

고출력 레이저광 측정용을 위한 계측 장치 제작 및 성능 평가

황대석^{*} · 최종운^{**} · 이영우^{*}

^{*}목원대학교 · ^{**}호남대학교

A development and evaluation of the high power laser measurement system

Dae-seok Hwang^{*} · Jong-woon Choi^{**} · Young-Woo Lee^{*}

^{*}Mokwon University · ^{**}Honam University

E-mail : stone@mokwon.ac.kr

요 약

고출력 레이저광 출력측정 및 교정을 위한 계측 장치를 제작하고 성능 평가에 관한 연구를 수행하였다. 계측 장치의 수광부는 금 코팅된 구리재질의 공동을 사용하여 제작되었다. 교정용 히터는 망가닌으로 제작되고, 출력 측정은 망가닌과 구리의 저항 브릿지를 사용하여 측정하였다. 외부 환경의 영향을 줄이기 위해 칼로리미터 내부의 온도를 5mK이하로 일정하게 하였다. 고출력 레이저 에너지의 측정을 위해 교정 인자와 보정 계수를 측정을 통하여 구하였다. 교정 인자는 100W 범위에서 489.13 J/mV 이고 500W 범위에서 497.04 J/mV이다. Nd:YAG Laser를 이용하여 보정 계수를 구한 결과 100W범위일 때는 0.99이고 500W범위일 때는 1.006으로 레이저 에너지와 전기적 교정의 차이는 1%이하이다.

ABSTRACT

We have developed the measurement system for the high power laser. The absorber is made of gold-plated copper cavity. The calibration heater is using a manganin(CuMn12Ni ; Isabellenhütte) coil, and output power is measured by using of resistance bridge with composed manganin and copper coil. Developed system can measure for 5~1000W laser output power range. Calibration factors are 489.13 J/mV at 100W range and 497.04 J/mV at 500W range. Correction factors are 0.99 at 100W range and 1.006 at 500W range.

키워드

power measurement, powermeter, Calorimetry

1. 서 론

레이저의 출력측정에는 레이저의 파장과 출력 및 발전 방식에 따라 측정기 및 측정 방법도 바뀌게 된다. 광통신이나 거리측정 등에 사용하는 레이저의 경우는 미약한 μW 정도의 계측이 필요하고, 레이저 가공 등의 경우는 수 십 kW 정도까지 측정 할 수 있어야한다. 또한 발전방식(연속광, 펄스광)에 따라서 측정기 및 측정방법도 바뀌게된다.

일반적으로 레이저광을 검출하는 소자들은 약 수 십 mW 이하의 출력을 갖는 레이저의 경우에는 광다이오드나 PMT(Photo Multiplier Tube)가 주로 사용되며, 수 십 mW 이상의 경우에는 ECR(Electrically Calibrated Radiometer)형태의 초전체(Pyroelectric)검출기, 써모파일(Thermopile) 검출기, 레이저 칼로리미터(Laser Calorimeter) 등이 사용된다.

여러 계측 장비중 본 연구에서는 최근 다양한 분야에서 넓은 응용을 가진 고출력 CO₂와 Nd:YAG 레이저의 출력측정 장치(레이저 칼로리미터)를 개발하여 성능 평가를 하였다. 레이저 칼로리미터는 레이저광의 출력이나 에너지를 전기적인 출력이나 에너지와 비교하여 측정하는데 사용된다. 레이저 칼로리미터는 watt나 joule 값을 단위로 하여 레이저광의 출력과 에너지를 측정할 수 있는 편리하고 정확한 교정 장비로 사용할 수 있다. 레이저 칼로리미터는 측정하려 하는 레이저 에너지를 수광부에서 받아들여 열로 변환한 후 온도상승을 열기전력으로 바꾸어 측정하는 장치이다. 레이저 칼로리미터는 정밀도도 높고, 레이저광에 대한 파장의존성이 작으며, 주위 온도 등 환경의 변화나 시간경과에 따른 오차가 작아 폭

넓게 사용된다[1]. 하지만 원리적으로 레이저를 열기전력으로 변환하기 때문에 레이저의 변화에 대한 응답 속도가 늦은 단점이 있다.

II. 본 론

1. 기본 이론

레이저 칼로리미터에 대해 입력되는 레이저나 전기적 에너지는 온도의 형태로 시간에 따라 증가한 후 감쇠하는 지수 함수 형태로 나타내어진다. 이를 측정하는 식을 두 가지로 요약하면 다음과 같다[2].

$$W = E[T_F - T_I + \epsilon \int_{t_I}^{t_F} (T - T_\infty) dt] \quad (1)$$

$$\frac{dT}{dt} = -\epsilon(T - T_\infty) \quad (2)$$

W : 흡수부에 흡수된 전기에너지 또는 레이저 에너지

E : 교정인자

ϵ : 냉각 상수

T_F : 최종 평가 시점 t_F 에서의 흡수부 온도

T_I : 초기 평가 시점 t_I 에서의 흡수부 온도

T : 초기 평가 시점과 최종 평가 시점 사이의 온도

T_∞ : 평형 온도

ΔT_c : 변환 온도 상승

식 (1)에서 $E[T_F - T_I]$ 는 칼로리미터 내부에너지의 변화이고 $E \cdot \epsilon$ 과 적분의 곱은 칼로리미터와 주변의 열 교환으로, 이 열 교환은 칼로리미터의 온도 기울기에 의존하게 된다. 실제적으로 실험에서 온도 변화를 나타내는 식 (2)의 조건을 만족할 때 식 (1)에 의해 레이저 에너지를 측정하여 평가하게 된다.

2. 실험 장치 구조 및 실험 장치도

(1) 실험 장치 구조

그림 1은 제작된 칼로리미터의 개략도이다. 그림 1에서 칼로리미터는 크게 세부분으로 나뉜다.

첫 번째 부분인 칼로리미터 본체는 흡수부와 보호부로, 본체의 역할은 레이저 에너지나 전기적 에너지를 받아 온도 상승을 측정하는 역할을 하는데, 재질은 금 코팅된 구리로 되어 있다. 흡수부는 내부에 입사되는 레이저를 분산시켜 흡수하는 역할을 한다.

두 번째 부분인 칼로리미터 온도 조절 자켓은 온도 조절을 위한 가열용 구리선과 온도 검출을 하기 위해 구리와 망가닌이 브릿지 형태의 쌍선으로 감겨 있다. 온도 조절 자켓은 온도 검출용 브릿지에서 검출된 온도 변화를 제환하여 온도 조절을 위한 가열용 구리선에 전기적 에너지를 가해 일정한 온도를 유지시켜 준다. 제작된 레이저 칼로리미터의 온도 안정도는 $5mK$ 이내의 정확도를 갖는다.

세 번째 부분인 외부 케이스는 칼로리미터 본체와 온도 조절 자켓을 연결하기 위해 120° 각도로 3개의 지지링이 삽입되어 있다. 또한 지지링은 측정 시간을 단축하기 위해 가열된 칼로리미터 내부에 외부 공기를 붙여넣어 내부 온도를 조절하는 역할을 한다.

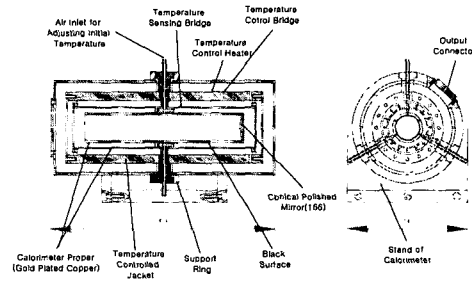


그림 1. 레이저 칼로리미터의 구조도

Fig. 1 Schematic of the Laser Calorimeter

(2) 실험 장치도

그림 2는 레이저 에너지를 측정하기 위한 장치도이다. 레이저빔은 셔터에 의해 입사되고 입사되는 시간은 동일시간에 셔터를 통과하는 He-Ne 레이저를 검출하여 디지털 카운터(SR-620)에 의해 측정된다. 입사된 빔은 칼로리미터 본체의 흡수부에서 Conical Mirror에 의해 분산되어 흡수된다. 흡수부에서 흡수된 빔은 열 에너지로 변환되어 구리링을 통해 보호부로 전달되고 보호부의 저항 브릿지에서 변환 온도 상승 ΔT_c 를 측정하여 레이저의 실제적인 출력을 구할 수 있게 된다.

측정을 시작하기 전에 흡수부의 온도 변화율이 식 (2)를 만족할 만큼 작아야 한다. 그러나 실제적으로는 시간에 따른 흡수부의 온도 변화율이 0이 될 때까지 기다리지 않고 초기 평가 구간의 온도 변화율이 최종 평가 구간의 온도 변화율의 10%이하일 때 측정을 한다.

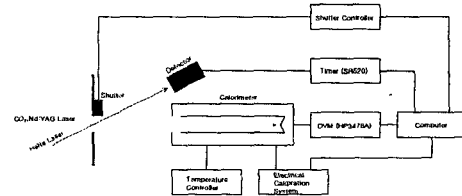


그림 2. 레이저 출력 측정을 위한 실험 장치도

Fig. 2 Experimental Setup for Laser Power Measurement

그림 3은 칼로리미터의 전기적 교정을 위한 구성도이다. 전기적 교정을 위해 본 실험에서는 칼로리미터 흡수부 망가닌 코일 히터에 입력되는

전류를 측정하기 위해 표준 저항을 망가닌 코일 히터와 직렬로 연결하였다. 전원 공급을 위해 칼로리미터 흡수부의 망가닌 코일 히터에 DC 전력 공급기(HP6035A)를 사용하였다. 흡수부 망가닌 코일 히터와 표준 저항에 걸리는 전압의 측정을 위해 DVM(HP34420A)을 사용하였고, 전원이 공급된 시간을 측정하기 위해 표준 저항에 병렬로 디지털 카운터(SR620)를 연결하였다. 망가닌 코일 히터의 흡수부 가열에 의한 변환 온도 상승 ΔT_c 를 측정하기 위해 보호부의 변환 온도 측정용 망가닌-구리 저항 브릿지의 전압을 DVM(HP34420A)로 측정하였다.

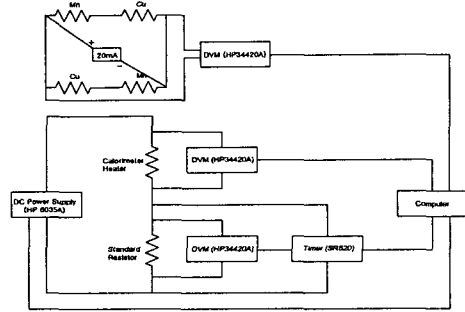


그림 3. 레이저 칼로리미터의 전기적 교정을 위한 구성도
Fig. 3 Diagram for Electrical Calibration of the Laser Calorimeter

3. 실험 결과 및 고찰

전기적 교정을 위한 전원 공급기와 두 대의 DVM, 디지털 카운터를 PC에 GPIB를 통해 연결되어있다. 전기적 교정을 위한 장비를 제어하고 이 장비들로부터 원하는 데이터를 수집하기 위해 National Instrument사의 LabVIEW를 이용하여 전기적 교정을 위한 프로그램을 작성하였다.

본 실험에서는 첫째로 입력된 전기적 에너지 변화에 따른 교정 인자 E 를 구하기 위해 시간을 고정하고 전기적 에너지 세기를 변화시켜 측정하였고, 둘째로 입력 시간 변화에 따른 교정인자 E 의 변화를 측정하기 위해 전력을 고정하고 후 시간을 변화시켜 측정하였다.

첫째로 시간을 고정하고 후 전기적 에너지 세기를 5~100W, 100~500W로 나누어 측정하였다. 이와 같이 측정하는 이유는 망가닌 선이 입력된 전기적 에너지 세기에 따라 절연 파괴 시간이 달라지기 때문이다. 입력된 전기적 에너지 세기별 측정 시간은 5~100W사이에서 25초 동안, 100~500W 사이에서 5초 동안 측정하였다. 각 단계별로 입력된 전기적 에너지는 5~100W사이에서는 25초 동안 500J(5W), 1500J(25W), 2500J, 100~500W 사이에서는 5초 동안 500J(100W), 1500J(300W), 2500J(500W)의 에너지를 입력하여 측정하였다.

둘째로 전력을 고정하고 후 시간을 변화시켜 시

간의 변화에 대한 교정 인자 E 의 변화를 측정하였다. 첫 번째 단계에서 전력을 100W로 고정하고 시간을 5초, 15초, 25초, 두 번째 단계에서는 전력을 500W로 고정하고 시간을 1초, 3초, 5초로 변화시켜 측정하였다.

실험 결과 전기 에너지의 변화와 입력 시간에 따른 변화의 결과에서 칼로리미터의 교정 인자는 100W 범위에서 약 489.13(J/mV)이고 500W 범위에서 약 497.04(J/mV)이었다.

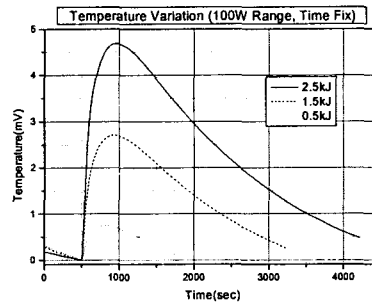


그림 4. 전기에너지 변화에 대한 흡수부 온도 변화(전기에너지 입력시간 25초)
Fig. 4 Absorber Temperature Variation against Time for Various Electric Energies when the Energy Input Time is 25s

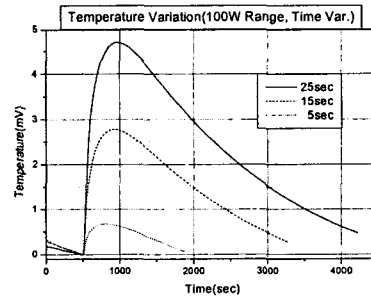


그림 5. 전기에너지 변화에 대한 흡수부 온도 변화(전력 100W, 입력시간 5초, 15초, 25초)
Fig. 5 Absorber Temperature Variation against Time for Various Electric Energies when the Electrical Power is 100W and the Energy Input Time is Changed

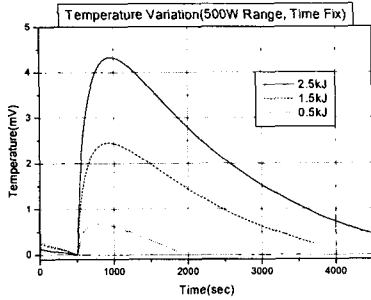


그림 6. 전기에너지 변화에 대한 흡수부 온도 변화(전기에너지 입력시간 5초)
Fig. 6 Absorber Temperature Variation against Time for Various Electric Energies when the Energies Input Time is 5s

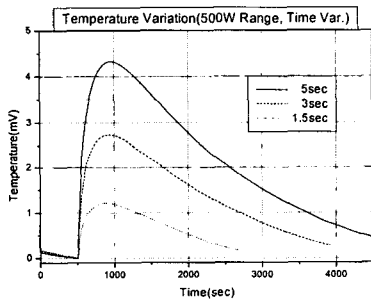


그림 7. 전기에너지 변화에 대한 흡수부 온도 변화(전력 100W, 입력시간 1초, 3초, 5초)
Fig. 7 Absorber Temperature Variation against Time for Various Electric Energies when the Electrical Power is 500W and the Energy Input Time is Changed

레이저 칼로리미터에서 흡수부의 레이저 에너지 흡수율이 이상적으로 100%가 될 수 없기 때문에 흡수부의 흡수율에 대해 보정을 해야한다. 또한 흡수부 외부에서 공급되는 전기 에너지와 내부에서 흡수되는 레이저 에너지는 서로의 에너지 흡수 조건이 서로 다르기 때문에 보정해야 한다.

본 실험에서는 흡수부의 흡수율 보정에서 전기 및 레이저 에너지의 흡수 차이에 대한 보정 계수를 구하였다.

칼로리미터로 측정되는 레이저 에너지 W_l 는 다음과 같이 표현된다.

$$W_l = \frac{E \cdot \Delta T_{cl}}{\alpha} \quad (3)$$

E : 교정인자

ΔT_{cl} : 레이저에너지 입력에 의한 온도 변화

α : 보정 계수

이를 입사 경과 시간과 Coherent INC.의

LabMaster에 LM-200 HTD Standard Sensors로 측정된 레이저 출력을 사용하여 흡수부에 입사된 레이저 에너지 W_l 를 구하는 보정 계수식은 다음과 같다.

$$\alpha = \frac{E \cdot \Delta T_{cl}}{W_l} \quad (4)$$

흡수부에 입사되는 Nd:YAG 레이저의 출력을 20W로, 입사 시간을 25초로 했을 때 전기적 교정에서 측정된 E 와 칼로리미터에 레이저 에너지를 입사하여 측정된 ΔT_{cl} 를 식 (4)을 이용하여 구한 보정 계수는 100W일때는 0.99이고 500W일때는 1.006이다.

III. 결 론

최근 넓은 분야에서 다양한 응용을 가진 고출력 CO₂ 레이저 Nd:YAG 레이저의 계측 및 교정을 하기 위한 레이저 계측 장치를 개발하고 장치의 성능을 평가하였다. 광대역의 레이저를 측정하기 위해 100W범위와 500W 범위에서 교정 인자와 보정 계수를 측정하였다.

외부 환경의 영향을 제거하기 위해 5mK이하의 온도 변화율을 가진 항온조를 제작했다. 외부 환경의 영향을 제거한 상태에서 측정된 칼로리미터의 교정 인자는 100W 범위에서 약 489.13J/mV이고 500W 범위에서 약 497.04J/mV로 측정되었다. 출력에 대해 1%의 안정도를 가진 Nd:YAG레이저를 사용하여 보정 계수를 구한 결과 100W일때는 0.99이고 500W일때는 1.006이다. 이는 제작된 레이저 칼로리미터의 전기적 교정과 실제 레이저 에너지의 입력에 의한 차이가 1%미만으로 우수한 구조적 특성을 갖음을 나타낸다.

참고문헌

- [1] 김용완, 신동주, 최종운, 정영봉, 이인원, "레이저 출력 측정을 위한 열량계 제작 및 특성 평가", 응용물리 Vol. 9, number 4, pp. 435~439,(1996)
- [2] E.D. West, W. E. Case, A. L. Rasmussen, and L. B. Schmidt, "A reference calorimeter for laser energy measurement", J. Res. Nat. Bur. Stand.(U. S.), 76A(Phys. and Chem.), N0 1, p13, (Jan.-Feb., 1972)