

# 30GW級 大出力 글라스레이저의 開發研究

論 文

31~5~5

## A Study on Development of 30GW Class High Power Glass Laser System

姜 衡 富\*  
(Hyung-Boo Kang)

### Abstract

The high power glass laser system was designed and constructed which consisted of a TEM<sub>00</sub>-mode Q-switching oscillator, a pulse shaping system, two-stage pre-amplifiers, five-stage main amplifiers, a Faraday rotator, and a uni-guide slit.

The laser output of 30GW with the pulsewidth of 2 nsec was obtained by performing the amplifying experiment in this system.

When the laser light with the pulsewidth of 10nsec was amplified, the large factor of amplification was obtained in the beginning of pulse, but the factor of amplification decreased gradually in the later part of pulse.

Therefore, the laser light which has short pulsewidth of ~2nsec must be amplified in order to obtain the larger factor of amplification.

When the laser beam from the high power glass laser system was irradiated to plasma, the reflected laser light from plasma which occurred inevitably could be attenuated to the order of 10<sup>-4</sup> by using the Faraday rotator and the uni-guide slit.

### 1. 緒 言

高出力글라스레이저는 現存 레이저 中에서 가장 큰 출력을 發生할 수 있으며, 核融合研究와 非線形現象의 研究에 利用되고 있다. 高出力레이저펄스를 얻기 위해서는 發振器의 出力펄스를 多段 增幅器에 의해서 단계적으로 增幅해야 한다. 그러나 Q-스위칭發振器의 出力펄스와 같은 넓은 펄스幅(~30nsec)의 레이저光線을 그대로 增幅시킬 경우 레이저글라스素子와 光學素子の 破壞가 반드시 일어나므로 이러한 넓은 펄스幅의 레이저펄스를 그대로 增幅시킬 수는 없다. 또한 레이저發振器의 出力펄스에 나타나는 많은 橫모드를 그대로 增幅하는 것은 렌즈로 集光할 때의 에너지集中性과 레이저素子の 破壞耐力이 나쁘게 되는 問題點이 있다.

따라서 發振器의 레이저出力으로서는 多모드에서 單一모드만을 골라서 使用하는 것이 좋다.

이러한 觀點에서 著者는 네오디뮴(Neodymium) 글라스레이저를 TEM<sub>00</sub> 모드의 單一모드에서 發振시켜 Q-스위칭 하므로서 risetime이 15nsec程度의 巨大펄스(giant pulse)를 發生시킨 후 펄스 트랜스미션 모드(pulse transmission mode=PTM)法을 利用한 펄스整形시스템에 의하여, 이 Q-스위칭 펄스로부터 risetime이 1~1.5nsec, 펄스幅이 2~4nsec인 매우 急峻한 레이저펄스를 얻었으며 이에 관해서는 이미 發表한 바 있다.<sup>(1)</sup>

또 核融合實驗用 30GW級 高出力글라스레이저시스템을 製作하기 위하여 먼저 增幅機構를 解明하고 또한 效率인 發振器와 增幅器의 設計, 增幅할 때 일어나는 여러가지 問題點, 예를 들면 글라스의 solarization, 發振器와 增幅器間 및 增幅器사이의 coupling問題, 增

\* 正 會 員 : 漢陽大 工大 電氣工學科 教授 · 工博  
接受日字 : 1982年 4月 1日

幅利得의 飽和, 글라스素子 및 光學素子의 破壞 등의 問題를 解決하여, 5段增幅, 出力 30GW의 高出力글라스레이저를 製作하는데 必要한 基礎데이터를 얻었으며 이에 關係해서도 이미 發表했다.<sup>(2)</sup>

高出力글라스레이저를 設計하는데 要求되는 事項은

(1) 글라스레이저素子로서는 熱變形率이 작고, 誘導散亂斷面積이 크고 損失係數가 작아야 한다.

(2) 레이저動起用 Xe플래시램프로서는 破壞耐力이 크고 發光効率が 높으며 mis-fire가 없도록 트리거됨이 잘 되어야 하며 또한 壽命이 길어야 한다.

(3) Xe플래시램프의 光線이 有効하게 레이저글라스素子에 入射되도록 增幅器를 設計해야 한다.

(4) 核融合用大出力글라스레이저시스템에서는 特히 主펄스(main pulse)에 앞서 나타나는 雜音의인 前펄스(pre-pulse)는 플라즈마의 生成, 加熱에 有害하므로 除去되어야 하며 또한 플라즈마로부터의 레이저反射光은 다시 增幅되어 여러 光學素子를 破壞할 우려가 있으므로 이것 또한 防止해야 한다.

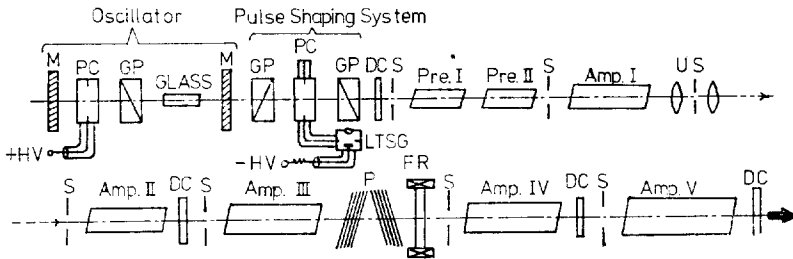
現在, 大出力레이저시스템의 開發目的은 微小한 燃料 pellet에 巨大出力의 多빔 레이저를 照射, 爆縮하여 核融合反應을 일으키는데 있다. 이러한 目的을 위해서 現在 美國에서는 10kJ, 10TW(20비임)의 爆縮用 레이저시스템이 開發되어 稼動 中에 있으며, 새로 100kJ, 50TW(10비임) 글라스레이저시스템을 開發 中에 있다. 또 日本에서는 20kJ, 20TW(12비임)레이저 시스템을 1983年 完成目標로 開發 中에 있다. 이들 巨大出力 레이저시스템은 릿드글라스레이저시스템에 새로운 디스크(disc)글라스시스템을 附加하므로써 레이저出力의 增大를 實現하고 있다. 또 單一 비임으로서의 出力에 限度가 있으므로 多빔 시스템을 採用하므로써 이 問題

를 解決하고 있다. 또한 레이저出力이 巨大化됨에 따라 일어나는 非線形을 작게 하기 위하여 spatial filter를 새로 導入하고 있으며 플라즈마로부터의 反射光, 雜音의인 前펄스등을 除去하기 위하여 패러데이回轉子와 薄膜偏光子를 多數 使用하고 있다.

本 研究에서는 이미 發表한 研究成果를 바탕으로 이와 같은 巨大한 레이저시스템을 設計하는데 必要한 基礎데이터를 얻기 위하여 글라스릿드를 利用한 5段增幅, 30GW出力(펄스幅 2nsec)의 高出力글라스레이저시스템을 設計, 製作하여 增幅實驗을 實施했다. 특히 本實驗에서는 雜音의인 前펄스를 除去하기 위하여 使用에 簡便한 可飽和色素셀을 使用하였고, 플라즈마로부터의 反射光을 防止하기 위하여 패러데이回轉子와 함께 構造가 매우 簡單한 유니가이드슬릿을 使用하였다.

### 2. 5段增幅글라스레이저시스템의 構成과 增幅特性

5段增幅글라스레이저시스템의 構成圖를 그림 1에 나타낸다. 그림에 있는 바와 같이 이 시스템은 TEM<sub>00</sub> 모우드發振器, 펄스整形시스템, 前置增幅器 2段, 主增幅器 5段, 偏光子와 패러데이回轉子, 유니가이드슬릿(uni-guide slit), 可飽和色素셀로 構成되어 있다. 增幅器의 構成과 通常動作時的 增幅特性을 표 1에 나타낸다. 增幅器는 항상 安定한 動作特性和 効率的인 增幅特性을 지녀야 하며 또한 長時間使用에 견딜 수 있어야 한다. 使用한 글라스릿드(glass rod)는 白金등의 不純物를 전혀 溶含하지 않고 熱變形率이 작고, 損失係數가 작은 바리움크라운(barium crown)글라스를 使用했다. 그리고 릿드斷面에 의한 自己發振 및 發振段의 反射鏡과 릿드斷面과의 coupling를 막기 위해서 兩端



Amp.: Amplifier, Pre.: Preamplifier, M: Mirror, PC: Pockels Cell, GP: Gran Prism, DC: Dye Cell, S: Slit, US: Uni-guide Slit, HV: High Voltage, LTSG: Laser Triggered Spark Gap, P: Glass Stack Polarizer, FR: Faraday Rotator.

그림 1. 5段增幅 高出力글라스레이저시스템의 概略圖

Fig. 1. Schematic diagram of high power glass laser system consisting of five-stage amplifiers

표 1. 5段增幅器의 諸特性

Table 1. Properties of five-stage amplifier laser system

Amp.	I	II	III	IV	V
Rod Dimension	20 $\phi$ ×320 $l$	20 $\phi$ ×320 $l$	30 $\phi$ ×320 $l$	30 $\phi$ ×320 $l$	40 $\phi$ ×600 $l$ mm
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (wt%)	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Number of Flash Lamp	4	4	6	6	10
Pumping Energy (Max. Pump. Ener.)	9 (20)	9 (20)	13.5 (30)	13.5 (30)	60kJ (200)
Gain	7	5	4.5	4	3.5
Output Power	95	480	2100	8550	30000MW

Output Power at Preamplifier: 14MW, Pulse Width: 2ns.

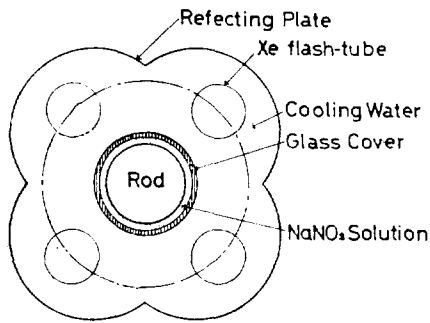


그림 2. 增幅器의 斷面圖

Fig. 2. Cross section of amplifier

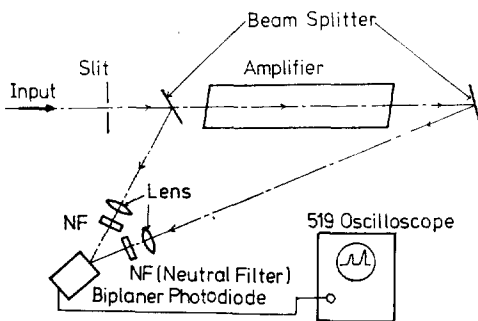


그림 3. 增幅器의 增幅率의 測定法

Fig. 3. Experimental setup of amplification factor measurement

面을 6° cut했다.<sup>(2)</sup> 표 1에서 알 수 있는 바와 같이 第1~2段增幅器에는 20 $\phi$ ×320 $l$ mm의 룯드를, 第3~4段增幅器에는 30 $\phi$ ×320 $l$ mm의 룯드를, 第5段增幅器

에는 40 $\phi$ ×600 $l$ mm의 룯드를 각각 使用했다. 含有 Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 重量%는 모두 3.5%이다. 또 第1~2段에서는 直徑 20mm, 有效길이 300mm, 最大定格入力 8kJ의 直線型 Xe플래시램프 4개로, 第3~4段에서는 같은 定格의 램프 6개로, 第5段에서는 直徑 20mm, 有效길이 600mm, 最大定格入力 20kJ의 Xe램프 10개로 각각 勵起했다. 勵起光이 效率의으로 룯드에 吸收되도록 하기 위하여 鍍銀鍍金한 反射板을 그림 2와 같이 配置하는 closed coupling方式을 使用했다.<sup>(2)</sup>

Xe플래시램프의 冷却은 純水로 또 룯드의 冷却은 solarization에 의한 增幅特性의 劣化를 防止하기 위하여 0.2mol/l의 NaNO<sub>3</sub>溶液을 使用하여 行했으며, 冷却 效果가 충분히 나타나도록 20分間隙으로 運轉했다.

各增幅段의 增幅率은 다음과 같은 方法으로 測定했다. 즉 그림 3에 있는 바와 같이 增幅器의 入口 및 出口에 글라스비임스플리터(glass beam splitter)를 設置하여 이 비임스플리터에서의 入力 및 出力레이저펄스의 反射光을 同時에 biplaner포토다이오드(R-317)와 519 오실로스코프로 觀測하여 그 펄스波高值의 比로 增幅率을 決定한다. 그림 4에 10nsec 펄스를 4段增幅한 後의 펄스의 各點에서의 增幅率을 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 時間이 빠른 部分이 增幅率이 가장 크고, 펄스의 後部에 갈 수록 增幅率이 減少하고 있다. 따라서 높은 增幅率 즉, 大出力을 얻기 위해서는 펄스 幅을 짧게 할 必要가 있다.

그런데 Xe램프의 勵起電流의 펄스幅은 數 100 $\mu$ sec정도로 매우 길며, 글라스 룯드의 活性狀態가 오래 繼續된다. 따라서 nsec펄스幅에서는 勵起에너지의 利用率이 낮다고 생각되므로 增幅段 I에서 2path 增幅實驗을 實施하여 그 增幅率을 測定했다. 그림 5에 實驗의 構成圖를 表示한다. 그림에서 BS<sub>1</sub>, BS<sub>2</sub>는 글라스비임스플리터, L은 렌즈, PD는 biplaner포토다이오드, CM

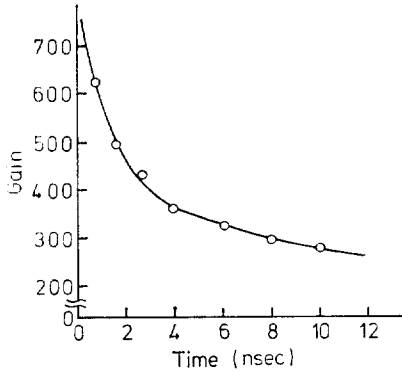


그림 4. 10nsec 레이저펄스의 증폭률의 시간依存性  
 Fig. 4. Factor of amplification as a time function of 10ns laser pulse

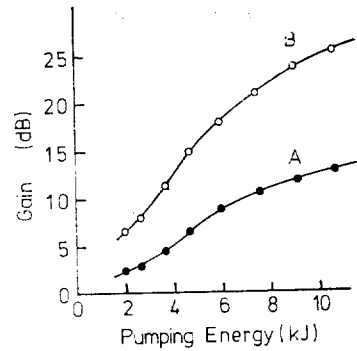
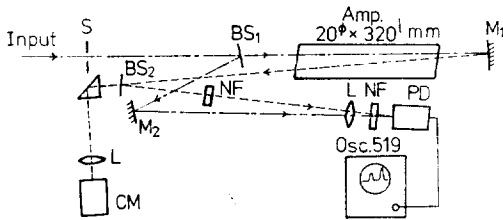


그림 6. 2path 증폭의 증폭률  
 Fig. 6. Amplification factor of two pathes gain



S: Slit, BS: Beam Splitter, M: Mirror, L: Lens, NF: Neutral Filter, CM: Laser Power Meter, Amp.: Amplifier, PD: Biplaner Photodiode, Osc.: 519 type Oscilloscope.

그림 5. 2path 증폭률의測定法  
 Fig. 5. Experimental setup of two pathes gain measurement

은 레이저파워미터이다. 증폭段에 入射하는 펄스幅 2nsec의 레이저펄스가 증폭段을 通過한 다음 反射鏡 M<sub>1</sub>에서 全反射해서 다시 증폭段을 通過하도록 한다. 入射레이저펄스와 이 2path 레이저펄스를 각각 비임스플리터 BS<sub>1</sub> 및 BS<sub>2</sub>로 部分反射시켜 同一 biplaner 포토다이오드(R-137)와 519 오실로스코프로 波形을 觀測하여 그 波高值의 比로 증폭률을 測定했다. 또 入射 레이저펄스의 파워는 레이저파워미터 CM로 測定했다. 그림 6에 2nsec 펄스에 의한 2path 증폭의 實驗結果를 나타낸다. A 曲線은 1path 증폭率이며 B 曲線은 2path 증폭率이다. 實驗結果에 의하면 2path 증폭率은 1path 증폭率의 約 2배가 되며, nsec 펄스 증폭에서는 에너지利用率이 低調하다는 것을 알 수가 있다. 따라서 증폭率을 높여 보다 高出力의 레이저시스템을 實現하려고 하면 多 path 증폭方式이 바람직하나 5段 증폭器 시스템에서 多 path 증폭을 하는 것은 시스템構成上 困難한 點

이 많으므로 本實驗에서는 單 path 증폭方式을 採用했다.

發振器의 วัสดุ로서는 Nd글라스로트드와 NdYAG로트의 2種類의 วัสดุ를 使用했다. 前者를 使用할 경우 發振波長은 1.06μm, 스펙트럼幅은 60Å, 後者의 경우 發振波長은 1.064μm, 스펙트럼幅은 約 6Å가 된다.<sup>(2)</sup> 發振段에 Nd글라스로트드를 使用할 때 5段 증폭에 의하여 2nsec의 펄스幅에서 約 60J 즉 30GW의 出力을, YAG로트드를 使用할 경우에는 約 50J 즉 25GW의 出力을 각각 얻었다. 이 때의 各 증폭段의 勵起에너지와 증폭率 및 出力은 표 1에 表示했으며 이로부터 증폭率은 後段에 갈수록 차차 떨어져지고 있음을 알 수가 있다. 最終段 出力의 上限은 글라스로트드의 表面破壞耐力에 의하여 決定된다. 그림 7에 最終端 出力의 버어닝패턴(burning pattern)을 나타냈다. 또 이와 같은 高出力 레이저光이 얼마만큼 강한 光線인가를 나타내는 實驗으로서 이 係

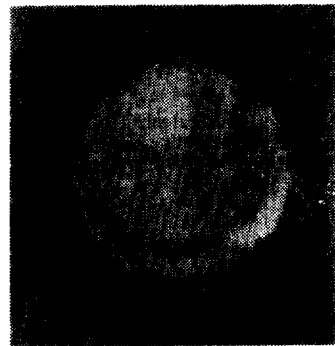


그림 7. 最終段 出力의 버어닝패턴  
 Fig. 7. Burning pattern of output of laser light

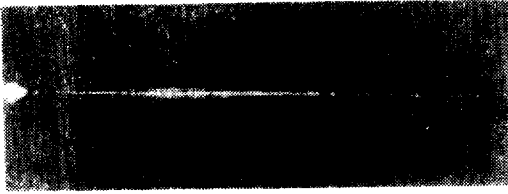


그림 8. 레이저비입에 의한 空氣의 絶緣破壞  
Fig. 8. Air breakdown by intensive laser beam

이러한 레이저광을 長焦點렌즈를 通過 空氣中에 集中放出하면 그림 8과 같이 數m에 걸쳐서 空氣의 絶緣破壞가 일어나 플라즈마가 發生한다.

그런데 增幅器의 勵起에너지를 增大시키면 增幅器間의 結合에 의한 super-radiation(發振이 일어나기 전에 나타나는 매우 강한 誘導放出 즉 螢光)에 의한 逆轉密度的 損失에 의한 增幅利得의 低下 및 螢光의 增幅에 의한 背景光(一種의 騒音에 해당하는 光)이 나타나게 되므로, 이러한 惡影響을 除去하기 위해서 增幅器間의 距離를 2m以上으로 하여 coupling을 작게 함과 同時に 可飽和色素셀을 配置했다. 可飽和色素는 微弱한 光은 完全히 吸收하며 강한 光은 完全히 透過시키는 非線形特性<sup>(4)</sup>을 갖고 있으므로 騒音의인 微小背景光을 除去할 수가 있다.

### 3. 레이저素子の 保護시스템의 開發

高出力글라스레이저를 플라즈마生成, 加熱實驗에 使用할 때 플라즈마로부터의 反射가 큰 問題가 된다. 즉 플라즈마에서 反射된 레이저光은 아직 活性(勵起)狀態에 있는 增幅段에 다시 되돌아가게 되며 이것이 차차 增幅되어 큰 에너지가 된다. 이 레이저光이 레이저破壞耐력이 작은 光學素子에 들어가게 되면 여러 光學素子가 破壞하게 된다. 이 反射光을 막기 위해서 그림 9에 있는 바와 같이 글라스스택크偏光子(glass stack polarizer)와 패러데이回轉子(Faraday rotator)를 組合하는 방식과 그림 10에 있는 유니가이드스릿(uni-guide slit)를 使用했다. 前者는 增幅段Ⅲ과 Ⅳ사이에, 後者는 增幅段Ⅰ과 Ⅱ사이에 각각 配置했다.

#### 3.1 패러데이回轉子

패러데이回轉子は 패러데이效果<sup>(5)</sup>를 利用한 것이다. 즉 磁界中에 놓여진 旋光性物質(길이  $l$ )中을 直線偏光한 光線이 磁界와 平行하게 入射할 경우 그 偏光面이 角度  $\theta$ 만큼 回轉하는 現象을 말하며, 磁界의 세기를  $H$ 라고 하면  $\theta$ 는 다음 式으로 주어진다. 즉

$$\theta = HlV$$

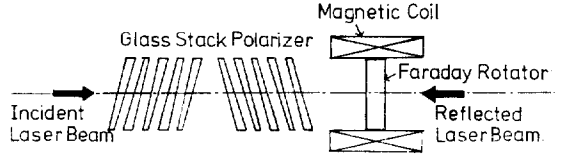


그림 9. 패러데이回轉子시스템  
Fig. 9. Faraday rotator system

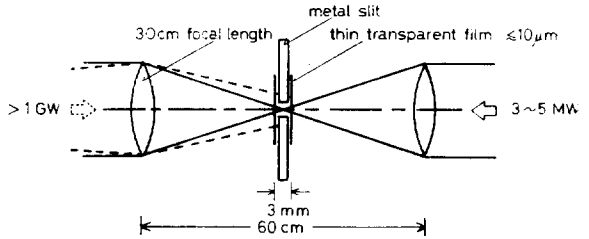


그림 10. 유니가이드스릿시스템  
Fig. 10. Uni-guide slit system

여기서  $V$ 는 Verdet定數이다.

패러데이回轉子시스템은 그림에 있는 바와 같이 偏光子, 磁界發生코일 및 코일 中央部에 設置한 패러데이글라스로 構成되고 있다. 패러데이回轉子를 通過하는 光線의 偏光面이 45° 回轉하도록 코일의 磁界의 세기를 調整시키면 直線偏光한 入射光線은 패러데이글라스를 通過할 때 偏光面이 45° 右回轉하여 反射體에 到達한다. 여기서 反射된 光線은, 그 偏光面이 90° 回轉하므로 45° 左回轉하게 된다. 이 光線은 다시 패러데이글라스를 通過할 때 다시 45° 左回轉한다. 結局 反射光은 入射光의 偏光面에 대해 90° 回轉하게 되어 偏光子の 偏光面과 直交하게 되므로 여기서 反射光의 進入을 防止할 수가 있다. 그런데 패러데이效果에 의한 偏光面의 回轉方向은 磁界의 方向에만 依存하므로 右回轉 또는 左回轉시키는 것은 容易하다.

패러데이글라스는 다음과 같은 條件을 具備한 必要가 있다. 즉

- (1) Verdet 定數가 可及的 클 것
- (2) 非線形屈折率  $n_2^{(6)}$ 가 가능한한 작을 것
- (3) 複屈折性이 작을 것
- (4) 레이저光이 吸收가 작을 것
- (5) 均一性이 높을 것
- (6) 레이저光線에 대한 破壞耐력이 클 것

등이다.

패러데이글라스에는 反磁性글라스와 常磁性글라스가 있으며, 종래에는 反磁性글라스(Schott SF-6, Corning

·8363 등)가 널리 사용되었으나 이 글라스는 常磁性글라스에 비해 Verdet定數가 작고,  $n_2$ 值가 크며, 레이저光에 대한 破壞耐력이 작다는 등의 缺點이 있으므로 最近에는 常磁性글라스가 거의 사용되고 있다. 또  $Tb^{3+}$ ,  $Ce^{3+}$ ,  $Eu^{3+}$  등의 希土類元素는 可視 및 近赤外波長領域에 吸收帶域이 없으며 이온數當의 Verdet 定數가 크므로 常磁性글라스用 이온으로 널리 利用되고 있다. 本實驗에서는  $Ce^{3+}$  이온을 添加한 磷酸글라스(FR-4)를 페러데이 글라스로 使用했다. 이 글라스의 레이저破壞 閾値는  $10J/cm^2$  以上이며, 이 레이저시스템의 레이저 強度는  $0.5 \sim 2J/cm^2$  정도임으로 別問題가 없다. 高出力글라스레이저用으로서 要求되는 페러데이글라스는 레이저光에 의한 非線形效果<sup>(7)</sup>를 可及的 작게 하기 위해서 最近에는 다음 式으로 주어지는 性能指數  $Q^{(8)}$ 의 크기로 評價되고 있다. 즉

$$Q = n_0 V / n_2$$

단,  $n_0$ ,  $n_2$  및  $V$ 는 각각 線形屈折率, 非線形屈折率 및 Verdet 定數이다. 표 2에 常磁性글라스(FR-4) 및 反磁性글라스(SF-6)의 光學的 諸特性<sup>(8)</sup>을 나타낸다. 表에서 FR-4가 SF-6에 비해 轉數  $Q$ 가 크다는 것을 알 수가 있다.

표 2. 페러데이글라스의 光學的 諸特性

Table 2. Optical properties of Faraday glass

	Paramagnetic Glass (FR-4)	Diamagnetic Glass (SF-6)
Verdet const. $V$ (min/Oe·cm)	-0.031	0.028
Coeff. of refraction $n_0$	1.556	1.76
Nonlinear coeff. of refrac. $n_2$ ( $\times 10^{-13}$ esu)	1.9	9.9
Coeff. of absorption $\gamma$ ( $cm^{-1}$ )	0.0054	0.0065
Quality factor $n_0 V / n_2$	0.45	0.09
Doped ion	$Ce^{3+}$	—

페러데이回轉子の 性能은 磁界의 均一性에 크게<sup>2</sup>左右된다. 磁界의 均一性을 높이기 위하여 空心圓筒多層 卷코일을 使用했다. 코일의 길이는 20cm, 直徑은 11cm이며,  $3 \times 5mm^2$ 의 矩斷面導線을 6層卷으로 하여 코일全體를 電氣絕緣物로 固定시켰다.

그림 11에 페러데이回轉子の 驅動用電源回路를 나타낸다. 靜電容量  $150\mu F$ 의 콘덴서에 貯蓄된 에너지를 投入스위치에 의하여 磁界發生코일에 放出한다. 投入스

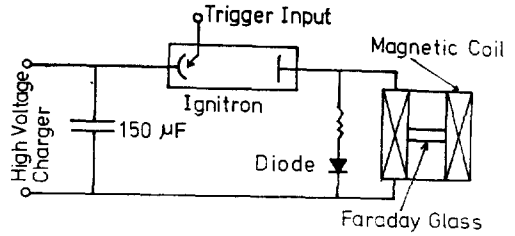


그림 11. 페러데이回轉子の 驅動用電源回路

Fig. 11. Circuit of driving electric source of Faraday rotator

위치로서는 保守가 容易하고 스위칭雜音이 적은 이그니트론(三菱電機製 MI-3000E)를 使用했다.

이 페러데이回轉子시스템에 의해 反射레이저光을 約 1/20 정도 減衰시킬 수 있으나 이것만으로는 불충분하므로 다음에 말하는 유니가이드슬릿을 併用했다. 그런데 페러데이回轉子用 글라스스택 偏光子에 平行平板글라스를 使用하면 글라스板 各面으로부터의 反射光의 干涉效果에 의하여 레이저비임의 中心部の 強度가 顯著하게 減少하게 되므로 平行平板 글라스 대신 平行度가  $4^\circ$ 인 楔기型글라스板을 使用하여 干涉效果를 억제하여 비임中心部の 強度가 減衰하지 않도록 했다. 그러나 이 글라스스택 偏光子는 그림 9에 있는 바와 같이 글라스板을 많이 使用하기 때문에 그 板面에서의 反射에 의한 損失이 크게 되는 問題가 남아있다. 그러나 現在 매우 破壞閾値가 높은( $2GW/cm^2$ ) 誘電體多層板 偏光子(thin film polarizer)가 미국에서 開發되기 시작했으며 앞으로 大出力레이저에 導入될 展望이다.

### 3.2 유니가이드슬릿

유니가이드슬릿은 入反射光의 에너지 및 비임發散角의 差를 巧妙하게 利用한 것이며 그림 10에 表示하는 바와 같이 2개의 凸렌즈(焦點距離 50cm 및 100cm)의 共焦點에 핀홀슬릿(pin hole slit)을 놓아 그 兩面に 2장의 透明한 有機薄膜을 덮은 매우 簡單한 構造로 되어 있다. 入射光은 렌즈焦點에서의 레이저強度가 작으므로 거의 損失없이 透過하지만 反射光은 파위가 매우 크며 따라서 렌즈焦點에서는 레이저強度가 상당히 크게 되므로 2장薄膜은 瞬時로 플라즈마가 되기 때문에 反射光은 거의 플라즈마에 吸收된다. 이 두가지 方法을 使用하면 反射光을 約  $10^{-4}$ 으로 減衰시킬 수가 있어 現在の 레이저出力의 範圍내에서는 反射의 問題는 거의 解決된다고 말할 수가 있다.

그러나 出力이 TW級 以上이 되면 入反射光이 매우 커지므로 유니가이드슬릿과 可飽和色素센을 使用할 수가 없다. 이 경우 表面에 反射防止膜을 蒸着한 페러데이

이 回轉子와 薄膜偏光子를 組合한 시스템을 多段 使用 하므로서 反射光을  $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 정도로 減衰시키고, 前鏡을 除去하고 있다. 薄膜偏光子는 얇은 글라스基板에 高屈折率과 低屈折率의 誘電體薄膜을 교대로 20層에서 30層 蒸着한 것으로 글라스스택偏光子에 비해 輻射 偏光特性이 우수하고 損失이 적으며, 破壞耐力도  $7 \sim 8 \text{ J/cm}^2$ 로 크므로 TW級글라스레이저에서는 이 薄膜偏光子和 패러데이回轉子를 組合한 시스템으로 큰 減衰效果를 나타내고 있다.

4. 기타의 問題點

本 5段增幅레이저시스템의 全體길이는 約 25m이다. 따라서 만일 最終端出口에서의 光軸의 誤差를 1mm以內로 調整하려고 하면 發振段은 0.04mrad以內의 正確度로 光軸方向을 調整해야 한다. 이 때문에 매우 精密한 微動裝置를 必要로 하게 되며 이러한 點이 發振段을 調整할 때 가장 힘드는 點이다. 本 시스템에는 發振段의 全反射鏡에 精密微動裝置가 設置되고 있다. 만일 光軸이 엇갈리게 되면 레이저光의 一部는 글라스로트의 側面에서 反射를 되풀이하여 로트의 中心과 周圍에 集中하여 로트損傷의 原因이 된다. 또 反射光은 비입發散角이 크게 됨에 따라 상당히 큰 비입徑이 된다. 이것이 로트의 斷面에 부딪치면 端面附近의 金屬등의 蒸發에 의하여 로트斷面을 汚損시킬 뿐만 아니라 로트의 側面에서 反射를 되풀이하여 上述한 바와 같은 問題가 일어난다. 이 모양을 그림 12에 나타낸다. 그림에 있는 패턴은 最終出力段出口에서의 레이저비입의 버어닝패턴이며 로트의 中心부와 周圍에 레이저비입이 集中하고 있음을 알 수가 있다. 그리고 이러한 패턴이 생길 때에는 그와 같은 模樣의 破壞가 로트斷面に 일어난다. 이러한 問題가 發生하지 않도록 하기 위하여



그림 12. 레이저光의 버어닝패턴 (로트의 側面에서 反射를 되풀이할 때)  
Fig. 12. Burning pattern of laser light which reflects repeatedly in the side of glass rod

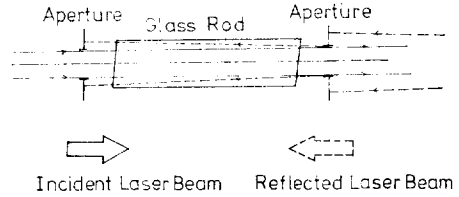


그림 13. limiting aperture에 의한 로트破壞의 防止.  
Fig. 13. Prevention method of rod breakdown using limiting aperture

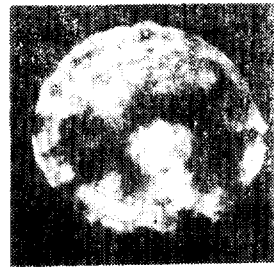


그림 14. Fresnel 回折이 있을 때의 버어닝패턴  
Fig. 14. Burning pattern of laser light in presence of Fresnel diffraction

各增幅段의 出入口에 그림 13에 있는 바와 같이 入射 레이저비입의 直徑에 알맞는 適當한 크기의 구멍이 뚫린 칸막이(limiting aperture)를 設置하였다. 이 칸막이를 그림 1에서는 스릿 S로 表示했다. 이 구멍의 지름은 레이저비입의 徑方向의 強度分布를 Gauss型分布라고 생각하여, 그 分布의 強度가 거의 零이 되는 지름과 알맞도록 하면 된다. 만일 구멍의 지름이 그보다 작아서 分布強度가 상당히 큰 部分을 차르면 Fresnel의 回折프린지가 링狀으로 생기게 되며 그것이 차차 增幅된다면 第5段增幅器의 로트등에 링모양의 破損이 생길 우려가 있다. 이 때의 最終端레이저出力에 의한 버어닝패턴(burning pattern)을 그림 14에 表示한다. 따라서 이러한 問題가 일어나지 않도록 하기 위해서는 레이저비입의 發散角 및 지름을 精密하게 測定하여, 그에 알맞는 지름의 칸막이를 使用해야 한다. 이것은 實用上 不便한 點이 많지만 本 레이저시스템에서는 이 方法을 使用했다. 上述한 칸막이를 hard aperture라 한다.

이 Fresnel 回折現象을 簡單하게 防止하기 위해서는 徑方向의 透過特性이 連續의으로 完만하게 變化하게끔 되어있는 soft aperture를 使用하는 것이 좋다. 發振器 및 增幅器에 대한 勵起入力이 매우 크므로 運轉되풀이速度가 빠르면 로트의 熱變形率로 인하여 發振段은 모오드特性이 나빠지며, 增幅器는 增幅率이

顯著히 低下한다. 따라서 再現性있는 動作을 시키기 위해서는 冷却水로 冷却하면서 約 20分の 運轉間隔을 들 必要가 있다.

표하는 바이다.

### 5. 結 論

### 參 考 文 獻

(1) Q-스위칭發振器, 펄스整形시스템, 前置增幅器 2段, 主增幅器 5段으로 構成된 高出力글라스레이저 시스템에 의하여 2nsec의 레이저펄스幅에서 30GW의 레이저출력을 發生시킬 수가 있었다.

(2) 增幅段素子中에서의 레이저과워密度가 增加함에 따라 增幅率은 低下한다.

(3) nsec order의 레이저펄스를 增幅할 때 펄스初期에서의 增幅率이 크며 펄스의 後部에 갈 수록 增幅率이 低下한다. 따라서 高出力레이저펄스를 얻기 위해서는 2nsec 정도의 짧은 펄스幅의 레이저光을 增幅할 必要가 있다.

(4) 펄스幅 2nsec의 레이저펄스의 2path增幅의 增幅率은 1path增幅의 增幅率의 2倍가 되어, nsec order의 레이저펄스增幅에서는 勵起에너지利用率이 낮다.

(5) 패러데이回轉子, 可飽和色素, 유니가이드스릿을 使用하브로서 플라즈마로부터의 反射光을 펄스整形시스템에서  $10^{-4}$  정도로 減衰시켜, 글라스루트등의 光學素子の 破壞를 막을 수가 있었다.

本 研究를 遂行하는데 實驗裝置와 여러가지 機資材를 代與해 주시고 指導해주신 日本 大阪大學 레이저核融合研究所長 山中千代衛教授와 本 研究에 協助해주신 同研究所 山中龍彥教授와 吉田國雄講師들에 대하여 진심으로 감사의 뜻을 표하는 바이다.

끝으로 本 研究는 1981年度文敎部學術研究助成費에 의하여 이루어진 것으로 文敎部當局에 深甚한 謝意를

[1] 姜衡富; “글라스레이저發振器의 出力펄스 特性의 改善에 關한 研究”, 大韓電氣學會誌 vol. 29, No. 5, pp. 321~328, 1980.

[2] 姜衡富; “高出力(25GW) 글라스레이저시스템의 開發에 關한 研究”, 大韓電氣學會誌 vol. 30, No. 9, pp. 582~588, 1981.

[3] A. Yariv; Introduction to Optical Electronics, Holt, Reinhart and Winstan, Inc., New York, 1971.

[4] 宅間 宏; 量子エレクトロニクス, オーム社(日本), 1970.

[5] 玉虫文一他; 岩波理化學辭典 第3版, 岩波書店, 1978.

[6] P.D. Maker et al.; “Intensity-dependent changes in the refractive index of liquids”, Phys. Rev Letters vol. 12 No. pp. 507~509, 1964.

[7] A.J. Campilo et al.; “Periodic breakup of optical beams due to self-focusing,” Appl. Phys. Letters vol. 23, No. 11, pp. 628~630, 1973.

[8] M.J. Weber; Laser Program Annual Report-1976, Lawrence Livermore Laboratory UCRL-50021-76, pp. 2~274, 1977.

[9] 淺原慶之; “フェラデー回轉ガラス”, 化學工業(日本) vol. 28, No. 2, pp. 57~60, 1978.