

## 광 집속장치용 빔 자동정렬 제어시스템 구현

# Control System Implementation of Auto-Beam Alignment System for Beam Director

박성언, 이수상, \*김영철, \*\*박용찬  
 두산인프라코어(주), \*충북대학교, \*\*국방과학연구소  
 e-mail : sungun.park@doosan.com

레이저 빔을 확대하여 공간상의 표적에 집속시키는 장치를 광 집속장치<sup>(1)(2)</sup>(Beam Director)라 한다. 광 집속장치는 레이저 빔을 확대하여 집속시키는 망원경부, 망원경부를 공간상의 특정위치로 향하게 하는 구동부, 입사 빔을 망원경부에 전달하는 연결광학부, 그리고 이들 부분 간의 광축 정렬 상태를 측정하고 자동으로 보정하는 빔 정렬부로 구성된다. 레이저 빔의 집속효율을 높이기 위해서는 부분 간의 광축정렬이 실시간으로 유지되어야 하고 광 집속장치에 콜리메이션된 레이저 빔이 입사되어야 한다. 그러나 각 부분간의 광학적인 오차, 각 부분별 기구적인 오차, 외부 환경에 의한 외란 등으로 광축정렬이 일정하게 유지되지 않으며, 레이저 발진시 진동 등의 영향으로 입사되는 레이저 빔에 요동이 발생하여 집속능력이 떨어지게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 망원경부 내에 고속주사장치(FSM: Fast Steering System)를 설치하여 광축오차 및 빔 요동오차를 제어 및 보상하여야 한다.

디지털 제어기 설계에 앞서, 광 집속장치 시스템을 수학적 모델링을 하기 위하여 주파수 응답특성 실험을 하였다. 실험을 통해 얻은 데이터는 최소자승추정(LSE: Least Square Estimation) 방법을 이용하여 광 집속장치 시스템을 식(1)과 같이 모델링을 하였다. 식(2)는 X축에 대한 전달함수 계수이다.

$$\hat{G}(s) = \frac{\hat{N}(s)}{\hat{D}(s)} = \frac{b_3s^3 + b_2s^2 + b_1s + b_0}{s^6 + a_5s^5 + a_4s^4 + a_3s^3 + a_2s^2 + a_1s + a_0} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} b_3 \\ b_2 \\ b_1 \\ b_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.729524035460244 \times 10^{10} \\ 2.707971416303608 \times 10^{13} \\ 1.323872372603376 \times 10^{17} \\ 1.898030130533337 \times 10^{20} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} a_5 \\ a_4 \\ a_3 \\ a_2 \\ a_1 \\ a_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.844855813082238 \times 10^3 \\ 2.289563710334477 \times 10^7 \\ 3.219661629708102 \times 10^{10} \\ 1.075825260407450 \times 10^{14} \\ 7.976712650236248 \times 10^{16} \\ 1.317120041136714 \times 10^{20} \end{bmatrix} \quad (2)$$

식(1)에서 구해진 광 집속장치 시스템의 전달함수에 대하여 성능규격을 만족하는 디지털 제어기를 설계하였다. 디지털 제어기의 성능규격은 다음과 같다.

- Sampling frequency : 3kHz
- Disturbance rejection : -10dB @30Hz

각 축에 대한 제어기 설계는 특성비지정법<sup>(3)</sup>(CRA: Characteristic Ration Assignment)을 이용하였으며, 연속계 제어기를 설계한 후, 디지털 제어기로 변환 하였다. 특성비지정법은 일반적인 극-영점 배치법과는 달리 특성 다항식의 계수비와 정착시간 사양만으로도 폐루프 시스템의 시간응답 사양을 만족하는 제어기의 파라미터들을 쉽게 찾아낼 수 있는 장점을 갖고 있다. 그림 1은 설계할 제어기 전달함수의 영점이 폐루프 시스

템의 영점으로 나타나지 않도록 하기 위해서 Two-parameter<sup>(4)</sup> 구조를 이용하였다.

L : Pre-filter gain, r: Reference, e: Error, u: Control signal, d: Disturbance signal, y: output

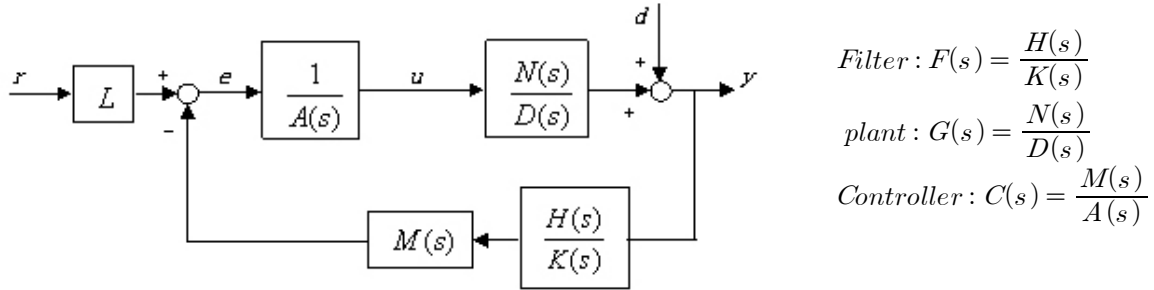


그림 1 Feedback structure for CRA

본 연구에서는 빔 정렬부를 통해서 광 집속장치 자체의 광축정렬 오차와 입사되는 레이저 빔의 요동 오차를 각각의 PSD(Position Sensitive Detector)로 피드백 받아, PZT 작동기로 구성된 2축의 FSM platform으로 오차를 보상하는 디지털 제어를 설계하였다. 표 1과 그림 2는 DSP Board 에서 실시간으로 데이터를 취득한 실험 결과이며, 요구사항을 만족하는 결과를 얻을 수 있었다.

표 1 외란제거 성능

구분	설계 사양	시뮬레이션	실험결과
X축	-10dB@30Hz	-16.7dB@30Hz	-12.48dB@30Hz
Y축	-10dB@30Hz	-14.8dB@30Hz	-11.33dB@30Hz

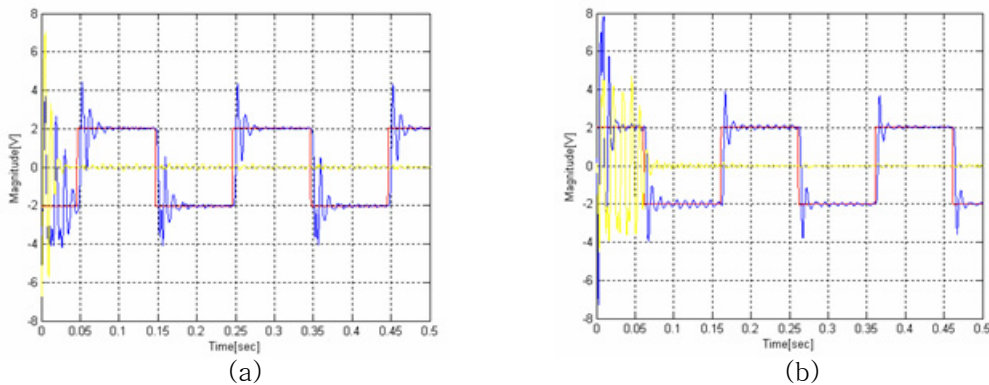


그림 2 단위 스텝 응답 특성 : (a) X축, (b) Y축

### 참고 문헌

1. 김연수, 김현숙, 김현규, "집속장치의 광축정렬을 위한 null 광학계," 한국광학회지, 15(3), 254-257, 2004
2. 김정주, 이수상, 김현숙, 김연수, "광집속장치 광기계 설계," 한국광학회 동계학술발표회, 276-277, 2005
3. Y. C. Kim, L. H. Keel, and S. P. Bhattacharyya, "Transient Response Control via Characteristic Ratio Assignment," *IEEE Trans. on Automatic Control*, vol. AC-48, no. 12, pp.2238-2244, DEC. 2003.
4. C. T. Chen, *Analog and Digital Control System Design: Transfer-Function, State-space, and Algebraic Methods*, Saunders College Publishing, Orlando, Florida, 1993.