

# 뇌해방지를 위한 레이저 유도뢰에 관한 기초적 연구

°장 용 무\* 강 형 부\*  
한양대학교 공과대학 전기공학과

## Basic Research of Laser Triggered Lightning for a Protection of Lightning

°CHANG, Yong-Moo\* KANG, Hyung-Boo\*  
Dept. of Electrical Eng. College of Eng. Han Yang Univ.

Abstract) Laser-triggered- lightning is protection method for power apparatus against lightning. It is necessary to understand the generation mechanism of laser produced plasma. So production of long distance laser-plasma-channel was numerically analyzed with electron growth equation and laser transport equation.

### 1. 서 론

전력산업의 발전으로 전력계통 및 설비는 초고압화, 대용량화로 되며, 이들에 대한 유지 보수 및 사고 방지 등에 대한 문제점이 크게 대두되고 있다. 또 전력산업에서 사고예방적인 측면에서 볼 때 落雷에 의한 정전사고는 가장 중요시되는 사고 중의 하나이다. 종래에는 전력설비의 雷擊에 의한 피해가 불가피하다고 생각하여 耐雷설계를 기초로 하고 피뢰침과 같은 수동적인 방지대책만 구축 되어 왔었다. 이들 기존의 방법들은 계통설비가 거대해짐에 따라 불가피하게 여러가지 문제점들이 발생시킨다. 최근에 관성밀폐 핵융합용 에너지 드라이버용으로 개발된 대출력 레이저와 레이저에 의한 플라즈마발생기술이 매우 발전되어 다른 여러가지 응용분야로의 활용이 가능하게 되었다. 그 응용분야의 하나로서 雷害방지를 위하여 대출력 레이저로 雷를 안전한 장소로 誘導하는 레이저에 의한 雷의 誘導가 1974년 L. M. Ball에 의해 최초로 제안된 후<sup>1)</sup>, 미국의 Air Force Flight Dynamics Lab.에서 실험되어 레이저誘導雷의 실현 가능성을 입증하였다.

대출력 레이저광을 대기중에 집광시키면 초점부근에서는 레이저광을 따라 대기 중의 기체가 광절연과 파괴되어 플라즈마채널이 형성된다. 레이저誘導雷는 지상으로부터 雷雲까지 레이저플라즈마의 전리채널을 발생시켜 번개를 유도함으로써 방전을 유도함으로써 전력설비를 뇌격으로부터 방지하는 것이다.<sup>1)~4)</sup> 이를 실현시키기 위해서는 (1)레이저에 의한 장거리의 플라즈마채널의 발생기술, (2)레이저플라즈마채널로의 방전유도과정, (3)레이저 광이 대기 중으로 전파하는 특성 및 낙뢰감지기술등이 해결해야 할 주요 과제이다. 그 중에서도 먼저 100 [m] 정도의 플라즈마채널이 발생되어야만 레이저유도뢰의 실현이 가능한 것으로 되어 있다.<sup>2)~3)</sup>

본 연구에서는 장거리의 레이저플라즈마채널을 발생시키는 과정을 해석하고 컴퓨터 시뮬레이션하여 이로부터 레이저유도뢰실험을 위한 기초 데이터를 구축하는 것이다.

### 2. 관련 이론<sup>2),7)~9)</sup>

레이저에 의한 기체의 절연파괴기구는 3종류가 있다. 현재, 레이저 광의 전계에 의해서 자유전자가 가속되어 기체의 전리에너지 이상이 되면 충돌하여 전리 될 때 전자의 증식이 이루어지는 것으로 설명되는 고주파 절연파괴이론이 가장 많이 적용되고 있다. 사용되는 레이저는 광자에너지( 0.12 [eV] )는 작으나 공기에서의 흡수율이 좋고 고강도 레이저 펄스를 발생시킬 수 있는 CO<sub>2</sub> 레이저가 가장 많이 사용되고 있다. 지금, 레이저 광의 전계  $E = E_0 \exp(j\omega t)$ 에서의 전자의 평균 속도  $v$ 는 다음의 식 (1)과 같은 운동방정식에서 얻을 수 있다.

$$m \frac{dv}{dt} + m v_m v = -e E_0 e^{j\omega t} \quad (1)$$

또, 전자의 속도  $v$ 도  $j\omega t$ 로 진동한다고 생각하면 식 (1)로부터 속도의 크기  $v_0$ 는  $v_0 = e E_0 / m(\omega^2 + v_m^2)$ 가 되고 전자의 에너지가 증가하는 비율은  $d\varepsilon/dt = e E_0 v_0$ 로 나타낼 수 있다. 그러므로 레이저 광이 조사될 때 전자의 에너지는 다음 식 (2)로 표현된다.<sup>2)</sup>

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} &= \frac{e^2 \cdot v}{m \cdot c \cdot \varepsilon_0 \cdot (\omega^2 + v_m^2)} \cdot I \\ &= K \cdot I \end{aligned} \quad (2)$$

여기서,  $\varepsilon$ 는 전자 한개당의 에너지,  $I$ 는 레이저 광의 강도 [ $W/cm^2$ ],  $e$ 는 전자의 전하량,  $v$ 는 전리주파수,  $m$ 과  $c$ 는 전자의 질량과 광속도이고,  $\omega$ 는 레이저광의 각주파수이다.

레이저 광이 공기 중에 전파 될 때 전자가 레이저 광으로 부터 받는 에너지가 전리전압( $W$ )에 이르면 기체(공기)전리가 시작되므로 전자의 재결합이나 확산에 의한 손실을 무시하면 식 (3)와 같은 단위 시간당 발생하는 전자수에 관한 식을 구할 수 있다.

$$\frac{\partial n}{\partial t} = n \cdot K \cdot I / W \quad (3)$$

단,  $n$ 은 전자밀도이다.

$K$ 는 전자의 온도와 밀도에 관련된 계수

집광된 레이저 광의 강도, 대기중에서의 레이저광 에너지의 감쇠, 레이저광 에너지가 전자에 전달됨으로 인한 감쇠 등을 고려한 레이저 광 에너지의 전파에 관한 식은 식 (4)로 표현된다.

$$\frac{\partial I}{\partial t} + c \cdot \frac{\partial I}{\partial z} = c \cdot (A(z) - A_T) \cdot I - c \cdot K \cdot n \cdot I \quad (4)$$

여기서,  $A(z)$ 는 집광에 의한 레이저 광 강도의 증가를 나타내며,  $A_T$ 는 레이저 광이 전파 될 때 대기 중에서 발생하는 자연감쇠상수이다.

레이저 광과 자유전자에 대한 초기조건, 레이저 광의 시간적인 펄스형태, 렌즈(또는 반사경)의 초점거리 등을 고려하여 레이저 광에 의한 플라즈마체널발생을 해석하기 위한 입사 레이저 광 강도 및 전자밀도에 대한 변화를 식 (3)~식 (4)을 이용하여 구할 수 있다.

### 3. 수치해석방법 및 결과

일반적으로 펄스형 CO<sub>2</sub> 레이저의 출력광 펄스는 시간적으로 첫번째 피크 펄스가 발생된 후 미약한 보尾(tail)가 지속되지만 전체 에너지의 대부분이 첫번째 펄스부분에 포함된다. 여기서는 식 (5)와 같은 시간적인 Gauss형의 레이저 광을 사용하였다.

$$I(t) = I_p \cdot \exp(-t^2/T^2) \quad (5)$$

$I_p$ 는 펄스의 피크 강도이고,  $T$ 는 펄스의 Gaussian 폭으로  $T = (\text{반치폭}) / \sqrt{2 \ln 2}$ 로 표현된다.<sup>10)</sup> 전자의 온도와 밀도에 관련된 계수  $K$ 는 대기압하에서 CO<sub>2</sub> 레이저 광에 대해서는  $K=1.322 \times 10^{-17}$  [ $cm^2$ ]으로 계산되었다. 공기의 전리에너지( $W$ )는 산소와 질소의 구성비가 비가 2 : 8이므로  $W=14.9[eV]$ 가 된다.  $A(z)$ 는 레이저 광의 단면이 초점까지의 진행거리에 따라 작아져서 광의 강도가 증가되는 정도를 나타낸다.  $A_T$ 는 대기 중의 감쇠상수로 일반적인 날씨에서 파장 10.6 $\mu m$ 의 CO<sub>2</sub> 레이저 광이 전파 될 때 광은  $10^{-3}[m^{-1}]$  정도 감쇠된다.<sup>2)</sup>

전 계산영역에서, 레이저 광에 의해 발생된 전자밀도와 레이저 광 강도의 초기조건을  $n(t=0)=1[cm^{-3}]$ ,  $I(t=0)=0[W/cm^2]$ 로 하고 Runge-Kutta-Gill법을 이용하여 수치계산 하였다. 그 결과, 기체절연과피가 일어나는 전자밀도를  $10^{-16} \sim 10^{-17} [cm^{-3}]$ 으로 보았을 때, 출력에너지 50 [J], 펄스의 반치폭 50[ns]인 CO<sub>2</sub>레이저 광을 초점거리 10 [m]로 집광시키면 그림에서와 같이 약 3 [m]의 플라즈마체널을 생성시킬 수 있었다.

### 4. 결 론

레이저 유도되를 실현시키기 위한 장거리 레이저 플라즈마체널을 발생시키는 과정을 수치해석 하였다.

그 결과 50 [J], 반치폭 50[ns]인 CO<sub>2</sub>레이저를 이용하여 약 3 [m]의 플라즈마체널을 생성시킬 수 있었다.

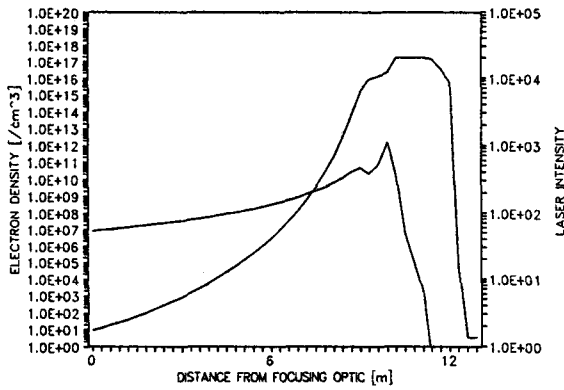


Fig. 1 Electron density for laser beam propagation distance

본 연구는 1993년도 기초전력공학공동 연구소의 연구비지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- (1)L. M. Ball, Appl. Opt., 13, p.2292, 1974
- (2)T. Shindo and T. Suzuki, Electric Eng. Lab. Rep.182010, 1982
- (3)T. Uchiyama et al., Rev. Laser Eng., 16(5), p.267, 1988
- (4)M. Hirohashi et al., 放電研究 No.123, p.45, 1989
- (5)Y. Aihara et al., T. IEE Jpn., 112-B(8), p.668, 1992
- (6)N. Kroll and K. M. Watson, Phys. Rev. A, 5(4), p.1883, 1972
- (7)C. H. Chan et al., J. Appl. Phys., 44(3), p.1179, 1973
- (8)J. R. Greig et al., Phys. Rev. Lett., 41(3), p.174, 1978
- (9)T. P. Hughes, Plasam and Laser light, John Wiely & Sons, NY, 1975
- (10)Chang, Yong-Moo, Ph.D. thesis, 1992