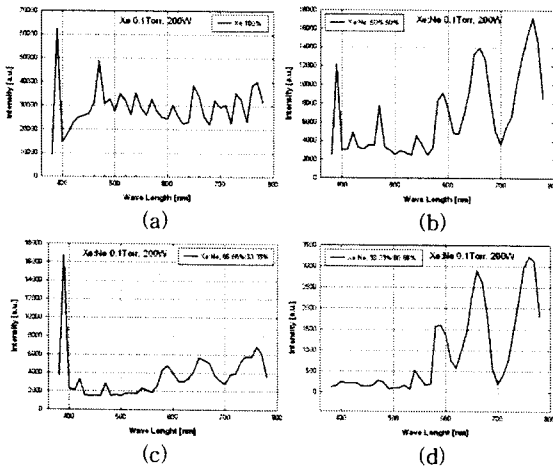


그림 7. 제논과 네온가스의 혼합비에 따른 스펙트럼 특성

4. 결 론

본 논문에서는 ICP를 이용한 램프로서, 제논(Xe)가스와 제논(Xe)과 네온(Ne)가스와의 혼합가스를 이용하여 램프를 설계 하였고, 가스의 압력과 혼합 비율을 변화하며 입력전력을 변화시켜 가면서 램프의 발광 특성을 측정 분석하고자 하였다. 제논(Xe)가스와 네온(Ne)가스의 혼합비를 1:0, 1:1, 1:2, 2:1의 비율로 0.1Torr부터 0.5Torr까지 압력을 변화시키면서, 13.56MHz RF Power를 이용하여 30W부터 200W까지 전력을 증가 시켜 휘도특성을 측정 분석 하였고, 각각의 혼합비에서 0.1Torr의 가스를 주입 하여 200W의 전력으로 방전 시켜 스펙트럼을 측정 분석 하였다. 위의 실험 결과로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. E-모드에서 H-모드로 모드 변환할 때 휘도가 급격하게 상승하는 것을 알 수 있었다.
2. 제논(Xe)과 네온(Ne)의 1:1의 혼합가스를 사용할 때 0.2Torr에서 가장 높은 13050 ca/m²의 휘도가 측정되

었고, 2:1의 혼합가스를 사용할 때에는 휘도는 1:1 혼합비보다 상대적으로 다소 낮았으나, 전력 변화에 따른 휘도의 변화가 일정하여 램프의 Dimming에 용이한 혼합비율이 측정 되었다. 또한 1:2의 혼합비율에서는 제논(Xe)의 방전보다는 네온(Ne)에 의한 방전 특성이 강하게 나타났다. 이러한 결과는 스펙트럼 측정 결과와도 일치하였다.

3. 제논(Xe)만을 사용하였을 경우 스펙트럼을 보면, 거의 모든 가시영역에서 발광이 고르게 되었고 470nm, 390nm의 특징적인 강한 파장이 측정되었다. 제논(Xe)의 발광 특성은 연색성이 좋아 형광체를 사용하지 않는 램프로 디자인이 가능한 특성을 보였다. 또한 혼합가스에서는 네온(Ne)방전 760nm, 660nm, 590nm의 파장이 특징적인 파장임을 알 수 있었다. 이것은 제논(Xe)방전과 네온(Ne)방전의 특색으로 생각하여 혼합가스의 스펙트럼 분석과 해석에 이용할 수 있을 것으로 생각된다.

감사의글

이 논문은 산업자원부에서 시행하는 대학전력연구센터 육성 지원사업(I-2004-0-074-0-00)에 의해 작성되었습니다.

{참 고 문 헌}

- [1] Ahmad Nazri, Shuji Inui, Hideki Motomura, Masafumi Jinno, Masaharu Aono. "Application of ICP in Developing Mercury-less Light Sources" IEEJ Trans. FM, Vol.125, No.3, 2005
- [2] Depond, J.M, "High voltage, mercury-free fluorescent lamps with cold cathodes: state of art and future developments" Industry Applications Conference, 2000. Conference Record of the 2000 IEEE , Vol.5, p.3322-3325, 8-12 Oct. 2000
- [3] Masafumi Jinno, Hisayoshi Kurokawa and Masaharu Aono, " Fundamental Research on Mercuryless Rare Gas Fluorescent Lamps at Pulsed Discharge", The 1998 IEEE volume 3, Vol3, p.:2151 - 2157, 12-15 Oct. 1998
- [4] Wharmby, D.O., "Electrodeless lamps for lighting: a review", Science, Measurement and Technology, IEE Proceedings A , Vol.140, Issue 6, p. 465-473, Nov. (1993).
- [5] Anнемie Bogaerts, Eric Neyts, Renaat Gilbels, Joost van der Mullen: "Gas Discharge and their applications", Atomic Spectroscopy Vol.57, pp. 640-642 (2002)
- [6] Masaki Shinomiya, Futoshi Okamoto: "Electrodeless Fluorescent Lamp", "Everlight", Matsushita Technical Report, pp.3-7 (1994), in Japanese