

Multiple-Wire Corona Discharge TEA-CO₂ Laser의 설계 및 제작

김기호 , 오차환 , 이상수

(한국과학기술원)

초 록

본 논문에서는 wire discharge 방법의 응용인 Multiple-wire corona discharge(MWCD)의 preionization field 를 계산하였고, 동일한 조건하에서 Surface corona discharge(SCD) 와 Wire discharge(WD) 의 preionization field 와 비교하여보았다. 그에 따른 결과로써 MWCD가 고출력 TEA-CO₂ 레이저에 가장 좋은 선전리 방법임을 알 수 있었다

서 론

1964년 C.K.N.Patel (1) 에 의해서 시작된 CO₂ 레이저의 연구는 1970년 A. J. Beaulie(2)가 대기중에서 작동하는 TEA-CO₂ 레이저를 발전시킴으로써 큰 발전을했으며 계속해서 레이저 효율을 증가시키기 위한 연구가 수행되었다. 1972년에 P.R.Pearson 과 H.M.Lamberton (3) 은 wire discharge system 과 mesh cathode system 으로 각각 4.3%,6.3% 의 효율을 얻었고 R.Dumanchin et al (4) 과 Yu-Li Pan et al(5)은 MWCD 방법으로 각각 17.4%,24% 의 높은 효율을 얻었다. 그러나 CO₂ 레이저의 이론적인 양자효율은 40% 로 알려져있고 , 방전계의 계속적인 연구가 수행되면 더욱 더 높은 효율을 갖는 레이저 system 을 개발할 수 있을 것이다.

따라서 본 논문에서는 이미 본 실험실에서 제작된 바 있는 SCD,WD 와 새로운 선전리 방법인 MWCD 에 대해서 preionization field 를 계산하였고 이것을 이제까지 발표된 레이저 효율과 비교하여 보았다. 또한 고출력

레이저에 알맞은 선전리 방법으로 MWCD system 을 선택하여 여러가지 변수에 대하여 최적의 효율을 얻을 수 있는 조건을 찾아내었다. 그리고 이에 따라 MWCD system 의 레이저를 설계 제작 하였다.

계산 및 결과

preionization field 를 simulation 하는데 있어서 택한 좌표축과 각 system 의 dimension 은 그림 1과 같다. A 면에 의한 전장을 계산할 때 폭을 n 등분 (current density= λ)하여 이들의 superposition 으로 계산하였고 이것을 수식으로 표현하면

$$E = \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0} \sqrt{\left(\sum_n \Delta E_y\right)^2 + \left(\sum_n \Delta E_z\right)^2}$$

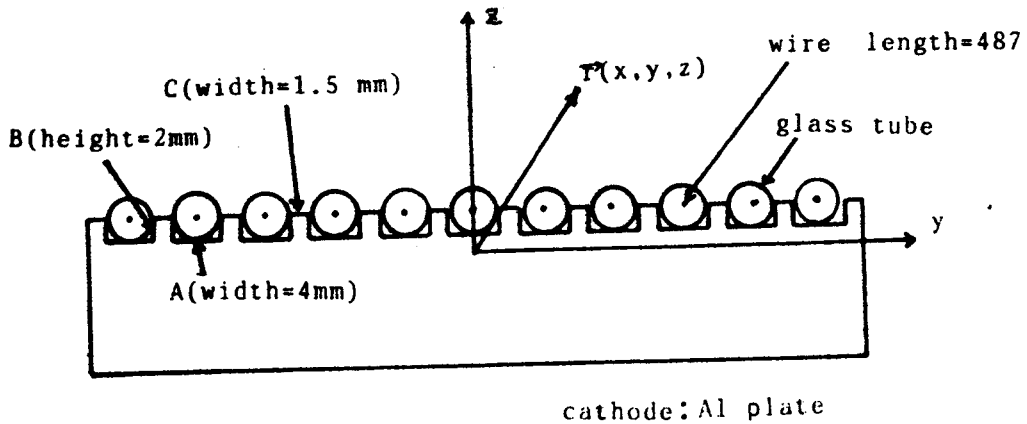
$$\Delta E_z = \frac{z}{\left[\left(y - nd - d/2\right)^2 + z^2\right]^{3/2}}$$

$$\Delta E_y = \frac{\left(y - nd - d/2\right)}{\left[\left(y - nd - d/2\right)^2 + z^2\right]^{3/2}}$$

이 된다. B,C 에 의한 전장은 좌표의 이동으로 간단히 구할수 있다. 그리고 그 결과를 합하여 최종적인 전장의 크기를 구하여 보았다. 여기서 전장을 구한점은 주전극의 중심이고 이면에서 $\vec{r} = r(\theta, y, z)$ 이다. 그리고 SCD, WD 의 경우 주전극은 chang profile 이지만 전장의 계산시 근사적으로 평면으로 간주했다. 또 dimensionless 인 물리량을 도입하여

$$|\vec{E}| = \frac{4\pi\epsilon_0}{\lambda} |\vec{E}|$$

이 되고 $|\vec{E}|$ 으로 system 간에 전장의 세기를 비교했다.



(a)

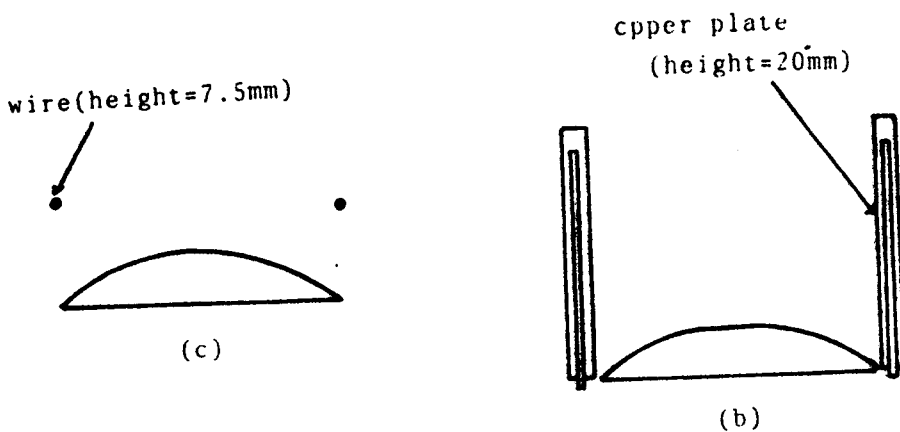


그림 1. (a) Multiple-wire corona discharge system 의 dimension 과 좌표축 .
 (b) Surface corona discharge system 과 (c) Wire discharge system 의 dimension .

그림 2는 $Z=5\text{mm}$ 에서 y 에 따른 E 의 값을 선전리 방법별로 구한 결과이다. MWCD가 전장의 세기는 SCD 보다는 1.7 배 , WD 보다는 3 배 정도 크지만 균일하지 못하다. 이것은 이 system 의 기하학적 특성에서 기인한 것으로 해석된다. 그림 3에 나타난 결과와 같이 $Z=10\text{mm}$ 에서는 MWCD 의 전장이 균일한 것으로 나타났고 크기도 SCD 나 WD 보다 1.5 배 정도 크다.

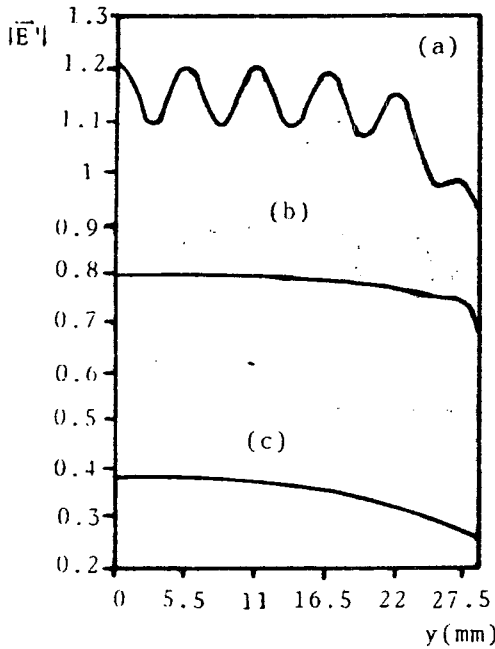


그림 2. $Z=5\text{mm}$ 에서의 선전리 방법별 y 와 $|E|^2$ 값. (a)MWCD (b)SCD (c)WD

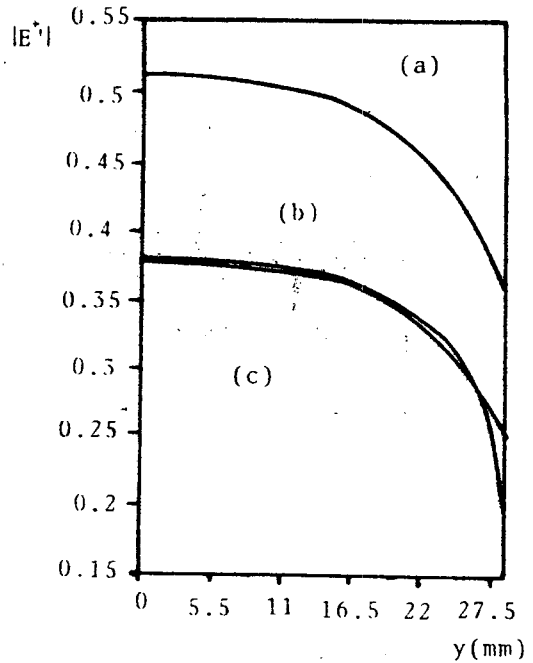


그림 3. $Z=10\text{mm}$ 에서의 선전리 방법별 y 와 $|E|^2$ 값. (a)MWCD (b)SCD (c)WD

그리고 그림 4 에서도 역시 MWCD 가 거리가 $Z=15\text{mm}$ 로 멀어지더라도 SCD 나 WD 보다 전장의 크기가 큼을 알 수 있다. 즉 $Z=15\text{mm}$ 에서 1.5 배 정도 더 크다. 모양도 더 균일하게 나타났다. SCD 와 WD 의 경우 $Z=5\text{mm}$ 에서 SCD 가 WD 보다 2 배 정도 크다. $Z=10\text{mm}$ 와 $Z=15\text{mm}$ 에서 전장의 크기가 비슷하게 나타남을 알 수 있다. 이것은 SCD 가 거리에 따른 변화가 심함을 의미한다. 결과적으로 MWCD 가 먼 거리에서도 전장의 크기가 크고 균일함도 좋은 결과를 나타낸다. 레이저 volume 작을 경우는 SCD 가 WD 보다 레이저 효율이 더 좋을 것으로 생각할 수 있고 이것은 보고된 결과와 일치한다.

하지만 레이저 volume 커질 경우 SCD, WD system 의 레이저 효율은 MWCD 에 비해 떨어지게 된다. 그림 5 에 나타난 결과와 같이 wire 갯수가 5 개인 경우 앞의 wire 갯수가 11 개인 경우 보다 $Z=10\text{mm}$ 에서도 아직 전장이 불균일하게 나타난다. 이것은 wire 의 갯수를 늘릴 경우 기하학적 특성에서 기인한 전장의 불균일함이 해결될 수 있다는 것을 의미한다. 그러나 이 경우도 SCD 나 WD 보다 크게 나타났고 이것은 MWCD system 이 레이저 volume 작을 경우 뿐만 아니라 클 경우도 좋은 레이저 효율을 얻을 수 있다

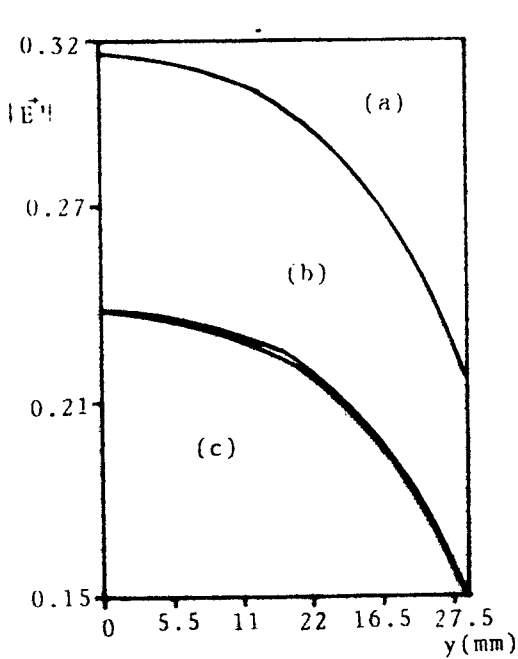


그림 4. $Z=15\text{mm}$ 에서의 선전리 방법별 y 와 $|E'|$ 값. (a)MWCD (b)SCD (c)WD

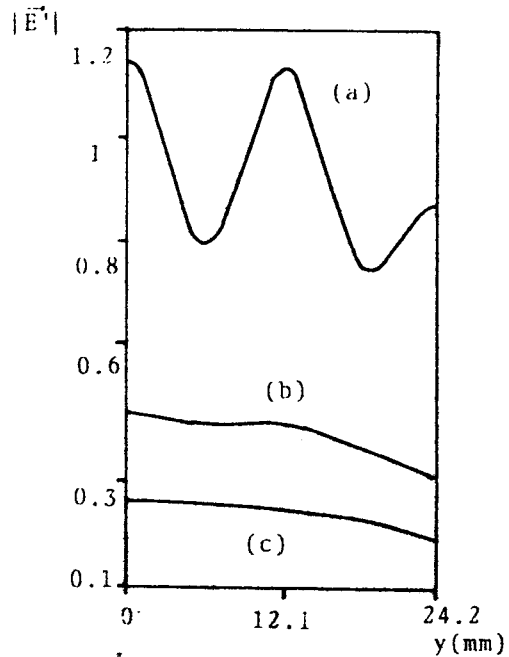


그림 5. wire 갯수가 5 개인 MWCD 의 (a) $Z=5\text{mm}$, (b) $Z=10\text{mm}$, (c) $Z=15\text{mm}$ 에서의 y 와 $|E'|$ 의 값

표 1. 각 system 의 Z 값에 따른 $|E'|_{\text{max}}$ 값 ($y=0\text{mm}$)

$z(\text{mm})$	5	10	15	
MWCD	1.205	0.512	0.317	wire=11 개
MWCD	1.139	0.445	0.275	wire=5개
SCD	0.789	0.37	0.239	
WD	0.39	0.38	0.239	

표 2. $|E'|_{\text{max}}/|E'|_{\text{max,MWCD}}$ 의 크기와 보고된 레이저 효율의 관계.

$z(5\text{mm})$	E' / E'	laser efficiency	Ref.
MWCD(11)	1	24%(volume=5.5)	(5)
MWCD(5)	0.945	17.4%($v=1.76$)	(4)
SCD	0.655	10.6%($v=0.15$)	(6)
WD	0.324	7%($v=0.19$)	(7)

결 론

preionization field 가 레이저의 active volume 전체에 영향을 미쳐 선전리에 의한 전자밀도를 크게하려면 MWCD 와 같이 전장의 크기가 클 필요가 있고 이것은 레이저의 효율과 직결된다. 표1과 같이 MWCD 는 SCD 나 WD 보다 전장의 크기가 훨씬 큼을 알 수 있고 이것은 이제까지 보고된 레이저 효율과 관련있다. 결론적으로 표2 에서와 같이 Yu-Li Pan (3) 이 얻은 24% 의 레이저 효율은 5.51 라는 큰 레이저 체적에서 얻은 것 이므로 MWCD 가 큰 체적 고출력 레이저에 알맞은 선전리 방법이고 본 논문에서 계산한 결과도 같은 결과를 얻었다. 그림1 (a)가 simulation 결과를 이용하여 기존의 주전극의 dimension 에 맞게 그리고 가능한 많은 수의 wire 를 넣을 수 있게 제작된 것이다.

참 고 문 헌

1. C.K.N.Patel, R.A.McFarlane, Bull. A m. Phy. Soc. 9, 500 (1964).
2. A.J.Beaulieu, Appl. Phys. Lett. 16, 504 (1970).
3. P.R.Pearson, IEEE. J. Quantum Electron. QE-8, 14 (1972).
4. R.Dumanchin, M.Michon et al, IEEE. J. Quantum Electorn. QE-8, 164 (1972).
5. Yu-Li Pan, A.F.Bernhardt, Rev. Sci. Instrum. 43, 662 (1972).
6. G.J.Ernst, A.G.Boer, Opt. Commun. 27, 105 (1978).
7. C.Homann, H.Bubner, Phys. Lett. 55, 287 (1975).