

고출력 레이저 시스템을 위한 대구경 Faraday Rotator 제작

論 文

57-6-18

Design of the Large Diameter Faraday Rotator for High-power Laser Systems

洪成基* · 徐永錫** · 高光薰*** · 金永原§ · 韋相烽§ · 林昶煥†
(Sung-Ki Hong · Young-Seok Seo · Young-Won Kim · Kwang-Hoon Ko ·
Sang-Bong Wee · Changhwan Lim)

Abstract - We report on the design and experimental results of a large diameter faraday rotator for the high-power laser system (KLF: Kaeri laser facility) that was completed in late 2007s at Korea Atomic Energy Research Institute. The design involves modelling the magnetic field of cylindrical coil with large diameter (110 mm). Magnetic field generation coil is designed by 6 layers using a rectangular wire with cross-sectional area 3×5 [mm²]. We obtain an isolation ratio for optical feedback of 35 dB at 1064 nm and magnetic field strengths ~ 25 kG. We expect that the design can be widely used optical isolators in high-power laser system.

Key Words : Optical isolator, High-power laser, Optical device, Magneto optic effect, High-uniform magnetic filed

1. 서 론

빛이 굴절률이 서로 다른 매질의 경계 면을 통과하게 되면 입사한 광의 일부가 반사되어 다중모드의 발생, 고스트시그널의 발생 등 여러 가지 문제를 발생시킨다. 입사광의 반사를 줄이기 위한 방법으로 매질의 경계면에 무반사 코팅 처리를 하여 사용하는 것이 일반적이는데 이 또한 입사한 광의 반사를 완전히 막을 수는 없다. 그러므로 고출력 레이저 시스템과 같이 고출력을 얻기 위하여 여러 단계의 증폭단을 거치면서 레이저 광을 증폭하는 경우에는 아주 작은 양의 반사광이라도 역방향으로 증폭되어 레이저 발진기 및 광학 재료의 심각한 손상을 초래할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 전기 또는 자기광학 효과를 이용하여 개발된 Faraday rotator(FR), Pockel's cell(PC) 그리고 Plasma electrode Pockel's cells(PEPC) 등과 같은 광 다이오드가 사용된다.[1-3] 고출력 레이저 시스템에서는 광 에너지의 증폭을 도모하고 광 매질의 손상을 방지하기 위하여 단위 면적당 에너지를 일정하게 유지시켜야 한다. 그러므로 초기 증폭단에서 입사광이 증폭되면 광 에너지가 증가되므로 다음 증폭단에서는 광 에너지가 증가 되어진 만큼 광의 구경이 확대되도록 설계하여야 한다. 즉, 여러 단계의 증폭단을 거치게 되면서 광의 구경은 점점 더 커지게 되는 것이다. 상

대적으로 구경이 작은 입력단 쪽의 반사광은 상용화되어 있는 PC 또는 FR 광다이오드를 사용하여 차단 할 수 있지만 광의 구경이 45 mm 이하인 경우에만 가능하다. 이는 광의 구경이 커질수록 자기광학 효과를 이용하는 FR과 전기광학 효과를 이용하는 PC 모두 매질에 균일하고 강한 자기장 또는 전기장을 분포시키기 어렵기 때문이다.

한국원자력연구원에서는 4개의 빔 라인을 가지는 1 kJ급 Nd:glass 레이저 시스템(KLF: Kaeri Laser Facility)을 구축하고 있다. 시설은 2007년 말 완공되어 정상적으로 가동되고 있으며, 현재는 레이저 출력 안정화 실험을 진행 중에 있다[4-8]. 본 논문에서는 KLF 레이저 시스템에서 광다이오드로 사용되고 있는 110 mm 대구경 코일형 FR의 설계/제작하였다. 자기장 발생 코일에 대한 설계 파라미터를 선정하기 위하여 시뮬레이션을 실행하였다. 제작된 FR의 특성 실험을 통해 충전전압에 대한 자속밀도와 전류의 상호관계를 알아보고, 패러데이 회전각에 대한 광차단비를 측정하였다. 특히, 제작된 FR의 전원 및 측정 회로는 KLF 레이저 시스템과 연동하여 운영될 수 있도록 하였다.

2. Faraday rotator의 원리

FR은 자기광학 효과로 잘 알려져 있는 Faraday 효과를 이용한 장치로 상자성 또는 반자성을 띠는 투명한 유리에 일정량의 자기장을 인가하여 전파하는 선형 편광된 광의 편광면을 회전 시키는 것이 가능하다. 이는 좌회전 및 우회전의 원편광에 대한 굴절률이 다른 복굴절에 기인하는데, 빛의 진행 방향에 관계없이 자기장의 방향에 의해서만 편광의 회전 방향이 결정되어진다. 자기장 H 안에 위치한 두께 l 인 Faraday glass를 통과하는 광의 편광 회전각을

$$\theta = V \cdot H \cdot l \quad (1)$$

로 정의 할 수 있다.

* 正 會 員 : 韓 國 原 子 力 研 究 院 博 士 後 課 程
** 非 會 員 : 韓 國 原 子 力 研 究 院 博 士 後 課 程
*** 非 會 員 : 韓 國 原 子 力 研 究 院 先 任 研 究 員
§ 非 會 員 : 韓 國 原 子 力 研 究 院 碩 士 後 課 程
§§ 正 會 員 : 韓 國 技 術 教 育 大 學 校 教 授
† 교 신 저 자 , 非 會 員 : 韓 國 原 子 力 研 究 員 責 任 研 究 員
E-mail : chlim@kaeri.re.kr
接 受 日 子 : 2008 年 1 月 31 日
最 終 完 了 : 2008 年 4 月 22 日

여기서, V 는 Faraday glass의 자기광학 계수로 버데트 (Verdet) 상수라 불리며 $\text{min}/(\text{Oe}\cdot\text{cm})$ 의 단위로 나타낸다.

FR의 기본 구성 및 개념도를 그림 1에 나타내었다. FR은 편광각을 정의할 수 있도록 편광각이 45° 다른 두개의 편광자를 양쪽에 두고 장치의 내부에 Faraday glass를 위치시켜 외부에 자기장 발생을 위한 코일 또는 영구자석으로 구성한다. 수직으로 편광된 입력광이 편광자 1을 손실 없이 통과할 때, 식(1)로부터 Faraday glass에 적당한 자기장을 인가하면 Faraday glass를 통과 한 입력광은 45° 회전하게 된다. 이때, 45° 회전된 광이 편광자 2를 손실 없이 통과하고 반사되어 돌아오는 광이 편광자 2를 지나 Faraday glass를 통과하면서 한차례 더 45° 회전하면서 수평 편광으로 바뀐다. 따라서 수평 편광된 광은 수직 편광만을 통과시키는 편광자 1에 의해서 차단되어진다.

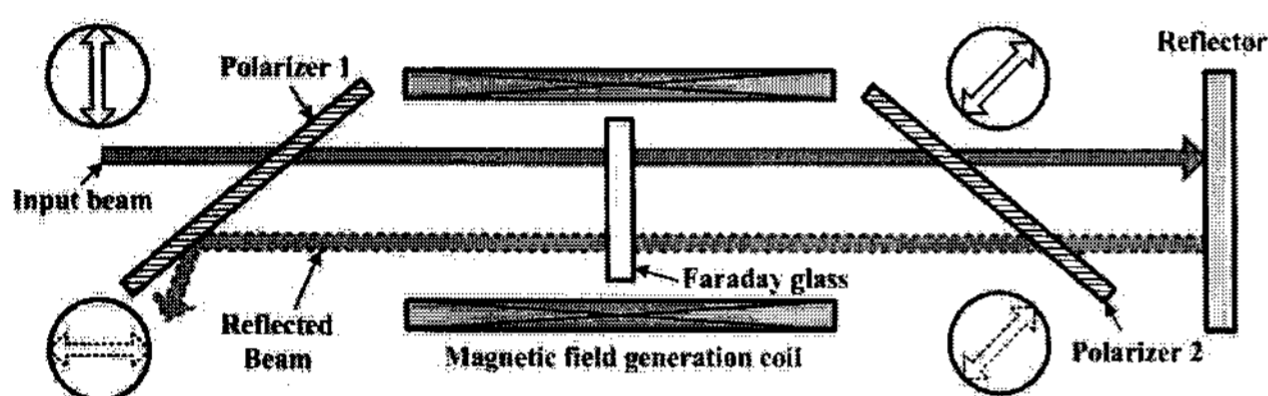


그림 1 Faraday rotator의 기본 구성 및 개념도
Fig. 1 Principle of Faraday rotator

Faraday glass의 선정함에 있어서 고려해야 할 사항은 버데트 상수가 크고, 비선형 굴절률이 작아야 하며, 복굴절성 또한 낮아야 한다. 대구경 Faraday glass 매질로 사용되는 상자성체와 반자성체 glass에 대한 특성을 비교하여보면, 상자성체가 반자성체에 비해 버데트 상수가 크고 비선형 굴절률이 작다. 그러므로 상자성체를 사용하는 것이 바람직하다. 상자성체 glass에 대한 버데트 상수는 다음과 같은 식을 갖는다. [9-10]

$$V(\lambda) = -\frac{(n_0^2 + 2)^2}{9n_0} \frac{N}{T} \frac{A}{\lambda^2 - \lambda_t^2} \quad (2)$$

여기서, N 은 단위 부피당 활성상자성 이온 수, T : 온도, A : 매질에 따른 상수, λ : 레이저의 파장 그리고 λ_t : 효과적인 전이 파장을 나타낸다. 식 (2)을 기반으로 상용화된 상자성체 Faraday glass의 레이저 파장에 따른 버데트 상수를 조사한 결과 Tb^{3+} 첨가된 Hoya FR-5가 구축하고 있는 KLF 레이저 시스템에 적합하다고 판단되어 제작한 FR의 Faraday glass로 선정하였다. 이는 상대적으로 고가인 결정 상태의 매질을 제외하고 대구경 광학계에서 사용하기 적합하기 때문이었다.

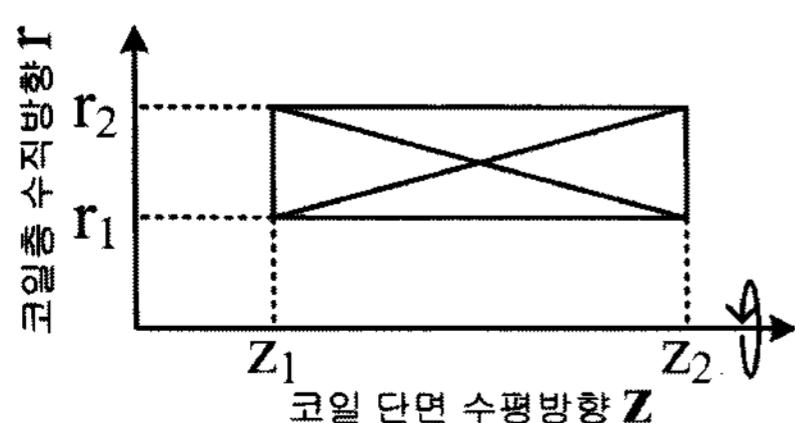


그림 2 Faraday rotator의 상단 코일 단면
Fig. 2 Partial cross section of Faraday rotator coil

3. 자기장 발생 코일의 설계 및 실험 준비

FR의 동작 특성 및 성능은 인가되는 자기장의 균일성에 크게 좌우되어지는데, 입사되는 레이저 광의 차단비 (Isolation rate)를 30 dB 이상(자기장 균일성 $dH/H = \pm 4\%$)이 되도록 자기장 발생 코일을 설계하여 제작하였다. 그리고 설계된 코일의 시뮬레이션을 통해 자기장이 유도되었을 때의 자기력선과 등자기선에 대한 이론적 결과를 얻었다. 제작된 코일로 부터 유도된 자기장을 계산하기 위하여 그림 2와 같은 코일의 단면 [s]를 생각할 수 있다. 이때, 전류밀도 J 인 상태에서 φ 방향으로 전류가 흐를 때 vector potential A 는 다음 식과 같이 기술할 수 있다.

$$A_r(r, z) = A_z(r, z) = 0 \quad (3)$$

$$A_\varphi(r, z) = 0.2J \int_0^\pi d\varphi \sin\varphi [\sin\varphi (z' - z) \times \ln(r' - r\cos\varphi + s) \times r\sin 2\varphi \ln(z' - z + s) + r\cos \times 2\varphi \tan^{-1} \frac{(r' - r\cos\varphi)(z' - z)}{(r\sin\varphi)s}]_{z'=z_1, r'=r_1}^{z'=z_2, r'=r_2} \quad (4)$$

코일의 미소단면적 s 와 r 과 z 에 대한 함수 관계 f 는 다음과 같고,

$$s = \sqrt{r'^2 - 2rr'\cos\varphi + r^2 + (z' - z)^2} \quad (5)$$

$$[f(z', r')]_{z'=z_2, r'=r_2}^{z'=z_1, r'=r_1} = f(z_2, r_2) - f(z_2, r_1) - f(z_1, r_2) - f(z_1, r_1)$$

$B = \nabla \times A$ 관계식에 식(3)과 (4)를 대입하면, 자속밀도 B 는 다음과 같다.

$$B_\varphi = 0 \quad (6)$$

$$B_r = 0.2J \int_0^\pi d\varphi \cos\varphi [s + r\cos\varphi \ln(r' - r\cos\varphi + s)]_{z'=z_1, r'=r_1}^{z'=z_2, r'=r_2} \quad (7)$$

$$B_z = 0.2J \int_0^\pi d\varphi [(z' - z) \ln(r' - r\cos\varphi + s) - r\cos\varphi \ln(z' - z + s) - r\sin \times \varphi \tan^{-1} \frac{(r' - r\cos\varphi)(z' - z)}{(r\sin\varphi)s}]_{z'=z_1, r'=r_1}^{z'=z_2, r'=r_2} \quad (8)$$

계산된 결과에 따라서 r, z, J 를 입력 데이터로 하여 자속밀도의 r 성분 B_r, z 성분 B_z 그리고 자속밀도 B 를 구할 수 있다. 또한, 코일의 단면도와 자기력선 그리고 등자기선을 그래프로 나타내어 계산 결과를 구한다. 그림 3은 시뮬레이션 계산 결과를 토대로 설계한 110 mm 구경의 FR 단면도를 나타내고 있으며 설계상의 파라미터를 표 1에 정리하였다. 코일에 장시간 충전 전압이 가해지면 코일이 가열되는데 이로 인해 Faraday glass의 성능을 저하시키는 원인이 된다. 본 설계에서는 코일의 열적 영향이 가능한 한 작게 미치도록 하기 위하여 자기장 발생 코일과 Faraday glass 홀더 사이의 간격을 띄우고 질소 가스를 순환 시키도록 하였다. 그 결과 3분 간격으로 반복 동작시킨 경우에도

Faraday glass에 대한 열적 영향을 방지 할 수 있었다. 사용된 코일의 단면적은 3×5 [mm]인 직사각형 도선으로 Faraday glass의 원통형 둘레를 6층 권으로 하였고, 코일 전체를 전기 절연물로 고형화 시켰다. 이러한 방법은 각 층간의 전기 절연 파괴를 방지할 수 있을 뿐만 아니라 코일이 강력한 전자기력으로 움직이지 않도록 하는 것이 가능하다. 특히, FR 내부의 자기장 일그러짐을 보상하기 위하여 코일 주변에 사용되는 모든 자재 및 부품들을 플라스틱 제품으로 설계/제작 하였다. 또한, Faraday glass는 간단하게 탈부착이 가능하도록 하였다. 그림 4는 시뮬레이션에 의한 코일 내부의 자기력선과 등자기선을 보인 것이다. 코일의 중앙부에서는 자기장의 강도가 상당히 균일하게 분포하고 있음을 알 수 있다.

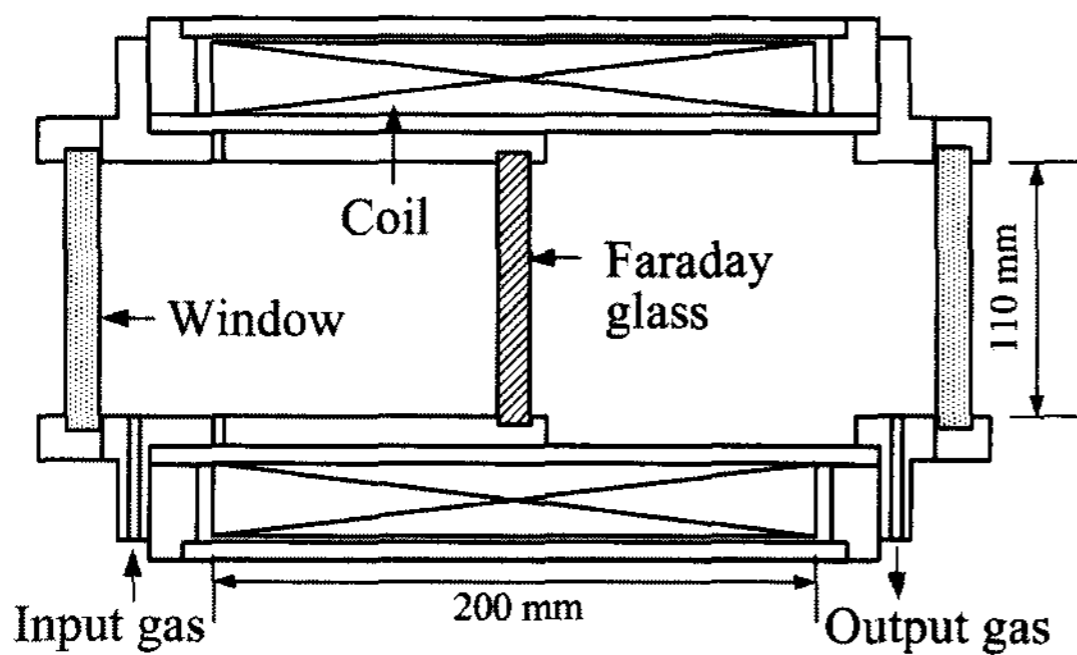


그림 3 Faraday rotator의 설계 단면도
Fig. 3 a cross section of Faraday rotator

표 1 Faraday rotator 설계 파라미터
Table 1 Design parameters of Faraday rotator

코일 내경 [mm]	135
코일 외경 [mm]	180
코일 단면 총 길이 [mm]	200
코일 길이 [mm]	105, 900
권 수	214
인덕턴스 [mH]	3.75
저 항 [mΩ]	120
캐패시턴스 [μF]	150
최대 인가 전압 [kV]	15
최대 전류 [kA]	3.8
자기발생 지연 시간 [ms]	1.17

자기장 발생 코일의 구동용 전원 회로를 그림 5에 나타내었다. 용량이 150 μF인 콘덴서에 축적된 에너지를 Ignitron 스위치에 의하여 자기장 발생 코일에 인가하는 구조이다. Ignitron 스위치(Nation NL-508a)는 내구성이 좋고 잡음이 적으며 대용량 전류 전송에 적합한 제품을 사용하였다. 발생 자기장은 Hall effect Gauss meter (Hisrt GM-04, probe AP-002)로 측정하였으며, 전류는 Rogowski 코일을 이용하여 오실로스코프(Tektronix 7810A)로 관측하였다.

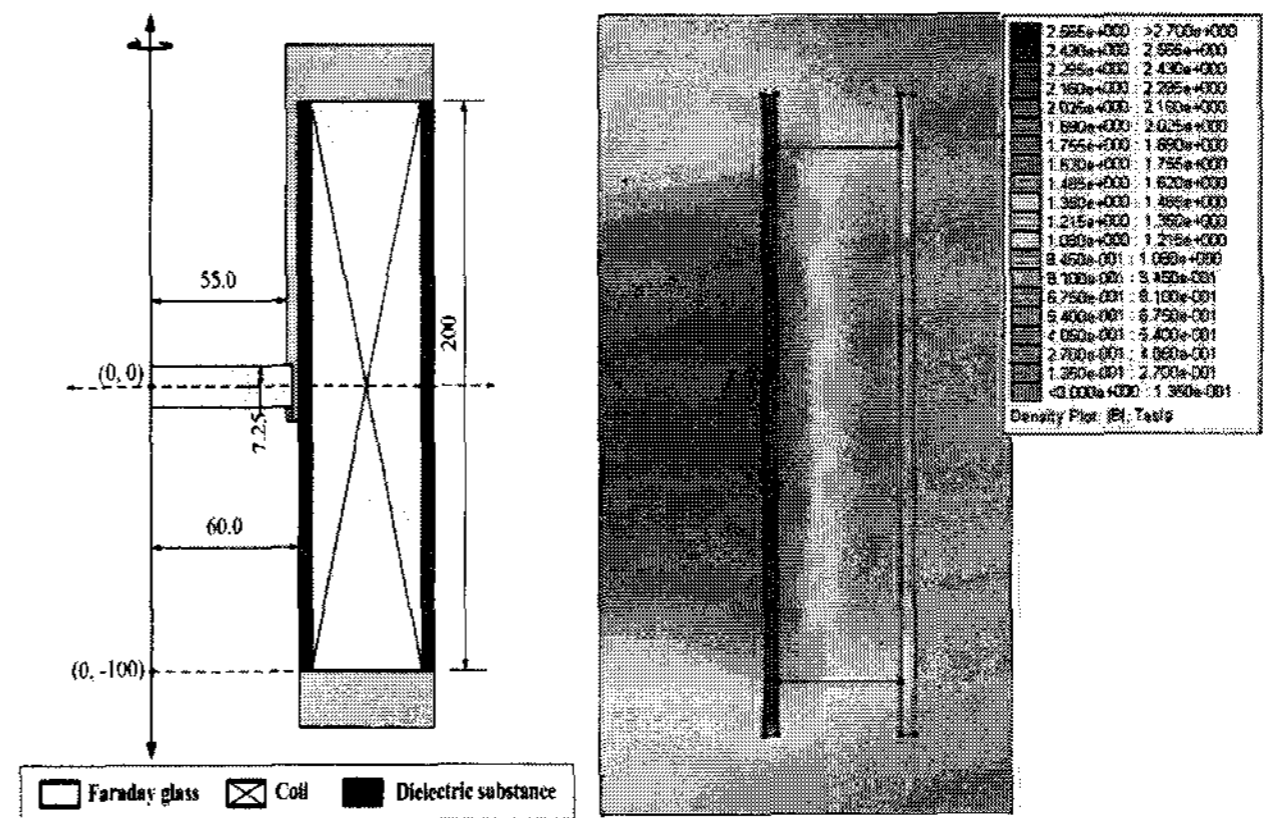


그림 4 FR의 설계 수치와 시뮬레이션 결과
Fig. 4 Dimension and simulation results of FR

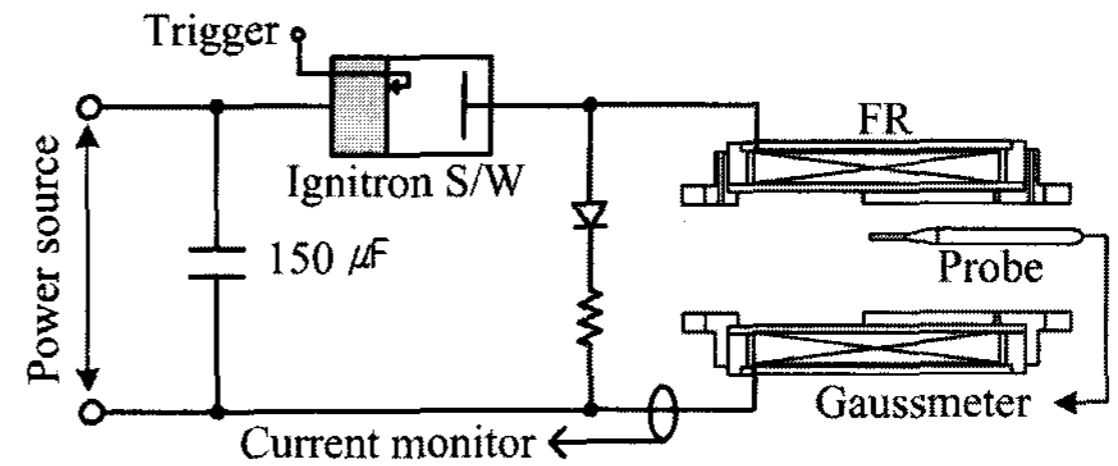


그림 5 FR의 전원 회로 및 측정 시스템
Fig. 5 Power circuit of FR

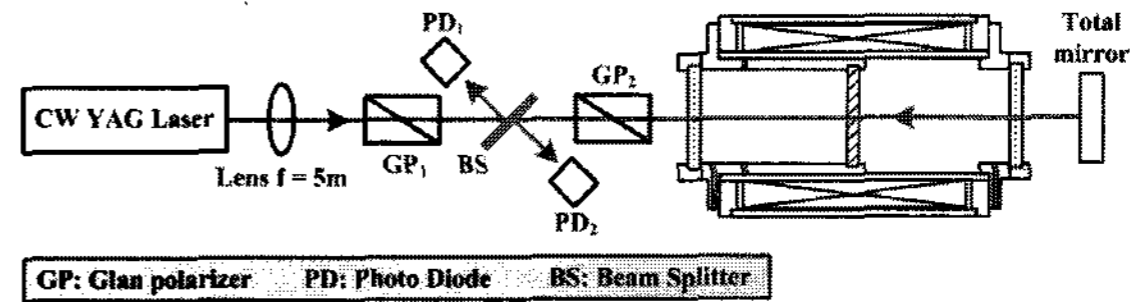


그림 6 광차단비 측정을 위한 실험 구성도
Fig. 6 Measurement system of optical isolation rate

FR의 광차단비를 측정하기 위하여 구성한 실험장치의 개념도를 그림 6에 나타내었다. 연속출력 Nd:YAG 레이저를 프로브 광으로 하여 초점거리가 5 m인 렌즈를 통해서 Faraday glass를 전파한 광의 구경이 1 mm가 되도록 하였다. 광차단비를 정확히 측정하기 위해서는 고성능의 편광자를 사용하는 것이 필요하므로 소광비가 $10^5:1$ 인 성능을 가진 글란-편광자를 사용하였다. FR의 광차단비는 입사광 I_0 (광분할기로부터 반사광을 PD1으로 측정)과 반사광 IR (반사경으로부터 반사된 광을 PD2로 측정)을 측정하여 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$R_{iso} = 10 \log_{10} (I_{R0} I_i / I_R I_0) (dB) \quad (9)$$

여기서, I_{R0}, I_0 는 FR을 동작시키기 전의 입사광과 반사광의 광 강도이고, I_R, I_i 은 FR을 동작시킨 후의 광 강도이다. 제작된 FR을 KLF 레이저 시스템에 적용하여 광차단비를 측정하기 위하여 그림 7과 같은 실험 장치를 구성한다. 증폭단의 Rod 증폭기를 5단계 전파한 입사광의 구경은 58 mm 이고 출력에너지 48 J (@1064 nm, 8 ns) 이었다.

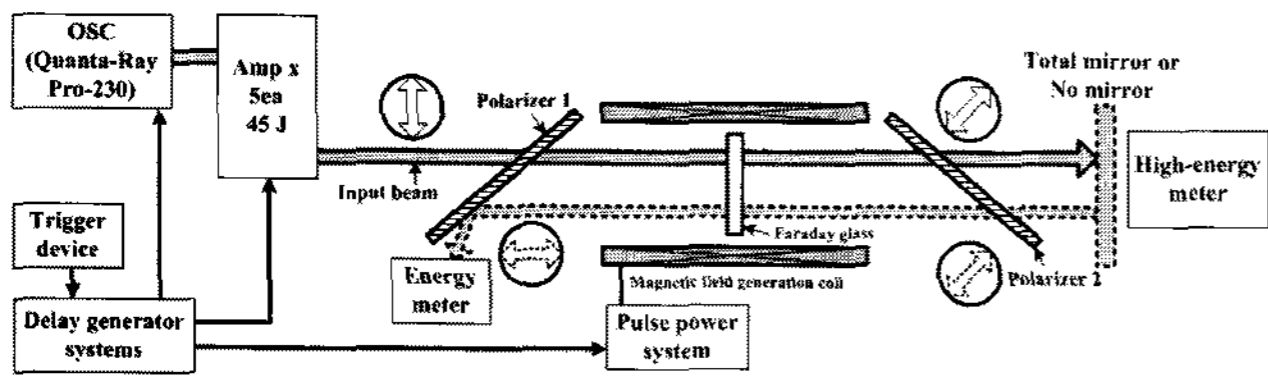


그림 7 KLF 시스템에 실제 배치되었을 때의 실험 구성도
Fig. 7 Measurement system of a Faraday rotator for KLF

3. 실험 결과 및 검토

전압을 인가하여 FR의 동작특성을 확인하였다. 코일에 흐르는 전류의 양과 자기장의 크기는 충전전압에 의존하여 일정하게 유지되었으며 재현성이 우수하였다. 충전전압에 따른 코일전류 I 와 자속밀도 B 를 측정하여 그림 8에 보였다. 이때, 실험 결과는 FR의 중앙부에서 측정한 값이다. 결과로부터 FR를 통과하는 입사광의 편광면을 45° 회전시키기 위해서 필요한 자속밀도가 22 kG라면, 충전 전압은 12 kV이고 코일에 흐르는 전류는 약 3 kA가 됨을 알 수 있다.

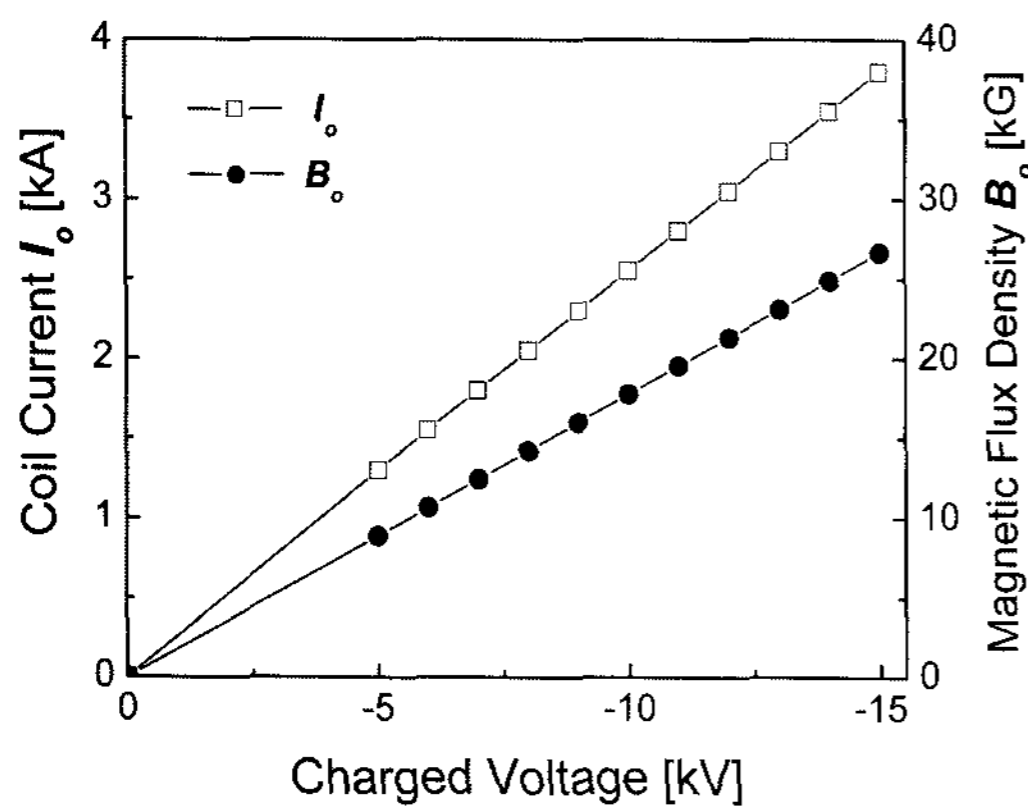


그림 8 충전전압에 따른 자속밀도 B와 전류 I의 관계
Fig. 8 Magnetic density B and current I with charged voltage

그림 9는 충전전압 12 kV일 때, FR의 중심부(광의 진행 방향 $z=0$)에서 FR의 반경(r) 방향에 대한 자기장의 변화를 보여준다. 여기서, 검정색 선은 계산 값이고 속이 빈 원은 실험에 의한 측정 결과를 나타낸다. 여기서, 계산 값과 측정 결과가 약간 다르게 나타나는 점을 확인할 수 있는데 이곳은 광학 테이블 면과 가장 가까운 위치이다. 제작된 FR을 금속으로 제작된 폭이 50 cm인 광학 테이블(바닥면과 FR의 중앙부까지의 수직거리는 25 cm임.) 위에 설치하였기 때문에 금속 면의 영향으로 자기장이 일그러져 발생한 결과임을 알 수 있었다. 이와 같이 주변에 금속이 위치해 있으면 FR 내부의 자기장이 일그러져 계산 결과와는 다른 값을 보여주므로 사용상의 문제가 발생할 수 있다. 따라서 주위의 금속에 의한 영향을 방지하기 위하여 설치 및 제작에서 금속재료에 대한 자기 차폐가 요구된다. 전압을 인가하여 FR 내부에서 발생하는 자기장의 균일성을 측정하였다. FR의 중심점

$r=0(z=0)$ 에서의 자기장 밀도에 대한 r 의 각 위치($z=0$)에서 측정된 자기장 강도의 변화율을 자기장 변화율(%)로 정의하였을 때, 최대 자기장의 변화율은 5% 이내임을 알 수 있었다. 또한, FR 내부에서 $r=0$ 에 대한 z 방향의 자기장 변화를 측정한 결과 계산값과 실험값이 잘 일치하였는데, 이는 광학 테이블과 측정 위치와의 거리가 같고 금속에 의한 영향을 동시에 받기 때문에 나타나는 결과라고 생각된다.

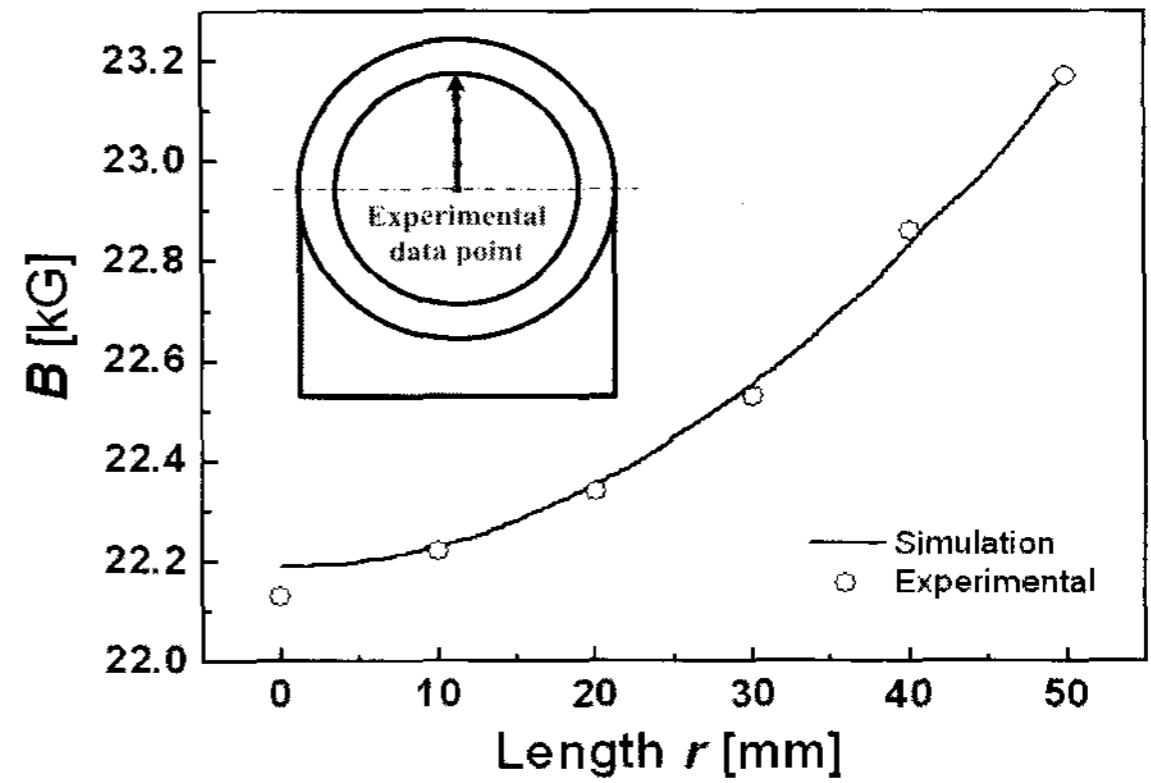


그림 9 $z=0$ 에서 반경방향 r 의 자기장 변화율
Fig. 9 Variation of magnetic density B with radial direction r ($z=0$)

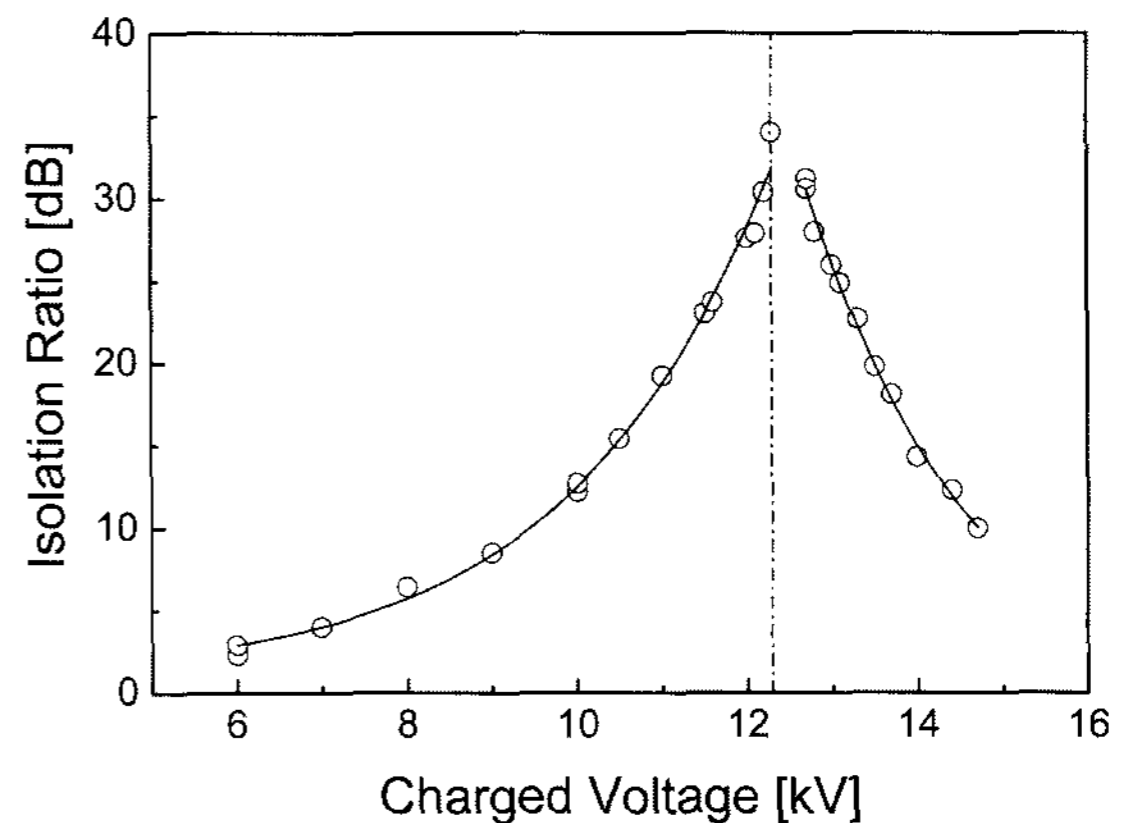


그림 10 프로브광 통과 시 광차단비 측정 결과
Fig. 10 Experimental results of optical isolation

4. 결 론

본 연구에서는 고출력 Nd:glass 레이저 시스템의 광다이오드로 사용할 수 있는 대구경 110 mm의 Faraday Rotator(FR)를 설계 및 제작하여 충전 전압에 대한 특성을 알아보았다. FR을 구성하는 각 단위 부품의 선정에서 검토해야 할 문제점을 논의하였으며, 제작된 FR에 대한 동작 특성을 측정하여 시뮬레이션 결과와 비교/분석하였다. FR의 설계에 따른 계산 값과 동작 특성을 측정한 결과로부터 다음과 같이 요약할 수 있다.

(1) Faraday Rotator에 적용된 자기장 발생 코일은 시뮬레이션을 통해서 단면적이 3×5 [mm]인 직사각형 도선을 사용하여 6층 권으로 제작하였다.

(2) Faraday glass는 상자성체 중에서도 버데트 상수가 상대적으로 높은 Tb³⁺ 첨가 유리(Hoya, FR-5)를 사용하였다.

(3) 제작된 Faraday Rotator의 내부에서 발생하는 반지름방향 균일도는 95% 이상 이었다.

(4) 시뮬레이션에 의한 계산 값과 실험 결과(자기장 강도, 자기장 분포)가 비교적 잘 일치 하였다.

(5) 입사광 지름이 1 mm 일 때, Faraday Rotator의 최대 광차단비는 35 dB이었다.

(6) Faraday Rotator를 통과한 프로브 광(구경 58 mm)의 편광면을 45° 회전시키기 위해서는 23 kG의 자속밀도가 필요하며 이때의 광차단비는 32 dB이었다.

참 고 문 헌

[1] N. George and R. W. Waniek, "Faraday rotators for high power laser cavities", Appl. Opt. 5, 1183-1185, 1966

[2] M. A. Rhodes, B. Woods, J. J. DeYoreo, D. Roberts, and L. J. Atherton, "Performance of large-aperture optical switches for high-energy ICF lasers," Appl. Opt., vol. 34, 5313-5330, 1995

[3] J. Goldhar and M. A. Henesian, "Electro-optical switches with plasma electrodes," Opt. Lett., vol. 9, 73-75, 1984

[4] S. K. Hong, C. H. Lim et al., "Simulation of High-Energy Laser Amplifier System", Advanced Lasers and Their Applications, 161-162, 2006

[5] S. K. Hong, C. H. Lim et al., "Improved Spatial Filter and Serrated Aperture for High-Energy Pulsed Lasers", Transactions of the Korean Nuclear Society Spring Meeting, P07A12, 2006

[6] C. H. Lim, S. K. Hong et al., "Status of 1 kJ Nd:Glass Laser Facility at KAERI for the Basic Research related to Quantum Engineering", ICUIL 16H00 - 17H30p, 2006

[7] C. H. Lim, S. K. Hong et al., "Prospects and progress of the 1 kJ Nd:Glass laser Facility at KAERI", The 7th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics, 69-70, 2007

[8] C. H. Lim, S. K. Hong et al., "Construction of the 1 kJ Nd:Glass Laser Facility at KAERI", IFSA, 144p, 2007

[9] P. E. Coyle, ed. "Laser Program Annual Report 1976", Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, Calif. UCRL-50021-76, 2_274 - 2_276p, 1977

[10] H. G. Lee, Y. H. Won, and G. S. Lee, "Faraday rotation of Hoya FR5 glass at cryogenic temperature", Appl. Phys. Lett. 68, 3072-3074, 1996

저 자 소 개



홍 성 기 (洪 成 基)

1975년 12월 3일생. 1999년 한국기술교육대학교 전기공학과 졸업(학사). 2002년 한국기술교육대학교 대학원 전기·전자공학과 졸업(공학석사). 2005년 일본사가대학교 대학원 전기·전자공학과 졸업(공학박사). 2005 ~현재 한국원자력연구원 양자광학연구부 Post Doc..
Tel : 042-868-4968
Fax : 042-868-4954
E-mail : hsk7060@kaeri.re.kr



서 영 석 (徐 永 錫)

1966년 10월 20일생. 1990.2 배재대학교 물리학과 졸업(이학사). 1992.2 건국대학교 대학원 물리학과 졸업(이학석사). 2003. 2 충남대학교 대학원 물리학과 졸업(이학박사). 2006.10~현재 한국원자력연구원 양자광학연구부 근무.
Tel : 042-868-4968
Fax : 042-868-4954
E-mail : physys@kaeri.re.kr



고 광 훈 (高 光 薰)

1969년 1월 29일생. 1998년 서울대학교 물리학과 졸업(이학박사). 1998년~1999년 한국원자력연구소 Post Doc. 2000년 ~현재 한국원자력연구원 양자광학연구부 선임연구원.
Tel : 042-868-8379
Fax : 042-868-8576
E-mail : khko@kaeri.re.kr



김 영 원 (金 永 原)

1983년 2월 9일생. 2006년 세종대학교 광전자공학과 졸업(학사). 2008년 세종대학교 대학원 광 공학과 졸업(공학석사). 2008년 현재 한국원자력연구원 양자광학연구부 석사 후 과정.

Tel : 042-868-4968

Fax : 042-868-4954

E-mail : kyw83@kaeri.re.kr



위 상 봉 (韋 相 烽)

1979년 서울대 공대 전기공학과 졸업(학사). 1981년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1981년~1983년 효성중공업연구소 연구원. 1983년~1990년 한국전기연구원 선임연구원. 1990~현재 한국기술교육대학교 정보기술공학부 교수.

Tel : 041-560-1166

Fax : 041-564-3261

E-mail : weesb@kut.ac.kr



임 창 환 (林 昶 煥)

1963년 8월 21일생. 1986년 연세대학교 물리학과 졸업(학사). 1988년 서울대학교 물리학과 졸업(이학석사). 1999년 오사카대학(공학박사). 1988년 3월~현재 한국원자력연구원 책임연구원.

Tel : 042-868-8718

Fax : 042-868-4954

E-mail : chlim@kaeri.re.kr