

KAERI/RR - 1143/92

# 광대역 파장 가변 레이저 개발

Broad Band Tunable Dye Laser Development

연구 기관

한국 원자력 연구소

과학기술 처

# 제 출 문

과학기술처장관 귀하

본 보고서를 "광대역 파장 가변 레이저 개발"에 관한 연구과제의  
최종보고서로 제출합니다.

1992년 12월 26일

연구기관명 : 한국원자력연구소

연구책임자 : 이 종 민

연 구 원 : 김 중복 김 성호  
고도경 김 임창환  
차형기 송 규석  
정의창 이종훈  
한재민 차병현  
노시표 정도영  
이병철 임 호  
정병익 석 금숙  
유 춘선

감수위원 : 직 급 : 책임 연구원

성 명 :

# 요 약 문

## I. 제목

광대역 파장 가변 레이저 개발

## II. 연구의 목적 및 중요성

본 연구의 목표는 펄스형 광대역 파장가변 레이저의 개발 및 상품화이다. 자외선부터 근적외선까지 임의의 파장을 발생시키고 주사시킬 수 있는 레이저 시스템을 개발하고 상품화하여 고품질 저가의 상품을 국내시장에 공급함으로써 최근에 각광받기 시작하는 반도체 물성연구, 신소재 개발, 광화학 공업의 반응해석과 광촉매, 원자력 산업의 레이저 분광 기술 연구, 피부암 치료, 미량원소 검출 등 첨단 광산업 분야에서 기술 개발의 촉진을 가하고자 한다. 또한 본 기술과 관련하여 선진국에서는 기술이전을 기피하고 상품에 대해서는 고가를 요구하고 있기 때문에 국산화 개발이 시급하며 중장기 과제에서도 본 기술이 기초가 될 것이다.

## III. 연구의 내용 및 범위

본 과제에서는 상품화에서 요구되는 레이저 시스템의 출력 최적화,

작동의 고안정화, 정렬의 간편화, 부품의 국산화, 안전성 고려 및 가격의 저렴화를 꾀하고 부분별로 module화를 실시하였다. 레이저 발생의 핵심부이며 레이저의 특성을 결정지어주는 공진기는 사용자의 요구에 따라서 선택할 수 있도록 선폭이 넓은 GIM(Grazing Incidence Mirror)형과 선폭이 좁은 SLM (Single Longitudinal Mode)형을 개발하였다. 이들 시스템의 출력 특성을 측정하고 특히 색소에 따른 파장 가변 범위를 측정하고 이를 다시 제2조화파 발생을 시도함으로써 얻을 수 있는 파장의 범위를 확인하여 본 제품의 파장가변 범위인 자외선 영역에서 근적외선 영역까지 레이저를 연속적으로 변화시킬 수 있음을 확인하였다. 저반복율에 의한 펄핑일지라도 색소를 순환시켜 최적의 레이저 동작을 일으킬 수 있도록 하기 위하여 색소 순환 장치를 개발하였다. 또한 파장을 변화시켜주기 위하여 자체 개발한 프로그램과 Interface card를 이용하여 소형 노트북 PC를 통하여 스테핑 모터를 제어하였다. 출력의 증강을 위하여 증폭기 시스템을 부착하였고 사용자의 편의를 위하여 여러가지 정렬 보조 장치를 개발하였다.

#### IV. 연구결과 및 활용에 대한 건의

본 연구에서는 광대역 파장가변 레이저를 자체 설계 제작하여 상용 제품화에 성공하였다. 두가지 종류의 공진기를 개발함으로써 발진 선폭을 5GHz (GIM형)과 1GHz (SLM형)중에서 사용자로 하여금 선택할 수 있게 하였다. 출력특성의 최적화에 의한 최대 25%의 변환효율, 작동의 고안정화를 통한  $\pm 0.05\text{GHz}$  주파수 안정도, 약30개의 부분별 module화,

90% 이상 부품의 국산화, 정렬의 간편화를 위한 보조장치 개발, 초보자에 대한 안전성 향상 및 외국산에 비하여 가격의 저렴화를 이룩하였다. 개발된 레이저는 자외선에서 근적외선에 걸쳐 파장을 변화시킬 수 있어 반도체 분야의 물성조사, 신소재 개발, 화공산업의 반응해석과 반응 과정 조사, 레이저 분광 연구, 피부암 치료, 공해물질 검출과 대기오염의 원격감시 등의 용도에 효과적으로 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

# Summary

## I. Project title

Broad band tunable dye laser development

## II. Objective and importance of the project

The purpose of the project is to develop and commercialize the dye laser whose wavelength is tunable in broad ranges from ultra-violet to near infrared. This dye laser system which is high quality and relatively low price might stimulate researches and development of technologies in industrial fields such as semiconductor processing, material manufacturing, photo chemistry, laser spectroscopy, trace element analysis, dermatological cancer remedy, etc in our country. The cost of imported instrument is, however, so high that not many companies or people in our country can afford to purchase it. Foreign countries make a secret of high techniques. This work is the middle output to go to LONG-TERM PROJECT. Therefore, home production of the tunable dye laser has been one of the tasks which has to be solved by ourself.

### III. Scope and Contents of the project

The project is to develop a commercial type, tunable dye laser based on the prototype. The key point of the project is to construct a very reliable system which even one, who has little experience with a laser, can use without any trouble. Output optimizations, high stabilities in both laser power and oscillating wavelength, simple alignments, uses of home products for components, high safety, and making exchangeable modules in each component have been pursued. Users can select one of two oscillators. One type is GIM (Grazing Incidence Mirror) whose linewidth is relatively broad of 5GHz. The other one is SLM (Single Longitudinal Mode) whose linewidth is very narrow of about 500MHz. Tunable ranges of these two oscillators have been tested in several dyes. Oscillating wavelength is controlled by the stepping motor interfaced to a notebook computer which has a home made software. By using a second harmonic generator, tuning ranges can be covered to UV. Even though a low repetition rate system, dye circulating system is needed to get maximum output power. In order to increase a conversion efficiency, two amplifiers are added.

### IV. Results and Proposal for application

A tunable dye laser in broad ranges has been developed and commercialized in this project. High conversion efficiency more than 25%, high stability of 0.05GHz in long term, 30 number of modules, high safety for novices, and cost-down by using home products have been achieved. This laser tunable from UV to near IR can be utilized in many fields, such as semiconductor processing, material manufacturing, researches on chemical reaction dynamics, laser spectroscopy, remedy of dermatological cancer, environmental pollution detection, remote sensing of air pollution etc.



# 목 차

제 1 장 서론 .....	13
제 2 장 레이저 제작 .....	15
제 1 절 발진기 .....	15
1. GIM형 공진기 구성 .....	15
2. SLM 형의 공진기 .....	23
제 2 절 색소셀과 순환계통 .....	28
1. 색소셀 .....	28
2. 횡펄핑용 색소셀과 펄핑계통 .....	32
3. 색소 용액 순환펌프 .....	35
제 3 절 주파수 제어장치 .....	38
제 4 절 증폭기 .....	42
1. 광분할기 .....	42
2. 광속확대기 .....	44
3. 셔터 .....	44
제 5 절 지지대 및 케이스 .....	48
제 3 장 결과 .....	53
제 1 절 색소에 따른 발진 파장영역 .....	53
제 2 절 제 2 조화파 발생에 의한 파장영역 .....	57
제 4 장 결론 .....	59
부 록 .....	61

## 표 목 차

표 2-1. GIM형 공진기 내부 구성 부품 및 사양.

표 3-1. Rhodamine 6G 색소의 발진특성

표 3-2. 제 2조화파 발생에 따른 사용가능한 결정.

표 3-3. 광대역 파장가변 레이저에 의한 파장가변 영역.

## 그림 목차

- 그림 2-1. 광대역 파장 가변 레이저의 구성.
- 그림 2-2. GIM형 공진기 구조.
- 그림 2-3. GIM형 공진기 구성 도면.
- 그림 2-4. SLM형 공진기 구조.
- 그림 2-5. 종편핑 렌즈계의 구성도.
- 그림 2-6. 종편핑 렌즈계의 도면.
- 그림 2-7. 색소셀 구조.
- 그림 2-8. 횡편핑용 렌즈계와 색소셀 마운트 도면.
- 그림 2-9. 색소 순환 장치 계략도.
- 그림 2-10. 프로그램 흐름도.
- 그림 2-11. IO 카드의 전송 도표.
- 그림 2-12. 레이저 증폭기의 세부구조 개략도.
- 그림 2-13. 광분할기 도면.
- 그림 2-14. 광속 확대기 도면.
- 그림 2-15. 셔터 구성 도면.
- 그림 3-1. 색소에 따른 발진효율.

## 사진 목차

- 사진 2-1. GIM 형 레이저 공진기.
- 사진 2-2. 종펌핑 렌즈계 마운트.
- 사진 2-3. SLM형 레이저 공진기.
- 사진 2-4. 색소 셀 (a) 종펌핑 셀 (b) 횡펌핑 셀.
- 사진 2-5. 펌핑 렌즈계와 색소셀 모듈.
- 사진 2-6. 색소 용액 냉각 코일.
- 사진 2-7. 색소 순환 장치.
- 사진 2-8. 개발된 인터페이스 카드.
- 사진 2-9. 프로그램이 작동할 때의 모습.
- 사진 2-10. 광분할기 (a) 광분할기의 모습, (b) 지지대 위의 광할기.
- 사진 2-11. 광속확대기 모습.
- 사진 2-12. 셔터 모습.
- 사진 2-13. 조립된 레이저의 전체 모습.
- 사진 3-1. 광대역 파장가변 레이저의 발진모습.

# 제 1 장 서 론

자외선에서 근적외선까지 넓은 영역에 걸쳐 파장을 가변시킬 수 있는 레이저는 반도체 분야의 물성조사, 신소재 개발, 화공산업의 반응해석과 광촉매, 및 원자력 산업의 원자 분광 기술 개발, 공해물질의 검출과 오염의 원격 감시 등 첨단 광산업 분야에서의 다양하게 응용되어 오고 있으며 최근에는 국내에서도 이 분야에 대한 관심과 투자가 커지고 있는 실정이다. 이들 응용 분야에서는 대상 물질에 따라서 혹은 대상 시료의 상태 즉 기체, 반도체, 금속등에 따라서 파장 변화에 대한 흡수도가 판이하게 달라지기 때문에 이에 따른 적절한 파장 선택이 요구되므로 이를 위하여 넓은 영역에 걸쳐 파장을 변화시킬 수 있는 광대역 파장 가변 레이저가 필요하게 된다. 외국에서 이미 상품화된 이들 레이저를 구입하려면 고가의 금액을 지불하여야 하며 관련 핵심 기술들은 특허등을 통하여 이전되기에 어려운 형편이다. 본 연구실에서는 지금까지 특정과제들을 수행함으로써 파장가변 레이저 관련 기술들을 확보하였다. 이들 기술이 종합적으로 이용되는 중장기 과제로 가는 과정에서 수요가 급증되고 있는 레이저 시스템을 상품화함으로써 국내시장에 고품질 저가의 광대역 파장 가변 레이저를 제공하고자 하여 본 과제를 추진하게 되었다.

본과제에서는 광대역 파장 가변 레이저를 개발하고 이의 상품화를 목표로 하였다. 상품화에서 요구되는 레이저 시스템 출력의

최적화, 작동의 고안정화, 정렬의 간편화, 부품의 국산화, 고안전화, 및 가격의 저렴화등을 꾀하였다. 사용자의 편의와 출력 규모를 조절할 수 있도록 하기 위하여 레이저 시스템을 약 30개의 부분으로 나누어 이들을 모듈화 하였다. 레이저 시스템은 레이저 발생부, 주파수 조절부, 증폭기, 광펌핑을 위한 광학계, 색소 순환 장치들로 크게 나누어 볼 수 있다.

본 보고서는 각 모듈들에 대한 기능, 특징, 및 구성등을 자세히 다루었다. 제2장에서는 레이저 구성에 필요한 각 부분에 대한 기능 및 특성등을 설명하였다. 레이저 발생의 핵심부이며 레이저의 특성을 결정지어 주는 공진기 즉 발진기에 대하여 상술하였으며 증폭기, 주파수 조절기와 이를 위한 프로그램, 광펌핑을 위한 광학계, 색소 순환 장치, 안전성 제고를 위한 shutter, 및 케이스등에 관하여 설명하였다. 제3장에서는 개발된 레이저 시스템의 출력 특성에 관하여 설명하였다. 제4장에서는 결론적으로 본과제의 결과, 요약, 문제점 및 건의 사항에 관한 것이다.

## 제 2 장 레이저 제작

본과제는 레이저 개발에 있어서의 상품화를 위한 각 부품의 모듈화를 목표로 하였다. 이에 따라 각 부품의 설명을 설계 도면과 사진을 통하여 기술하겠다. 광대역 파장가변 레이저의 전체적인 구성은 그림 2-1과 같이 레이저 발진기, 증폭기 광펌핑을 위한 광학계, 발진 파장 변환부, 색소순환 장치 등으로 구성되어있다.

### 제 1 절 발진기

본 과제에서는 비교적 안정성이 높은 GIM형 공진기와, ASE가 적고 고분해능을 갖는 SLM 형 공진기의 모듈화에 성공하였다.

#### 1. GIM형 공진기 구성

본 레이저 개발에 사용된 공진기는 그림 2-2와 같은 GIM 형을 도입하였다. 색소 레이저 공진기는 각종 광학소자로 구성된 광학 계통과 이를 지지, 조절하는 기계장치로 구성된다.

광학계통은 회절격자, 파장선택 거울, 색소셀, 원통형 집속렌즈 등으로 구성된다. 원통형 렌즈로 펌핑광을 집속하여 색소셀에 횡펌핑을 하였다. 공진기의 색소셀은 Radiant사의 RDVC20을 이용하였으며, 출력경과 색소셀 창 사이의 다중반사로 인한 에탈론 효과를 없애기 위해

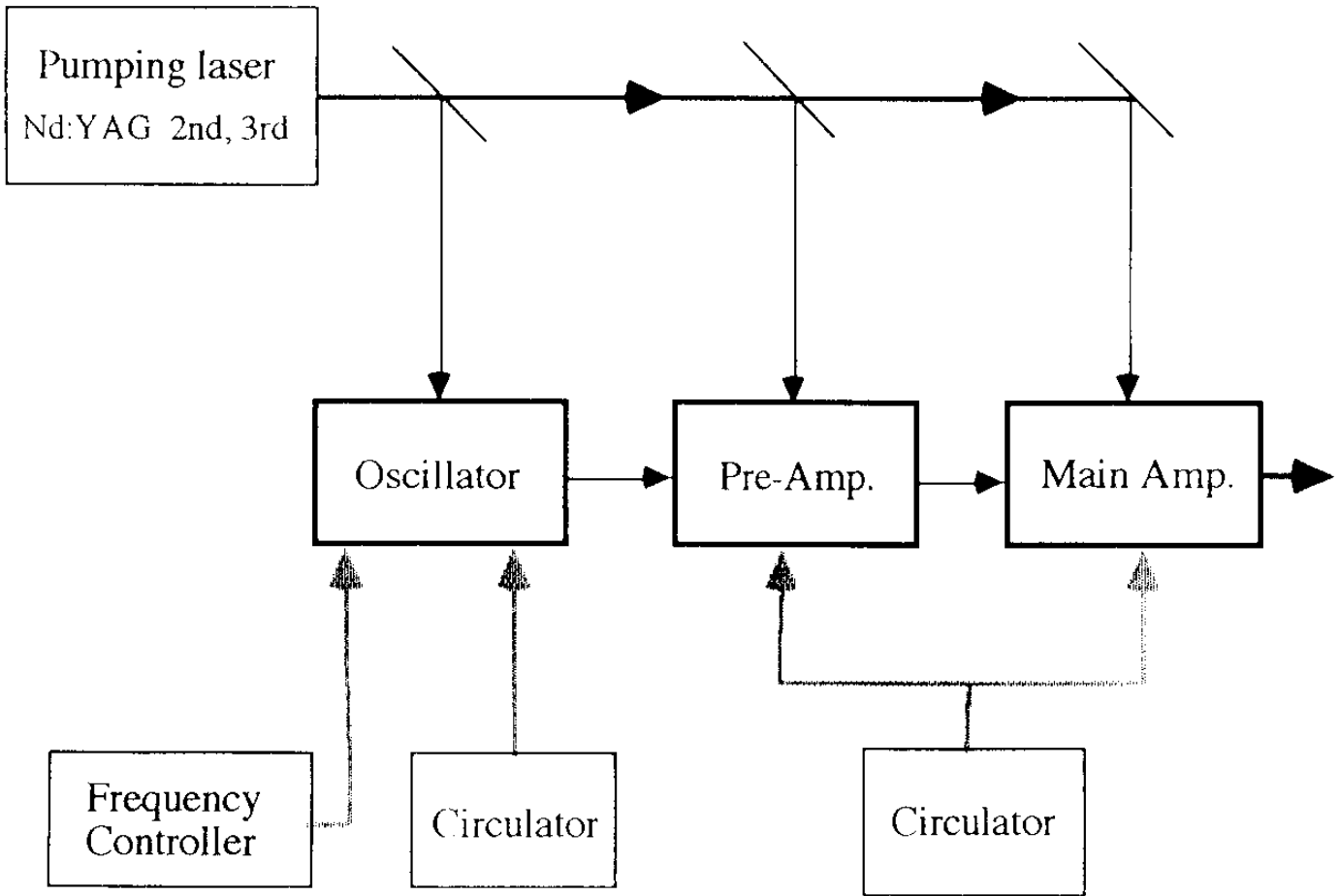


그림 2-1. 광대역 파장 가변 레이저의 구성.



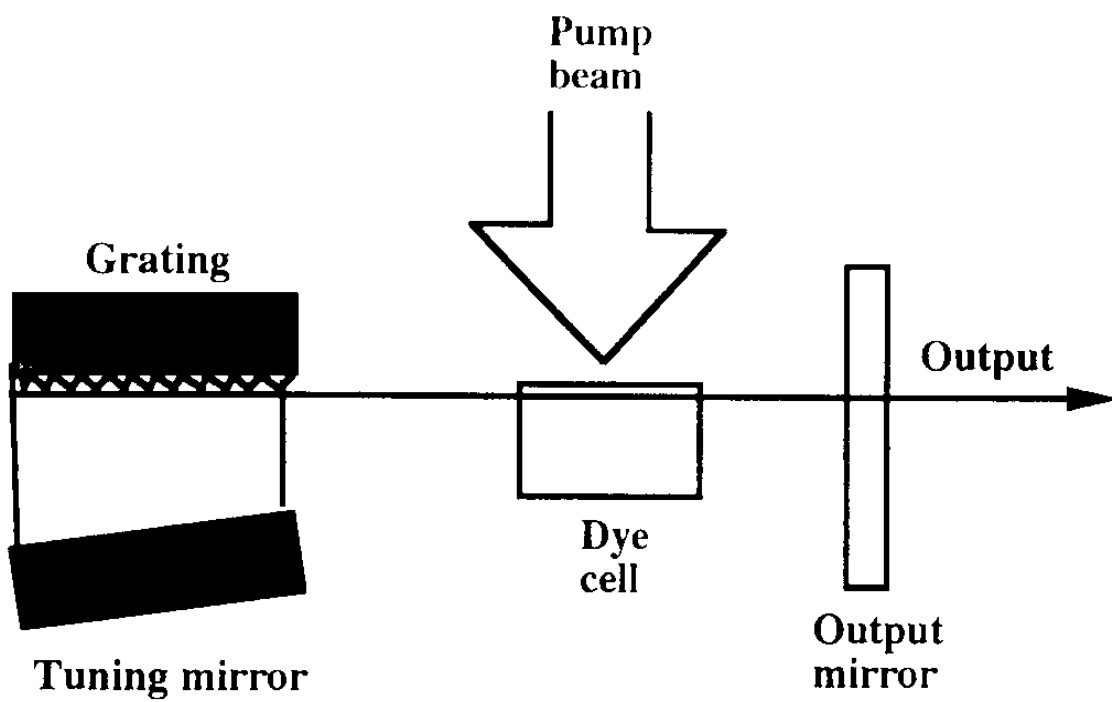


그림 2-2. GIM형 공진기 구조.

색소셀 전체를 광축에 대하여  $10^\circ$  범위 이내에서 기울일 수 있게 하였다.

기계장치는 회절격자와 tuning mirror를 지지하고 조절하는 파장 선택부, 색소셀이 장착되는 펌핑부, 출력경이 장착되는 출력부 등으로 구성된다. 색소레이저의 안정된 발진을 위해서는 광학소자와 여러 기계장치가 진동에 안정해야되며, 공진기의 여러 변수를 변화시켜 출력특성을 연구하기 위해서 광학소자를 임의의 위치에 장착, 정렬할 수 있어야한다. 회절격자와 tuning mirror 등의 구성요소를 조절하는 기계장치는 위치변경과 회전이 가능하도록하여 그에 따르는 출력특성의 변화를 연구하기 쉽도록 하였다.

색소의 농도 결정은 사용하는 색소의 종류와 펌프광의 세기, 원하는 출력 파장을 모두 고려해야 한다. 이득계수가 크고 펌프 광의 세기가 세면 작은 농도에서도 발진이 이루어지며 농도가 낮아지면 출력파장도 단파장 쪽으로 이동하게 된다. 또한 Rayleigh 거리는 농도에 의해 결정되어지므로 최적 공진기 길이 또한 달라지게 된다.

여기된 색소에서 생긴 자발 방출광은 긴 띠 모양의 활성영역을 지나면서 증폭되어 띠방향으로 밝은 점이 보인다. 이점은 출력경이나 완전반사 거울에 의해 반사되어 활성영역으로 되돌려지며 출력경으로는 코팅이 안된 window (약 4% 반사)를 쓰는 것이 일반적이나 색소의 이득이 작거나 펌프광의 세기가 약하면 회절격자의 효율이 낮을 때는 수십% 정도의 반사율을 갖는 출력경을 사용하기도 한다. 본 과제에선 파장/10 의 표면 가공을 한 BK-7 유리 위에 유전체 코팅이된 거울 ( 20 % 반사)을 사용하였다. 반사된 빛이 색소셀 내의 활성영역을

지나면 강한 밝은 점이 되며 이점을 찾기위해선 정밀도가 좋은 mount를 사용하여야 한다. 회절격자는 크기가 12mmx50mm이고 격자수는 2400 1/mm 인 홀로그래픽 회절격자를 사용하였다.

회절격자에서 회절되는 빛의 양은 공진기의 효율과 출력의 편광에 직접적인 영향을 미치며 광의 입사각과 편광 상태, 격자홈이 파인 상태에의해 결정된다. 일반적으로 회절격자에 입사되는 각이 90도에 가깝을수록 효율이 저하되며 회절격자에 대하여 S편광보다 P편광 일때가 효율이 더욱 좋다. 이러한 이유에서 4개로 구성된 프리즘 조합을 이용하여 색소셀로 부터 방출되는 광속을 확대시켜 회절격자에 입사 시킴으로써 회절격자의 효율이 증가되도하였다.

회절격자에서 회절된 빛 중에서 고차 (high order)의 빛은 파장 선택거울로 향하지 않고 바로 색소셀로 향할 수 있으므로 회절격자 홈 사이의 간격은 파장의 0.5-1배인 것을 선택하는 것이 좋으며 본 실험에서 발진시킨 파장 영역에선 2400line/mm 회절격자는 일차 회절광만 발생시켜 이로 인한 문제는 없었다. 또한 거울과 회절격자 사이를 오가며 다중반사되는 빛을 없애기 위해선 회절격자를 격자홈에 대하여 수직인 방향을 축으로 약간 기울어 지도록 두어야 한다.

Tuning mirror는 유전체다층박막 거울을 사용하였으며, 이 mirror 대신에 Littrow 회절격자를 사용할 경우 레이저 발진 선폭을 좀더 줄일 수 있다. 레이저 주사장치에 필요한 모터와 회전대는 각각 스테핑모터 ( Oriental PX243G01A )와 Newport 사의 472를 사용하였으며, 이들을 커플러 (NKB사의 MST-16C-5x5)로 연결하였다. 이때 tuning mirror의 위치를 알기위하여 1um 이하의 정확도를 갖는 limit 스위치 ( Omron

D5A-1100)를 사용하였으며, 회전대의 워엄기어 치수는 180개 짜리를 사용하였다. 아울러 스테핑 모터(0.1도/step) 1스텝 움직이는데 따른 주파수 변화는 3GHz로서, 본 공진기에서의 예상되는 발진선폭과 비교할 때 적당한 값이다.

정렬이 이루어져 발진이 시작되면 원통형 렌즈로 집속시키는 펌프광의 위치가 조금 변하여도 발진은 이루어지므로 좁은 선폭을 얻기 위해서 집속조건과 end mirror의 정렬을 조금씩 변동 시키고 회절격자도 많이 기울어지게 하여 다시 정렬하였다.

선폭이 좁은 색소레이저를 얻기 위해서는 회절격자를 색소셀로부터 Rayleigh거리에 두어야하며, Rayleigh거리는 색소셀로부터 방출되는 광의 발산(divergence)각을 측정함으로써 알 수 있다. 색소레이저의 에너지전환효율은 펌핑광이 가장 잘 집속되었을 때 가장 크며, 이 때 발산각이 가장 작다. 또한 발산각이 가장 작을 때 회절격자의 분해능이 가장 좋다. 측정 결과 최소 발산각은 4.3 mrad였다. 이에 해당되는 Rayleigh거리는 4cm 정도이다. 색소셀에서의 beam waist는 발산각 4.3 mrad과 출력경까지 거리 10cm를 고려할 때 0.3mm 정도로 추정되며, 회절격자에 입사하는 광속의 직경은 약 0.5mm 이다.

이상의 색소레이저 공진기 부품들을 표 2-1에 나타내었다. 제작에 사용된 GIM 형 공진기의 도면을 그림 2-3에 나타내었으며, 이에 따라 제작된 공진기를 사진 2-1에 나타내었다.

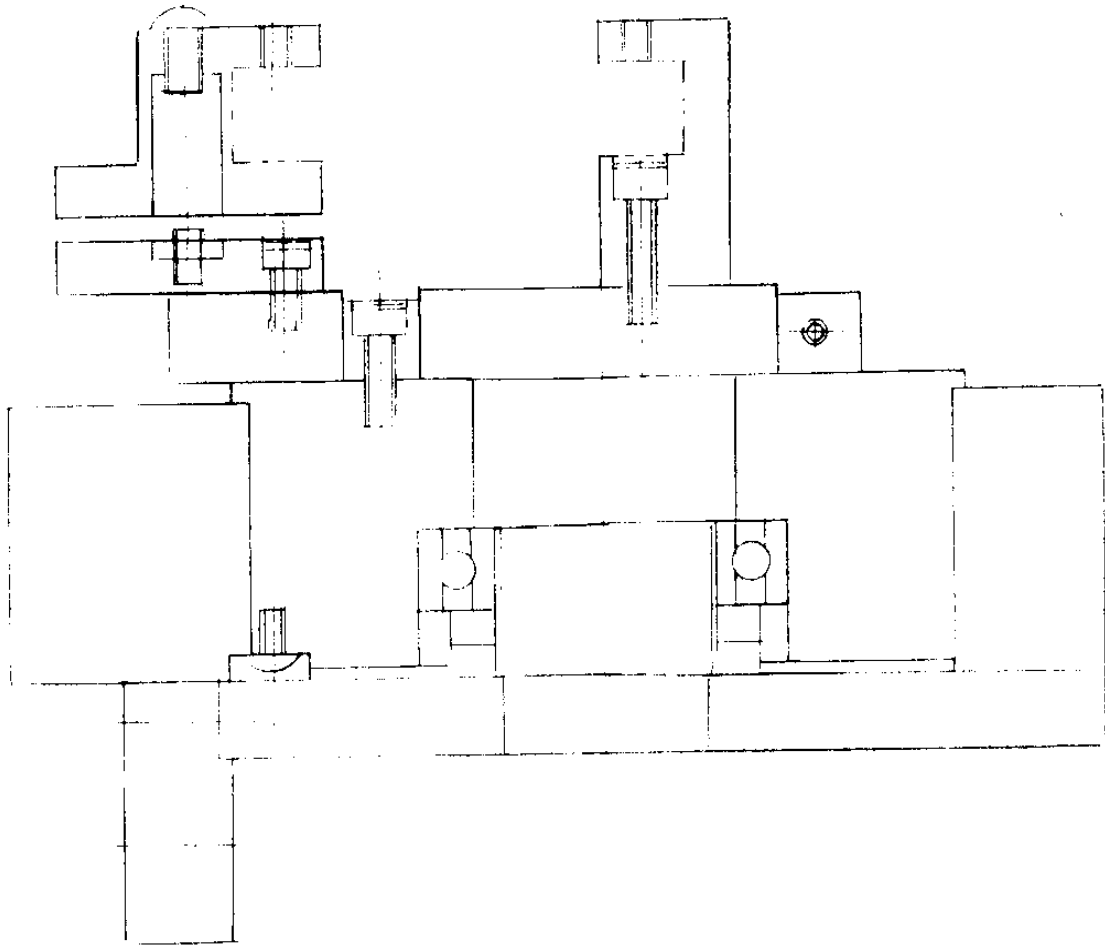


그림 2-3. GIM형 공진기 구성 도면.

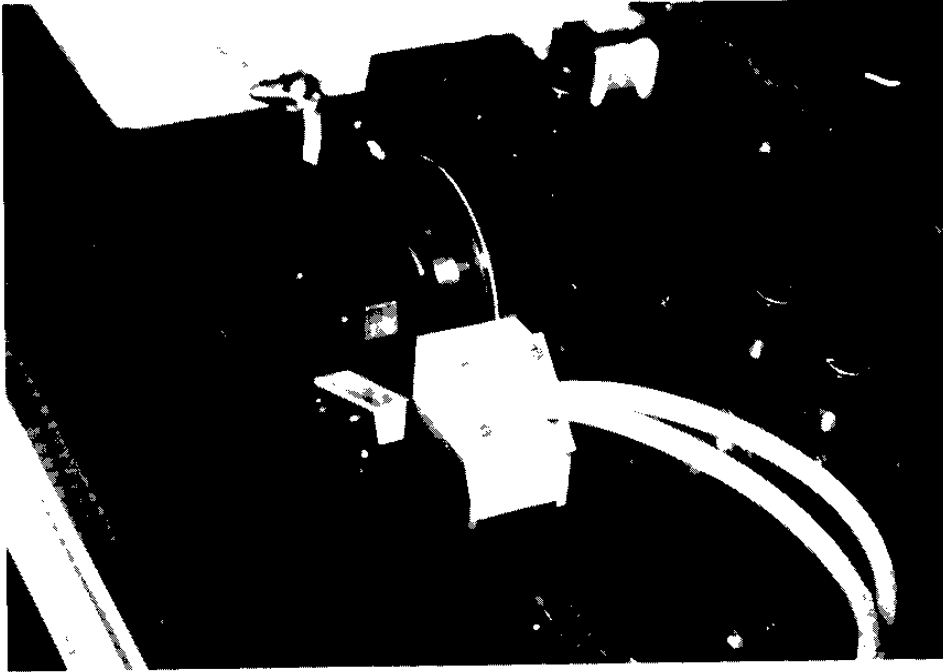


사진 2-1. GIM 형 레이저 공진기

표 2-1. GIM형 공진기 내부 구성 부품및 사양

No	품 명	사 양
1.	원통형 렌즈	축점 거리 ; 8cm , 1"
2.	출력경	지름; 1"
3.	색소셀	길이; 20mm
4.	회절격자	50 mm x 10 mm , 2400 1/mm
5.	tuning mirror	50 mm x 10 mm , 유전체 코팅

## 2. SLM 형의 공진기

본 공진기는 그림 2-4 와 같으며, 원리적으로는 GIM형과 거의 같은 공진기 구조이다. 다만 펌핑 방향이 레이저 광축에 대하여 종으로 펌핑되는 종펌핑 Littman 공진기이다. 종 펌핑으로 이루어 짐에 따라 레이저 매질이 균일하게 여기되므로 출력빔의 공간적 분포가 가우시안 분포에 가깝도록 발진되는 것이 특징이다. 또한 공진기 길이가 5cm 이 내로 짧기 때문에 종모드 사이의 주파수 차이가 커져 단일모드 발진이 가능하고, 여기광의 펄스폭이 짧아도 레이저 빔이 공진기 안에서 여러번 왕복할 수 있기 때문에 ASE가 없는 깨끗한 레이저 빔을 얻을수 있다.

펌핑광은 구면렌즈를 이용하여 색소셀에 집속시켰으며, 펌핑은 레이저 발진 방향과 동일한 종펌핑 방법을 사용하였다. 이때 사용된 렌즈의 축점거리는 70cm 정도가 적당하다. 그러나 축점거리 70cm의

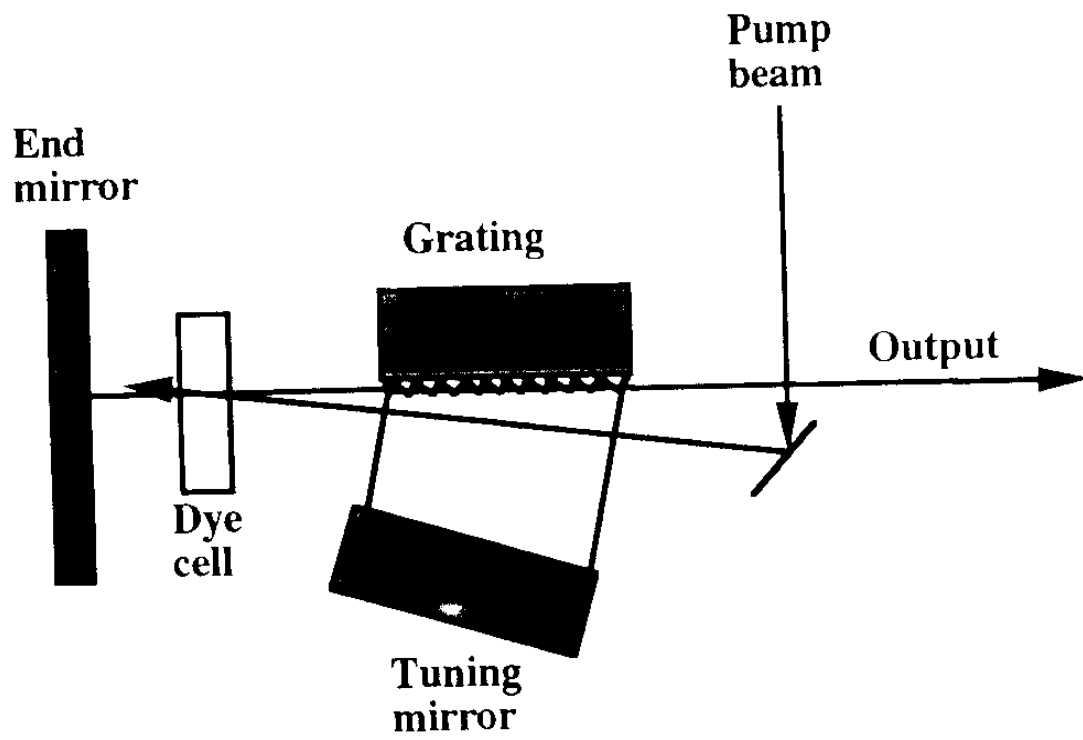


그림 2-4. SLM형 공진기 구조.



단일렌즈를 사용할때 후 초점거리 역시 70 cm 가 되므로 레이저 장치가 너무 커지는 단점이 있다. 이를 보완하기 위하여 단일렌즈 대신 초점거리 15cm와 -5cm의 두 렌즈를 11cm 의 거리에 두어, 그림 2-5와 같이 초점 거리는 70cm로 유지되면서 후초점거리는 20cm로 축소되도록 하므로써 레이저 장치가 소형화 되도록 하였다. 이를 위한 펌핑렌즈의 설계도면을 그림 2-6에 나타내었으며, 이에 따라 제작된 렌즈계를 사진 2-2에 나타내었다.

색소셀은 Hellma사의 model No. 690.072를 사용하였으며, 색소용액의 농도는 0.3 mM을 사용하였다. Rear mirror와 tuning mirror는 셀을 투과한 여분의 펌프광에도 잘 견딜 수 있으며 아울러 반사율도 높은 유전체 다층박막 거울을 사용하였다. 파장선택 소자인 회절격자는 크기가 10mmx25mm이고 격자 수는 2400 1/mm 이며, 색소셀로부터 방출된 광의 입사각은 89도이다. 공진기의 길이가 5cm 이므로 종모드 사이의 간격은 3GHz 이다.

앞서 기술한 바와 같이 본 공진기는 단일종모드 발진이 가능하며, 이때 예상되는 레이저 발진선폭은 0.5GHz 이다. 주사장치에 사용되는 회전대는 GIM-90과 동일한 것을 사용하였으며, 모터는 스텝당 분해능이 좋은 오리엔탈 UPD534MGH1-A을 사용하였다. 이 스텝핑 모터는 1스텝 움직이는데 따른 주파수 변화가 0.2GHz로서 레이저 발진선폭 0.5GHz를 고려할 때 알맞은 것이다. 단일종모드 발진시 주파수의 연속적인 주사가 가능하려면 rear mirror의 위치가 잘 조절되어야 하며, 이를 위하여 마이크로 포지셔너를 부착하였다. 또한 rear mirror에 주파수 안정화에 사용되는 PZT를 부착하였다.

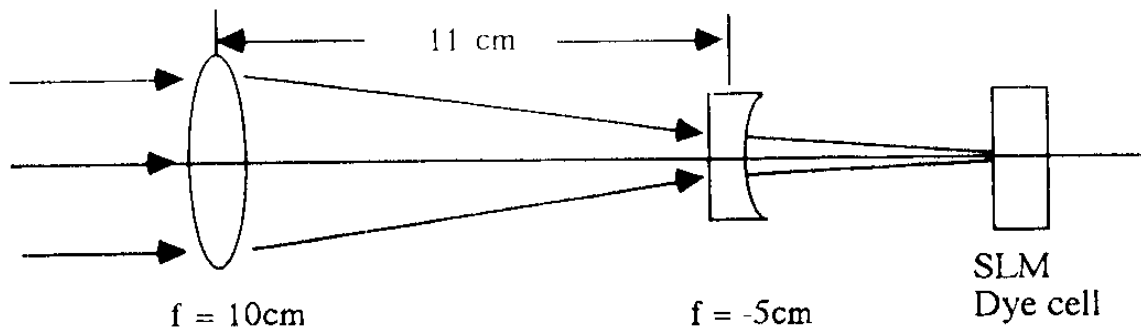


그림 2-5. 종펌핑 렌즈계의 구성도.

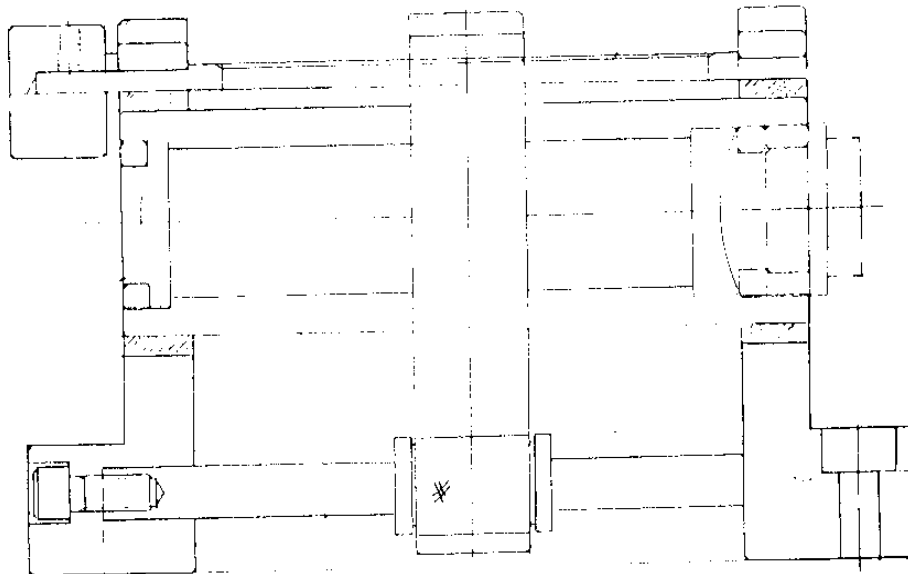


그림 2-6. 종펌핑 렌즈계의 도면.

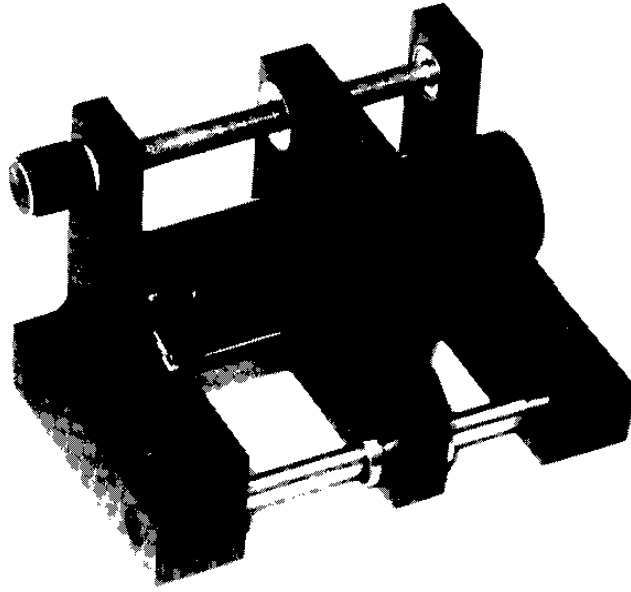


사진 2-2. 종편핑 렌즈계 마운트.

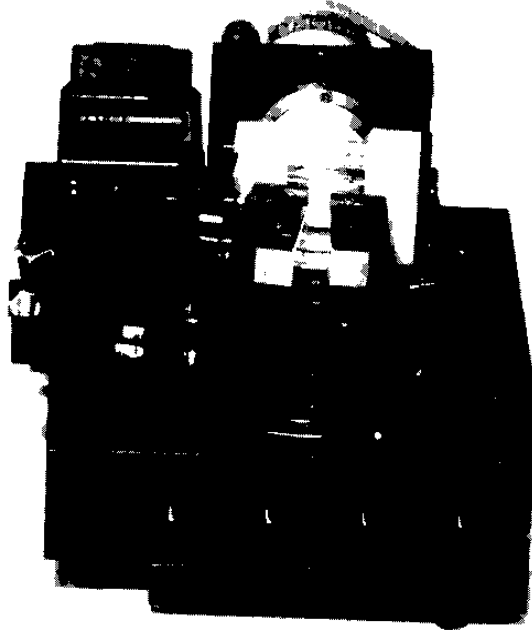


사진 2-3. SLM형 레이저 공진기

이와 같이 제작하여 완성된 SIM 형 공진기 모듈은 사진 2-3에 나타내었다.

## 제 2 절 색소셀과 순환계통

광대역 파장가변 레이저 개발에 있어서 색소 셀의 설계는 매우 중요한 요소이다. 펌핑광으로 여기된 색소의 대부분은 바닥상태로 되돌아오면서 레이저 발진에 기여하지만 일부는 triplet 상태에 머무른다. 이는 레이저 매질의 결핍을 가져올 뿐만 아니라, triplet triplet 전이에 의하여 색소 방출광을 흡수하므로 손실의 원인이 된다.

이를 방지하기 위해 색소용액을 순환시켜 새로운 색소용액을 공급해야한다. 특히 여기용 고반복률과 평균 에너지가 높은 펌핑광일 경우 색소용액의 냉각을 위해 색소용액을 빠른 속도로 순환시켜야하며, 이때 와류나 기포가 발생하지 않도록 설계해야한다. 횡여기 색소셀에 집속된 평행광의 폭이 0.5mm라 하고, 구리중기레이저의 반복률이 10 kHz 일때, 여기펄스가 입사하고 다음 펄스가 입사할 때 까지 새로운 색소가 채워지기 위해서는 5m/sec 의 속도로 색소용액을 흘려야 함을 알 수 있다. 색소용액의 단면적이 20mm x 1mm라면 색소 순환계의 용량은 6l/min. 이상이어야 한다.

### 1. 색소셀

색소셀은 광축과 색소용액의 방향에 따라 횡여기용과 종여기용으로

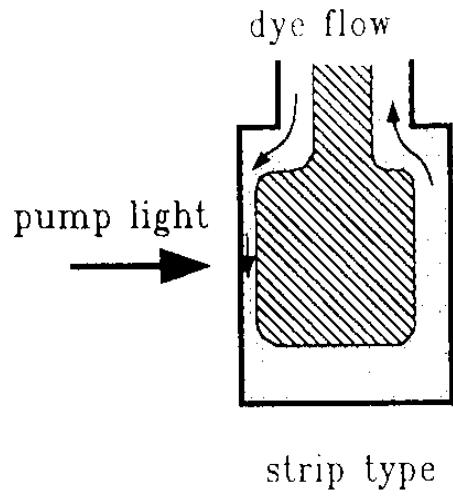
나눌수 있는데, 그림 2-7은 이들 색소셀의 구조를 나타내며, 사진 2-4는 제작되어진 색소셀의 사진이다.

SLM 공진기의 경우에는, 공진기 길이를 작게하여 단일 종모드로 발진시키기 위해서는 색소셀을 지나는 광경로를 짧게 해야하므로 종여기 색소셀이 적합하다. 반면 GIM형 공진기에서나 증폭기에서는 레이저 빔의 세기밀도가 크고 광경로가 길어야 이득 및 효율이 좋아지므로 횡여기 색소셀이 적합하다.

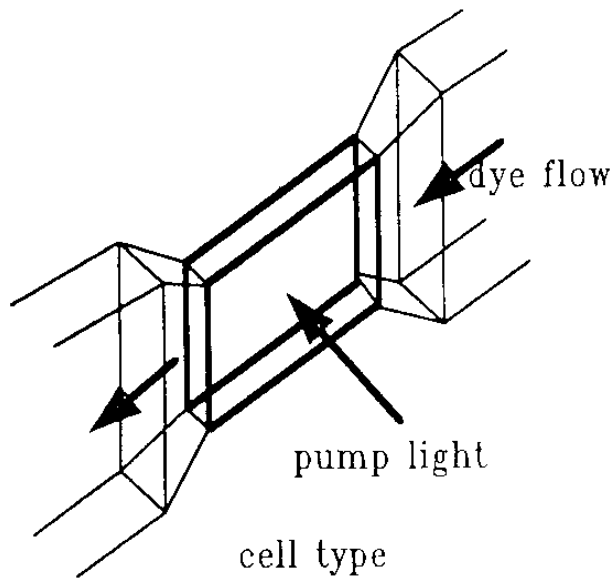
이에 따라 본 연구에서 공진기에 사용한 종여기용 색소셀은 Hellma사의 modelNo.690.072이며, 색소셀과 용액순환 tube와의 연결부분을 곡면으로하여 cell 내부의 난류를 줄이도록 제작하였다. 이때 유효 단면적은 1mm x20mm이고, 길이는 10mm이다.

횡여기 색소셀에는 고속류에 적당한 Radiant사의 RDVC20을 사용하였다. 그 폭 (광축방향의 길이)은 20mm이며, 색소가 흐르는 단면의 두께는 0.2 mm에서 2mm까지 변화가 가능하게 제작하였다. 색소셀의 여기방식은 횡여기 방식이며, 유효단면의 지름은 약 1mm이고 길이는 20mm이다. 증폭기 앞에 집속렌즈를 두어 입사 레이저 빔의 단위면적당 에너지 밀도를 높게하였다.

증폭기에서는 광경로가 길기 때문에 색소용액이 광경로를 따라 균일하게 분포되어 있지 않으면 공간적으로 불균일하게 여기되어 레이저 빔의 공간적 분포가 균일하게 되지 않고 효율도 감소한다. 특히 고속류에서 발생하는 난류는 레이저빔의 시간적, 공간적 균일성과 효율을 해치는 요인이 된다.

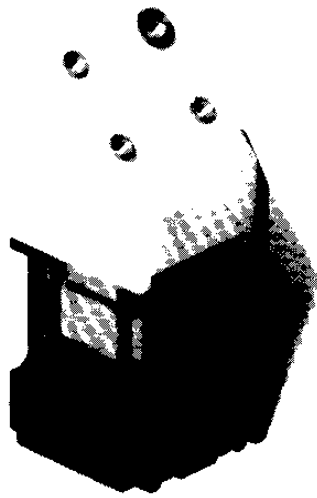


transverse pumping

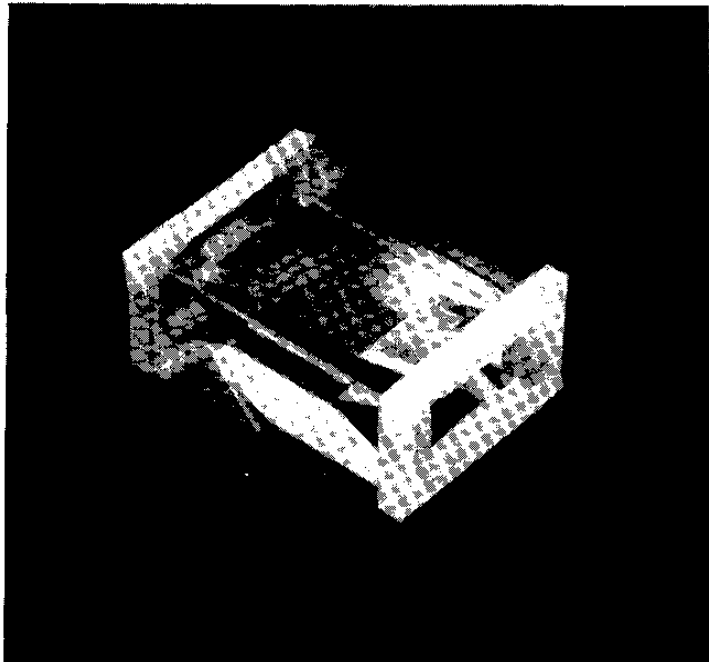


longitudinal pumping

그림 2-7. 색소셀 구조.



(a)



(b)

사진 2-4. (a) 종편핑 썬 (b) 횡편핑 썬

## 2. 횡편핑용 색소셀과 편핑계통

횡편핑용 색소셀과 편핑광을 효과적으로 사용하기 위하여 색소셀 마운트와 편핑렌즈 시스템을 하나의 마운트 위에 장착하여 이들을 모듈화 시켰다. 이들은 색소셀, 색소셀 지지대, 원통형 렌즈와 그의 지지대로 구성되어 있다.

원통형 렌즈는 편핑광을 효율적으로 편핑할수 있도록 각도조절 기능을 부여하였고, 또한 집속정도를 조절할수 있도록 선형이동대 위에 부착하였다.

증폭기의 정렬은 어려운 문제이며, 잘 정렬되어야 한다. 이를 위하여 편핑광을 집속시키는 원통형 렌즈의 마운트와 색소셀 마운트가 무엇 보다도 잘 설계되어야 한다. 원통형 렌즈 마운트는 축점위치를 정확히 조절할 수 있게 하였을 뿐만 아니라, 수직선에 대하여 회전방향으로 조절가능하게 하여 발진기로부터 입력되는 광과 커프링이 잘되게하였다. 색소셀 마운트 또한 입력광과 커프링이 잘 되게하기 위하여 수평면에 대하여 회전방향의 조절을 가능하게 하였으며, 아울러 직선운동 조절기능도 가능하게 하였다. 또한 색소셀은 광축에 대하여 약간 기울어질수 있게하여 ASE의 증폭을 방지할 수 있게하였다.

이들 원통형렌즈 마운트와 색소셀 마운트는 직선운동에 대하여 지지축과 나사틀서로 반대로 하여 함께 사용함으로써 마운트 구조를 간단하게 할 수 있었다. 설계된 도면을 그림 2-8에 나타내었으며, 제작된 모습을 사진 2-5에 나타내었다.



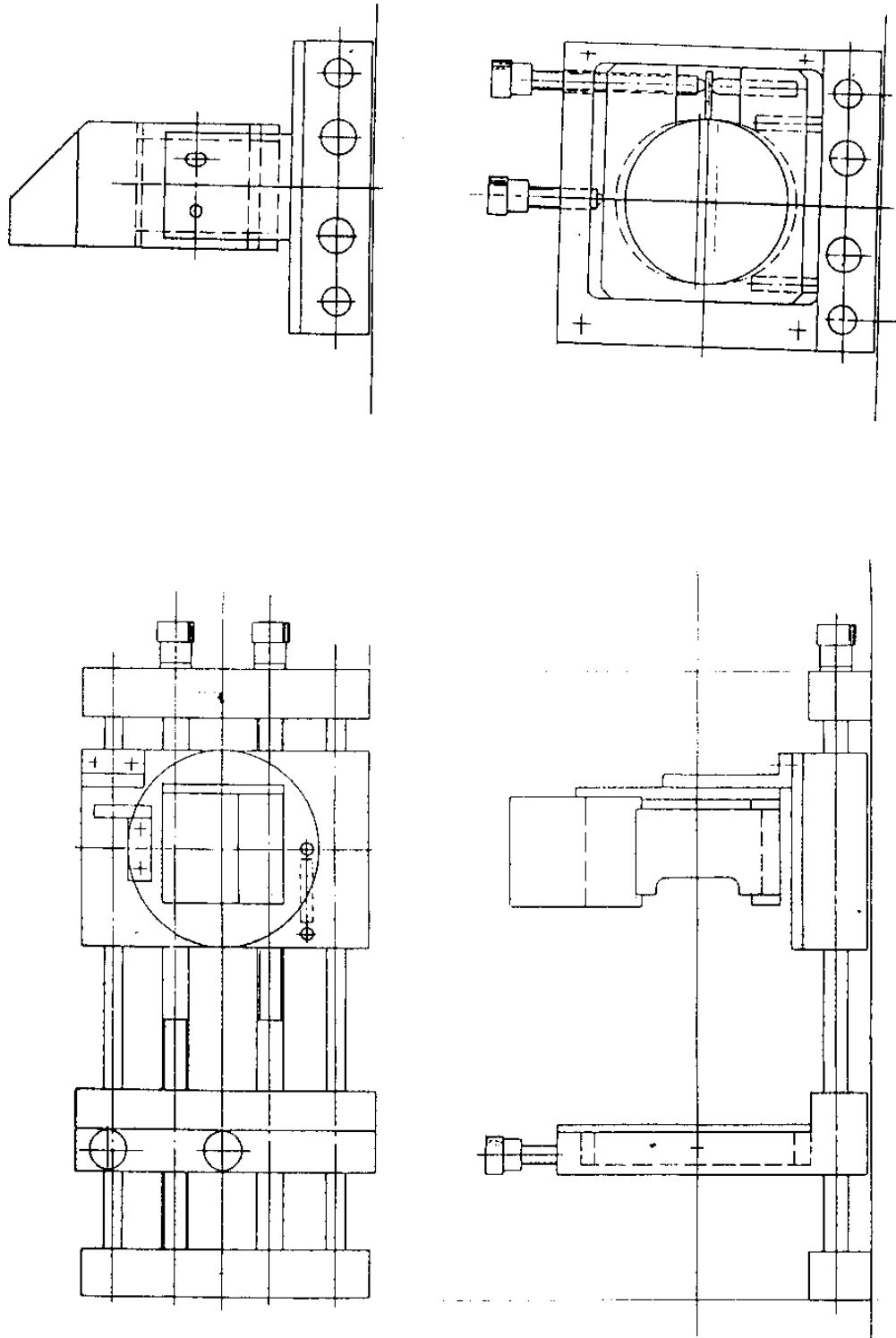


그림 2-8. 횡편평용 렌즈계와 색소셀 마운트 도면.

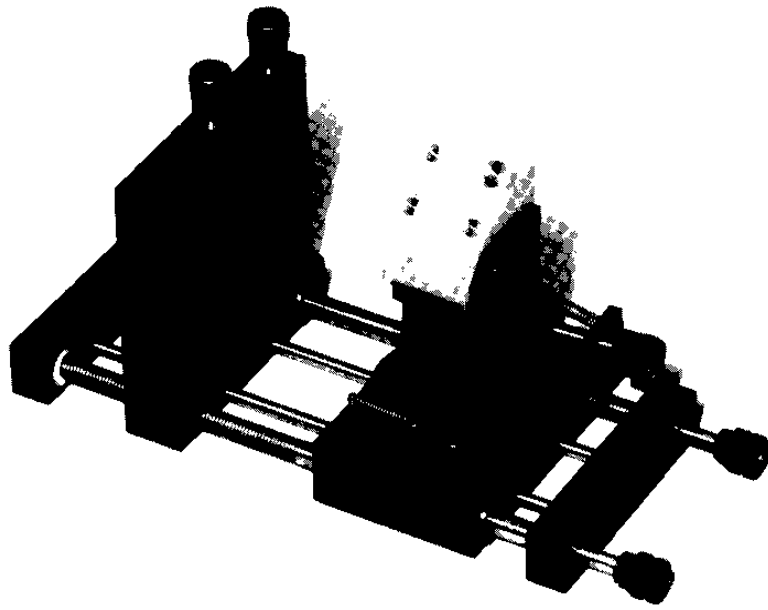


사진 2-5. 펌핑 렌즈계와 색소셀 모듈.

### 3. 색소 용액 순환펌프

색소 순환기는 그림 2-9에서와 같이 펌프, 색소용액통, 냉각기 및 필터로 구성되어있다. 펌프는 유량을 변화시킬 수 있는 Micropump사의 model No.221을 사용하였으며, 최대 유량과 압력은 각각 13.6 l/min 및 4.3 기압이다. 필터는 0.2 $\mu$ m 까지의 불순물과 공기 기포를 제거한다. 계속되는 펌핑으로 인하여 색소용액이 가열되므로, 이열을 제거하기 위하여 색소 용액통 (용량 1.5liter)속에 냉각수를 흘릴 수 있는 튜브를 설치하였다. 사진 2-6은 냉각코일을 나타내며, 사진 2-7은 펌프시스템 전체의 모습이다. 이들 순환장치에 사용된 튜브는 외경이 1/4" 인 테프론 튜브를 사용하였으나, 경우에 따라서는 3/8" 튜브를 사용 가능하게 하였다. 또한 색소용액의 교환을 간편하게하기 위하여, 드레인 밸브를 부착하였다.

색소레이저에는 발진기와 증폭기의 색소용액 농도가 다르므로 발진기용 펌프와 증폭기용 펌프를 따로 설치하였다.

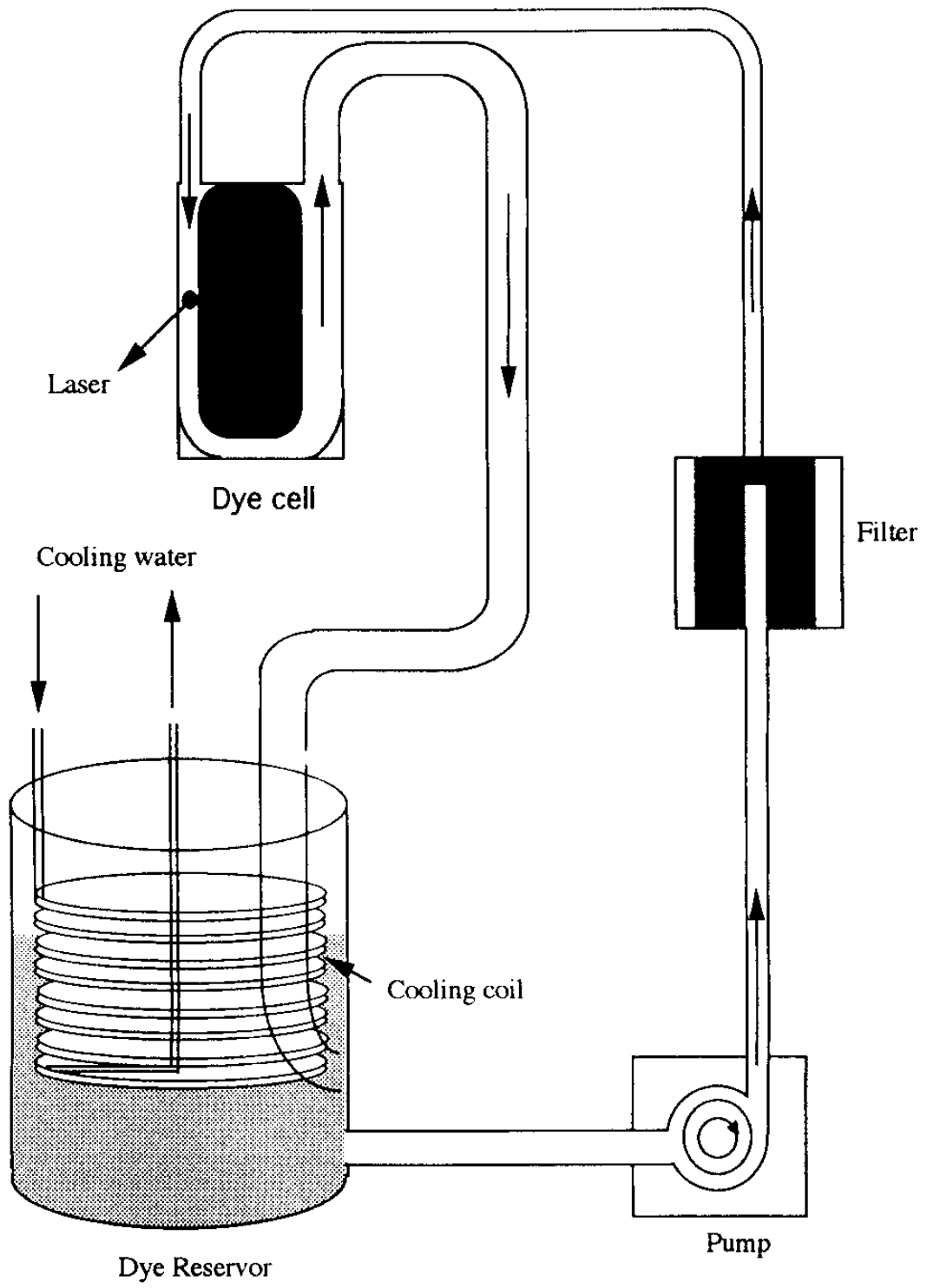


그림 2-9. 색소 순환 장치 계략도.

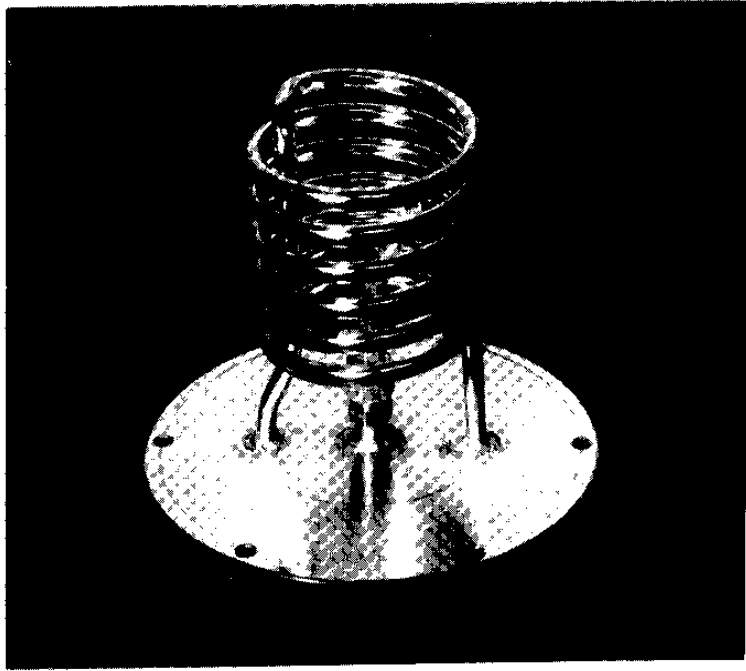


사진 2-6. 색소 용액 냉각 코일.

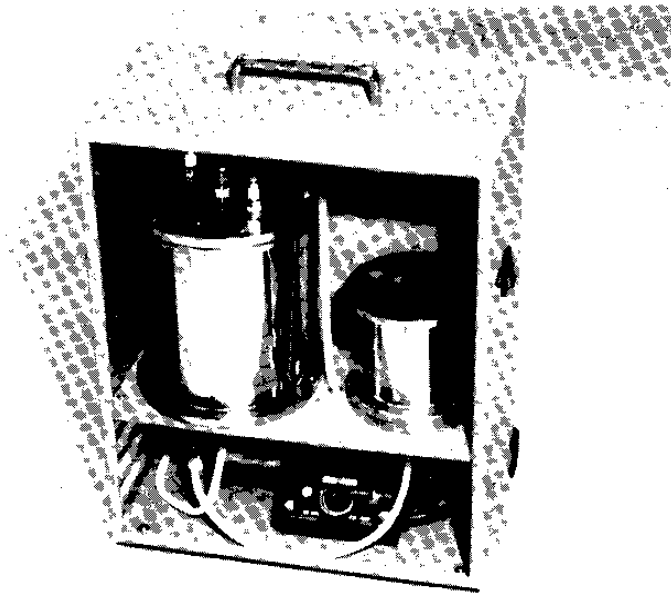


사진 2-7. 색소 순환 장치.

### 제 3 절 주파수 제어장치

광대역 파장가변 레이저에 있어서 주파수 제어는 매우 중요하다. 이를 위하여 주파수 제어는 소형 경량의 노트북 컴퓨터를 사용하여 제어할 수 있게 하였다. Limit 스위치로 tuning mirror의 위치를 인식토록 하였으며, 파장변화는 스테핑모터를 회전함으로서 tuning mirror를 회전시켜 행하였다. 또한 미세파장변화를 행할수 있게 하기 위하여 gear box를 사용하여 모터의 회전량을 감쇄시켰다.

주파수 제어 프로그램의 전체적인 흐름도는 그림 2-10와 같다. 이 프로그램은 setup 프로그램과 주사(scanning) 프로그램으로 이루어져 있다. Setup 프로그램은 사용자가 원하는 파장으로 주사할 때의 시작 파장, 끝파장, 주사속도 등을 결정하는데 사용되어지며, 주사프로그램은 현재의 주사상태를 나타내어 줌으로서 누구나 쉽게 사용할 수 있도록 하였다. 자세한 프로그램의 내용을 부록에 담았다.

이때 통신에 이용되는 I.O. 카드는 자체적으로 설계 제작하였다. 그림 2-11에서 data 전송도표를 나타내었으며, 노트북 컴퓨터에 간편하게 사용할 수 있도록 소형으로 모듈화시켰다. 사진 2-8은 모듈화시킨 팩과 내부의 I.O 카드 모습이다. 사진 2-9는 이를 장착한 노트북 컴퓨터에서 실제 레이저를 주사시킬 때의 컴퓨터 모습이다.

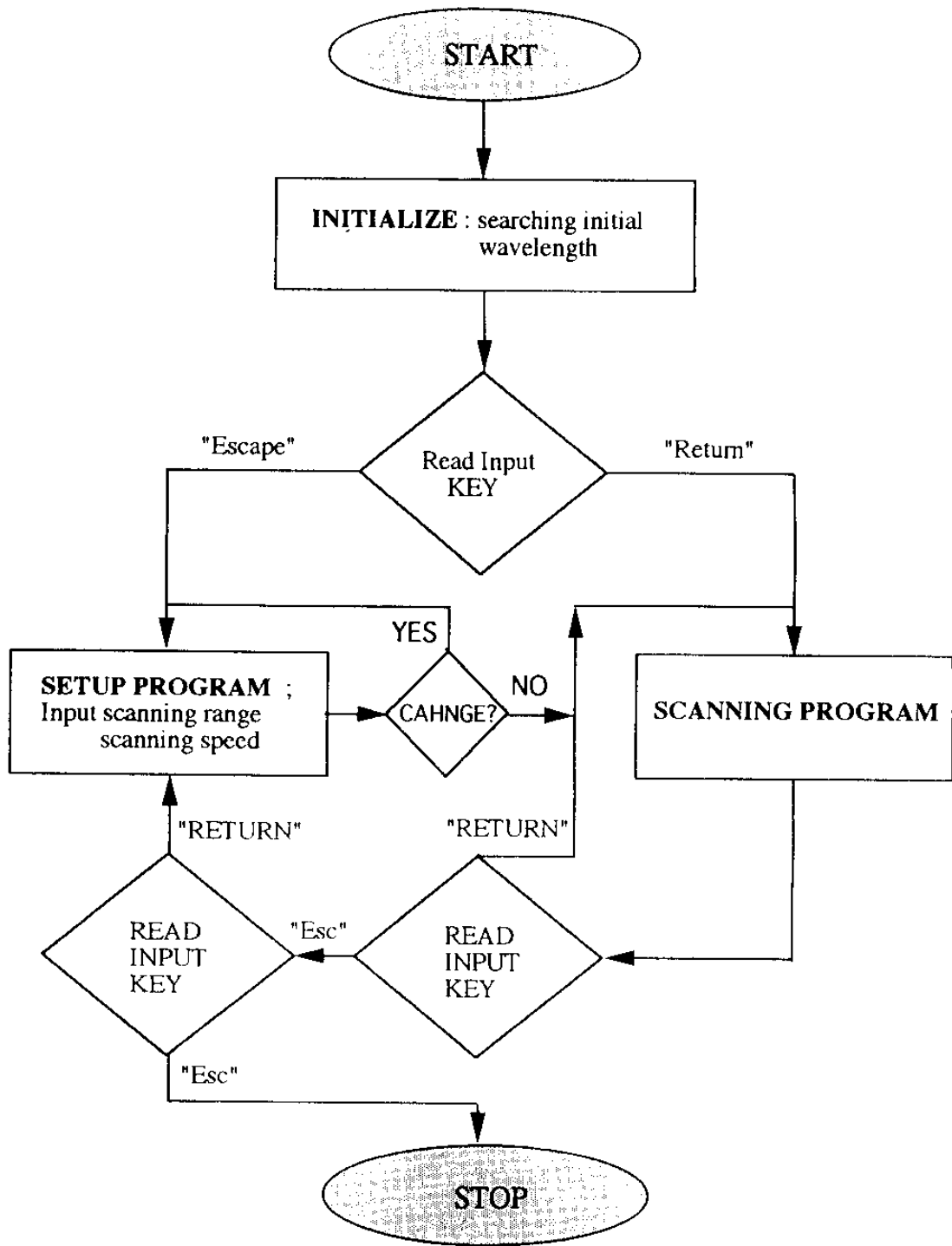


그림 2-10. 프로그램 흐름도.

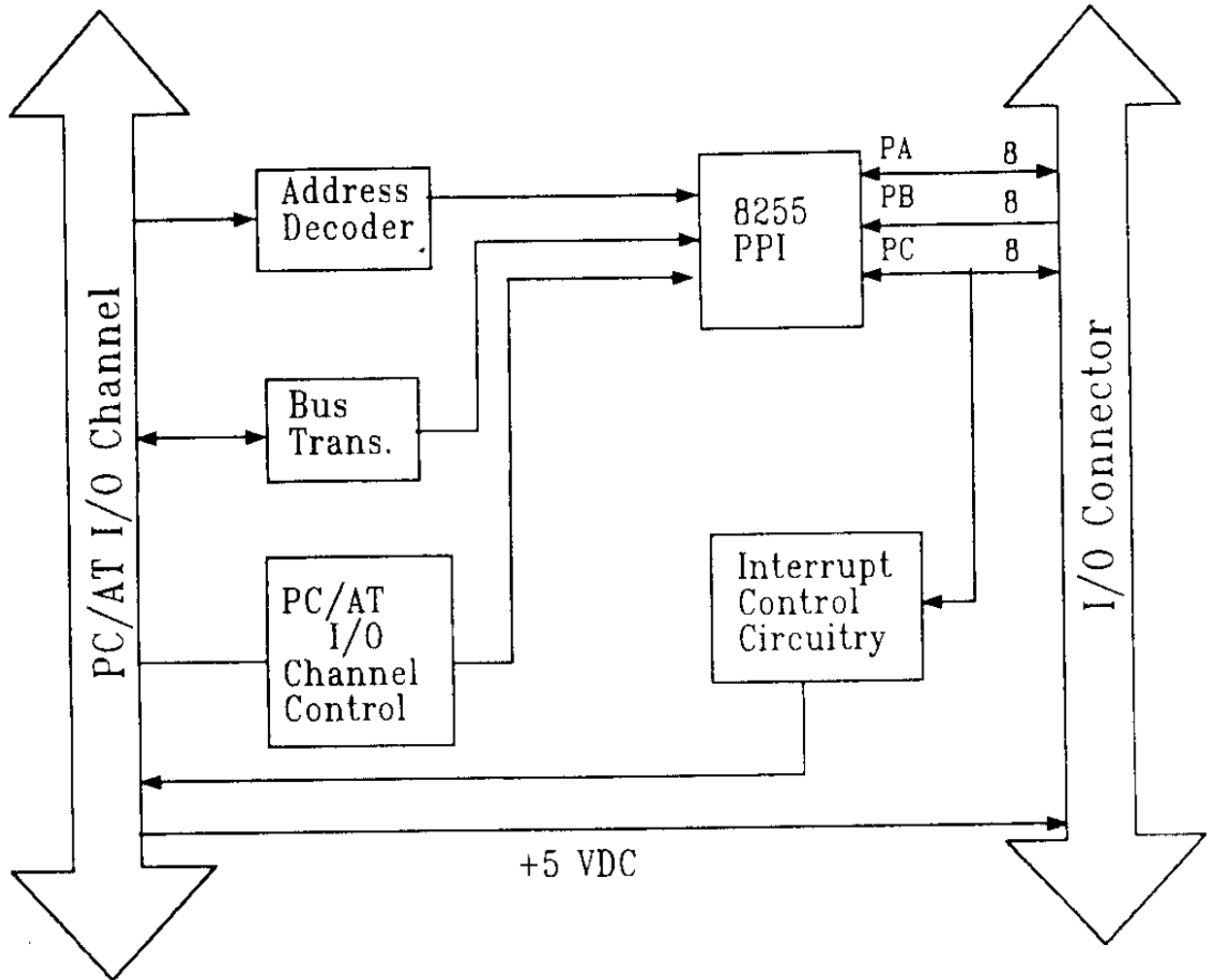


그림 2-11. IO 카드의 전송 도표.



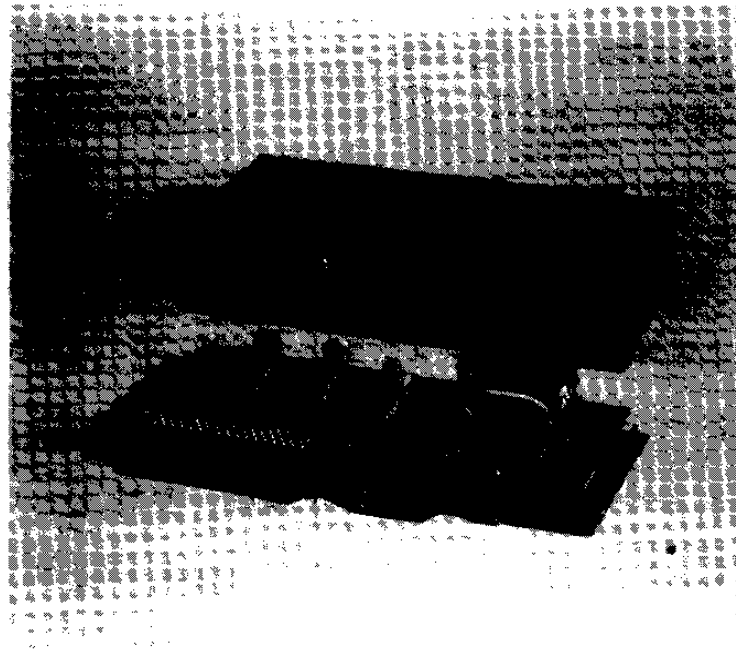


사진 2-8. 개발된 인터페이스 카드.



사진 2-9. 프로그램이 작동할 때의 모습.

## 제 4 절 증폭기

고분해 색소레이저의 경우, 선폭축소에 사용되는 회절격자, 에탈론 등에 의한 손실이 커져 레이저 효율이 수% 이하로 매우 낮다. 따라서 레이저 시스템의 에너지 전환효율을 높이려면, 발진기에는 펄스당 수mJ 정도로 작은 에너지의 펌핑광으로 레이저를 발진시키고 펌핑광에너지의 대부분은 증폭기에 사용하는 것이 좋다. 또한 발진기에 너무 많은 에너지가 펌핑되면 ASE에 의한 손실이 증대되며, 아울러 쉘내부의 온도 상승으로 인하여 출력과 주파수도 불안정하여 진다.

증폭기에서는 공진기와 증폭기 사이의 시간지연을 적당히 조절하고 공진기의 출력으로 증폭기를 포화시킴으로써 ASE를 많이 줄일수있다. 따라서 고효율 고분해능 레이저 시스템이 증폭기를 장착하는 것은 필수적이라 하겠다.

본 과제외 증폭기 계열은 그림 2-12와 같이 전치 및 주증폭기로 구성되어있다. 증폭기의 펌핑시간 지연은 광속이 레이저 공진기 내에서 한번 왕복하는데 걸리는 시간으로 정하여진다. 발진기와 증폭기 사이의 광로정이 적으면, 증폭기에서 발생된 ASE가 색소 레이저 출력 경에 반사되어 되돌아 올때 lasing을 일으켜 증폭기에 손실을 증가시키고 잡음(noise)으로 작용한다. 따라서 광로정을 펌핑광의 펄스길이 이상으로 늘리므로써 이를 방지할 수 있다.

### 1. 광분할기

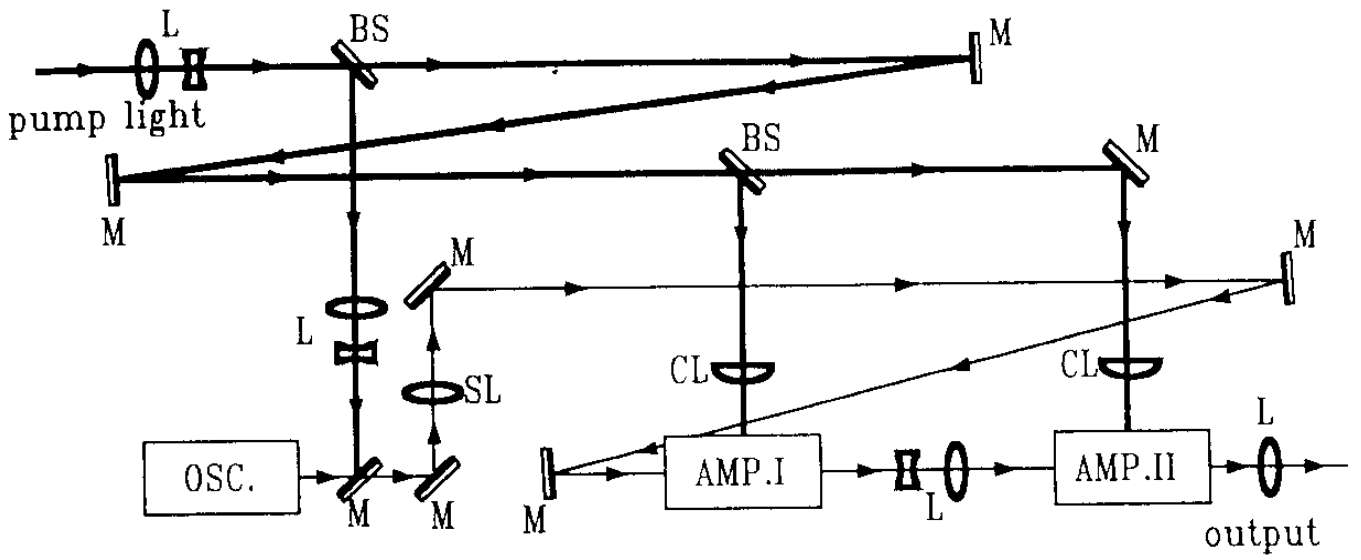


그림 2-12. 레이저 증폭기의 세부구조 개략도.

펌프광은 광 분할기에 의하여 발진기와 전치 및 주 증폭기에 펌핑되며, 이때 광분할비는 각각 10%, 30%, 60% 로 하였다. 설계된 광 분할기 마운트의 도면을 그림 2-13에 나타내었으며, 이에 따라 제작된 마운트를 사진 2-10 (a)에 나타내었다. 이 마운트는 레이저 내부 케이스에 고정하여 사진 2-10 (b)와 같이 레이저의 뒷쪽방향에서 조절이 가능하게 편의성을 도모하였다. 광분할기는 광학유리 위에 유전체 박막을 증착한 것을 사용하였으며, 이들을 손쉽게 교환가능하게 하였다. 또한 자외선 광원으로 펌핑하는 경우에 이 부품만 교체하여 사용가능하게하였다.

## 2. 광속확대기

발진기로 부터 발생한 레이저 광을 증폭기에 입사시킬 때 적절하게 확대시킴으로서 증폭효율을 증가시킬수 있다. 또한 최종출력 레이저 빔의 발산각을 줄이는 역할을 한다.

이 광속확대기에는 망원경형 광속확대기용 렌즈 시스템과 이들 렌즈의 거리를 조절할 수 있는 조절기 그리고 렌즈 지지대로 구성되어 있다. 광속확대기의 설계도면을 그림 2-14에 나타내었으며, 제작된 광속확대기의 모습을 사진 2-11에 나타내었다.

## 3. 셔터

펌핑용 광의 개폐를 목적으로 셔터장치를 부착하였다. 이들 구성은 전자석, 개폐용 판, 스위치로 구성되어 있다. 정렬시나 광학부품의 교환시 레이저 차단이 필요하며, 케이스 외부에 부착된 원격 스위치에 의

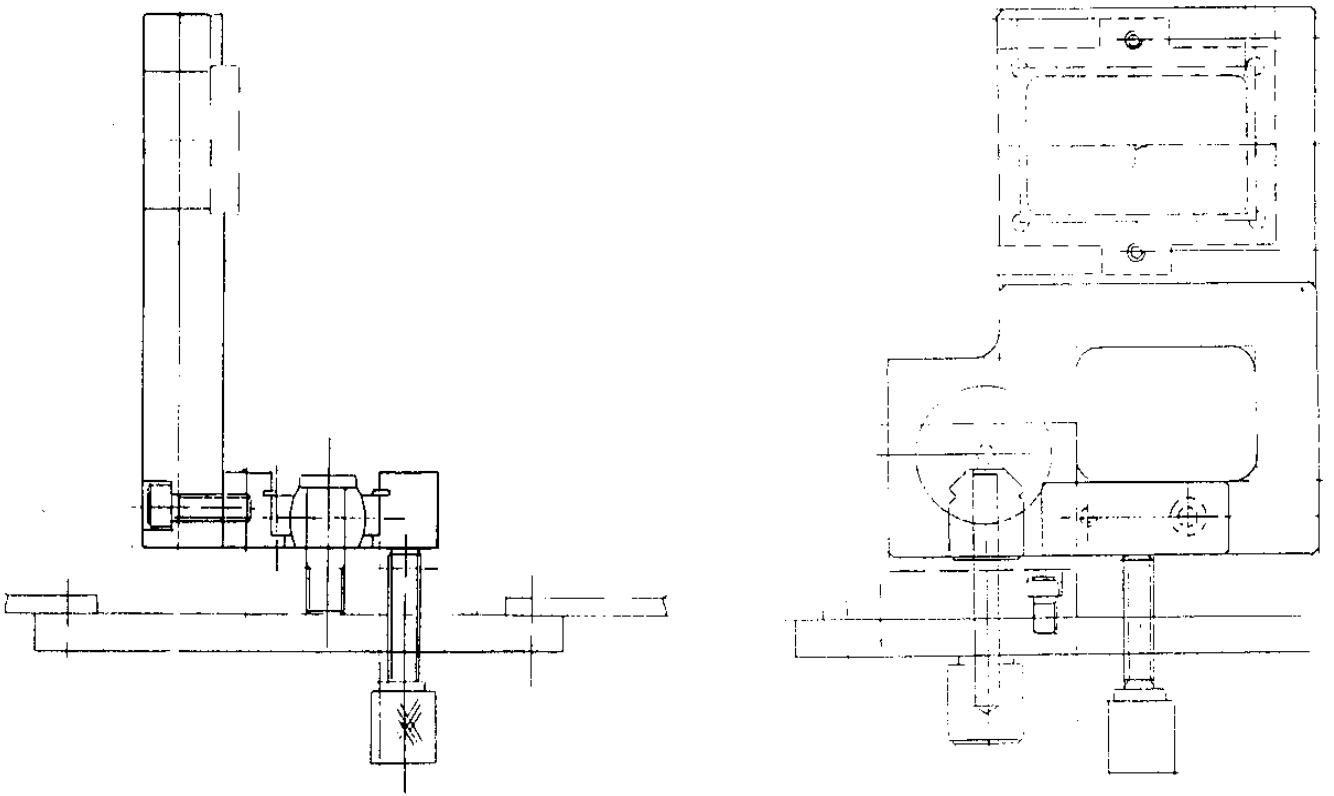
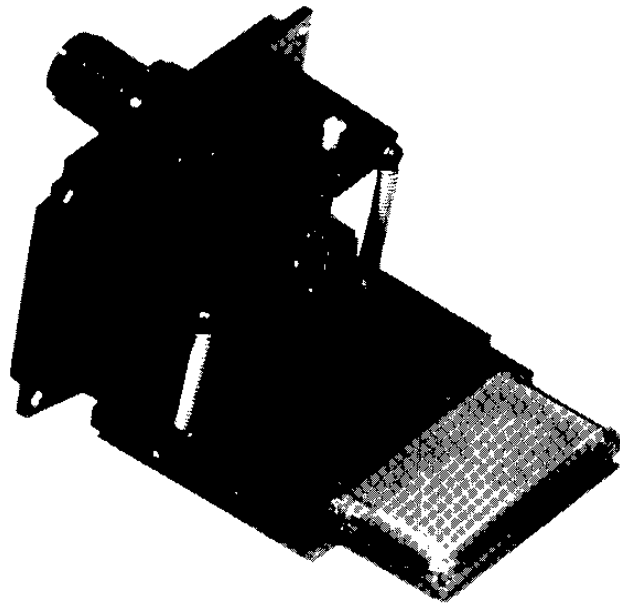
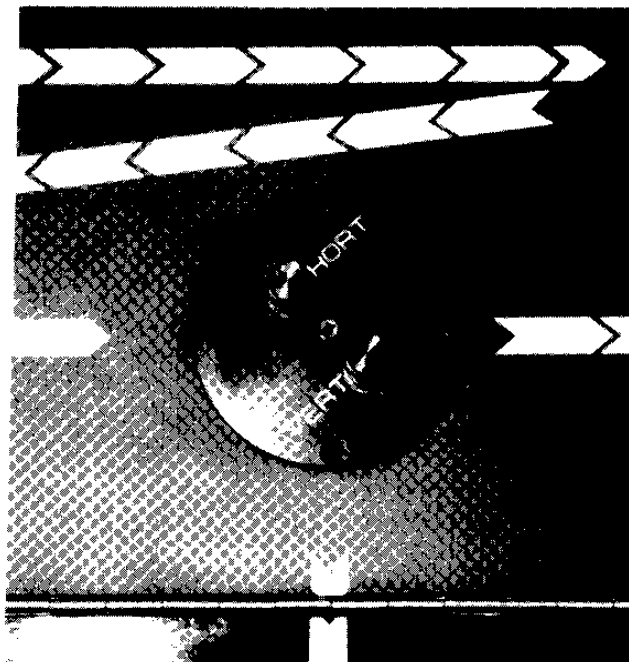


그림 2-13. 광분할기 도면.



(a)



(b)

사진 2-10. 광분할기 (a) 광분할기의 모습.  
(b) 지지대 위의 광할기.

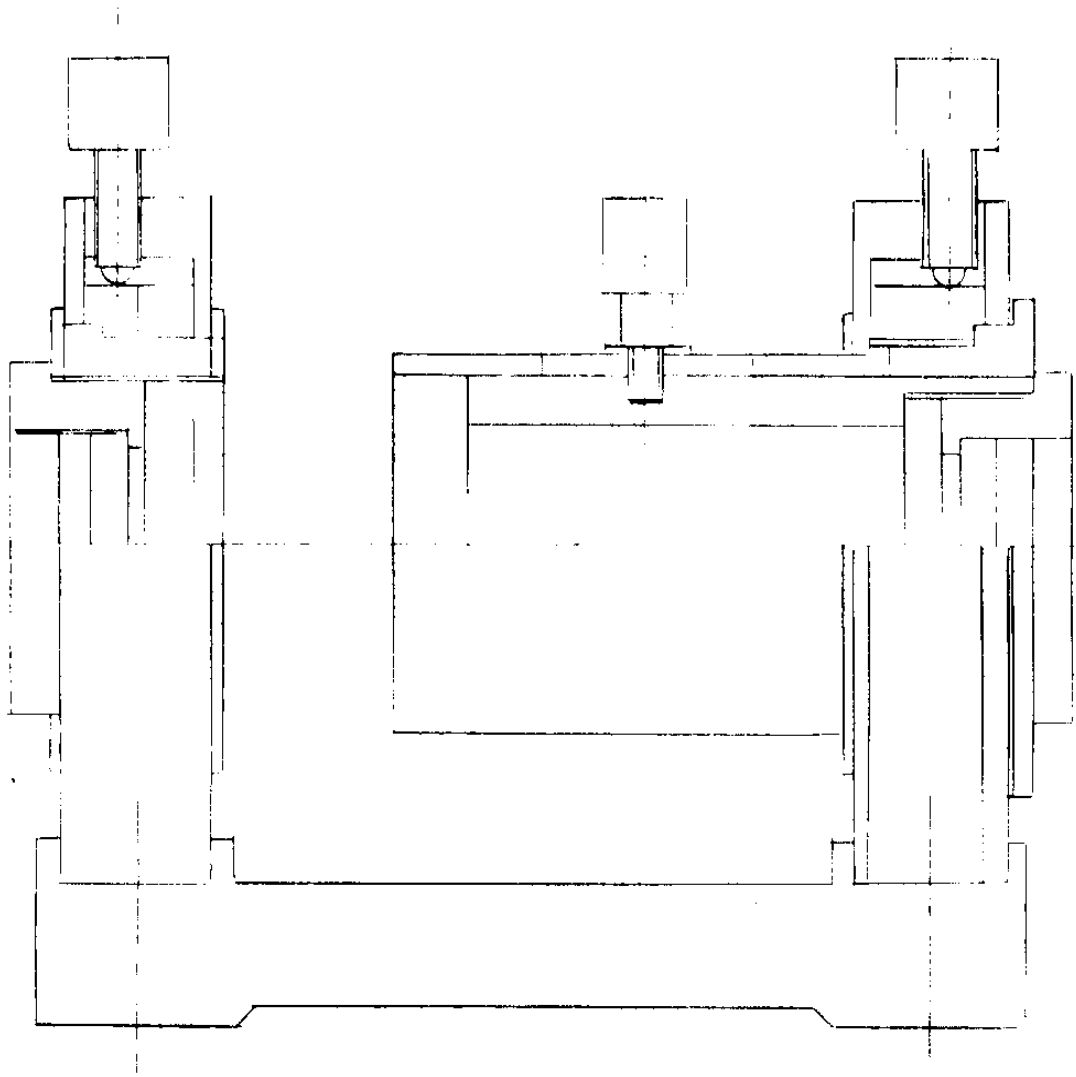


그림 2-14. 광속 확대기 도면.

하여 작동을 손쉽게 개폐가 가능하게 하였다. 셔터의 설계도면을 그림 2-15에 나타내었으며, 제작된 셔터를 사진 2-12에 나타내었다.

## 제 5 절 지지대 및 케이스

발전기와 증폭기 이들을 고정하고 외부 충격으로 부터 보호하기 위한 지지대와 케이스가 필요하다. 모듈화된 각 부품 요소를 고정하기 위하여 12mm 의 알루미늄 판을 사용하였으며, 적재되는 마운트의 무게에 의한 알루미늄 판의 변형을 방지하기 위하여 30mm x 60mm 봉의 구조물을 양쪽에 받침으로서 이를 방지하였다.

내부의 광학부품을 보호하기 위하여 이주의 케이스를 부착하였으며 내부케이스에는 광트정을 표시하여 초보자도 손쉽게 사용 가능하게 하였다. 또한 각 모듈화된 광학 마운트의 정렬을 손쉽게 하기 위하여 정렬 마운트의 노브를 케이스 밖에 설치하였다. 이렇게 하여 조립된 레이저의 모습을 사진 2-13에 나타내었다.



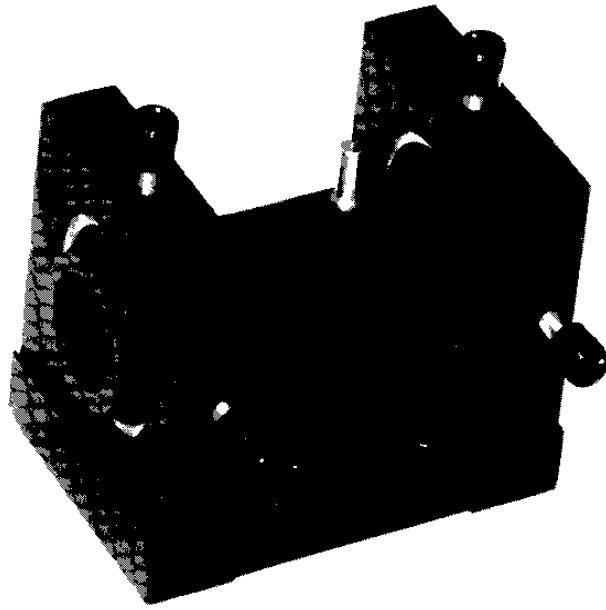


사진 2-11. 광속 확대기

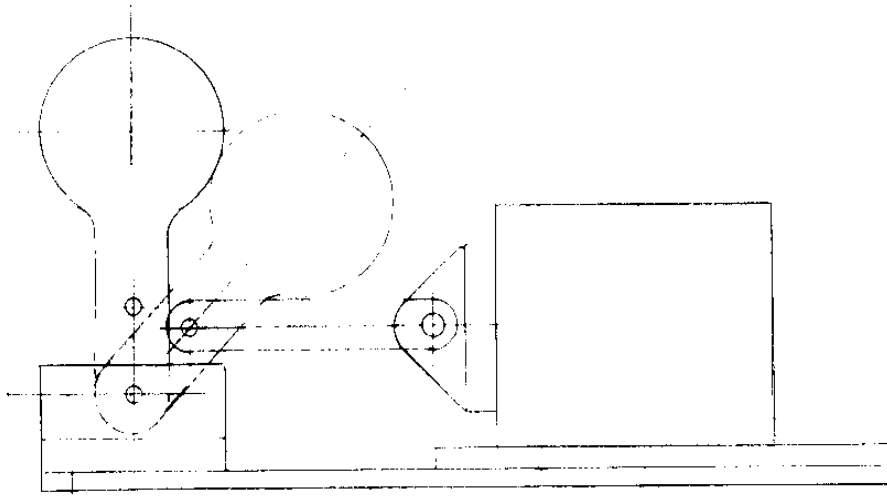


그림 2-15. 셔터 구성 도면.

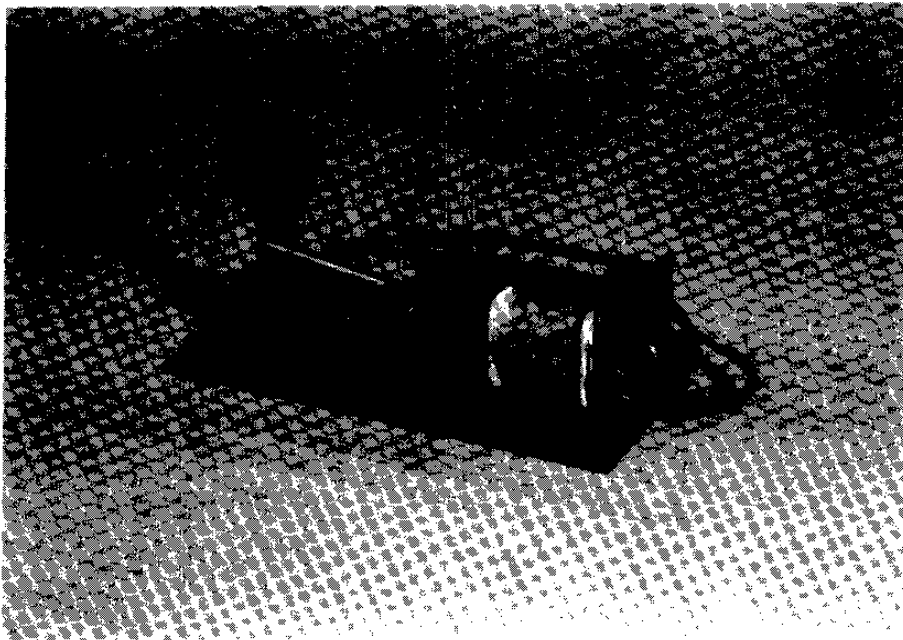


사진 2-12. 셔터 모습.

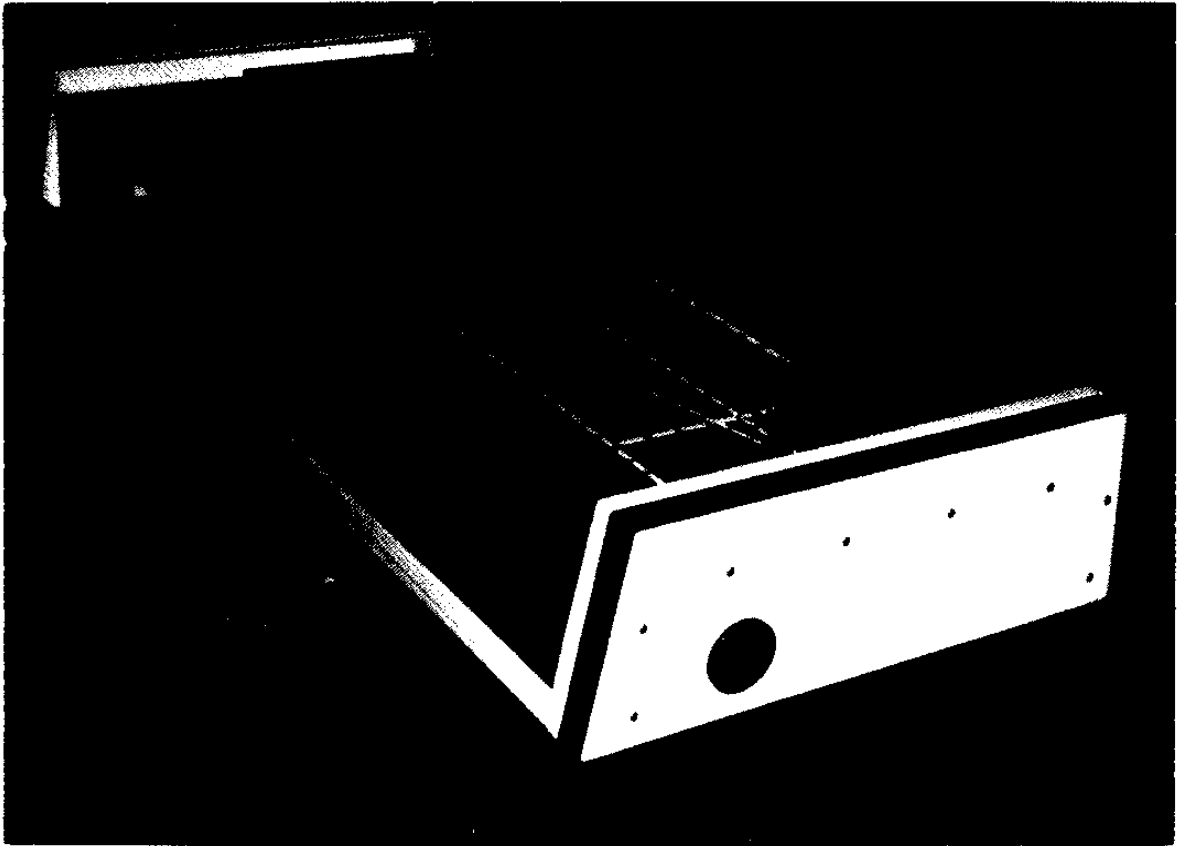


사진 2-13. 조립완성된 레이저 외형

# 제 3 장 결과

## 제 1 절 색소에 따른 발진 파장영역

Nd:YAG 레이저의 제 2 고조파로 펌핑되는 색소레이저는 발진영역이 550 nm - 750 nm 영역이다. 이때 사용되는 색소는 Rhodamine, Kiton Red, DCM, LDS 등으로 각기 고유한 발진파장 영역을 갖으며, 발진폭은 색소종류에 따라 다소 차이가 있으나 일반적으로 30 nm에서 60 nm의 폭을 갖는다.

Rhodamine 색소는 에너지 전환효율이 매우 높으며, 560 nm에서 640 nm 까지 넓은 가시광 영역에서 발진되기 때문에 가장 폭넓게 사용되고 있다. 그림 3-1은 본 연구실에서 제작한 색소레이저의 발진특성으로서 색소에 따른 발진효율을 측정한 자료이다. Rhodamine 색소의 경우 R590 과 R640 색소의 중간영역인 600 nm 근처에서 발진효율이 극히 저조하기 때문에, 이 영역에서 레이저를 발진시키고자할 경우에는 Kiton Red 색소를 사용하는 것이 유리하다. Rhodamine과 Kiton Red 색소의 용매는 에탄올과 메탄올을 주로 사용하며,  $1 \times 10^{-4}$  mole 영역에서 색소농도를 유지하여 사용한다.

적외선 영역의 파장에서는 DCM이나 LDS 색소를 사용한다. 이들 색소는 발진영역이 Rhodamine 색소에 비해 넓으나, 발진효율은 낮다.

본 과제에서 제작된 광대역 파장가변 레이저의 발진모습을 사진 3-1에 나타내었으며, Rhodamine 6G 색소에 대한 특성을 표 3-1에 나타내었다.

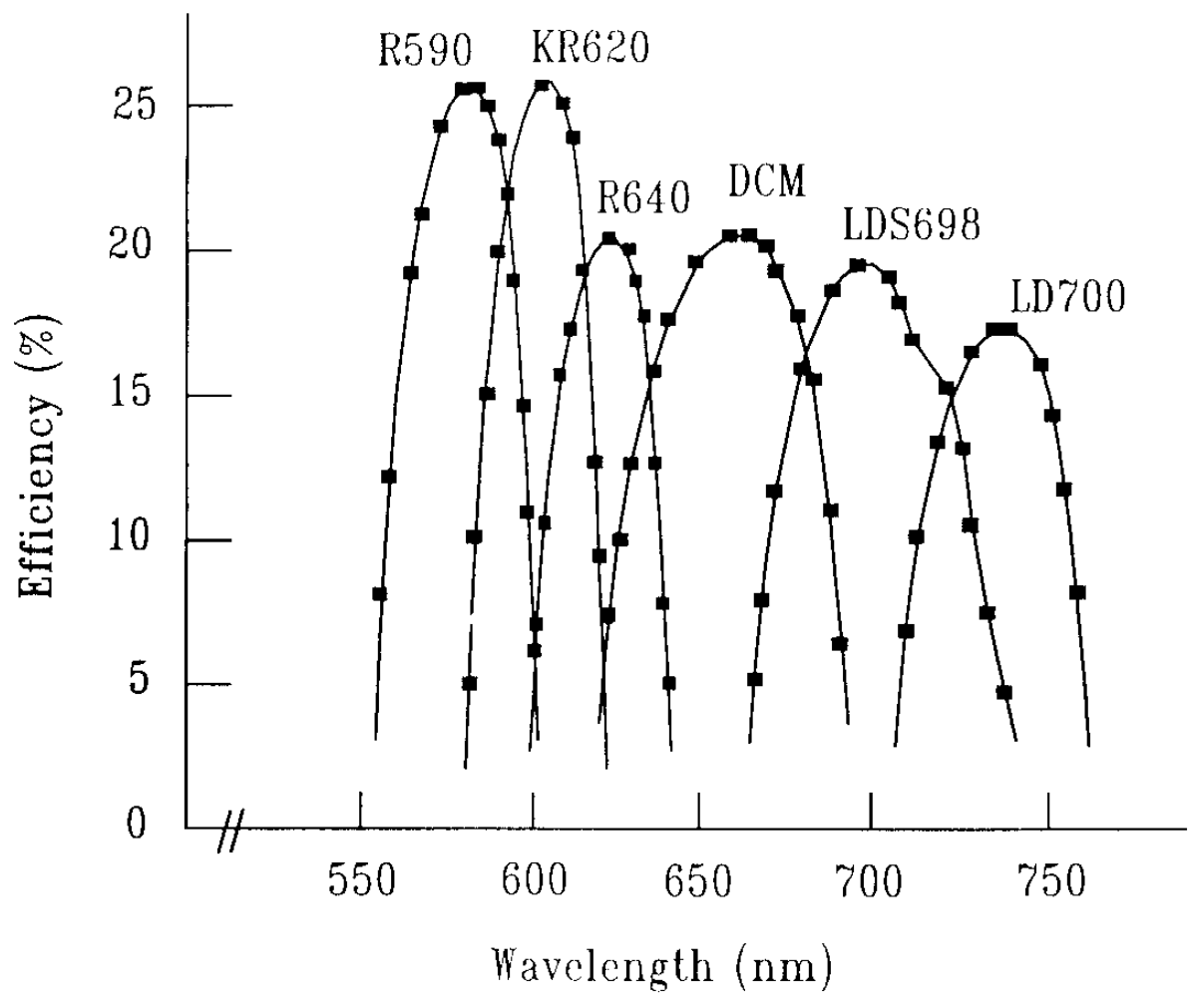


그림 3-1. 색소에 따른 발진효율.

표 3-1. Rhodamine 6G 색소의 발진특성

	GIM type	SLM type
Bandwidth	< 5 GHz	< 0.5 GHz.
Conversion efficiency	25 %	15 %
Frequency stability	< 1 GHz	< 0.05 GHz
ASE - background	< 0.1 %	< 0.05 %
Divergence	< 3 mrad	< 1 mrad
Physical dimension	28X50X117cm	28X50X117cm
Weight	30 kg	35 kg

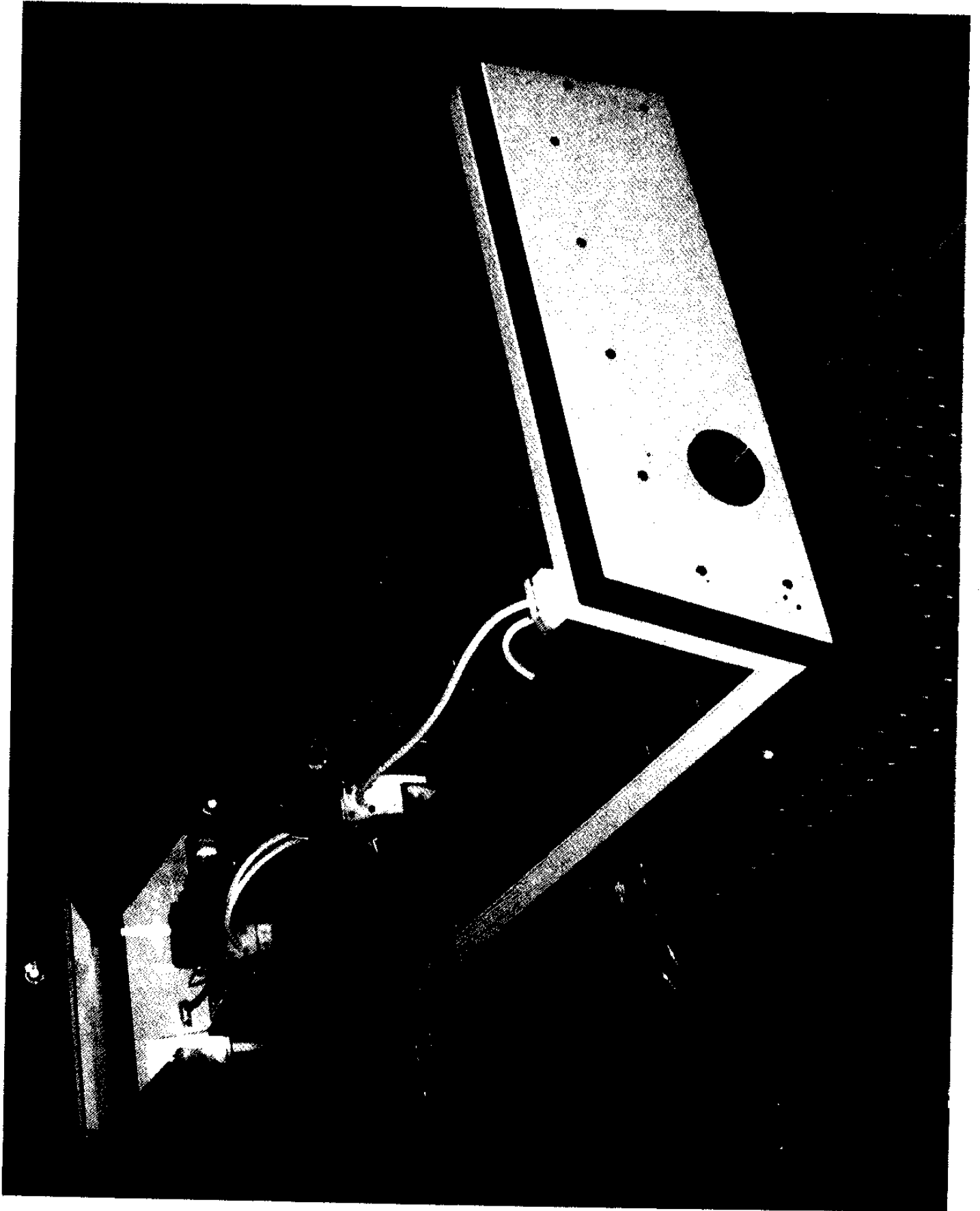


사진 3-1. 광대역 파장가변 레이저의 발진모습.

## 제 2 절 제 2 조화파 발생에 의한 파장영역

제2조화파를 발생시키기 위한 비선형 매질로는 200nm에서 250nm 영역에서는 BBO 결정이 사용되며, 250에서 470nm 영역에서는 KDP 결정이 사용된다. 보통 하나의 결정이 작동할 수 있는 파장 영역이 20 nm에 불과하므로 결정을 자를 때 사용하고자 하는 파장에 맞게 잘라야 한다. 파장영역에 따라 사용한 결정을 표 3-2에 나타내었으며, 파장에 따른 각 결정과 절단각을 함께 나타내었다.

비선형 결정의 위상정합 조건을 만족시키기 위해서는 제 2 조화파 발생부를 회전판 위에 설치하여야 하며, 입사 파장에 따라 각도조정을 하여야 한다. 이를 위하여 결정을 회전테이블 위에 설치하여 정교하게 제작하였다.

이를 사용하여 색소레이저를 조화파 발생 시켰으며, 입사광의 파장 550nm에서 760nm에 대하여 제2조화파를 275nm 에서 380nm까지 얻을 수 있었다.

이들을 정리하여 표 3-3에 나타내었다.

표 3-3. 광대역 파장가변 레이저에 의한 파장가변 영역

Nd:YAG SHG 펌핑	기본파	550 - 760 nm
	SHG	275 - 380 nm
Nd:YAG THG 펌핑	기본파	380 - 550 nm
합	계	275 - 760 nm



표 3-2. 제 2조화파 발생에 따른 사용가능한 결정.

Output, nm	crystal	color filter	reflective filter	compensator
206-220	BBO"A"	none	FR-4	CB-4S
220-235	BBO"B"	none	FR-2	CB-4S
235-270	BBO"B"	none	FR-1	CB-4S
270-285	BBO"B"	FC-1	FR-0	CB-4S
210-220	BBO"C"	none	FR-4	CB-4S
220-235	BBO"C"	none	FR-2	CB-4S
235-247	BBO"C"	none	FR-1	CB-4S
259-267	KDP"A"	none	FR-1	CB-1
266-270	KDP"B"	none	FR-1	CB-1
270-295	KDP"B"	FC-1	FR-0	CB-1
295-310	KDP"C"	FC-1	FR-0	CB-1
310-340	KDP"C"	FC-2	FR-0	CB-1
340-350	KDP"C"	FC-2	FR-0	CB-1
350-365	KDP"C"	FC-4	FR-0	CB-1
330-340	KDP"D"	FC-2	FR-0	CB-1
340-350	KDP"D"	FC-2	FR-0	CB-1
350-405	KDP"D"	FC-4	FR-0	CB-1
405-470	KDP"D"	FC-3	FR-0	CB-1
262-270	KDP"B1"	none	FR-1	CB-1
270-283	KDP"B1"	FC-1	FR-0	CB-1
282-310	KDP"R6G	FC-1	FR-0	CB-1

## 제 4 장 결 론

본 과제에서는 광대역 파장가변 레이저를 개발하고 이를 상용화하였다. 파장를 자외선에서 근적외선 영역까지 넓은 영역에 걸쳐 변화시킬 수 있도록 하였으며 산업계와 연구계에서 폭넓게 사용할 수 있는 두가지 종류의 파장가변 레이저를 설계 제작하였다. 레이저는 발진부, 전치 및 주증폭기의 3단으로 구성하였다. 발진기를 두가지로 설계 제작하여 사용자로 하여금 목적에 부합되는 레이저를 선택하여 사용할 수 있게 하였다. 그 중의 하나는 레이저 발진선폭이 5GHz 정도이어서 대부분의 응용분야에서 광범위하게 사용이 가능한 GIM (Grazing Incidence Mirror) 형이다. 다른 하나는 고분해능을 필요로 하는 특수분야에서의 응용을 위하여 1GHz 이하의 선폭을 갖는 단일 종모드 발진 레이저 ( SLM ; Single Longitudinal Mode ) 이다. 동일 레이저 시스템 본체에서 사용자의 목적에 따라 이들 발진기를 교환 선택할 수 있게 하였다. 레이저 출력을 증대시키기 위하여 두개의 증폭기 시스템을 부착하였다. 레이저 변환 효율을 최적화하기 위하여 펌핑광의 대부분은 증폭기에 펌핑하고 극히 일부분의 작은 양만을 발진기에 안정되게 펌핑토록하여 총에너지 전환효율을 높였다. 발진기와 증폭기 간에 광지연을 뒀으므로 ASE 잡음을 줄였으며, 아울러 증폭 효율도 증가시킬 수 있었다. 최적화된 레이저 전체 변환효율은 GIM형의 경우에 25%, SLM의 경우에 10%에 달하였다. 하나의 레이저

시스템에 두개의 색소 순환 장치를 부착하였다. 발진기의 농도가 증폭기의 농도에 비하여 높기 때문이다. 전치 증폭기와 주증폭기는 하나의 색소 순환 장치를 사용하였다. 광축 정렬이 매우 용이하도록 설계 제작하였으며, 발진주파수의 자동제어 시스템을 부착하여 비전문가 일지라도 손쉽게 사용할 수 있도록 하였다. Notebook PC와 인터페이스된 스테핑 모터는 레이저의 파장을 변화시킬 수 있는 거울을 입력된 프로그램을 따라서 조절한다. Limit switch를 부착하여 파장 조절용 거울의 위치를 검지하고 발진 파장을 calibration할 수 있도록 하였다. 상용화를 실현시키기 위하여 레이저 시스템 전체를 몇개의 부분으로 나누어 module화를 실시하였고 사용자의 요구에 의하여 module별로 레이저를 구성할 수 있게 하였다. 레이저 발생시 안정도를 높이기 위하여 module들을 견고한 지지대에 지지하였으며 먼지등을 방지하기 위하여 case를 부착하였다. 90% 이상의 부품을 국산화시켰으며, 초보자들도 쉽게 정렬할 수 있도록 정렬 보조 장치를 부착하였고 안전장치를 부착하여 안전성을 향상시켰다. GIM형 레이저의 경우는 국내에서 상당한 수요가 있을 것으로 예상하며 SLM형도 수요가 뒤따를 것으로 판단된다. 본 레이저는 고분해 분광학, 광화학, 생화학, 광계측분야 등의 연구분야와 반도체, 화공, 의료 등의 산업분야에서 광범위하게 응용이 기대된다.

## 부 록

```
#include <graphics.h>
#include <conio.h>
#include <stdlib.h>
#include <math.h>
#include <dos.h>
#include <string.h>
#include <stdio.h>
#include <alloc.h>
#include "hangull.c"

#define LAMDA 0
#define FREQUEN 1
#define WNUM 2
#define IINIT 6500.0
#define delwave 0.33
typedef char map[730];
typedef map font[11];
typedef char text1[50];
typedef text1 text2[6];
typedef char hfft[100];
typedef hfft hfftt[20];
typedef char ffff[12];
typedef ffff ddmode[3];

struct fff{ int startwl,
            endwl,
            veloscan,
            repeatn,
            incwl,
            triggnum; } data;

static float wave,oldwave;
static font numfont;
static text2 text3[4];
static hfftt help;
static char *recl,*rec2;
static int tx,dispmode;
static ddmode dmode;
```

```

#include <graphics.h>
#include <conio.h>
#include <stdlib.h>
#include <math.h>
#include <dos.h>
#include <string.h>
#include <stdio.h>
#include <alloc.h>
#include "hangull.c"

#define LAMDA 0
#define FREQUEN 1
#define WNUM 2
#define IINIT 6500.0
#define delwave 0.33
typedef char map[730];
typedef map font[11];
typedef char text1[50];
typedef text1 text2[6];
typedef char hfft[100];
typedef hfft hfft[20];
typedef char ffff[12];
typedef ffff ddmode[3];

struct fff{ int startwl,
            endwl,
            veloscan,
            repeatn,
            incwl,
            triggnum; } data;

static float wave,oldwave;
static font numfont;
static text2 text3[4];
static hfft help;
static char *recl,*rec2;
static int tx,dispmode;
static ddmode dmode;

```

```

void gotowave();
void opengraph();
void mainwindow();
void getfont();
void initdisp(float x);
void dispwave();
int menuwindow(int t);
void pause();
void textout(int t);
int setupwindow();
int run();
int order(int x,int y,int mode);
void helpdisp(int x, int y,int mode);
int endpro();
void dispwindow();
void right();
void left();
void de();
int initpos();

void right()
{
    outportb(776,2);
    de();
    outportb(776,0);
    de();
}

void left()
{
    outportb(776,3);
    de();
    outportb(776,0);
    de();
}

```

```

int initpos()
{
    int value;
    value=inportb(777);
    value=value%2;
    if(value==0) return(1);
    else return(0);
}

void de()
{
    int i;
    for(i=0; i<=500; i++);
}

int setupwindow()
{
    int key, deep, mode, i, x1, y1, ch, disth=0, distw=0, xp, yp;
    char rst[20];

    clearviewport();
    x1=getmaxx();
    y1=getmaxy();
    rectangle(0,0,x1,y1);
    rectangle(1,1,x1-1,y1-1);
    rectangle(3,3,x1-3,y1-3);
    line(3,50,x1-3,50);
    line(3,52,x1-3,52);
    xsize=2; ysize=2;
    setfillstyle(SOLID_FILL,WHITE);
    floodfill(10,10,WHITE);
    tcolor=BLUE;
    houttextxy(200,10,"SETUP 프로그램");
    ysize=1; xsize=1;
    houttextxy(500,30,"원자력 연구소");
}

```

```

tcolor=WHITE:
rectangle(20, 70, 300, 100):
rectangle(23, 73, 297, 97):
rectangle(20, 220, 300, 250):
rectangle(23, 223, 297, 247):
houttextxy(350, 300, "INITIALIZE MODE");
houttextxy(40, 228, "DISPLAY MODE :");
houttextxy(200, 228, dmode[dispmode]);
rectangle(20, 110, 300, 205):
rectangle(23, 113, 297, 203):
line(200, 113, 200, 203):
rectangle(340, 70, 620, 100):
rectangle(343, 73, 617, 97):
rectangle(340, 110, 620, 250):
rectangle(343, 113, 617, 247):
line(520, 113, 520, 247):
for(i=0: i<=2: i++)
{
    line(343, 135+i*22, 617, 135+i*22):
    line(23, 135+i*22, 297, 135+i*22):
}
line(343, 135+66, 617, 135+66):
line(343, 135+88, 617, 135+88):
rectangle(20, 395, 620, 425):
rectangle(20, 430, 620, 460):
setfillstyle(SOLID_FILL, 9):
floodfill(5, 475, WHITE):
houttextxy(40, 139-22, "시 작 파 장");
houttextxy(40, 139, "끝 파 장");
houttextxy(40, 139+22, "SCAN 속 도");
houttextxy(40, 139+44, "반 복 횟 수");
houttextxy(350, 139-22, "시 작 파 장");
houttextxy(350, 139, "끝 파 장");
houttextxy(350, 139+22, "SCAN 속 도");
houttextxy(350, 139+44, "파 장 증 가 분");
houttextxy(350, 139+66, "기다릴 TRIGGER 수");
houttextxy(350, 139+88, "반 복 횟 수");
houttextxy(40, 139-62, "SCAN MODE");

```



```

houttextxy(350,139-62,"EXTERNAL TRIGGER MODE");
putimage(24,74,rec2,XOR_PUT);
START: disth=7;
mode=0;      key=0;
helpdisp(distw,disth,mode);
do{

    ch=getch();
    if(ch==0)
    {
        ch=getch();
        if(ch==75)
        {
            if(distw==1)
            {
                putimage(24,74,rec2,XOR_PUT);
                putimage(344,74,rec2,XOR_PUT);
                distw=0;
                helpdisp(distw,disth,mode);
            }
        }
        if(ch==77)
        {
            if(distw==0)
            {
                putimage(344,74,rec2,XOR_PUT);
                putimage(24,74,rec2,XOR_PUT);
                distw=1;
                helpdisp(distw,disth,mode);
            }
        }
        if(ch==80)
        {
            if(distw==0)
            {
                putimage(22,74,rec2,XOR_PUT);
                putimage(22,224,rec2,XOR_PUT);
                distw=2;
            }
        }
    }
}

```

```

        helpdisp(distw, disth, mode):
            }
        }
        if(ch==72)
            if(distw==2)
                {
                    putimage(22, 224, rec2, XOR_PUT):
                    putimage(22, 74, rec2, XOR_PUT):
                    distw=0:
                    helpdisp(distw, disth, mode):
                }
            }
        if(ch==27) goto END:
    }while(ch!=13):
    xp=344: disth=0: yp=114:
    deep=5:
    helpdisp(distw, disth, mode):
    if(distw==0)
    {
        deep=3:
        xp=24:
    }
    putimage(xp, yp, rec1, XOR_PUT):
    do{
        do{
            ch=getch():
            if(ch==0)
            {
                ch=getch():
                if(ch==80)
                {
                    if(disth!=deep)
                    {
                        putimage(xp, yp, rec1, XOR_PUT):
                        putimage(xp, yp+22, rec1, XOR_PUT):
                        disth++:
                        yp+=22:
                    }
                }
            }
        }
    }

```

```

                                helpdisp(distw, disth, mode);
                                }
                                }
                                if(ch==72)
                                {
                                    if(disth!=0)
                                    {
                                        putimage(xp, yp, recl, XOR_PUT);
                                        putimage(xp, yp-22, recl, XOR_PUT);
                                        disth--;
                                        yp-=22;
                                        helpdisp(distw, disth, mode);
                                    }
                                }
                                }
                                if(ch==27)
                                {
                                    putimage(xp, yp, recl, XOR_PUT);
                                    goto START;
                                }
                                }while(ch!=13);
                                mode=1;
                                helpdisp(distw, disth, mode);
                                i=0;
                                hgets(xp+190, yp+3, "", rst);
                                mode=0; helpdisp(distw, disth, mode);
                                switch(disth)
                                {
                                    case 0: data.startwl=atoi(rst); break;
                                    case 1: data.endwl=atoi(rst); break;
                                    case 2: data.veloscan=atoi(rst); break;
                                    default: break;
                                }
                                }while(key!=100);
                                END:;
                                }

```

```

int menuwindow(int t)
{
    char *smode,*tmode,*swave,*ewave,*nswave,*newave,*numt,*ct,*nscvel
        ,*scvel,*cnex,*nnex,*ninc,*inc,*lee;
    int ch;

    smode="M O D E : SCAN MODE";
    tmode="M O D E : EXT. TRIGGER MODE";
    swave="시 작 파 장 :";
    ewave="끝 파 장 :";
    scvel="SCAN 속 도 :";
    inc="파장 증가분:";
    ct="기다릴 TRIGGER 신호수:";
    cnex="실 행 횟 수":

    setcolor(WHITE);
    rectangle(20,180,300,440);
    rectangle(22,182,298,438);
    rectangle(320,180,620,440);
    rectangle(322,182,618,438);
    line(22,207,298,207);
    line(22,209,298,209);
    floodfill(23,206,WHITE);
    setfillstyle(SOLID_FILL, BLACK);
    floodfill(23,210,WHITE);
    floodfill(323,183,WHITE);
    houttextxy(60,188,"현 재 상 태");
    houttextxy(40,215,smode);
    houttextxy(40,235,swave);
    houttextxy(40,255,ewave);
    houttextxy(40,275,scvel);
    itoa(data.startwl,lee,10);
    houttextxy(200,238,lee);
    itoa(data.endwl,lee,10);
    houttextxy(200,258,lee);
    itoa(data.veloscan,lee,10);
    houttextxy(200,278,lee);

```

```

textout(t);
tx=t;
do{
    ch=getch();
    switch(ch)
    {
        case 0: ch=getch(); if(ch==59) return(0);
        case 13: return(1);
        case 27: return(2);
        default: break;
    }
}while(ch!=255);
}

```

```

main()
{
    int size, i, set, t, ch, key=0;
    char *buf;

    t=0;
    data.startwl=IINIT;
    data.endwl=500;
    data.veloscan=1;
    printf("PLEASE WAIT FOR INITIALIZE!");
    do{
        left();
        delay(1);
    }while(!initpos());
    dispmode=LAMDA;
    inithan(HANFONTFILE, ENGFONTFILE);
    opengraph();
    getfont();
    wave=oldwave=IINIT;
    do{
        mainwindow();
        dispwindow();
        initdisp(oldwave);
    }
}

```

```

        set=menuwindow(t);
        if(set==0) setupwindow();
        else if(set==1)
            {
                set=run();
                if(set==1) setupwindow();
            }
        else if(set==2) endpro();
        else if(set==3)
            {
                textout(2);
                tx=2;
            }
    }while(key!=255);
    getch();
    closegraph();

}

int endpro()
{
    int ch;
    textout(3);
    tx=3;
    do{
        ch=getch();
        if((ch==121)|| (ch==89))
            {
                closegraph();
                exit(1);
            }
    }while(ch!=110);
}

void helpdisp(int x, int y,int mode)
{
    int i;

```

```

    setcolor(0);
    for(i=396:i<=424:i++)
        line(21, i, 600, i);
    setcolor(WHITE);
    i=order(x,y,mode);
    tcolor=WHITE;
    houttextxy(35, 403, help[i]);
}

void gotowave()
{
    if(wave<data.startwl)
    {
        do{
            left();
            wave+=delwave;
        }while(wave<data.startwl);
    }
    else
    {
        do{
            right();
            wave-=delwave;
        }while(wave>=data.startwl);
    }
}

int run()
{
    int ch, key=0;
    textout(1);

    gotowave();
RUN: tx=1;
    do{
        dispwave(wave, oldwave, numfont);
        oldwave=wave;
        wave-=delwave;
        right();
    }
}

```

```

        if(kbhit()||(wave<data.endw1))
        {
            ch=getch();
            if(ch==27) key=1;
        }
    }while(key!=1);
    textout(2);
    tx=2;
    do{
        ch=getch();
        if(ch==0)
        {
            ch=getch();
            if(ch==59)
                return(1);
        }
        if(ch==27)
        {
            endpro();
            return(3);
        }
        if(ch==13) {
            key=0;
            goto RUN;
        }
    }while(key!=255);
}

int order(int x,int y,int mode)
{
    int value;
    if((x==0)&&(mode==0))
    {
        switch(y)
        {
            case 0: value=1; return(value);
            case 1: value=3; return(value);
            case 2: value=5; return(value);

```



```

        case 3: value=7; return(value);
        case 7: value=0; return(value);
        default: break;
    }
}
if((x==1)&&(mode==0))
{
    switch(y)
    {
        case 0: value=1; return(value);
        case 1: value=3; return(value);
        case 2: value=5; return(value);
        case 3: value=9; return(value);
        case 4: value=11; return(value);
        case 5: value=7; return(value);
        case 7: value=0; return(value);
        default: break;
    }
}
if((x==0)&&(mode==1))
{
    switch(y)
    {
        case 0: value=2; return(value);
        case 1: value=4; return(value);
        case 2: value=6; return(value);
        case 3: value=8; return(value);
        case 7: value=0; return(value);
        default: break;
    }
}
if((x==1)&&(mode==1))
{
    switch(y)
    {
        case 0: value=2; return(value);
        case 1: value=3; return(value);
        case 2: value=4; return(value);

```

```

        case 3:value=10; return(value);
        case 4:value=12; return(value);
        case 5:value=8; return(value);
        case 7:value=0; return(value);
        default: break;
    }
}
if((x==2)&&(y==7)) return(15);
if((x==2)&&(y!=7)) return(16);
return(0);
}

void textout(int t)
{
    int x=322,y=182,i;

    tcolor=BLACK;
    for(i=0;i<=5;i++)
        houttextxy(x+10,y+30+25*i, text3[tx][i]);
    tcolor=WHITE;
    for(i=0;i<=5;i++)
        houttextxy(x+10,y+30+25*i, text3[t][i]);
}

void opengraph()
{
    int gd, gm;

    gd=DETECT;
    initgraph(&gd, &gm, "");
}

void mainwindow()
{
    int i, xl, yl;

```

```

clearviewport();
x1=getmaxx();
y1=getmaxy();
setcolor(WHITE);
rectangle(0,0,x1,y1);
rectangle(1,1,x1-1,y1-1);
rectangle(3,3,x1-3,y1-3);
rectangle(3,3,x1-3,50);
line(3,52,x1-3,52);
xsize=2; ysize=2;
setfillstyle(SOLID_FILL,WHITE);
floodfill(10,10,WHITE);
tcolor=1;
houttextxy(80,10,"DYE LASER 제어 프로그램");
ysize=1; xsize=1;
houttextxy(500,30,"원자력 연구소");
setfillstyle(SOLID_FILL,9);
floodfill(x1-5,y1-5,WHITE);
}

```

```

void dispwindow()
{

    int i,x1=getmaxx(),y1=getmaxy();

    rectangle(100,70,x1-100,150);
    rectangle(98,68,x1-98,152);
    line(133,70,133,150);
    setfillstyle(SOLID_FILL,BLACK);
    floodfill(134,71,WHITE);
    tcolor=WHITE;
    setfillstyle(SOLID_FILL,BLUE);
    floodfill(101,71,WHITE);
    houttextxy(110,76,"현");
    houttextxy(110,91,"제");
    houttextxy(110,116,"파");
    houttextxy(110,131,"장");

}

```

```

void getfont()
{
    FILE *fp;
    int i;

    fp=fopen("map.dat", "r");
    for(i=0; i<=10; i++)
    {
        fread(numfont[i], 726, 1, fp);
    }
    fclose(fp);
    fp=fopen("recl.dat", "r");
    recl=malloc(1938);
    fread(recl, 1938, 1, fp);
    fclose(fp);
    fp=fopen("rec2.dat", "r");
    rec2=malloc(3226);
    fread(rec2, 3226, 1, fp);
    fclose(fp);
    strcpy(text3[0][0], "현재 상태로 프로그램을");
    strcpy(text3[0][1], "실행시키려면");
    strcpy(text3[0][2], "< RETURN > key 를,");
    strcpy(text3[0][3], "SETUP을 바꾸시려면");
    strcpy(text3[0][4], "< F1 > key 를 눌러주십시오!");
    strcpy(text3[0][5], " ");
    strcpy(text3[1][0], "현재 프로그램이");
    strcpy(text3[1][1], "실행되고 있습니다");
    strcpy(text3[1][2], "중단 하시려면");
    strcpy(text3[1][3], "< ESC > key 를");
    strcpy(text3[1][4], "눌러 주세요!");
    strcpy(text3[1][5], " ");
    strcpy(text3[2][0], "프로그램이 중단되었습니다.");
    strcpy(text3[2][1], "그대로 실행시키려면");
    strcpy(text3[2][2], "< RETURN > key 를,");
    strcpy(text3[2][3], "SETUP 을 바꾸시려면 < F1 > key 를");
    strcpy(text3[2][4], "작업을 끝내려면 ");
    strcpy(text3[2][5], "< ESC > key 를 누르세요!");
    strcpy(text3[3][0], " ");
}

```

```

        strcpy(text3[3][2], "작업을 끝내시겠습니까( Yes/No )?");
        strcpy(text3[3][1], " ");
        strcpy(text3[3][3], " ");
        strcpy(text3[3][4], " ");
        strcpy(text3[3][5], " ");
strcpy(help[0], "방향 key로 MODE 를 정하신후 < RETURN > key 를 눌러
주세요!");
strcpy(help[1], "시작 파장을 바꾸시려면 < RETURN > key 를 눌러주세요");
strcpy(help[2], "시작 파장을 정수로 입력해 주세요! ( 예 5000.5 A 이면
50005)");
strcpy(help[3], "끝 파장을 바꾸시려면 < RETURN > key 를 눌러주세요!");
strcpy(help[4], "끝 파장을 정수로 입력해 주세요! ( 예 5000.5 A 이면
50005)");
strcpy(help[5], "SCAN 속도를 바꾸시려면 < RETURN > 을 눌러주세요!");
strcpy(help[6], "SCAN 속도를 입력해 주세요! ( 1 부터 10 까지)");
strcpy(help[7], "반복 횟수를 바꾸시려면 < RETURN > key 를 눌러주세요!");
strcpy(help[8], "반복 횟수를 입력해 주세요! ( 1 부터 32000 까지)");
strcpy(help[9], "파장 증가분을 바꾸시려면 < RETURN > key 를 눌러주세요!");
strcpy(help[10], "파장 증가분을 정수로 입력시켜주세요! ( 예 5 A 이면 50)");
strcpy(help[11], "기다릴 TRIGGER 횟수를 바꾸시려면 < RETURN > key 를
눌러주세요!");
strcpy(help[12], "기다릴 TRIGGER 횟수를 입력시켜 주세요!");
strcpy(help[13], "< ESC > key 를 누르시면 현재의 MODE 를 벗어납니다!");
strcpy(help[14], "현재의 SETUP 에 만족하십니까? 만족하시면 실행 MODE로
갑니다(Y/N)");
strcpy(help[15], "DISPLAY MODE 를 바꾸시려면 < RETURN > key 를 눌러주세요!");
strcpy(help[16], "방향 key 로 DISPLAY MODE 를 선택해 주세요!");
strcpy(dmode[0], "파 장");
strcpy(dmode[1], "주파수");
strcpy(dmode[2], "WAVE NUMBER");
}
void initdisp(float x)
{
    char map[9], ch;
    int i;
    sprintf(map, "%.3f", x);
    for(i=0; i<=7; i++)
    {
        ch=map[i];
        switch(ch)

```

```

        {
            case 46: putimage(170+38*i, 90, numfont[10], XOR_PUT);
                    break;
            case 48: putimage(170+38*i, 90, numfont[0], XOR_PUT);
                    break;
            case 49: putimage(170+38*i, 90, numfont[1], XOR_PUT);
                    break;
            case 50: putimage(170+38*i, 90, numfont[2], XOR_PUT);
                    break;
            case 51: putimage(170+38*i, 90, numfont[3], XOR_PUT);
                    break;
            case 52: putimage(170+38*i, 90, numfont[4], XOR_PUT);
                    break;
            case 53: putimage(170+38*i, 90, numfont[5], XOR_PUT);
                    break;
            case 54: putimage(170+38*i, 90, numfont[6], XOR_PUT);
                    break;
            case 55: putimage(170+38*i, 90, numfont[7], XOR_PUT);
                    break;
            case 56: putimage(170+38*i, 90, numfont[8], XOR_PUT);
                    break;
            case 57: putimage(170+38*i, 90, numfont[9], XOR_PUT);
                    break;
            default: break;
        }
    }
}

```

```

void dispwave()
{
    char map[9], map1[9], ch, ch1;
    int i;

    sprintf(map, "%.2f", wave);
    sprintf(map1, "%.2f", oldwave);
    for(i=0; i<=7; i++)
    {
        if(map[i]!=map1[i])

```

```

{
    ch=map[i];
    chl=mapl[i];
    switch(chl)
    {
        case 46:putimage(170+38*i, 90,numfont[10], XOR_PUT);
            break;
        case 48:putimage(170+38*i, 90,numfont[0], XOR_PUT);
            break;
        case 49:putimage(170+38*i, 90,numfont[1], XOR_PUT);
            break;
        case 50:putimage(170+38*i, 90,numfont[2], XOR_PUT);
            break;
        case 51:putimage(170+38*i, 90,numfont[3], XOR_PUT);
            break;
        case 52:putimage(170+38*i, 90,numfont[4], XOR_PUT);
            break;
        case 53:putimage(170+38*i, 90,numfont[5], XOR_PUT);
            break;
        case 54:putimage(170+38*i, 90,numfont[6], XOR_PUT);
            break;
        case 55:putimage(170+38*i, 90,numfont[7], XOR_PUT);
            break;
        case 56:putimage(170+38*i, 90,numfont[8], XOR_PUT);
            break;
        case 57:putimage(170+38*i, 90,numfont[9], XOR_PUT);
            break;
        default: break;
    }
}
switch(ch)
{
    case 46:putimage(170+38*i, 90,numfont[10], XOR_PUT);
        break;
    case 48:putimage(170+38*i, 90,numfont[0], XOR_PUT);
        break;
    case 49:putimage(170+38*i, 90,numfont[1], XOR_PUT);
        break;
    case 50:putimage(170+38*i, 90,numfont[2], XOR_PUT);
        break;

```

```

        case 51:putimage(170+38*i, 90, numfont[3], XOR_PUT);
                break;
        case 52:putimage(170+38*i, 90, numfont[4], XOR_PUT);
                break;
        case 53:putimage(170+38*i, 90, numfont[5], XOR_PUT);
                break;
        case 54:putimage(170+38*i, 90, numfont[6], XOR_PUT);
                break;
        case 55:putimage(170+38*i, 90, numfont[7], XOR_PUT);
                break;
        case 56:putimage(170+38*i, 90, numfont[8], XOR_PUT);
                break;
        case 57:putimage(170+38*i, 90, numfont[9], XOR_PUT);
                break;
        default: break;
    }
}

void pause()
{
    getch();
    getch();
}

```



## BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET

Performing Org. Report No.	Sponsoring Org. Report No.	Standard Report No.	INIS Subject Code
KAERI/RR-1143/92			
Title/Subtitle	Broad band tunable dye laser development		
Project Manager and Dept.	Lee, Jongmin ( Atomic Spectroscopy Dept. )		
Researcher and Dept.	Jung Bog Kim (Atomic Spectroscopy Dept.), Sung Ho Kim, Do Keyung Go("), Chang Hwan Lim("), Si Pyo Rho("), Kyu Seok Song("), Byung Cheol Lee("), Jong Hoon Rhi("), Jae Min Han("), Hyung Ki Cha("), Byung Hun Cha("), Do Yung Jeong("), Jae Min Han("), Yeu Chang Jung("), Ho Im(Jaeil), Choon Sun Yoo("), Byung Ik Jung("), Gum Sook Seok(")		
Pub. Place	Taejon	Pub. Org.	KAERI
Pub. date	1992.12.		
Page	81 p	Ill and Tab.	Yes ( 0 ), No ( )
Size	26 cm		
Note	'91 National Project		
Classified	Open ( 0 ), Outside( ), Class	Report Type	Research Report
Sponsoring Org		Contract No.	
Abstract (300 words)	<p>The technical goal and objectives are the development of a tunable laser which can be tuned from UV to near IR and commercialization for uses in various fields. Two kinds of resonators are developed. User can select one resonator and change into the other without changing other parts. GIM type has a linewidth of 5GHz which is able to be used usually, and SLM type is very narrow linewidth of less than 1GHz. Each system can have one or two amplifiers depending on output power or cost. High stability and safety, cost-down, and modules into about 30 components have been tried. We hope that this laser can help developments in researches of university, industry, and institute.</p>		
Subject Keywords (About 10 words )	Tunable laser, Dye laser, Dye laser resonator		

서 지 정 보 양 식					
수행기관보고서번호	위탁기관 보고서번호	표준보고서 번호	INIS 주제코드		
KAERI/RR-1143/92					
제목/부제	광대역 파장가변 레이저 개발				
연구책임자 및 부서명	이 종 민 ( 기초연구부, 원자분광학실 )				
연구자 및 부서명	김중복(원자분광학실), 김성호("), 고도경("), 임창환("), 차형기("), 송규석("), 정의창("), 이종훈("), 차병헌("), 한재민("), 노시표("), 이병철("), 정도영("), 임호(제일기전), 유춘선("), 정병익("), 석금숙(")				
발행지	대전	발행기관	한국원자력연구소	발행일	1992. 12.
페이지	81 p	도 표	유 ( 0 ), 무 ( )	크 기	26 cm
참고사항	'91년도 특정과제				
비밀여부	공개 ( 0 ), 대외비 ( ), 급비밀		보고서 종류	연구보고서	
위탁연구기관			계약번호		
초록 (300 단어 내외)	<p>본 연구는 자외선에서 근적외선까지 파장을 변화시킬 수 있는 파장가변 레이저를 개발하고 이를 상품화하는 것을 목표로 하였다. 레이저 공진기는 사용자의 목적에 따라서 선택할 수 있게 두가지 형태 즉 선폭이 5GHz로 넓은 GIM형과 선폭이 1GHz보다 좁은 고분해용 SLM형을 개발하여 module화 함으로써 하나의 시스템에서 교환이 가능하게 하였다. 고출력화를 위하여 2단의 증폭기 계통을 부착하였으며 출력 조건을 최적화하였다. 상품화에서 요구되는 고안정성, 안전성, 가격의 저렴화등을 피하였으며 약30개의 module로써 레이저를 구성함으로써 교환의 용이와 사용자가 레이저 출력의 크기에 맞게 선택하여 구성할 수 있도록 하였다. 산업, 연구, 및 학계에서 많은 응용이 기대된다.</p>				
주제명 키워드 (10단어 내외)					
파장가변레이저, 색소레이저, 색소레이저 공진기					

## 주 의

1. 이 보고서는 과학기술처에서 시행한 특정연구개발 사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 과학기술처에서 시행한 특정연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.

### 광대역 파장 가변 레이저 개발

1992年 12月 22日 印刷

1992年 12月 26日 發行

發行人 林 昌 生

發行處 韓國 原子力 研究所

大田直轄市 儒城區 德津洞 150

印刷所 가 나 다 사

믿는마음 지킨약속 다져지는 신뢰사회