

## 용량이행형 소형 XeCl레이저 제작및 출력특성

김동환 · 주 홍 · 최상삼

한국과학기술연구원, 응용물리연구소

이 수 만

인하대학교, 이과대학 물리학과

(1992년 11월 14일 받음)

용량 이행형 방전여기에 의한 소형 XeCl레이저를 제작하고, 가스 혼합비에 따른 출력특성을 조사하였다. 내장형 capacitor에 의한 자동 예비전리 방식과 2.7 cm 간격의 Chang형상으로 가공된 전극구조의 레이저를 구성하여 2.7 cm×1.5 cm 크기의 출력 빔을 얻었고, Xe과 HCl의 농도 변화 및 완충 기체의 종류에 따른 최대 출력 에너지 및 최대 효율 조건을 조사하였다. 최대 레이저 펄스 에너지는 Ne 완충기체를 사용시 230 mJ이며, 단위 방전 체적당 1.1 J//l의 에너지를 얻었으며, 최대 에너지 효율은 1.6%이었다. 1:3의 낮은 비율의 피-킹 캐패시턴스의 구성에 의해 레이저 펄스폭은 장펄스 효과를 나타내 foot-to-foot 200 ns로 측정되었다.

### I. 서 론

현재의 상용화된 방전 여기형 엑시머레이저는 1976년 처음 발전에<sup>[1]</sup> 성공한 뒤로 다른 어느 레이저보다도 그 발전 속도가 급격히 이루어졌다. 이는 오늘날 과학기술 및 산업전반에 걸쳐 강력한 자외선의 응용이 요구되었기 때문이다. 현재, 엑시머레이저는 자외선 광원중에서는 유일하게 고출력을 내고 있으며, 고집적 반도체 Chip 제작을 위한 엑시머 레이저 리소그래피<sup>[2]</sup>, 대면적 LCD 구동회로 기판 제작에 엑시머 레이저를 이용한 비정질 반도체 재결정화 처리<sup>[3]</sup>, 적외선 레이저의 단점을 극복한 세라믹, 글라스 등의 마킹<sup>[4]</sup>, 안과 시술 의료용 레이저로서 그 응용성이 날로 증가하고 있는 추세이다. 이러한 다양한 응용을 위하여 이미 유럽, 일본 등 선진 공업국들은 대규모의 국가 전략적 과제로서 고성능 엑시머 레이저 개발에 열중하고 있다. 일본의 AMMTRA, 유럽의 EUREKA 프로젝트가 그 실제 예이다. 이들의 산업용 엑시머 레이저를 개발함에 있어서 중요한 개발 목표로는 응용분야와 생산성을 고려하여 고출력 엑시머레이저 개발(2 kW), 고반복동작화(5 kHz), 고효율 방전여기 기술, 레이저빔의 고품질화, 출력의 안정도(<1%), 레이저 매질의 장 수명화(109 shots)에 집중되어 있다.

엑시머 레이저는  $10^{-9}$ 초 정도의 극히 불완전한 엑시머 분자에 의해 레이저 천이가 이루어지므로 단위체적당 MW 정도의, 높은 밀도의 펌핑이 요구된다. 따라서 이러한 전원 공급장치의 문제로 인해 다른 산업용 레이저에 비해 가장 고출력을 얻기가 힘들다. 그중 XeCl 분자가 가장 긴 상준위 여기 시간을 가지므로 대출력 및 고반복 동작 엑시머 레이저 구성에 많이 시도되고 있다.

각 연구 그룹들은 고출력화를 위해서 펌핑 강도를 높이기 위해 넓은 전극 간격 배치와 높은 압력의 혼합 가스에서 레이저 동작이 되도록 방전관을 설계하며, 고효율 펌핑 회로 개발에 역점을 두고 있고, 고전압, 고전류에 견디는 스위칭 소자 개발 및 강한 전자파 노이즈 문제가 해결되어야 할 과제이다.

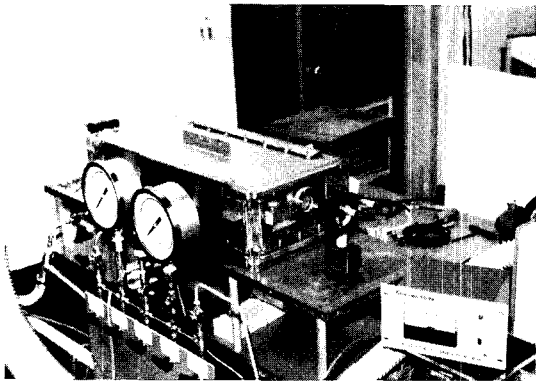
소형 엑시머 레이저 연구로, M. Steyer<sup>[5]</sup> 등은 X-선 예비 전리 방식에 의해 4 cm×5 cm의 빔 단면적에서 3 J의 에너지를 얻었고, Borisov<sup>[6]</sup> 등은 dielectric surface creeping 방전을 이용하여 10 cm×7 cm의 빔 단면적에서 무려 10 J의 에너지를 얻었다. 그러나, 이들은 50 kV 이상의 고전압에서 레이저가 동작하는 대형 시스템으로 구성하였다.

본 논문은 비교적 낮은 전압(25 kV~38 kV)에서 동작하는 소형의 자동 선전리 방전 여기형 엑시머레이저를

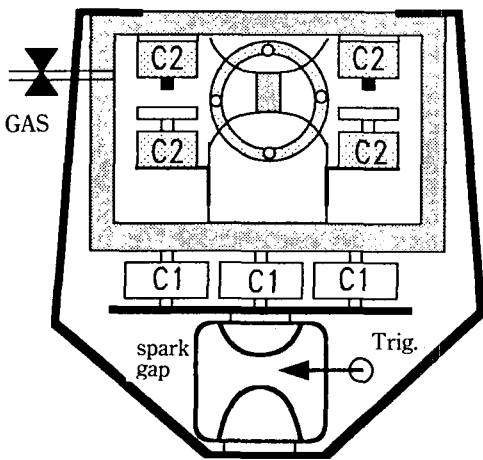
제작하여 이미 결정된 레이저 chamber 구조에서 최대의 펄스 에너지를 얻기 위하여 선전리 핀과 주전극 사이의 간격 및 주전극 간격을 변화시키면서 주변과의 코로나 방전이 없는 최대의 전극 간격을 구성하고 가스 혼합비에 따른 출력 특성을 조사하였다.

**II. 방전 여기회로 구성 및 XeCl 레이저 head 제작**

실험에 사용된 XeCl 레이저는 빠른 펄핑을 유도할 수 있는 용량 이행회로로 구성하고 자외선 자동 선전리 방전 여기 방식으로 제작하였다. 그림 1은 제작된 레이저의 외관과 내부 구성의 개략도이다.



(a)



| Laser Head

(b)

그림 1. Photograph of fabricated compact XeCl laser (a) and schematic of internal structure (b).

그림 2는 방전 회로도를 나타내며 레이저 동작은 먼저 고전압 전원 장치에 의해 C1(main capacitor)에 충전된 전하가 spark-gap 스위치가 ON 되면 C2(peaking capacitor)로 옮겨가는데 이때 전류 통로에 작은 간극이 존재하면 이를 통해 강력한 자외선을 방출하면서 에너지 전달이 1차적으로 이루어지고 이는 UV-선전리에 의해 주방전에 필요한 초기 전자를 형성시킨다. 곧이어 C2의 전압이 주전극간에 breakdown이 일어날 정도로 증가하면 짧은 순간 글로우 방전이 형성되어 엑시머 레이저 발진이 이루어진다.

XeCl 레이저의 상준위 여기 시간은 11 ns로서 대단히 짧기 때문에 적어도 단위 체적당 메가와트 정도의 펄핑 강도가 요구된다. 이 정도의 강력한 펄핑을 충족시키기 위해서는 낮은 인덕턴스의 방전 회로 구성이 필수적이다. 이를 위하여 캐패시터로부터 전류 흐름은 구리판을 통하여 흐르게 구성하고, 피-킹 캐패시터(peaking capacitor)로부터 주전극으로의 빠른 방전 전류를 유도하기 위해 피-킹 캐패시터를 레이저 용기 내부에 배치하는 구조로 제작하였다. 이러한 구조는 피-킹 캐패시터의 외부 배치에 비해 많은 진공 feedthrough가 불필요하여 가스 누설 가능성을 적게 해주고, 또 대단히 작은 방전 인덕턴스를 이루게하여 빠른 방전에 의한 고효율 달성이라는 장점이 있다. 그러나 한편으로는 엑시머 가스 캐패시터 표면과의 반응으로 인해 레이저 매질의 장수명화에 영향을 주지만 본 실험동안 심각한 반응 현상은 관측되지 않았다.

주전극은 SUS-314 재질을 사용하여 정밀 CNC 기계 (computer numerical controlled machine)에 의한 Chang 형상<sup>[7]</sup>으로 가공하였다. Chang 형상은 주전극 사이의

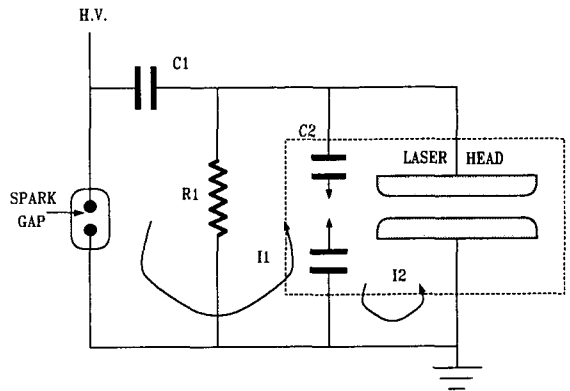


그림 2. Discharge circuit of a capacitor-transfer XeCl laser with automatic preionization.

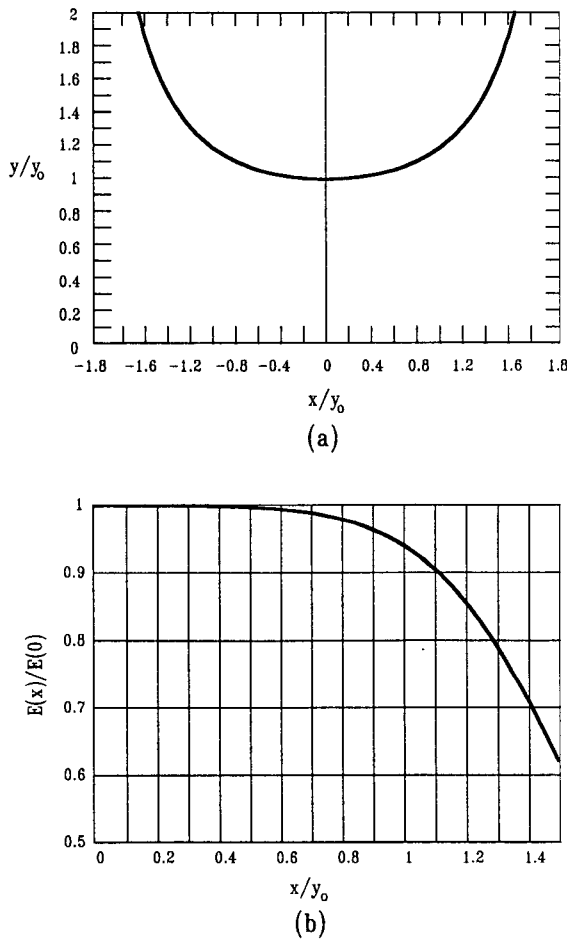


그림 3. Chang electrode shape (a) and electric field distribution (b) from the center of electrode. The parameter  $k=0.14067$  for the normalized electrode gap is used.

균일 전기장 분포를 형성시켜주기 위한 매개 변수로 표현되는 해석적 표현을 가지고 있어서 각 전극 표면에서의 전기장 세기를 정량적으로 예측할 수 있는 장점이 있다. 그림 3은 규격화된 전극 간격에 대하여 전극 중심으로부터 전기장의 세기가 99%가 되는 위치에서 폭이 1.4cm가 되도록  $k=0.14067$ 로 설계한 Chang 형상과 전기장의 세기 분포를 나타낸다. 전극폭은 5cm이고 길이는 50cm이며 주전극 간격은 가변할 수 있게 제작하여 1.8cm, 2.7cm의 경우에 대해 방전 실험하였다. 이때 출력빔의 폭은 주전극 간격 1.8cm에 대해 0.8cm이고, 2.7cm에 대해 1.5cm로 측정되었다. 빔 크기는 출력경으로부터 10cm의 거리에서 모눈종이에 나타난 출력빔의

형광으로부터 측정하였다. 이들 방전폭은 그림 3에서 각각 0.88cm, 1.1cm에 해당하므로, 이는 레이저 동작을 일으키는 글로우 방전이 주전극 중심으로부터 전기장의 세기가 99% 이내에서 이루어짐을 알 수 있다. 이 결과는 Maeda 등은<sup>[8]</sup> XeCl 레이저 실험에서 97% 이내의 전기장 세기에서 글로우 방전이 이루어졌다고 발표하였으며, 상대적으로 우리의 결과는 방전폭이 좁은 영역에서 레이저 방전이 이루어졌다.

본 실험에서 사용된 방전 여기용 캐패시터는 내전압이 40kV이고, 낮은 인덕턴스를 갖는 SrTiO<sub>3</sub>계의 세라믹 형태의 TDK사 제품을 사용하였다. 캐패시터 충전용 전원 장치는 a.e 사 제품(402L)의 스위칭 모드 power supply를 사용하였는데 가변 전압은 0~40kV이고 평균 공급 전류는 200mA이다. 주 캐패시터(C1)은 2nF 단위의 13개를 병렬 연결하여 26nF의 용량을 갖도록 하였고, 피-킹 캐패시터(C2)는 0.7nF 단위를 직렬로 연결하고 이것을 다시 좌우 2열로 12개씩 배열하였다. 따라서 C2의 전체 용량은 8.4nF이다. 여기서, C2를 단층으로만 배열하여 16.8nF으로 구성하면 주전극간의 파괴 전압(breakdown voltage)이 주변과의 코로나 방전을 일으킬 정도로 증가하여 불가피하게 C2를 선전리 핀을 사이에 두고 직렬 연결하여 C2에 걸리는 파괴 전압을 1/2로 줄여야 했다.

고압력 기체방전에서는 통상 전자의 이동도는 단위 센티미터당 10<sup>-6</sup>초가 걸린다. 따라서 10<sup>-9</sup>초 정도의 빠른 방전을 유도하려면 주방전이 개시되기 이전에 미리 10<sup>7</sup>~10<sup>8</sup>/cm<sup>3</sup> 정도의 초기 전자를 형성시켜 주어야 한다. 엑시머 레이저에서도 글로우 방전을 위해서는 반드시 선전리에 의한 초기전자 형성이 있어야 하는데, 본실험에서 채택한 자동 선전리 방식은 C1에 축적된 에너지가 C2로 전달되면서 전류 경로 사이의 간극(gap)을 통해 자외선이 방출되어 레이저 기체의 이온화를 일으키는 방법이다. 그 구성이 간단하고 글로우 방전에 필요한 충분한 초기 전자를 형성시켜 주므로 상용 레이저의 선전리 방식은 거의 자외선에 의한 방법을 채택하고 있다. 그런데, 선전리 핀간격은 C1에서 C2로의 에너지 전달시 회로 인덕턴스에 영향을 주므로 균일 방전을 위한 예비 전리 효과만 있으면 가능한한 가깝게 하는 것이 좋다. 본실험에서는 이를 고려하여 2mm로 배치하였다. 이와같은 전극 구성에서 방전시 각각의 선전리 효과가 동시 방전성이 우수하고 주전극 사이의 균일 방전이 이루어짐을 보였다.

XeCl 엑시머 분자는 유도방출 단면적이  $2.6 \times 10^{-16} \text{ cm}^2$ 이고 상준위 여기 시간이 11ns이므로  $0.01 \text{ cm}^{-1}$ 의 발진

이득을 얻으려면 펌핑 강도는  $P = E_g / (\sigma \tau \eta)$ 로부터 적어도  $0.2 \text{ MW/cm}^3$  정도가 필요하다<sup>[9]</sup>. 여기서,  $E_g$  = 광자 에너지(4 eV),  $g$  = 발진 이득,  $\eta$  = 출력효율(1%)를 사용하였다. 따라서 주전극간의 방전부피가  $203 \text{ cm}^3$  ( $2.7 \times 1.5 \times 50 \text{ cm}^3$ )일때 양단에 걸리는 전압이 30 kV이면 이때 흐르는 전류는 적어도 1.4 kA나 된다. 이 정도의 고전류, 고전압에 견디는 스위칭 소자는 spark gap과 thyatron만이 사용 가능한데 본실험에서는 직류 유지 전압(DC hold-off voltage)이 50 kV인 EEV사의 spark gap(GXG 500L)을 사용하였다. 이 spark gap은 단시간 동안은 100 Hz까지 반복동작할 수있으며 25 Hz까지는 연속 동작이 가능한 스위칭 소자이다.

방전 용기는 내부 방전 상태를 관측 가능하도록 내부 용적이  $20 \text{ cm} \times 11 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$ 이고, 두께 5 cm의 아크릴 재질을 사용하여 제작하였다. 전극과 윈도우의 접합 부분은 할로겐 가스에 반응이 없는 바이톤 O-링을 사용하여 3.0 기압까지 압력 시험을 하여 가스 누설이 없음을 확인하였다. 그런데 이 아크릴 재질은 실험 도중 고전압 코로나 방전과 방전시 충격파로 인해 내부 벽면에 많은 미세한 균열들을 일으킴을 관측하였다.

### III. 공진기 구성 및 출력빔의 장펄스 효과

공진기 구성은 1 m 거리의 외부 공진기 형태로하여 곡률 반경이 4 m인 전반사경(99.5%)와 곡률 반경이 무한대(flat)인 무코-팅의 4% 반사율의  $\text{CaF}_2$  를 사용하였다.

자동 선전리형 방전 여기 엑시머레이저 펄스폭은 저인덕턴스 회로구성에 의해 고속방전이 이루어지므로 보통 20 ns~30 ns를 나타낸다. 이경우 1 m의 공진기 내에서 엑시머 광자는 약 3회 정도의 왕복 운동만이 가능하므로 출력경의 최적반사율은 10% 미만이다. 그림 4는 출력경 반사율에 따른 출력 에너지의 상대적인 크기를 나타낸 것이다.

그러나 본실험에서는 주전극 간격이 2.7 cm일때 1:3 정도의 낮은 C2/C1 비율로 배열하였더니 출력 펄스폭이 foot-to-foot 200 ns로, 펄스 형상이 요철모양을 나타내는 장펄스 효과를 가져왔다. 그림 5는 pyroelectric pulse detector(Molelectron사 제품)과 200 MHz의 Tektronics 오실로스코프를 사용하여 측정된 출력 펄스를 HP-Digitizer로 처리하여 나타내었다.

여기서 펄스 형상의 굴곡은 주방전 동안에 피-킹 캐패시터의 충, 방전에 의한 효과이며, 이는 M.A. Franceschini 등<sup>[10]</sup>이 발표한 자동 선전리 방전 여기 레이저에서 C2/C1의 비율을 낮게 하면 주방전 개시 전에 순간적으로

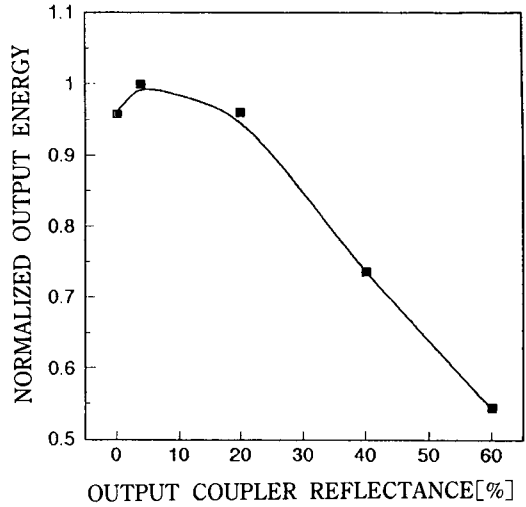


그림 4. Normalized output energy as a function of the reflectance of output coupler.

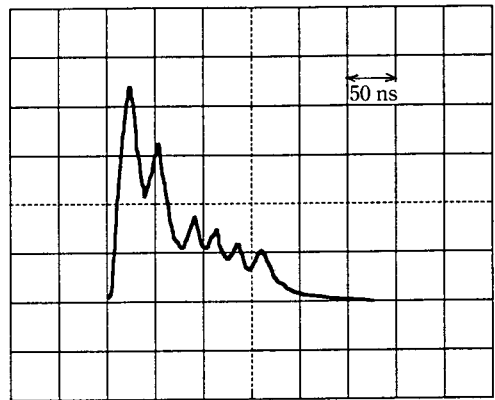


그림 5. Optical pulse shape of the developed XeCl laser emission. Main and peaking capacitance are 26 nF, 8.4 nF respectively. Horizontal time scale is 50 ns per division and vertical scale is 50 mV per division.

피-킹 캐패시터에 두배의 높은 전압이 인가되어 prepulse 역할을 하게되고, 곧이어 C1에 남아있는 대부분의 에너지가 직접 주전극을 통해 느린 주방전이 이루어져서 prepulse 효과에 의한 장펄스 동작이 된다는 사실이 입증되었다. 본 장치에서 주방전 인덕턴스는 주방전 루프(loop)의 기하학적인 인덕턴스 계산으로부터 126 nH가 되므로, 정량적인 주방전 시간은  $\tau = \pi(LC)^{1/2}$ 에서 57 ns 정도이다. 실험 결과(그림 5)에서 처음 두 피-크 파형만의 FWHM은 60 ns이므로 정량적인 계산 결과와 일치한다.

일반적으로 prepulse에 의한 장펄스 레이저 동작은 방전 여기 엑시머 레이저중 가장 높은 에너지 효율을 실현시킨다. 실험에서는 Ne 완충가스 사용시 최대 출력에너지는 230 mJ이고 최대 효율은 1.6%를 얻었다. 이때 장펄스 효과로 광자의 공진기내 왕복 운동 횟수가 증가했으므로 4% 반사율의 출력경은 최적화된 수치가 아니므로 적어도 10% 이상의 반사율의 출력경을 사용하면 더 큰 출력 에너지를 얻을 것으로 생각된다.

**IV. 개스 혼합비에 따른 레이저 출력 특성**

엑시머 레이저는 제작된 레이저의 내부구조 및 전극 형상과 선전리 구성 방식에 따라 출력의 최적화를 나타내는 성분 가스들의 부분압력비가 각기 다르므로 HCl과 Xe의 부분 압력 및 전체 압력의 변화에 따른 출력 특성을 조사할 필요성이 있다. 여기서 출력 에너지는 레이저를 2Hz로 고정 동작하에서 Molelectron사 제품(J25 LP)의 에너지 미터기를 사용하여 측정하였다. 할로젠 가스는 부식성이 강하고 다른 물질과 반응성이 강하므로 가스 배기시 진공 펌프 오일을 오염시키므로 Char Coal을 사용하여 제작한 할로젠 필터로써 펌프의 오염을 방지하였다. 레이저 가스를 주입하기 전에 레이저 용기의

진공도는 약 1 torr 정도로 만든 후 완충 기체-HCl-Xe-완충 기체 순으로 주입하였다.

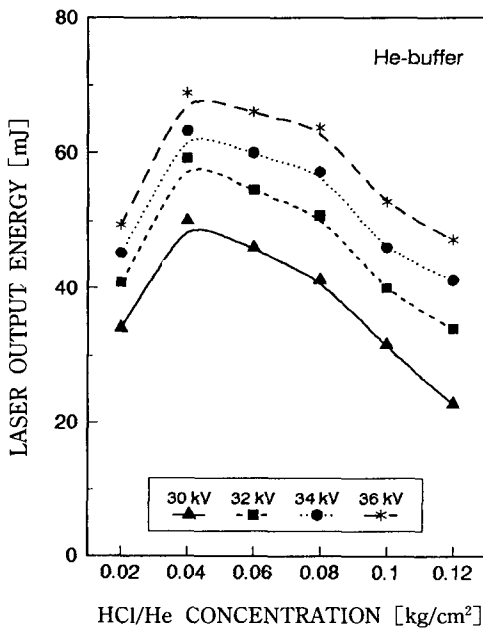
**1. HCl/He의 부분압력 변화**

그림 6은 HCl/He (He에 5%로 희석된 HCl 가스)의 부분압력 변화와 입력 전압에 따른 출력 에너지를 He과 Ne 완충 가스에 대해 나타낸 것이다.

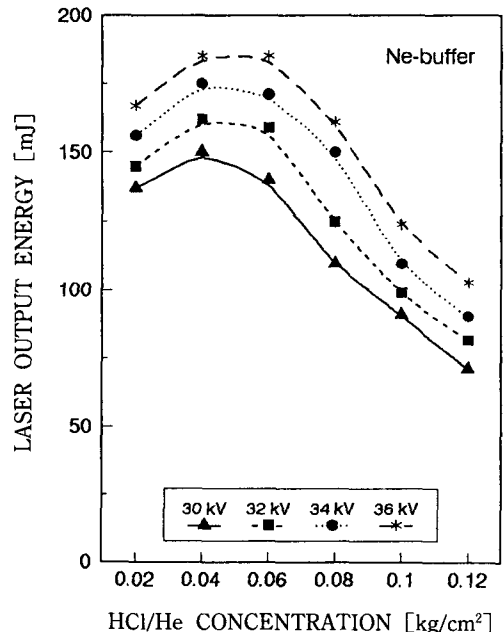
먼저 최적의 레이저 동작 조건을 알기 위해 Xe을 0.1 kg/cm<sup>2</sup>로 고정시키고 HCl/He의 부분압력을 0.02에서 0.12 kg/cm<sup>2</sup>까지 변화시켰다. 0.02~0.04 kg/cm<sup>2</sup> 영역에서는 출력 에너지가 점차로 증가하여 0.04 kg/cm<sup>2</sup>에서 He 완충인 경우 출력 에너지 65 mJ, Ne인 경우는 180 mJ로서 최대치를 얻었다. HCl/He 부분압력을 0.04 kg/cm<sup>2</sup> 이상 증가시킴에 따라 출력 에너지는 급격히 감소하는 경향을 나타내었는데, 이와같은 경향은 HCl의 부분 압력 증가로 인해 강력한 자외선 흡수선을 가지고 있는 Cl<sup>-</sup> 이온이 다량 증가하기 때문이다<sup>[11]</sup>.

**2. Xe 부분압력 변화**

그림 7은 Xe의 부분압력 변화와 입력 전압에 따른 출력 에너지를 He과 Ne 완충 가스에 대해 나타낸 것이다.



(a)



(b)

그림 6. Laser output energy as a function of HCl/He concentration for He-buffer (a) and Ne-buffer gas (b). The Xe concentration is fixed at 0.04 kg/cm<sup>2</sup> and total pressure is 2.4 kg/cm<sup>2</sup>.

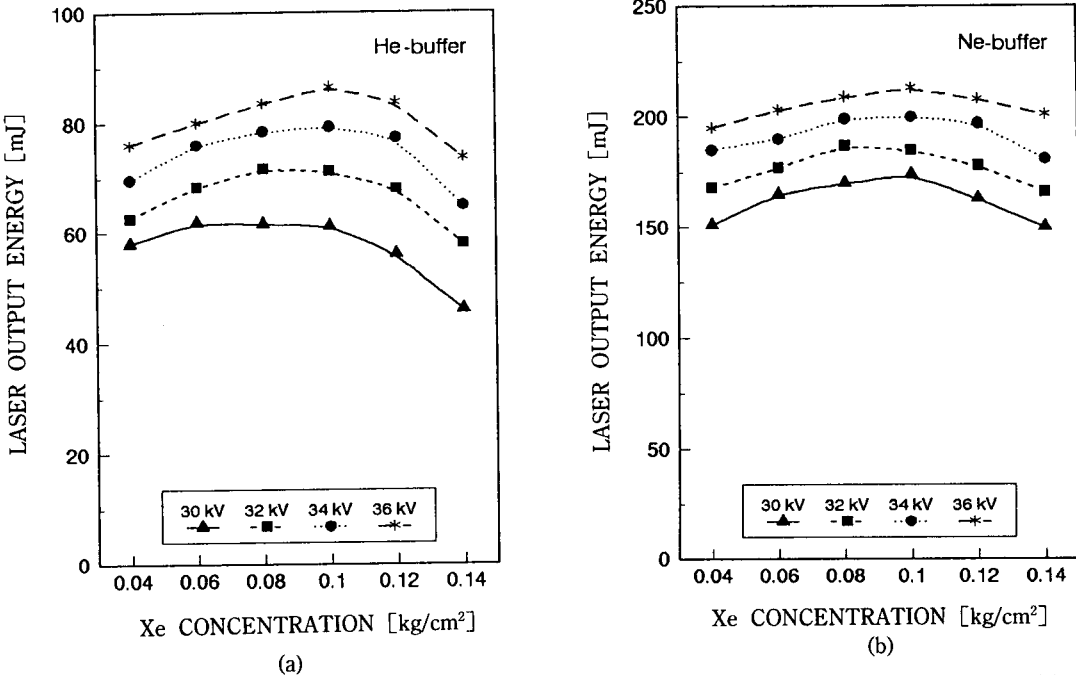


그림 7. Laser output energy as a function of Xe concentration for He-buffer (a) and Ne-buffer gas (b). The HCl/He concentration is fixed at 0.04 kg/cm² and total pressure is 2.4 kg/cm².

HCl 부분압력 변화의 결과를 바탕으로 HCl/He=0.04 kg/cm²로 고정시키고 Xe 부분압력을 0.04에서 0.14 kg/cm²까지 변화 시켰다. 출력 에너지는 완충가스의 종류에 관계없이, Xe 부분압력이 0.04~0.08 kg/cm² 구간에서 비교적 느리게 증가하여 0.1 kg/cm²에서 He인 경우 출력 에너지 95 mJ, Ne인 경우는 230 mJ로서 최대치를 얻었다. 그러나 Xe 부분압력 변화 효과는 HCl 부분 압력 효과와는 달리 최대치 이상의 압력에서 출력 에너지의 감소 경향이 비교적 완만함을 나타내었다. 이상에서 최대출력을 내는 가스 혼합비는 완충가스의 종류에 관계 없이 HCl/He이 0.04 kg/cm², Xe이 0.1 kg/cm²로 일정하였고 레이저 발진이 일어나는 문턱전압은 28 kV로 일정했다. 이때의 각각의 최대 효율은 He, Ne에 대해 각각 0.6%, 1.6%였다.

XeCl레이저의 완충가스로는 보통 He또는 Ne을 많이 사용하지만 Ar을 사용시는 전체 압력이 1.8 kg/cm² 이상에서 레이저 동작이 중단되는 현상을 나타냈으나 일정한 전체 압력에서의 최대 출력을 내는 가스 혼합비는 Ne, He과 동일하였다.

### 3. 전체압력의 변화

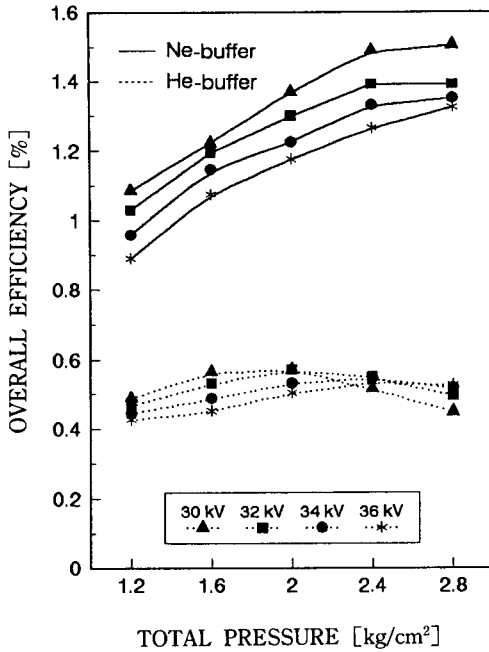
그림 8에서 He, Ne, Ar 완충 가스에 따라 레이저

동작의 최적 조건하에서 전체 압력 변화에 따른 출력 효율을 나타낸 것이다.

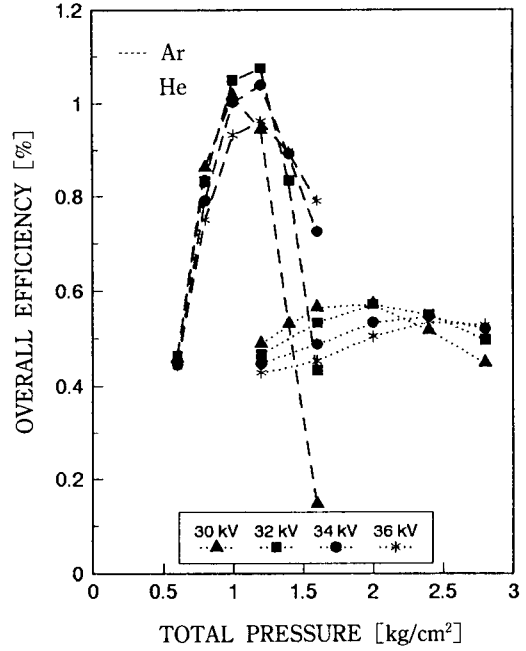
결과에서 보면 He인 경우는 2.0 kg/cm² 정도에서 최대 출력 에너지 효율을 나타냈고 Ne인 경우는 2.4 kg/cm² 이상에서 포화되기 시작하여 2.8 kg/cm²에서 최대 효율을 보였다. 이와같이 전체 압력 증가에 따라 레이저 에너지 효율이 증가하는 경향은 다음과 같이 설명될 수 있다. 완충 가스 수밀도가 증가하면 전자들의 평균 이동 거리는 빈번한 충돌 효과로 줄어들게 되어 방전 가스의 저항도 (resistivity)가 증가하여 방전 임피던스가 증가한다. 일반적으로 용량이행형 엑시머 레이저는 방전 임피던스는 0.3~0.5 Ohm 정도로 극히 작고 펌핑 전기 회로 임피던스는 이의 십 수배이상 정도여서 임피던스의 불일치로 전체 에너지 효율이 1% 정도로 낮다. 그런데 완충 가스 압력이 증가하면 방전 가스의 임피던스가 증가하므로 펌핑 전기 회로 임피던스와의 일치가 가까와 지므로 출력 에너지 효율이 증가하게 된다<sup>[11]</sup>.

### V. 완충 가스의 종류에 따른 출력 특성 변화

위의 모든 결과를 종합하여 He, Ne, Ar 완충 가스 사용시 각각의 최적의 가스혼합비 조건하에서 입력 전기



(a)



(b)

그림 8. Overall efficiency as a function of total pressure. The optimized gas mixture ratio is HCl/He : Xe : buffer = 0.04 : 0.1 : balanced to total pressure.

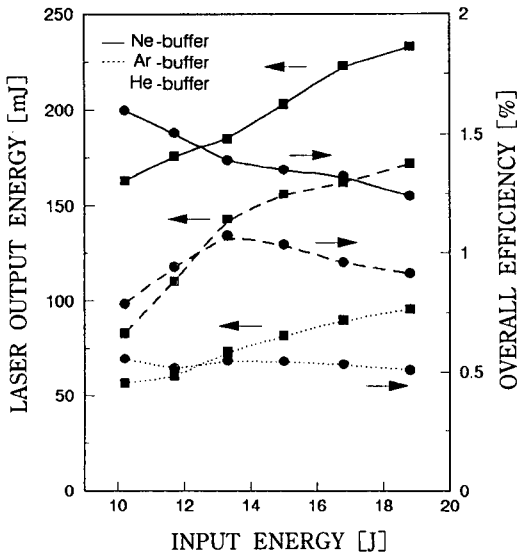


그림 9. The output energy and the overall efficiency as a function of input electrical energy. Each optimized gas mixture ratios are HCl/He : Xe : Ne=0.04 : 0.1 : balanced to 2.8 kg/cm<sup>2</sup>, HCl/He : Xe : He=0.04 : 0.1 : balanced to 2.4 kg/cm<sup>2</sup> and HCl/He : Xe : Ar=0.04 : 0.1 : balanced to 1.2 kg/cm<sup>2</sup>.

에너지에 따라 측정된 출력 에너지와 효율을 그림 9에 비교, 정리하였다.

결과에서 보면 완충 가스로서는 Ne이 방전 상태도 가장 우수하며 He에 비해 약 2.4~2.6배 정도의 출력 에너지 효율을 나타내었다. 이러한 현상은 Hokazono 등이<sup>[11]</sup> 발표한 자기 지속형 XeCl 레이저의 가스 동력학 계산 결과와 일치한다. 이들은 같은 E/N(=1 kV/cm.atm)에서 Ne 완충 가스에 의한 전자들의 에너지 분포는 고 에너지 쪽으로 꼬리가 있는 분포를 하고, He인 경우는 저 에너지 쪽에서 급격한 최대값을 갖는 분포 결과를 얻었는데, Ne인 경우는 4.5 eV, He인 경우는 1.8 eV의 평균 전자 에너지를 나타내 2.5배 차이를 나타내었다. 즉 Ne 완충가스를 사용시 He 보다 평균에너지가 큰 전자들이 생성되므로 전자와 이온화 에너지가 12.1 eV인 Xe 원자와의 충돌에서 Xe<sup>+</sup> 이온이 활발히 생성되고 결과적으로 XeCl\* 분자의 수밀도가 증가되어 더 큰 출력 에너지가 얻어진다.

Ar을 완충가스로 사용할 때에는 Ne, He과 비교하여 낮은 압력하에서 동작하고 그 동작 압력 범위가 좁은 것이 특징이다. 이때에 전체 압력이 1.8 kg/cm<sup>2</sup> 이상에서는 레이저 발진이 거의 중단되는 현상을 나타내어 He이나 Ne과의 자세한 비교는 할 수 없었으나 HCl/He :

Xe : Ar = 0.04 : 0.1 : balance (1.2 kg/cm<sup>2</sup>)의 조건에서 150 mJ의 펄스 에너지를 얻어, 최대 에너지는 He인 경우보다 높고 낮은 압력에서만 동작한다는 실험 경향은 Sze 결과와 일치한다<sup>[12]</sup>. Ar 완충 가스 효과 또한 전자 에너지 분포 함수로부터 설명이 가능한데, Ar 가스의 전자 분포 함수는 E/N의 변화에 극히 민감하여 일정 압력 (본 실험에서는 1.8 kg/cm<sup>2</sup>) 이상에서는 E/N의 감소로 인해 8 eV 이상의 에너지를 갖는 전자 수 밀도는 급격히 감소한다<sup>[12]</sup>. 그런데 Xe<sup>+</sup>(<sup>3</sup>P<sub>1</sub>) 이온을 만들기 위해서는 8.43 eV의 에너지가 필요하므로 고압력에서는 Ar 완충 가스를 사용할 수 없다. 이는 한편으로는 저압력 XeCl 레이저에서는 Ar이 가장 경제적인 완충 가스가 되는 이유이다.

### VI. 결 론

용량 이행형 자동 선전리 방전 여기형 XeCl 레이저를 제작하여 출력특성을 조사하였다. 2.7 cm 간격의 소형 Chang 형상 전극 배치를 구성하여 2.7 cm×1.5 cm의 빔 단면적을 얻었고, HCl/He : Xe : Ne = 0.04 : 0.1 : 2.4 kg/cm<sup>2</sup>의 가스 혼합비에서 230 mJ의 최대 출력 에너지와 1.6%의 최대 에너지 효율을 얻었다. 이같은 높은 효율은 낮은 비율의 피-킹 캐패시턴스의 배열로 자동 prepulse 효과에 의한 것으로 생각된다. 레이저 펄스는 foot-to-foot 200 ns 정도의 장펄스 발진을 나타내었다. 완충 가스 효과는 전체 압력 1.2~2.8 kg/cm<sup>2</sup> 구간에서 Ne이 He 보다 2.4 내지 2.6 배의 출력 에너지를 나타내었다.

### 참 고 문 헌

[1] D. G. Sutton, S. N. Suchard, O. L. Gibb, *et al.*, "Fast-discharge-initiated KrF laser", Appl. Phys.

Lett. **28**, 522 (1976).  
 [2] Kanti Jain, *Excimer Laser Lithography* (SPIE Optical Engineering Press, Bellingham, 1990), pp. 27-90.  
 [3] K. Winer, G. B. Anderson, S. E. Ready, *et al.*, "Excimer laser induced crystallization of hydrogenated amorphous silicon", Appl. Phys. Lett. **57**, 2222 (1990).  
 [4] G. Darcy Poulin and Peter A. Eisele, "Advances in Excimer Laser Materials Processing", SPIE **998**, 84 (1988).  
 [5] M. Steyer, O. Bin, K. A. Stankov, *et al.*, "Wide aperture X-ray preionized excimer laser with variable cross-section using flat electrodes", SPIE **1023**, 75 (1988).  
 [6] V. M. Borisov, O. B. Khristoforov, Yu. B. Kirykhin, *et al.*, "The kilowatt range high repetition rate excimer lasers", SPIE **1503**, 40 (1991).  
 [7] T. Y. Chang, "Improved Uniform Field Electrode Profiles for TEA Laser and High Voltage Applications", Rev. Sci. Instrum. **44**, 405 (1973).  
 [8] 前田三監, 紫田, "小型エキシマ-レ-サ-の開発研究報告書 I", (日本九州大學, 1988).  
 [9] S. K. Vartapetov, private letter (1992).  
 [10] M. A. Franceschini, R. Pini, R. Salimbeni, *et al.*, "Auto-Prepulse Operation of a Long-Pulse XeCl Laser", Appl. Phys. B 259-264 (1992).  
 [11] Hirokazu Hokazono, Katsumi Midorikawa, Minoru Obara, *et al.*, "Theoretical analysis of a self-sustained discharge pumped XeCl laser", J. Appl. Phys. **56**, 680 (1984).  
 [12] Robert C. Sze, "Improved lasing performance of XeCl using Ar and Ne diluents", J. Appl. Phys. **50**, 4596 (1979).



## **Fabrication and Output Characteristics of Compact Capacitor Transfer XeCl Laser**

Dong Hwan Kim, Hong Chu and Sang Sam Choi

*Applied Physics Lab., Korea Institute of Science and Technology, Seoul 136-791, Korea*

Soo Man Lee

*Dept. of Physics, Inha University, Incheon 402-751, Korea*

(Received: November 14, 1992)

Small XeCl laser of charge transfer discharge excitation was fabricated and output characteristics were investigated according to gas mixture ratio. Beam cross section of  $2.7\text{ cm} \times 1.5\text{ cm}$  was obtained by constructing excimer laser which preionization is operated automatically and which has chang profile electrode. According to the component gas mixture ratio, the condition of maximum output energy, efficiency were investigated. The maximum energy, efficiency and specific energy were obtained 230 mJ, 1.6% and 1.1 J/l, respectively. The long pulse effect is observed by constructing low peaking to main capacitance ratio of 1 : 3.