

TEA-CO₂ 레이자의 임펄스반복률에 미치는 소리파의 영향

박광일, 윤두현

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《첨단돌파전을 힘있게 벌려야 나라의 과학기술전반을 빨리 발전시키고 지식경제의 토대를 구축해나갈수 있습니다.》(《조선로동당 제7차대회에서 한 중앙위원회사업총화보고》 단행본 39페이지)

TEA-CO₂ 레이자에서 호광발생의 기본요인은 기체밀도의 요동이다. 기체방전에 의해 에너지가 축적되는 순간에 소리파가 레이자발진구역에서 발생하며 소리파의 감쇠시간이 임펄스반복주기와 비교할 정도이면 소리파는 다음번 임펄스에 작용하며 방전간극사이의 기체밀도는 거기에 도달한 파동들에 의하여 공간적으로 변조된다.[1] 기체밀도의 이러한 섭동은 방전이 균일상태로부터 호광방전으로 넘어가게 하며 결국 임펄스반복률을 제한한다. 소리파가 균일방전에 미치는 영향을 감소시키기 위하여 소리파를 흡수할수 있도록 전극설계를 진행하는 방법[2]들이 연구되였다.

본문에서는 TEA-CO₂ 레이자의 활성기체순환통로를 음향공진기로 고찰하고 수송방정식의 풀이에 기초하여 레이자공진기의 임펄스반복률과 활성기체흐름속도, 기하학적치수에 따르는 소리압의 영향에 대하여 연구하였다.

TEA-CO₂ 레이자는 중심구역에 전극이 배치되어있는 4각형통로를 가진 3차원음향공진기로 등가시켜 연구하였다. 이때 기체가 맺어있다면 공진기는 고유주파수 $\nu_m = \frac{mc}{2L}$ 를 가진다. 여기서 L 은 공진기길이, $m=1, 2, 3, \dots$ 이다. 그러나 높은 반복률을 가진 레이자통로에서 기체는 이동하므로 공진기의 고유주파수들은 기체가 맺어있는 경우들보다 더 작다.

$$\nu_m = \frac{mc^2}{2L(1-M^2)} \quad (1)$$

여기서 M 은 마흐수이다.

수송방정식에 기초한 수학적모형화에 의해 이 공진기를 규제하는 방정식이 얻어진다. 두 전극의 분리간격 $H_e=4\text{cm}$ 이고 길이 $L=30\text{cm}$, 너비 $W=15\text{cm}$, 높이 $H=14\text{cm}$ 인 TEA-CO₂ 레이자공진기에서 전극길이는 공진기빛축을 따라 $L_e=26\text{cm}$, 너비는 기체흐름방향을 따라 $W_e=2.85\text{cm}$ 이다. 전극사이공간의 임의의 점에서 방전이 일어날 때 일정한 진폭을 가진 1차압력파가 생긴다.

순간적인 방전이 일어난 후 통로에서의 압력분포는 진폭 Q_0 을 가진 델타함수로 서술된다. 음향처리에 일치시키기 위하여 신호는 2개로 나누어지며 매 신호는 통로의 반대쪽 말단에 음속으로 전파하여 진폭이 절반으로 작아진다. 짧은 임펄스들은 임펄스반복간격 τ 로 주기적으로 작용하며 t 시각($t < \tau$) 점 r_0 에서 압력은 다음과 같다.

$$p_0(t, x_0, y_0, z_0) = Q_0(x_0, y_0, z_0) \sum_n \delta(t - n\tau) \quad (2)$$

푸리에변환후에는

$$p_0(\omega, x_0, y_0, z_0) = \frac{Q_0(x_0, y_0, z_0)}{1 - \exp(i\omega\tau)} \quad (3)$$

으로 된다. 전달함수를 내압으로 표시하면 관측점 r 에서의 압력분포는 다음과 같다.

$$p_0(\omega, x, y, z, x_0, y_0, z_0) = H(\omega, x, y, z, x_0, y_0, z_0) p_0(\omega, x_0, y_0, z_0) \quad (4)$$

여기서 $H(\omega, x, y, z, x_0, y_0, z_0)$ 은 전달함수이다. 전체 방전구역에 대하여 식 (4)를 적분하면

$$p_0(\omega, x, y, z) = H(\omega, x, y, z) p_0(\omega) \quad (5)$$

로 된다. 압력파를 매 파동들이 통로의 반대끝을 향하여 음속으로 이동하는 2개의 파동으로 나누고 반사계수 $Z(\omega)$, 소리파의 차단주파수 ω_0 을 대입하면 $H(\omega, x, y, z)$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} H(\omega, x, y, z) = & \frac{-icQ_0}{2\omega \exp\left(\frac{-iW\omega}{c}\right) - Z(\omega)[1 - \exp(i\omega\tau)]} \exp\left[\frac{-i\omega}{c}(W_e + 2x)\right] + \\ & + \frac{-icQ_0}{2\omega \exp\left(\frac{-iL\omega}{c}\right) - Z(\omega)[1 - \exp(i\omega\tau)]} \exp\left[\frac{-i\omega}{c}(L_e + 2y)\right] + \\ & + \frac{-icQ_0}{2\omega \exp\left(\frac{-iH\omega}{c}\right) - Z(\omega)[1 - \exp(i\omega\tau)]} \exp\left[\frac{-i\omega}{c}(H_e + 2z)\right] \end{aligned} \quad (6)$$

식 (6)에 초기압력함수 $p_0(\omega, x_0, y_0, z_0)$ 을 대입하고 역푸리에변환하면 압력은

$$p(t, x, y, z) = \int_{-\infty}^{+\infty} P(\omega, x, y, z) \exp(i\omega t) d\omega \quad (7)$$

로 표시된다. 식 (7)을 적분하면 레이저공진기의 치수와 임펄스반복률, 활성기체흐름속도에 관한 압력스펙트르를 고찰할수 있다.

그림 1에 임펄스반복률과 소리압사이의 관계를 보여주었다.

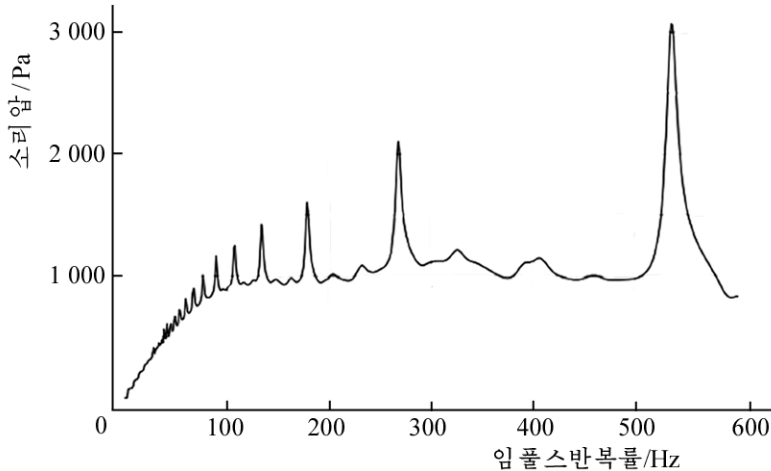


그림 1. 임펄스반복률과 소리압사이의 관계

그림 1로부터 레이저가 임펄스반복률 280~500Hz에서 안정하다는것을 알수 있다. 그것은 소리압스펙트르가 이 구역에서 상대적으로 평평하고 낮기때문이다. 또한 임펄스반복률 540, 270, 180, 125Hz에서 압력스펙트르는 최대값을 가진다. 이러한 주파수에서 레이저의 효율은 낮다.

그림 2에 마흐수 및 임펄스반복률과 소리압사이의 관계를 보여주었다.

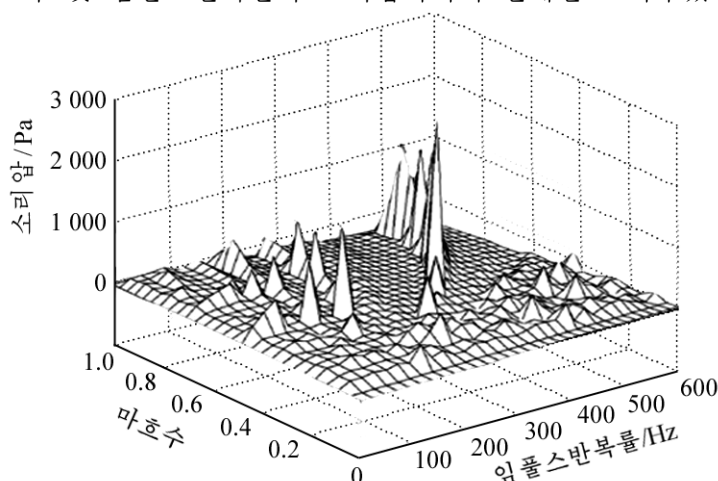


그림 2. 마흐수 및 임펄스반복률과 소리압사이의 관계

그림 2에서 보는것처럼 마흐수가 증가할 때 레이자공진주파수는 감소한다.

그림 1과 2로부터 방전구역의 밀도요동에 미치는 소리압의 영향이 최소화되는 최량동작조건을 결정할수 있다.

맺 는 말

논문에서는 높은 반복률을 가진 TEA-CO₂레이자의 공진기의 기하학적치수와 임펄스반복률, 활성기체흐름속도에 따르는 소리파의 영향을 해석하고 최량동작조건을 결정하였다. 결과 레이자의 성능에 해로운 영향을 미치는 소리파의 영향을 최소화하고 균일한 미광방전을 유지하여 효율을 높일수 있게 되었다.

참 고 문 헌

- [1] G. C. Patil et al.; Rev. Sci. Instru., 82, 093107, 2011.
- [2] H. M. V. Bergman; Mod. Appl. Sci., 5, 6, 2012.

주체106(2017)년 9월 5일 원고접수

Effect of Acoustic Wave on the Pulse Repetition Rate of TEA-CO₂ Laser

Pak Kwang Il, Yun Tu Hon

In this paper a three-dimensional mathematical modeling has been considered for description of laser action. By calculating of the equations obtained from this model, the effect of the acoustic wave on the cavity dimensions, Mach number and pulse repetition rate of laser have been investigated. At last the optimum conditions for performance of laser operation has been arrived.

Key words: acoustic wave, pulse repetition rate