KAERI/RR-2165/2001

원자력 기반 연구

Study on the Fundamentals of Atomic Energy

파장가변 고체색소레이저용 플라스틱 색소셀 개발 및 광특성 연구

Development of the plastic solid-dye cell for tunable solid-state dye lasers and study on its optical properties

KAERI

한국원자력연구소

제 출 문

소 장 귀하

본 보고서를 2001년도 기관고유사업 '원자력 기반연구 사업' 과제 (단위과제 "파장가변 고체색소레이저용 플라스틱 색소쎌 개발 및 광특성 연구")의 최종보고서로 제출합니다.

2002년 1월 28일

과제책임자 : 고 도 경

참 여 자 : 차 병 헌
정 의 창
임 창 환
김 현 수
임 권

요 약 문

Ⅰ. 제 목

파장가변 고체색소레이저용 플라스틱 색소쎌 개발 및 광특성 연구

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

원자분광기술, 환경오염 분석, 대기오염 감시 및 원격측정 등에는 파장가변 레이저의 이용이 필수적이다. 특히 환경오염 감시나 레이저를 이용한 이동형 측정장비에는 파장조정이 가능하고 견고하며 소형인 레이저 시스템을 요구하고 있다. 현재 가장 많이 사용되고 있는 파장가변 레이저는 색소 레이저로 넓은 파장가변 영역과 높은 효율등이 큰 장점으로 꼽히고 있다. 그러나 색소 레이저는 알콜과 같은 용액에 녹여서 액체상태에서 순환시켜 사용함으로써 순환 장치 및 냉각장치등이 필요하게 되며 결국 레이저 시스템이 대형화되는 단점이 있다. 또한 색소는 그 자체적으로 독성이 있으며 알콜은 인화성을 가지고 있어 인체에 유해할 가능성과 화재 등의 위험이 상존해 있다.

이러한 단점을 극복하고자 전세계적으로 색소를 대체할 수 있는 파장가변 고체레이저 매질 등을 개발하여 왔다. 그 결과 Ti:sapphire, Cr:LISAF, Alexandrite등 새로운 고체 레이저 결정들이 개발되었으며. 이러한 고체 레이저 매질은 고체의 특성상 견고하고 수명이 반영구적이며 레이저 시스템의 소형화 경량화를 가능하게 해주게 되었다. 그러나 현재 개발된 고체레이저 결정은 대부분 적외선 영역에서 발진되어 가시광선 영역의 파장가변 광원으로는 직접 사용이 불가능하며 별도의 제2조화파 발생장치가 필요하며 고가의 결정성장장비가 필요하거나 결정을 구입하는데 많은 비용이 소요된다.

최근에 미국, 영국, 독일, 및 중국등에서는 고체레이저 결정을 개발하는 대신

기존의 색소를 sol-gel, silica, polymer등의 플라스틱 고체에 색소를 첨가하여 고체색소를 제조하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 고체색소는 기존이 색소가 가지고 있는 넓은 파장가변영역(근자외선부터 적외선영역까지)을 가지고 있으며 저렴한 비용으로 제작이 가능하여 액체색소와 고체레이저 결정이 가지고 있는 단점들을 모두 해결할 수 있어 저출력의 분광실험 및 조사광원 분야에서 기존의 액체 색소레이저를 대체할 수 있다. 특히 공진기 내에서 레이저 펌핑영역을 이동시키거나 매질을 교체함으로써 새로운 색소의 공급이 가능하다. 또한 발진영역이 다른 고체색소를 바꾸어 주기만 하므로써 파장가변영역을 가시광선 전영역으로 확장시킬 수 있어 아주 소형의, 고효율의, 저비용의 레이저 광원으로 각광을 받을 수 있을 것이다.

그러므로 이미 선진국등에서도 잠재적 시장성을 인식하여 연구개발을 서두르고 있음을 고려하고, 현재 이미 기존의 레이저 시장 및 레이저를 이용한 장비 시장이 거의 대부분 선진국에 잠식되어 있는 실정을 인식하면, 국내에서도 산업화 가능성이 매우 큰 고체색소레이저 매질 개발과 초소형 고체색소 레이저개발의 필요성이 아주 크다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구에서는 고체색소 레이저 매질 개발을 위해 색소 주입에 적합한 플라스틱 및 졸-겔 원료를 탐색하였으며 그 결과 유기물질인 PMMA와 무기물질인 sol-gel 유리를 host material로 하는 고체 색소를 제작하였으며 그 제작기술을 확립하였다. 아울러 여러종류로 제작된 형틀을 이용하여 다양한 형태와 크기의 고체색소쎌을 제작함으로써 그 응용성의 증대를 꾀하였다.

그리고 제작된 고체색소쎌을 이용하여 단일종모드 레이저, self-seeding 형, dual-wave 형, 분포궤환형 레이저 발진기를 제작하여 그 출력특성을 조사하였다. 아울러 3색고체색소 레이저 발진 및 증폭시스템을 제작하여 파장 가변 영역의 확장 및 상업적 이용가능성을 조사하였다. 이렇게 제작된 고체색소 레이저는 모두 순환장치가 제거되어 레이저 장치의 소형화를 실현할 수 있었다. 또한 간단히 고체색소쎌을 착탈할 수 있게 되어 파장가변 영역의 확장 및 색소 교체가 용이하게 되었다. 아울러 레이저 파장조정 장치를 제작하여 컴퓨터로 그 운동을 제어할 수 있도록 개발함으로써 레이저 시스템의 작동시간의 확장 및 자동화를

꾀하였다.

Ⅳ. 연구개발결과

본 연구에서는 Poly methylmetacylate (PMMA) 및 TMOS를 이용한 sol-gel 유리를 host material로 하는 고체색소제조 기술을 습득하였다.

또한 본 연구에서는 다양한 크기와 형태의 고체 색소를 제조할 수 있는 장치로 항온유지장치 및 고체색소쎌 제작용 몰드 등을 제작하였다.

레이저 발진 선폭의 축소를 위하여 이렇게 제작된 고체색소쎌을 이득배질로 하는 단일종모드형 고체색소 레이저 공진기를 제작하였으며 실험결과 선폭 500MHz 이내 임을 확인 하였다.

또한 본연구에서는 자기파종형 공진기를 제작하여 자기파종효과가 발생하여 출력증가가 일어남을 확인하였다. 또한 2파장 발진기와 분포궤환형 공진기를 제작하여 그 출력특성을 조사하였으며 각각 3채널의 발진기와 증폭기로 구성되는 3색 고체색소 레이저 시스템을 제작하여 3파장 발진이 이루어짐을 확인하였다. 또한 회전병진형 고체색소 레이저를 개량하여 컴퓨터로 제어함으로써 원하는 속도로 병진운동과 회전운동이 동시에 이루어질 수 있도록 장치를 고안함으로써 펌프광에 의해 같은 지점을 연속적으로 펌프됨에 따른 출력저하를 방지하고 장시간 동작이 가능하도록 하였으며 파장가변 구동장치를 제작하여 파장가변을 자동화 하였다. 그리고 본 연구에서는 고체색소쎌의 장수명화 연구를 위하여 고체색소쎌 제조시에 첨가물을 넣어 이에대한 광특성을 연구하였다. 그 결과 PMMA의 경우 약 3배, sol-gel 시료의 경우 약 5배의 광안정도 향상을 얻었다.

Ⅴ. 연구개발결과의 활용계획 및 건의사항

본 연구를 통하여 고체색소제작기술 및 장시간 동작이 가능한 초소형 고체색소레이저 공진기가 개발이 완료되면 레이저 시스템의 소형화, 경량화가 가능해지며 레이저 시스템의 이동이 용이해진다. 이는 원격탐사나 환경시료분석의 광원으로 사용이 가능해지게 되어 라이다 시스템이나 화생방감시 장비에 장착될 수 있으리라 생각된다. 또한 최근에 미국등에서는 색소 교체가 번거로운 액체색

소 대신 1회 시술후 간단히 색소를 교체할 수 있는 고체색소의 장점을 인식하여 고체색소 레이저를 의료용으로 활용하기 위한 연구가 진행되고 있는데, 본 연구를 통하여 고체색소레이저 개발이 완료되면 이러한 의료용 레이저 치료장비에도 활용이 가능할 것으로 생각된다. 아울러 레이저 이득매질 제작기술을 확보하게 되어 저렴한 비용으로 레이저 제작이 가능하여 기존의 색소레이저 공진기 시스템의 대체가 실현되면 많은 수입대체효과를 얻을 수 있으리라고 생각된다. 비교적 저렴한 연구비용으로 이러한 광범위한 응용성을 가지는 레이저 시스템개발이 가능하며 자체적인 레이저 이득매질 제작기술의 확보라는 면을 고려하면 향후 실용화 연구도 가능하여 이에대한 지원이 필요하다고 판단된다.

SUMMARY

Ⅰ. Project Title

Development of the plastic solid-dye cell for tunable solid-state dye lasers and study on its optical properties

Ⅱ. Objective and Importance of the Project

It is essential to use tunable lasers in atomic spectroscopy, environmental analysis and the atmospheric remote sensing. And it is required to use a compact and rugged tunable lasers for the portable measurement system. The most widely used tunable lasers are dye lasers based on liquid solutions which can offer wide tuning range and high efficiency. However, because of dye degradation, heating, and triplet-state formation, dye laser solutions have to be flowed through the laser cavity to maintain constant gain and beam quality. This requires bulky dye-flow systems and reservoirs, which requires large quantities of often flammable and toxic solvent to dissolve dye.

Many efforts have been done worldwide, to develop novel tunable solid-state laser materials which can substitute dyes in liquid and several solid-state laser materials, such as, Ti:sapphire, Cr:LiSAF, Alexandrite, and fosterite have developed. The lasers with these materials can be compact, robust, and versatile. But these material are expensive and the lasing wavelengths of these lasers are generally near infrared region, which means that frequency conversion process is needed to get visible wavelength.

Recently there have been many studies all over the world to

fabricate solid-state dyes by doping dyes in sol-gel, silica, and polymers. It's because that solid-state dyes can be produced in an extremely low unit cost and have the same tunability as liquid-dyes and therefore can solve the problems which both solid-state laser materials and liquid-dyes have respectively. Dye-doped solids may be refreshed within the laser cavity by either movement or replacement and also tunability over the entire visible range range is possible with several automatically interchangeable gain elements doped with different dyes. So solid-state dye lasers have potential to become small, efficient and cheap tuning extentions to pulse pump lasers.

By considering that the advanced countries are eager to develop these solid-state dyes and the laser market is governed by these countries, it is very important to develop solid-state dyes and compact tunable solid-state dye lasers system by ourselves. And it is the very object of the project.

Ⅲ. Scope and Contents of Project

In this year, we have fabricated solid-state dyes with PMMA and investigated fabracation methods with sol-gel glass and ORMOSIL. We have designed the various kinds of solid dyes with different sizes and shapes to broaden the application area. And we studied the photostability of the solid-state dyes by adding various kinds of additives during the systhesis process.

We also designed and constructed various kinds of solid-state dye laser oscillators, such as self-seeded type, dualwave type, distributed feedback type, and investigated the operating characteristics of them.

We have developed a 3-color solid-state oscillator/amplifier system which might be useful in display industires. And we modified and improved the laser oscillator by adding the motorized frequency tuning system.

Ⅳ. Result of Project

In this year, we have fabricated solid-state dyes with PMMA in which there are free radical initiation process, free radical propagation process, and termination of chain reaction. And we studied the sol-gel process with sol-gel glasses and ORMOSIL. We designed and fabricated the water bath with constant temperature and moulds for different sizes and shapes of solid-dyes.

And we studied the photostability of the solid-state dyes by adding various kinds of additives during the systhesis process. Through the experiment, tinuvin 770 was the most stabilizing agent for the pyrromethene 567 doped PMMA sample and we achieved 3 times increase in photostability. And the 1,4-daizobicyclo[2,2,2]octane (DABCO) gives 5 times increase in the photostability of post-doped sol-gel samples.

We have constructed a very compact Littman-type cavity and observed the single longitudinal mode opearation with the linewidth of less than 500MHz. And a self-seeded solid-state dye laser oscillator was constructed and we observed the increase of the output power. The operating charateristics of the dualwave oscillator and distributed feedback oscillator was investigated. And we have developed a 3-color solid-state oscillator/amplifier system which might be useful in display industries. And by installin the motorized frequency tuning system in the laser oscillator, we achieved automatic frequency control.

Ⅴ. Proposal for Applications

We could make a solid-state dye laser system which is very compact, handy and versatile when we develop the technologies of the fabrication of the solid-state dyes through this project. This means that this laser system can be applied to atmospheric and underwater sensing, monitoring of the environmental pollutions, local area communication networks, and spectroscopy.

And as a solid-state dye laser can be compact, inexpensive, short in maintenance time, and nontoxic and the solid-state dyes are disposable, the advanced countries, such as the United States, recognized the merits of them and are eager to apply it to medicine.

Therefore it will be possible to apply the solid-state dye laser system to the apparatus of medical treatments.

And almost all of the tunable lasers, including dye lasers, in our country have been imported from other countries. So we could expect this laser system might be a substitute of some of them when we finish the development.

목 차

제출문
요약문
Summary
제 1 장 서 론 ----------12

제 2 장 고체색소쎌 제작기술 개발 ----------16
제 1 절 Polymer를 이용한 고체색소 제조기술 ----------16
제 2 절 Sol-gel glass를 이용한 고체색소 제조 기술 ------30
제 3 절 고체 색소쎌 광특성 조사 ----------38

제 3 장 파장가변 고체색소 레이저 제작 ----------45

제 1 절 다양한 파장가변 고체색소 레이저 공진기 제작
및 특성 연구 ----45
제 2 절 파장가변 구동장치 제작 ----------54

제 4 장 결 론 ----------57
제 5 장 참고문헌 ----------58

제 1 장 서 론

1960년에 개발된 레이저는 40년의 역사동안 실로 다양한 분야에 파급되어 현재는 분광학 연구등 학술용 광원, 피부과, 안과, 암 진단 및 치료, 외과 수술 등의 의료용 광원, 레이저 가공, 마킹, 천공, 열처리, 용접, 조명, 디스플레이, 광기억소자, 광통신 등의 산업용, 레이저 디스크, CD, DVD등 오락용등 가정과 산업전분야에 이용되지 않는 분야가 거의 없을 정도로 이미 우리의 일상생활 속에 깊이 들어와 사용되고 있다.

일반적으로 레이저는 일정한 파장의 빛만을 발생시키는데 이는 이득매질(gain medium)이 유도방출(stimulated emission)을 일으키는 전자준위(electronic level)가 일정한 에너지로 결정되어 있기 때문이며 이 전자준위에서 방출된 단일파장의 빛이 반사거울로 이루어진 공진기 내부에서 증폭을 일으키게 된다. 그러나 색소레이저의 개발은 기존의 레이저가 단일파장만을 얻을 수 있었던 단점을 극복하여 분광학연구를 비롯한 과학기술의 많은 분야의 발전에 많은 기여를 하였다. 색소(dye)는 거대유기분자로서 여러 원자들의 전자준위가 중첩되어 있어 넓은 띠를 이루며, 이 띠들간에 레이저 발진이 이루어지게 되어 단일파장이 아닌 넓은 영역의 빛을 얻을 수 있다. 이때 공진기에 회절격자나 프리즘과 같은 파장선택소자를 설치하면 조건에 따라 특정파장의 빛만을 발생시킬 수 있으며 이 파장선택소자를 조절하면 연속적으로 파장을 변화시킬 수 있다. 이렇게 연속적인 파장조정이 가능한 레이저를 파장가변 레이저라고 부르며 대표적인 파장가변 레이저가 색소(dye) 레이저이다. 이러한 색소 레이저로 대표되는 파장가변 레이저는 파장가변영역이 근자외선영역에서 근적외선 영역까지 매우 광범위하여 원자분광학연구 분야뿐만 아니라, 원격 대기오염 및 환경감시용으로 사용되는 LIDAR 시스템, 암치료 등의 의료용 레이저 치료기 등에도 사용되는데, 이때 레이저 시스템은 소형화 될수록 레이저의 이동 및 휴대가 편리하여 용이하다.

일반적으로 하나의 색소에서 얻을 수 있는 파장가변영역은 약 수십 nm 정도이다. 따라서 이 영역을 벗어난 다른 영역의 파장을 필요로 할 경우에는 그에 적당한 색소로 교환하여 사용하게된다. 현재까지 사용되고 있는 색소 레이저에서는 알콜과 같은 용매에 색소를 녹이고 색소 순환기를 이용하여 색소용액을 색소셀에 흐르게 하여 사용하고 있다. 이와 같은 색소용액 순환방식에서 색소를 교환할 경우에 색소용기, 필터, 순환펌프, 튜브 및 색소 셀 등을 세척하여 사용하여야 하므로 많은 불편을 가지게 되고, 액체의 순환으로 발생할 수 있는 진동 및 유체

의 불균일한 흐름은 안정적인 레이저 발진의 장애요소가 될 수 있다. 또한 레이저 시스템을 구성할 때 광학부품 이외의 색소용액 순환기 시스템이 부착되어야 하므로 시스템의 소형화에 한계를 가지고 있다.

이러한 단점을 극복하고자 전세계적으로 색소를 대체할 수 있는 파장가변 고체레이저 매질 등을 개발하여 왔다. 그 결과 Ti:sapphire, Cr:LiSAF, Alexandrite등 새로운 고체 레이저 결정들이 개발되었다. 이러한 고체 레이저 매질은 고체의 특성상 견고하고 수명이 반영구적이며 레이저 시스템의 소형화 경량화를 가능하게 해준다. 또한 최근에 고출력화가 가능해지고 발진 파장영역도 확장되어 가고 있는 다이오드 레이저를 펌핑광원으로 사용함으로써 전고체화 레이저 시스템 제작이 가능하게 되었다.

그러나 현재 개발된 고체레이저 결정은 대부분 발진영역이 적외선 영역으로 가시광선 영역의 파장가변 광원으로는 직접 사용이 불가능하며, 가시광선이나 근자외선영역의 광원을 필요로 할 경우에는 별도의 제2조화파 발생장치나 광파라메트릭 발진기를 이용하여 파장을 변환시켜야 한다. 또한 이러한 고체레이저 결정을 제조하기 위해서는 고가의 결정성장장비가 필요하거나 결정을 구입할 경우에도 많은 비용이 들게 된다. 이러한 단점을 극복하고자 최근에 미국, 영국, 독일, 및 중국 등에서는 가시광 영역의 고체레이저 결정을 개발하는 대신, 저렴한 비용으로 제작이 가능하고 색소가 가지고 있는 넓은 파장가변영역(근자외선부터 적외선영역까지)을 그대로 유지한 고체 색소를 제조하는 연구가 활발히 진행되고 있다.

최초의 고체색소 레이저 연구는 30여년전으로 거슬러 올라가 1967년 B. H. Soffer와 B. B. McFarland에 의해 시도되었다. 그들은 Polymethylmethacrylate (PMMA)에 rhodamine 6G 색소를 첨가한 고체 색소를 이용하여였으며 액체 상태의 색소 레이저에서와 유사하게 유도증폭된 광을 얻었다고 보고하였다.[1] 이듬해인 1968년에 O. G. Peterson과 B. B. Snavelys는 PMMA에 Rhodamine 색소를 첨가하여 레이저 봉(laser rod)형식으로 만들고 플래시 램프로 펌핑하여 레이저 발진시켰다. 이들은 액체 상태에서의 레이저 동작 특성에 비하여 고체 상태의 레이저 이득매질을 이용할 경우에 색소 분자의 삼중항 상태(triplet state)에서의 자극 방출(stimulated emission)의 소광현상(quenching)이 줄어들었음을 보고하였다.[2] 이러한 중합체를 이용한 고체색소 제작은 현재까지도 많이 사용되고 있다. 그러나 유기 고분자 플라스틱은 레이저 손상 저항(laser damage resistance), 색소의 광표백 저항(photobleaching

resistance), 레이저 변환 효율(conversion efficiency)이 낮다는 단점들이 있었다. 그러나 최근에는 무기물 유리 재질이나 크리스탈 결정 등에 비교될 정도의 높은 레이저 손상 저항을 갖는 고분자 물질들이 발견되어 고체 상태 색소 레이저에 적용되고 있다.

유기물질(organic material)대신 무기물질을 이용하는 경우에는 앞에서 설명한 유기물질을 사용하였을 경우에 발생되는 여러 가지 단점들을 극복할 수 있다. 즉 대표적인 무기물질인 유리의 경우 레이저 결정에 맞먹을 정도의 높은 경도와 균일성, 광학적 투명도 등을 가지고 있다. 그러나 일반적인 유리제조 방법을 이용해서는 고체색소 제조가 거의 불가능하다. 왜냐하면 유리를 제작할 경우 규소 등을 고열로 용융시키게 되는데 이렇게 높은 온도에서는 색소 분자가 파괴되어 버리므로 레이저 매질로 사용할 수가 없게 되기 때문이다. 그러므로 고체색소 제조에서는 일반적인 용융법 대신에 낮은온도에서 고체화 시킬 수 있는 sol-gel 법을 이용하게 된다. Sol-gel법은 무기물질에 하나의 무기물질, 또는 여러종류의 무기물질을 혼합하거나, 유기물질과 합성하여 고체 색소를 제조할 수 있는 장점을 가지고 있다.

최초의 고체색소 레이저 제작은 앞에서도 기술한 바와 같이 1967년으로 거슬러 올라간다. E. J. A. Pope등은 silica gel-PMMA 화합물의 제작과 투명성 및 굴절율에 대한 연구 결과를 보고하였다.[3] 그 이후에도 몇몇 연구진에 의해서 연구가 진행되어 왔다. 1990년 Edward T. Knobbe는 Solgel 방법으로 Rhodamine과 Coumarin 색소를 첨가된 ORMOSIL(organically modified silicate)을 제작하여 광 이득(optical gain), 레이저 발진(laser oscillation)과 광안정성(photostability)을 측정하였는데, 일반적인 고분자 매질를 사용한 것에 비해서 광안정성이 좋은 것으로 보고하였다.[4]

고체색소가 가지고 있는 가장 큰 단점은 액체 상태의 경우와는 달리 색소의 순환이 되지 않기 때문에 펌프광에 지속적으로 노출될 경우 색소분자가 파괴되어 레이저의 출력이 저하된다는 점이다. 이러한 단점을 극복하기 위한 연구가 꾸준히 진행되어 현재는 PMMA에 첨가물을 넣은 MPMMA(modified PMMA), sol-gel glass의 비어있는 부분을 유기물로 채워 넣은 polycom glass 등의 새로운 고체색소 매질이 개발되고 있다. 이렇게 함으로써 레이저 수명과 함께 레이저 손상 문턱 에너지(laser damage threshold energy)를 증가시킬 수 있다는 연구결과들이 보고되었다.[5-8] 한편, 폴리머 고분자 중합체를 광섬유 증폭기로 사용하는 경우[9-11]도 보고되었다.

미국의 Eastman Kodak의 F. J. Duarte 그룹은 1994년부터 고체 상태 색소 레이저에 관한 연구를 시작하여 최근에 이르기까지 다중 프리즘을 이용한 공진기에 적용하여 선폭이 좁은 소형의 공진기를 개발하였고 펄스 폭이 긴 경우에 대하여도 색소 레이저 발진에도 성공하였다. [12-16]

영국의 Manchester 대학의 T. A. King 그룹은 PMMA와 Solgel에 대한 연구를 시행하고 특히 제작방법에 관한 연구, 고체 상태 색소의 성분에 따른 특성과 펌프 레이저에 의한 고체 색소의 변환효율을 증가시키는 연구 및 산소에 의한 고체색소 수명의 영향에 대한 연구를 수행하고 있다.[17-20]

뉴질랜드의 Otago 대학의 I. T. McKinnie 그룹은 PMMA의 제작에서 2-hydroxyethyl methacrylate와 methyl methacrylate의 배합비율에 따라서 레이저의 수명과 효율 등이 변화함을 보고한 바 있다.[21,22]

일본의 Akihiro Tagaya 그룹은 광섬유 증폭기에 색소를 첨가하여 고출력, 고효율의 증폭효과를 보고하였으며[9-11] 홍콩의 D. Lo 그룹은 Coumarin 색소를 첨가한 sol-gel 매질에서 단일 종모드의 레이저 발진에 성공하였으며, 분포궤환 레이저를 제작하여 그 특성을 조사하였으며[23-25] 국내에서도 본 연구진에 의하여 고체색소 제작 및 단일모드 발진에 성공하였고, 분포궤환 공진기 및 결합공진기에서의 레이저발진 및 광특성에 관한 연구가 활발히 진행중이다.[26] 또한 Watanabe 등은 고체색소를 광대역 파장가변 위상공액파 발생장치로 이용한 연구 결과 등을 발표한 바가 있다.[27]

본 연구에서는 유기물 및 무기물을 이용한 고체색소셀 제작을 수행하였으며 이렇게 제작된 고체색소셀의 광특성을 조사하였다. 아울러 이렇게 제작된 고체색소셀을 이용한 다양한 레이저 시스템을 제작하여 그 발진 특성을 조사함으로써 고체색소레이저의 국산화를 시도하였다.

제 2 장 고체색소쎌 제작 기술 개발

제 1 절 Polymer를 이용한 고체색소 제조기술

대부분의 합성 중합체들(synthetic polymers)은 자유 라디칼을 형성하는 화합물들이 합성(addition)되는 과정을 통하여 이루어진다. 여기서 자유 라디칼이란 용어는 다른 전자와 한쌍을 이루고 있지 않은 전자를 적어도 한 개 이상 가지고 있는 원자나 분자단위를 말한다. 이러한 반응과정을 자유 라디칼 중합 반응과정(free radical polymerization process)이라고 한다. 이 중합과정을 통하여 액체상태가 고체상태로 전환된다. 자유 라디칼 중합반응(free radical polymerization)에 의해서 고체로 형성되는 것에는 polystylene, poly(methyl methacrylate), poly(vinylacetate)와 polyehtylene등이 있다. 그림 2-1은 methylmethacrylate (MMA)의 화학 구조식이다.

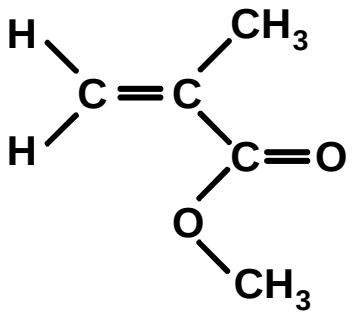
폴리머가 만들어지는 중합반응과정은 개시제(initiator)라고 하는 물질로부터 시작된다. 자유 라디칼 중합반응에 사용되는 개시제는 여러 종류가 있지만 그 중에서 Azo 화합물계열인 AIBN(2-2′-Azo-bis-isobutyronitrile)과 유기물인 peroxide(혹은 hydroperoxide)를 포함하는 계열인 Benzoyl Peroxide(Bz_2O_2)가 일반적으로 사용되고 있다. 각각 개시제들의 화학 구조식은 그림 2-2와 그림 2-3과 같다. AIBN은 그림 2-4와 같이 온도 40도 이상의 열을 가해주면 isobutyronitrile부분에 있는 탄소의 공유결합이 끊어지면서 질소를 발생시키게되는데, 이 때 그림과 같이 AIBN은 두 조각의 라디칼로 변화한다. 이러한 AIBN의 라디칼들이 액체상태의 MMA 모노머들과 만나면 중합반응이 시작된다. Benzoyl Peroxide 역시 그림 2-5와 같이 열을 가해주면 분자 구조식의 중앙에 있는 산소의 공유결합이 끊어지면서 전자를 내어주는 라디칼이되고 이는 다시 벤젠고리 구조와 연결된 탄소의 이중결합에서 전자 하나를를 떼어낸 것과 공유결합을 이룬다. 이 때 두 개의 분자 CO_2를 생성시키면서 벤젠 고리구조인 두 개의 자유라디칼로 변화한다. 이와 같이 개시제(initiator)가 분리(dissociation)되는 단계를 자유 라디칼 개시(free radical initiation) 혹은 연쇄 개시(chain initiation)단계라고 한다. 이러한 개시제로 인하여 발생된 라디칼들과 중합반응을 일으키는 모노머들의 종류는 앞서 언급한 Stylene, Ethylene, Vinyl Chroride, Methyl Methacrylate, Vinyl Esters 등이 있다. 이들은 비포화상태의 유기 화합물들(unsaturated organic compounds)로서 주변의 적당한 모노머들과 반응하며 새로

운 라디칼로 변화된다. 이처럼 중합반응의 연결 고리들을 계속 이어가는 과정을 자유 라디칼 전파(free radical propagation) 혹은 연쇄 전파(chain propagation)단계라고 한다. 그림 2-6을 보면 개시제가 두 개의 라디칼 2R′으로 변화하고, 이것 중 하나의 라디칼 R′이 임의의 N-MMA 모노머 그룹과 만나서 새로운 자유 라디칼 R_1, R_2, R_3, ……, R_{n-1}, R_n들을 형성하는 전파과정이 화학적 구조식으로 표현되어있다. MMA 분자내의 공유결합을 이루고 있는 CH_2의 탄소원자(α-carbon atoms)의 전자는 라디칼의 전자와 새로운 공유결합을 이루게 된다. 이때 CH_2와 결합을 이루고 있던 다른 탄소원자에서 전자하나 내어주고 공유결합이 끊어지면서 전자를 띄는 새로운 라디칼이 된다. 이러한 반응 과정이 연속적으로 n 개의 MMA 분자에서 이루어지면 성장된 라디칼 사슬(growing radical chain) R_n이 된다. 이러한 두 개의 라디칼 사슬이 결합하여 중합반응을 종결하는 단계를 연쇄반응의 종결(termination of chain reaction) 이라고 한다. 그림 2-7은 MMA 모노머가 중합반응을 마치고 폴리머 P_{n+m}이 되는 과정을 보여준다.

자유 라디칼 중합반응(Free-Radical Polymerization)의 대부분은 액상의 체적상태에서 폴리머로 변화한다. 이런 경우에 중합반응의 초기단계에서 모노머는 그 자체로서 용매(solvent)의 역할을 하게 되는데 이때 많이 사용되는 제조방법은 폴리머 캐스팅(Polymer casting) 방법을 사용하는 것이다. 액체 상태의 모노머를 캐스터에 담고 중합조건에 따라서 중합되면 고체 상태의 폴리머가 형성된다. 그러나, 만일 중합반응이 매우 심하게 발열반응(exthothemic reaction)이 되면, 반응이 매우 격렬하여지거나 모노머 사이에서 기포(bubbles)들이 발생할 수도 있으며, 모노머 내에서 국부적으로 과열반응이 진행되면 까맣게 변색되는 경우도 있다. 이러한 발열반응 열을 약화시키기고 안정적인 반응을 유지시키기 위하여 MMA 모노머가 담긴 캐스터를 물 속에 담그고 물의 온도를 조절하는 중탕방식의 제조기술이 일반적으로 사용된다. MMA 모노머는 소량의 AIBN과 반응시키는데, 희석 조건은 모노머 대 개시제의 비율이 약 200 : 1 (weight ratio) 정도이다. 혼합물에 열을 가해서 중합반응시킬 때 약 40℃ 정도에서 약 1일 정도 유지시키면 유리와 같이 투명성있는 프라스틱이 제작된다. 중합반응에 사용되는 캐스터용 형틀(mold)은 유리재질을 사용하는데, 폴리머 프라스틱을 판재형태로 성형하고자 할 때에는 유리판을 사용한다. 두 장의 유리사이에 고무재질의 개스킷(rubber gasket)로 분리시켜 중간에 모노머 액체를 주입할 수 있는 형틀이 적당하다.

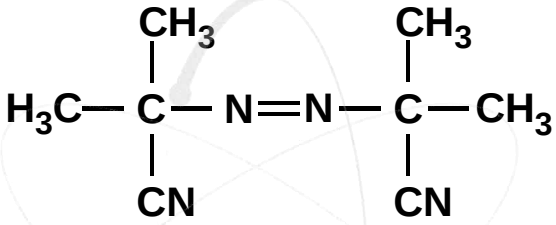
개시제와 반응 온도 조건과는 서로 상관관계가 있다. 개시제의 양을 증가

시키면 반응이 빠르게 일어나 반응열이 많아지게 되므로 증가되는 반응열을 제거해주기 위하여 온도를 낮게 유지하여주는 것이 좋다. 반면에 개시제를 적게 넣으면 반응 속도가 느리기 때문에 온도를 높여주어도 된다. 또한, 성형하는 형틀의 두께에 의해서도 개시제와 반응온도 유지조건이 다소 조절된다. 즉, 모노머들 사이에서 극도의 발열반응을 통하여 발생되는 열기을 제거하고 라디칼들의 반응을 촉진시킬수 있는 적당한 온도를 유지시켜주는 것이 투명하고 기포없는 프라스틱을 만드는 관건이다. 성형된 고체 상태의 폴리머 프라스틱이 형틀로부터 잘 이탈되도록 하기 위하여 이형제로서 Stearic Acid ($CH_3(CH_2)_{16}COOH$)를 소량 첨가한다. 이 과정을 통하여 제작된 고체상태의 PMMA의 굴절율은 1.49로서 액체상태의 MMA의 굴절율보다 좀 더 높아진다.



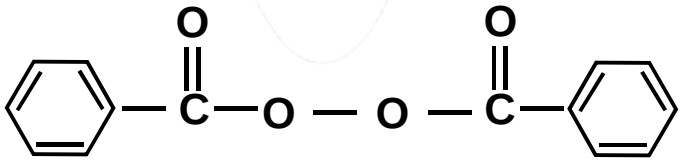
Methyl Methacrylate(MMA)

그림 2-1. MMA(methyl methacrlylate)의 화학 구조식.



2-2'-azo-bis-isobutyronitrile (AIBN)

그림 2-2. AIBN(2-2′-Azo-bis-isobutyronitrile)의 화학 구조식.



Benzoyl Peroxide

그림 2-3. Benzoyl Peroxide의 화학 구조식.

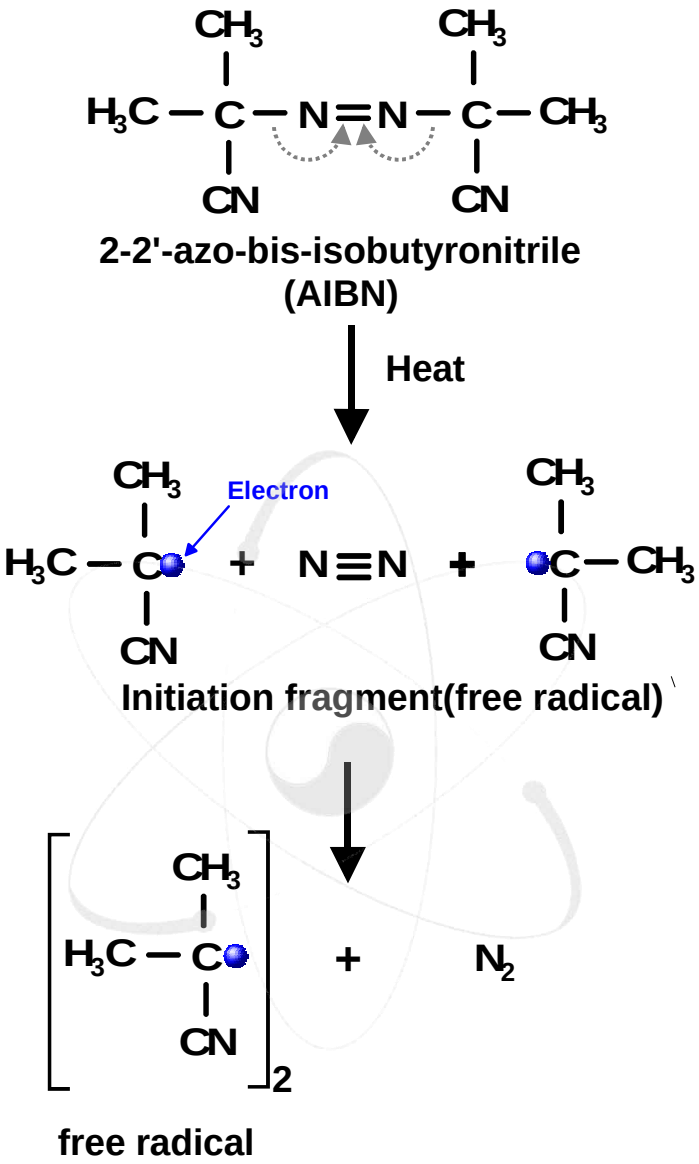


그림 2-4. AIBN의 자유 라디칼 형성 과정.

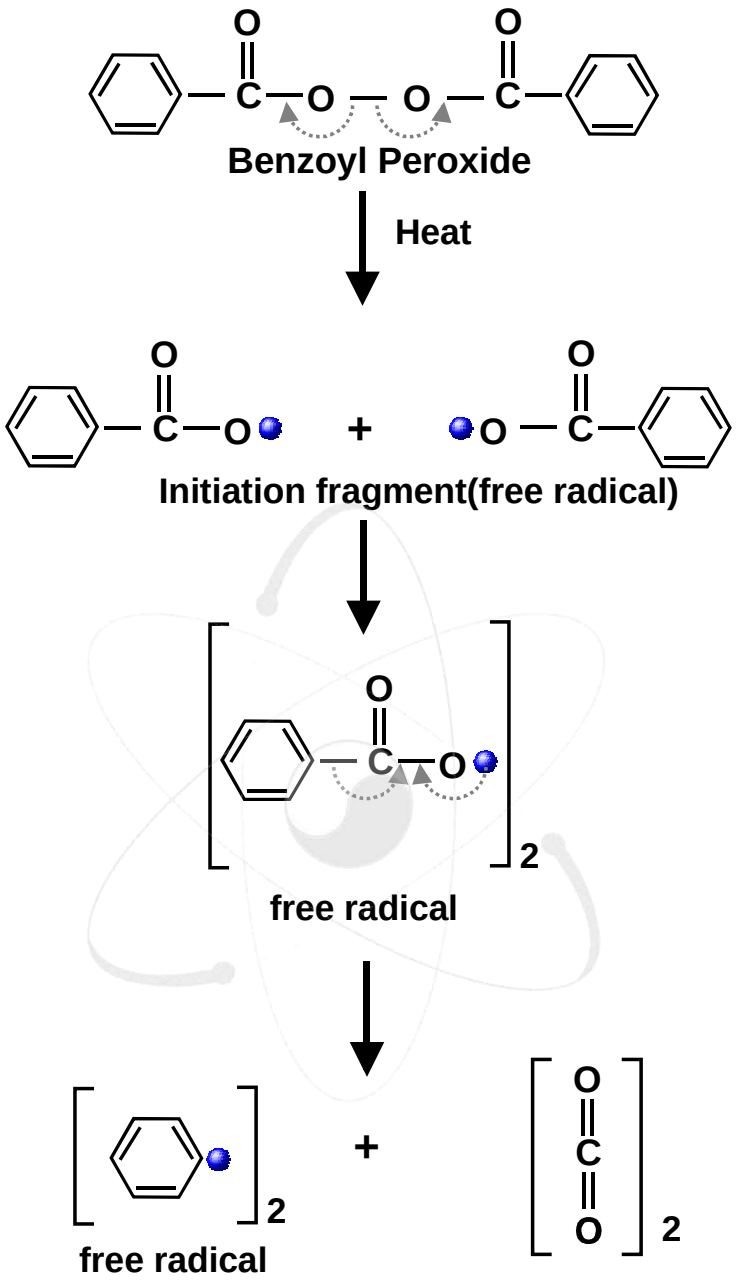


그림 2-5. Benzoyl Peroxide의 자유 라디칼 형성 과정.

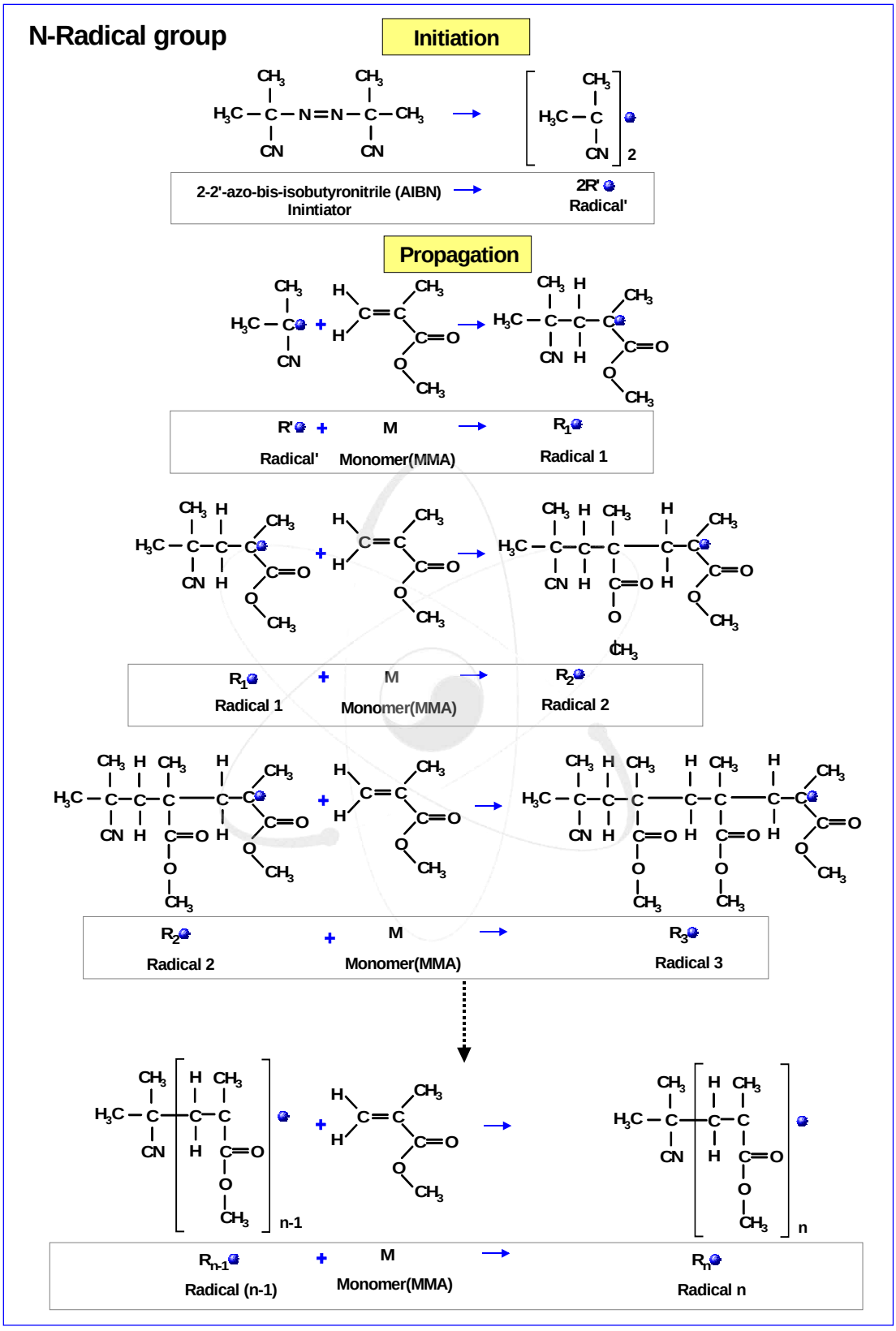


그림 2-6. MMA 중합과정에서 N-group의 라디칼 전파단계.

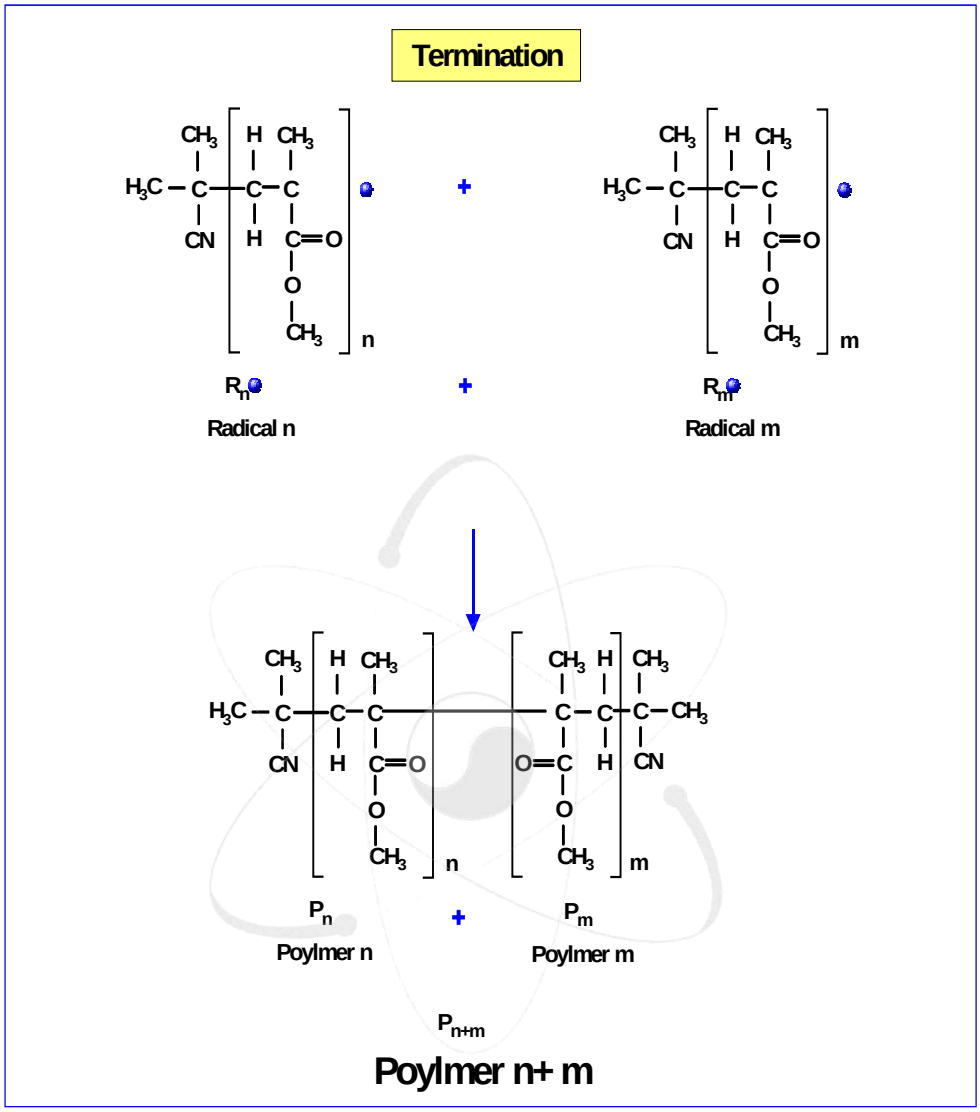


그림 2-7. MMA 중합과정의 종결로서 폴리머가 형성되는 단계.

레이저 색소가 첨가된 고체상태 폴리머 호스트인 PMMA의 제작과정은 그림 2-8과 같이 초기중합단계를 가진다. 이는 완전한 액체를 어느 정도 점도가 있는 액체상태로 전환시키는 단계로서 MMA 모노머에서 폴리머 단계로의 첫중합 단계가 된다. 본격적인 중합단계인 주경화단계로 진행하기전에 초기중합에 의해 올리고머(Oligomer)로 변화된 MMA에 개시제(AIBN), 이형제 및 색소를 첨가하게 된다. 이 때 색소는 MMA의 올리고머에 잘 녹여지지 않으므로 색소 분말이 잘 녹여지는 알콜에 녹여 색소원액을 준비한다. 알콜과 모노머의 배합비율에 따라서 색소 레이저의 효율에 영향을 준다.

색소가 첨가된 MMA 올리고머 혼합액은 사진 2-1, 사진 2-2와 같이 제작된 형틀에 주입된다. 형틀을 사진 2-3과 같은 수온 항온유지장치(Circulation Water Bath)의 물 속에 담그고 수온이 약 45~50℃사이가 되도록 유지하여준다. 주경화단계의 시간대별 온도변화 상태를 보면, 처음 2~3시간 정도는 중합반응이 크게 일어나지 않으므로 올리고머의 온도가 좀 떨어지지만 4시간이후 부터 급격히 상승한다. 이러한 발열량을 물을 이용하여 제거하여 주어야한다. 그 이후 다시 안정적인 반응을 보이다가 7시간 정도(마지막 응고상태)에서 다시 많은 열을 발생시키므로 온도의 유지가 매우 중요하다. 이 때 온도는 약 48℃정도가 적당하며 이 조건이 표면의 거칠기 및 공기입자의 발생률을 좌우한다. 약 10시간이 지나면 거의 고체상태로 전환된다. 최종경화단계는 고체색소쎌의 경도를 높이는 단계로서 PMMA를 95℃에서 2시간동안 유지하여줌으로서 완전히 고체상태로 전환된다. 마지막으로 형틀을 제거하면 고체상태색소(solid-state dye)쎌이 완성된다. 그리고 더욱 좋은 광학적 면 상태를 만들려면 광학적인 면 가공을 하게 된다.

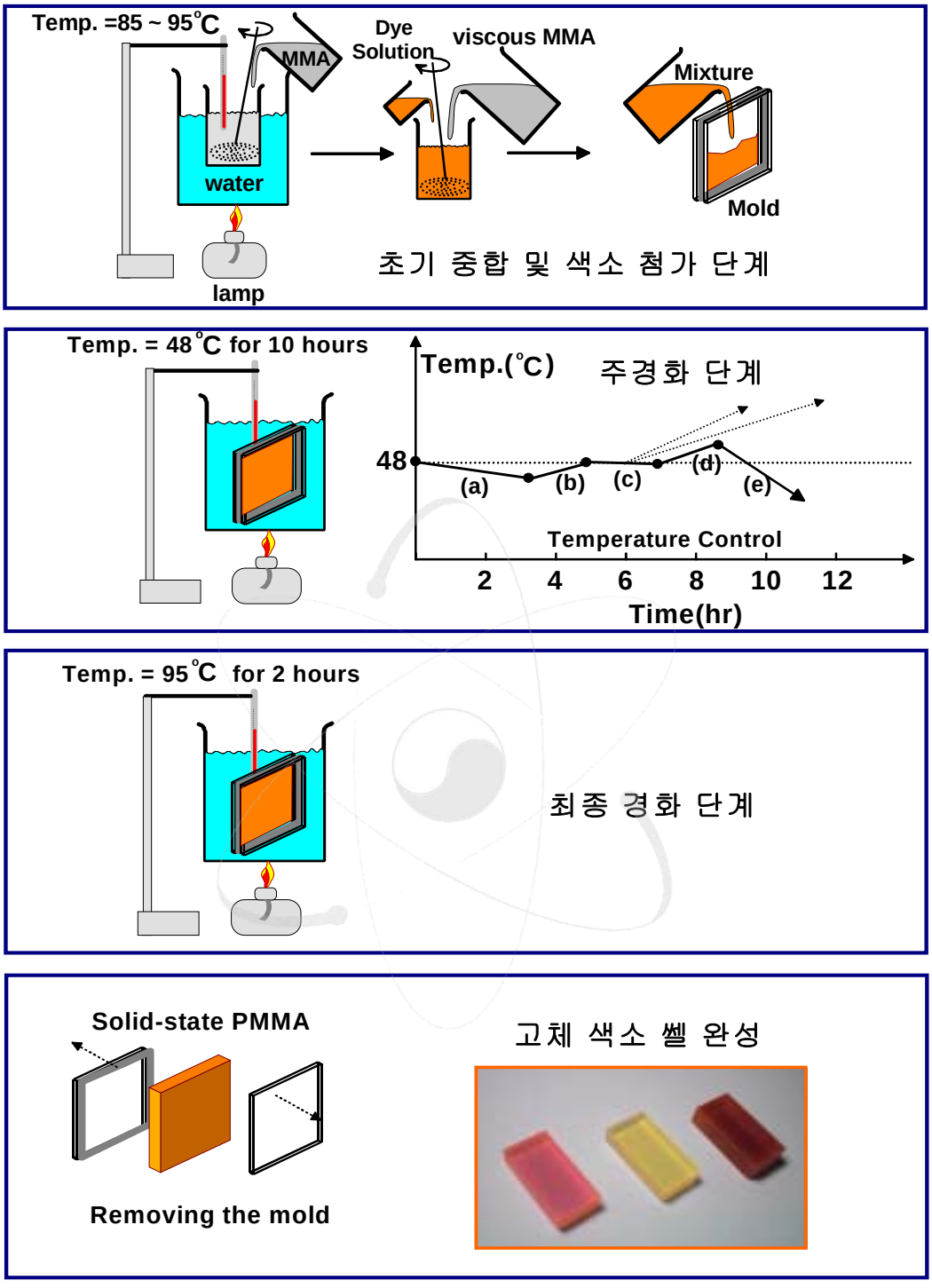


그림 2-8. 고체상태색소쎌 제작과정.

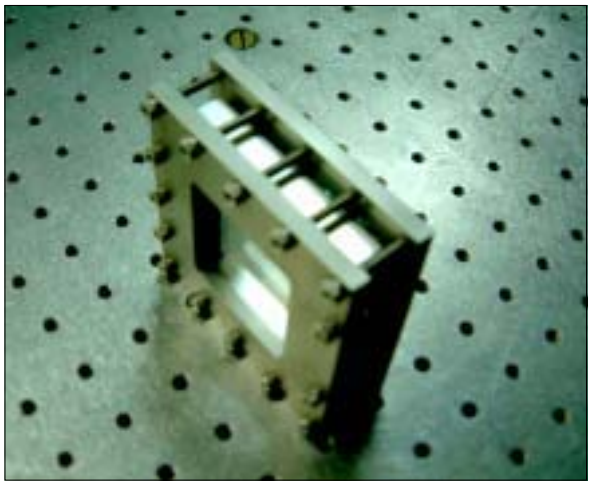


사진 2-1. 고체색소 쎌 제작을 위한 사각형 형틀의 모습.

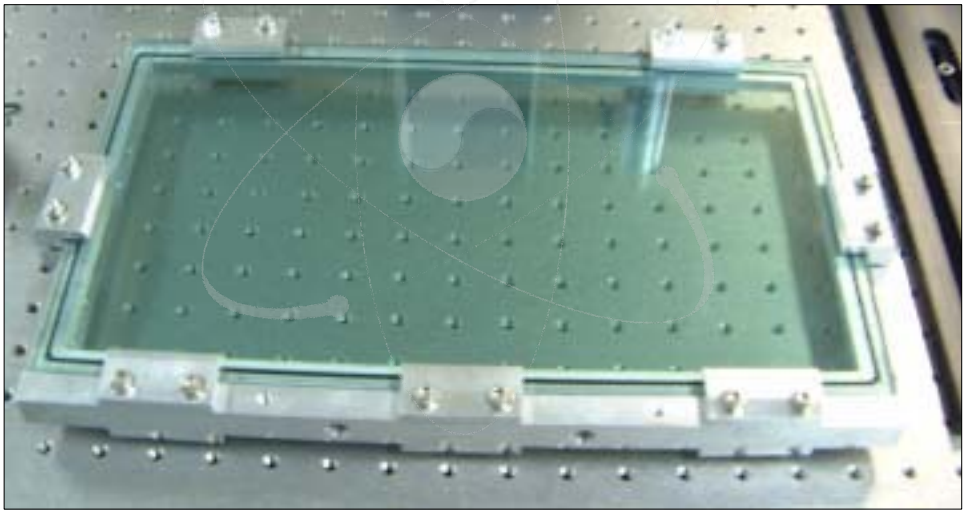


사진 2-2. 대형 고체색소 쎌 제작을 위한 형틀의 모습.

사진 2-3은 고체 색소 쎌을 제작하기 위한 장치로써 사용된 수온 항온 유지장치(Ciculation Water Bath)의 외각모습이다. 이 장치는 고체 색소 쎌의 제작과정에서 사용되는 장치로써 PMMA를 호스트 매질로 사용할 경우에 자체 중합과정에서 발생되는 열을 물의 온도를 변화시켜 제어하도록 하는 장치이다. 온도제어 정밀도는 약 ±0.5℃ 이내이다.

표 2-1 수온 항온유지장치의 사양.

Specification		
Bath	Dimension	Inside : W450×D300×H450 mm Outside : W700×D400×H530 mm
	Material	Interior : STS304 1.2t Plate Exterior : SPCC #1 1.2t Plate
Power	Source	AC 220 V, 60 Hz
	Consumption	Heater 2.8 kW
Temperature	Range	Room Temp. ~ 95 ℃
	Accuracy	± 0.5 ℃ at 50 ℃
	Controlle	PID control-Digital Setting Display Type
	Sensor	Pt 100 Ω TTD Type
Water Control	Water Circulation	- Magnetic pump & Solenoid Valve Control -20 liter/min
	Drain Valve	- Inlet & Outlet 3/8 inch STS pipe

항온 장치의 내부 모양은 사진 2-4과 같이 형틀을 세워서 물 속에 주입할 수 있도록 구성되어 있고, 바닥 면에는 수온을 상승시키는 열선대가 있으며 물의 온도를 일정히 하도록 하기 위해서 내부의 물을 순환시키는 펌프가 내장되어 있다. 또한 수온이 설정치보다 상승하면 이를 냉각시키도록 외부에서 냉각수가 유입되도록 솔레노이드 밸브가 설치되어 있다. 수조내의 물의 온도를 열선대(thermocouple K-type)를 이용하여 감지하고 감지된 온도변화에 따라서 PID 방식의 콘트롤러가 이를 제어하게 되어 있다. 사진 2-5는 이렇게 제작된 고체색소 쎌의 다양한 모습을 보여주고 있다.

사진 2-3. 수온 항온유지장치의 외각모습.

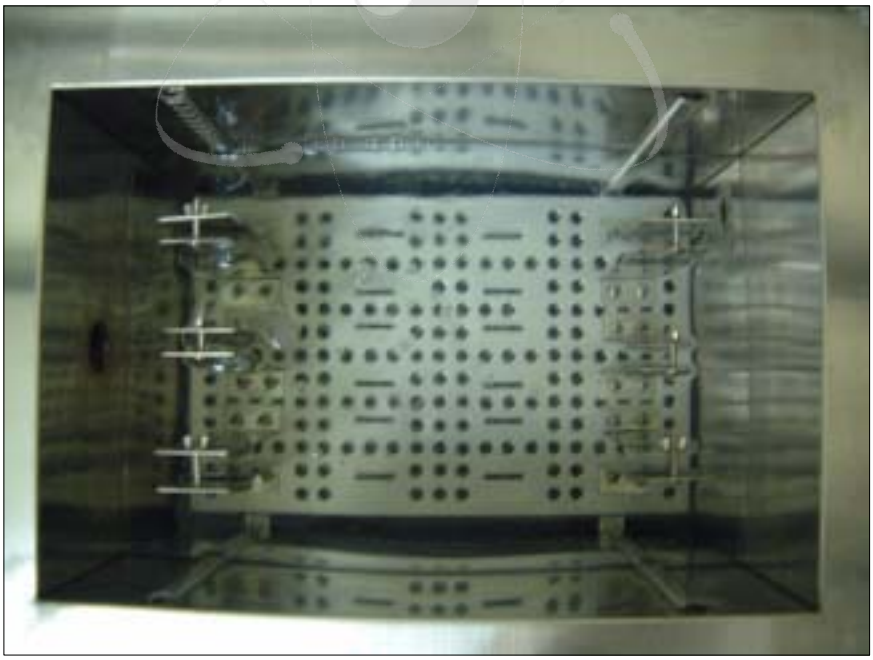


사진 2-4. 수온 항온유지장치의 내부모습.

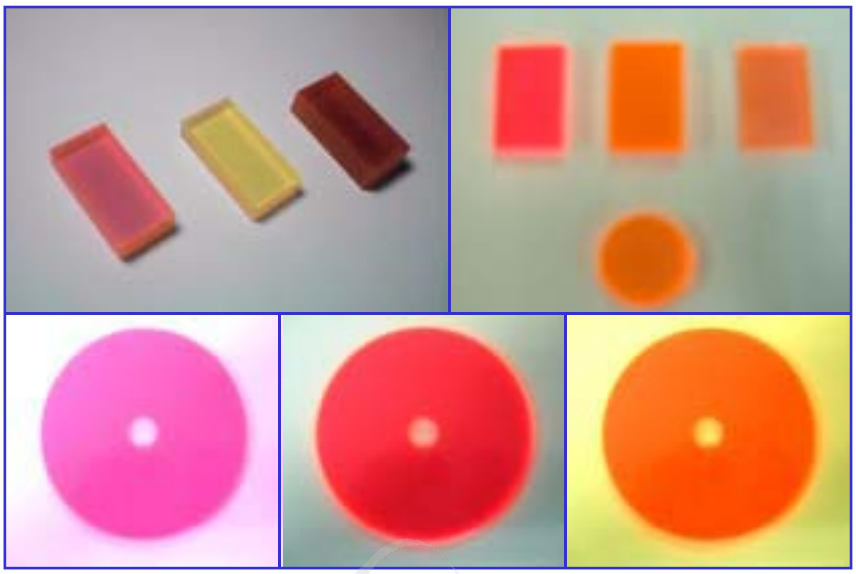


사진 2-5. 다양하게 제작된 고체색소쎌 시편들의 모습.

제 2 절 Sol-gel glass를 이용한 고체색소 제조 기술

고체색소를 제작하는 둘째 방법으로서 무기물질(inorganic material)을 host material로 사용하는 경우이다. 무기물질로서 투명성을 지니면서 단단한 경도를 유지하는 대표적인 물질은 유리(glass)인데 유리의 주재료는 규소(SiO_2)이다. 이처럼 유리와 같은 광학적 특성이 좋은 물질을 이용하여 레이저 이득매질로서 사용하면 레이저 발진시에 우수한 출력광 특성을 지니게 된다.

졸겔 방법은 무기물질에 하나 혹은 여러 가지 다른 물질들을 혼합하여 제작할 수 있으며 유기물질인 폴리머와도 합성하여 제작할 수 있다. 무기물질이 졸겔이 되는 메카니즘은 가수분해(hydrolysis)와 다중축합반응(polycondensation reaction)으로 설명될 수 있다. 이 때 precursor로 사용되는 물질로는 Tetramethoxysilane [$Si(OCH_3)_4$;TMOS]과 Tetraethoxysilane [$Si(OC_2H_5)_4$;TEOS] 등과 같은 tetraalkoxysilane계열의 분자들이다. TMOS와 TEOS는 분자구조식으로 보면 silicon 원자주위에 각각 메틸기와 에틸기가 결합되어있는 구조이다. 그림 2-9와 같이 TMOS에 물을 첨가하여 가수분해(Hydrolysis) 반응을 일으키면 $4(CH_3OH)$를 생성한다. 이때 두 개의 $Si(OH)_4$분자의 축합반응(Condensation)은 그림 2-10과 같으며 하나의 물 분자를 발생한다. 이와 같은 축합반응이 다중으로 이루어지게 되면 그림 2-11과 같이 네트워크 구조를 형성하게 된다. 이런 다중축합 반응(polycondensation reaction)의 정도에 따라서 선형구조, chain 구조, entangled 구조, cluster 구조, colloidal 구조등으로 달라진다. 결국 이러한 변화 과정에서 precursor의 농도, pH 농도, 물의 양, 촉매제로 사용되는 산·염기(acid·base catalyst)의 종류와 양, 그리고 분위기 온도 및 압력에 따라서 졸겔 유리의 특성이 결정된다.

졸겔의 제작과정에는 건조(drying)와 소성(sintering)과정이 있으며 레이저 색소는 host material이 겔(gel)상태가 되기 전에 첨가하여 혼합한다. 졸겔이 되는 분위기 온도는 대개 섭씨 60도 정도에서 유지되며 조건에 따라서 다소 변화가 있다. 이렇게 고체화된 비정질 물질을 xerogel이라고 부르며 수 nanometer 크기의 많은 구멍(pore)을 가지고 있고 표면적은 약 100-200 m^2/g 이다. Xerogel은 그 자체로 좋은 광학적 투과도를 가지고는 있으나 아주 우수하지는 않다. 그러므로 이를 레이저용 고체색소로 이용하기 위해서는 경화 (densification) 과정인 열처리 과정을 거치게 된다. Xerogel의 표면은 주로 silanol 그룹(Si-OH)과 수소결합된 물로 구성되어 있으므로 화학적, 열적 처리를 하여 수소결합된 물을

제거하고 물의 흡착을 방지하며 더 이상의 수축이 일어나지 않도록 한다.

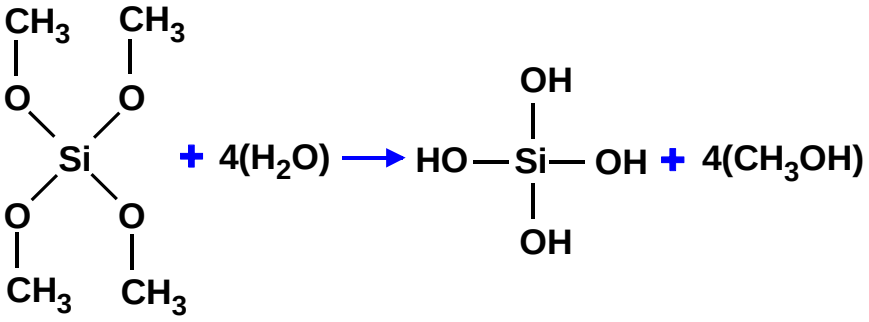


그림 2-9. TMOS와 물과의 가수분해반응.

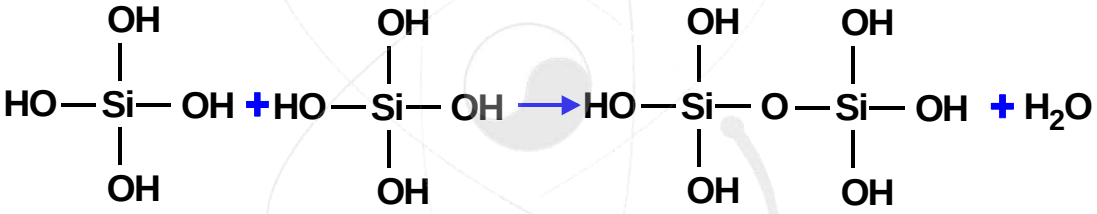


그림 2-10. $Si(OH)_4$의 축합반응.

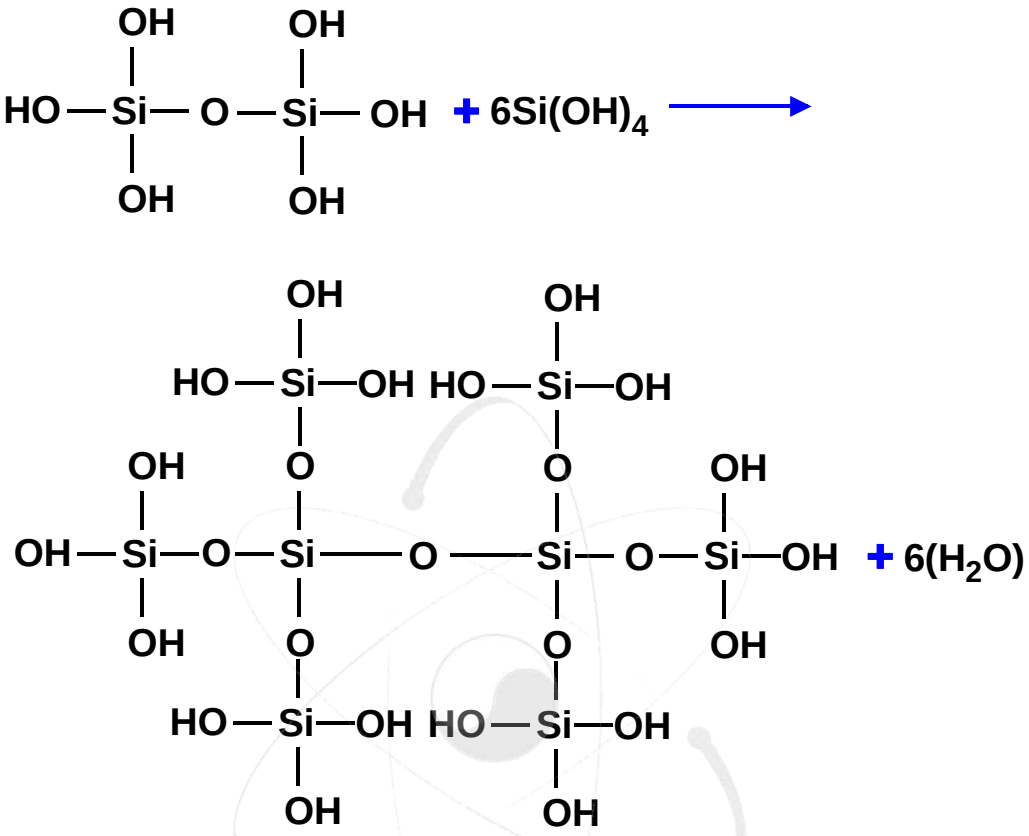


그림 2-11. $Si(OH)_4$의 다중축합반응.

또한, ORMOSIL(ORganically MOdified SILicate) 겔은 organic-inorganic silica glass로 상온에서 sol-gel 법에 의해서 제조할 수 있다. 표 2-2은 몇가지 ormosil을 이용한 고체색소의 예를 보여준다.

표 1. ORMOSIL 종류

ORMOSIL gel host	Molar ratio	Dopant dye	Conc.(M)
TMOS	1	C153	$2.0x10^{-3}$
MMA	1		
TMSPM	1		
0.04N HCl	3.5		
TMOS	1	R6G	$5.0x10^{-4}$
EG	1		
GPTMS	1		
0.04N HCl	4.5		
TMOS	3	R6G	$5.0x10^{-4}$
MMA	1.5		
EG	3		
TMSPM	1.5		
GPTMS	3		
0.04N HCl	16		

TMOS = tetramethoxysilane, $Si(OCH_3)_4$

MMA =methyl methacrylate, $CH_2CCH_3COOCH_3$

EG = ethylene glycol, $HOCH_2CH_2OH$

TMSPM = 3-(trimethoxysilyl) propyl methacrylate, $Si(OCH_3)_3(CH_2)_3OCOCCH_2CH_3$

GPTMS = 3-glycidoxypropyl trimethoxysilane, $Si(OCH_3)_3(CH_2)_3OCH_2CHOCH_2$

본 연구에서는 표면 품질 향상을 위하여 졸겔법을 이용한 무기고체색소쎌 제조에 이용된 화학물은 각각 TMOS, distilled water, methanol, HCL, Glycerol로 각각 몰비가 1 : 20 : 14 : 0.002 : 3으로 부피비는 각각 22 : 34 : 81 : x : 7.2 이다. 여기서 x는 미량임을 나타낸다. 제조 순서는 그림 2-12와 같으며 편의상 실험에 사용했던 부피 등을 토대로 설명한다.

우선 TMOS 22ml를 준비한 후 이 용액에 Methanol 81ml 첨가한다. 만일

TEOS를 이용할 경우에는 Metanol 대신 Ethanol을 이용하여야 하며 몰농도 비율을 맞추어 준다. 염산의 몰농도를 맞추기 위하여 증류수 360ml에 1M농도의 HCl 0.3ml를 첨가한 용액 7.2ml 를 첨가시킨다. 여기에 distilled water 27ml 첨가시킨다. 염산은 일종의 촉매제 역할을 하며 용액의 산도를 유지하는 역할도 수행한다. 이 용액에 Glycerol 7.2ml 를 첨가한 후에 glycerol은 꿀처럼 점성이 아주 높아 밑에 가라앉게 되므로 밑에 glycerol 잔유물이 없어질때까지 초음파 bath에서 10-15분동안 흔들어 준다. Glycerol은 formamide를 대신 넣어도 되는데 고굴절 용액으로서 샘플이 완성된 이후 광산란(scattering)을 줄여주어 고품질의 광특성을 유지할 수 있도록 해준다. 이를 위하여 TMOS (또는 TEOS)보다 3배의 몰농도가 되도록 하였다. 이제, pH를 측정하여 약 8정도인지 확인한다. 그리고 별도로 중탕 장치를 준비하여 온도가 약 70도 정도가 되도록 유지시킨다. 이는 알콜을 증발시키기 위해서이므로 온도는 알콜의 끓는점보다 높아야 한다. 지금까지 준비된 용액을 중탕장치에 넣은후에 magnetic stirrer를 이용하여 저어준다. 이때 중탕시간은 MeOH의 경우 약 40 분, EtOH의 경우에는 약 60 분이다. 이렇게하여 알콜이 모두 날아가면 시료는 약 63mL가 남게 되며 50ml 정도까지 남아도 문제는 없다.

그러나 이때 시간이 너무 경과되면 poly condensation이 일어나게 되므로 30여분이 흐른 뒤에는 잘 살펴야 한다. poly condensation이 일어나기 시작하면 밑의 magnetic stirrer가 속도가 줄며 멈추게 되고 순식간에 아래로부터 condensation이 발생하여 gelling이 완료되어 버리게 된다. 바로 이 과정이 가장 실패할 확률이 높은 단계이다.

이제 시료를 담을 용기를 별도로 준비하며 이때 용기내에 물은 전혀 없어야 한다.이때의 시료는 약간 끈적끈적한 상태이며 너무 viscous해지기 전에 준비된 색소용액을 첨가한 후에 oven에 넣는다. oven의 온도는 40℃이상 52℃이하가 되도록 한다. 52℃이상에서는 cracking이 일어난다. 시료를 담는 용기는 윗부분에 수분이 증발할수 있도록 적당한 크기와 개수의 구멍을 뚫어놓아야 하며 초기에 oven에 넣을때는 parafilm으로 구멍을 밀봉하여 2-3일 경과 하도록 한다. 그렇지 않을 경우에 급작스런 수분의 증발로 crack이 발생하여 시료제조가 실패하게 된다. oven에 들어있는 밀봉된 샘플 용기를 보면 샘플주위에 투명한 액체가 생겨 있는 것을 볼 수 있는데 이것은 반응과정에 발생되는 물이다.

그 이후에 parafilm을 제거하고 oven속에 넣어둔 후 2주정도 경과하면 완전한 졸겔 샘플이 완성된다. 완성되고 나면 부피가 현저히 줄어들어 있음을 알 수 있

다. 향후 레이저 발진 및 표면상태 개선을 위하여 polishing이 필요할 경우에 물의 사용은 금물이며 Thorlabs 사의 fiber polishing용 lapping films (LFP5P, LFP3P, LFP1P, LFP03P)을 순차적으로 사용하여 polishing 하여야 한다. (http://www.thorlabs.com 참조) 이러한 과정은 최근에 Bryans 등이 보고한 제조방법보다 훨씬 간단하며 시료 제조 기간도 짧다.[28]

사진 2-6은 위 과정을 통하여 제조된 졸겔 고체색소쎌의 모습으로 제작후 oven에 들어가지 전의 모습이다. 사진 2-7은 oven에서 condensation이 완료된 고체색소쎌의 모습이다.

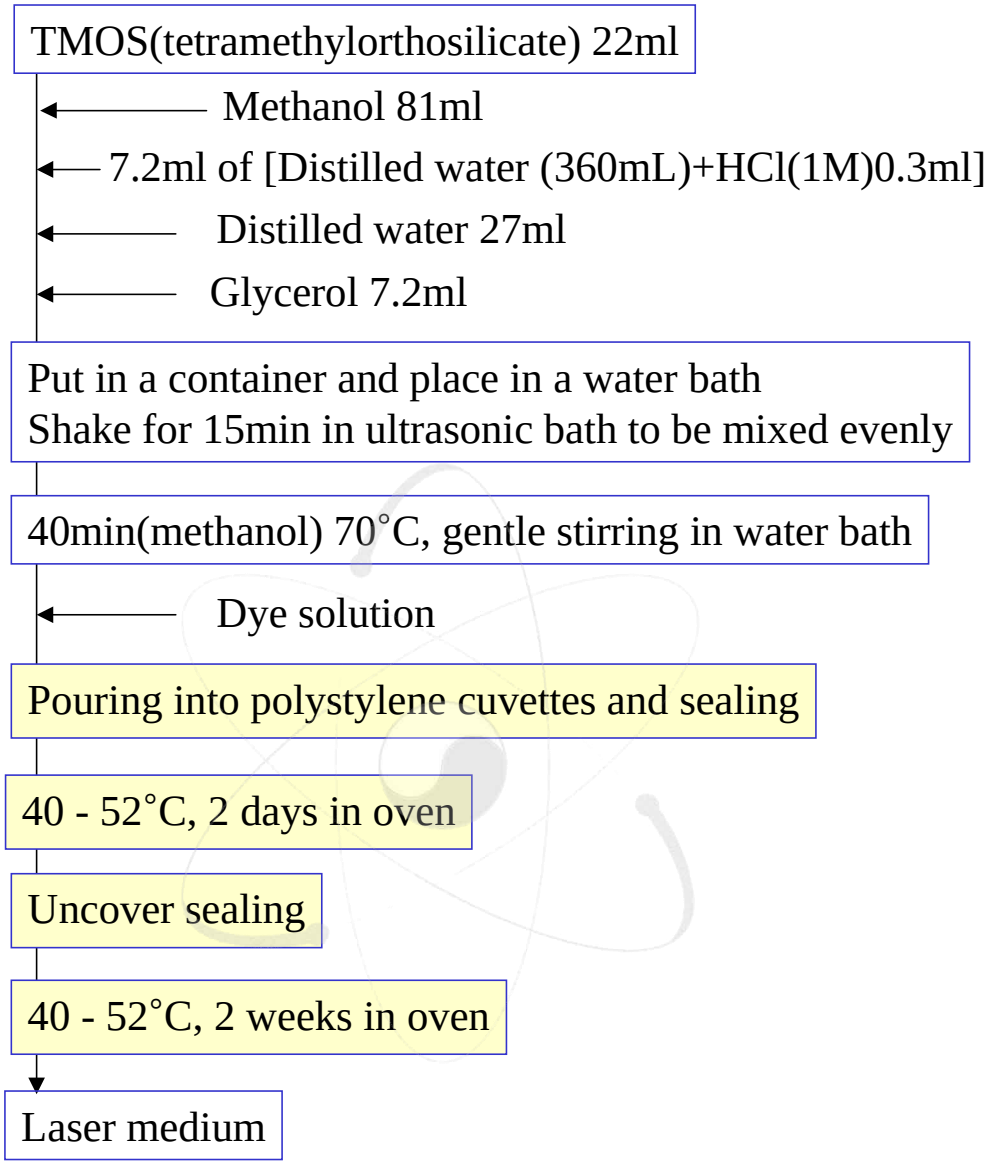


그림 2-12 TMOS를 이용한 sol-gel 고체색소쎌 제작과정

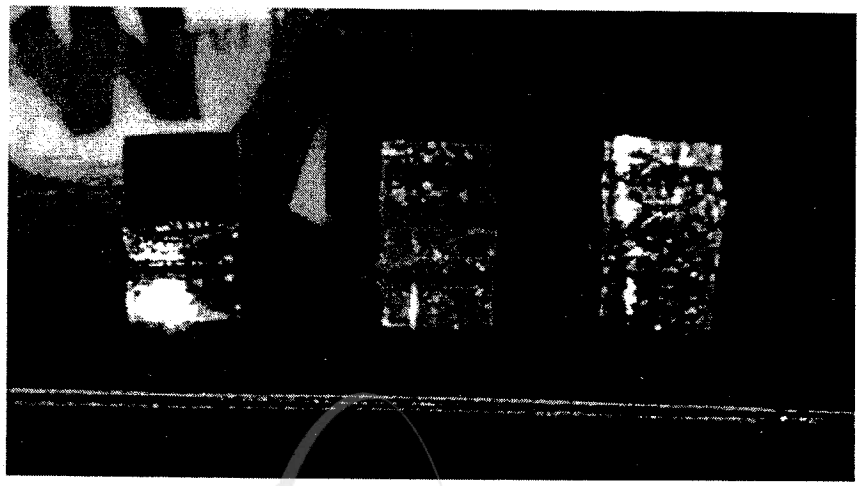


사진 2-6 제조된 졸겔 샘플 (완전히 경화되지 않은 상태임, RhB doped-, Rh6G doped-, Pure sol-gel)

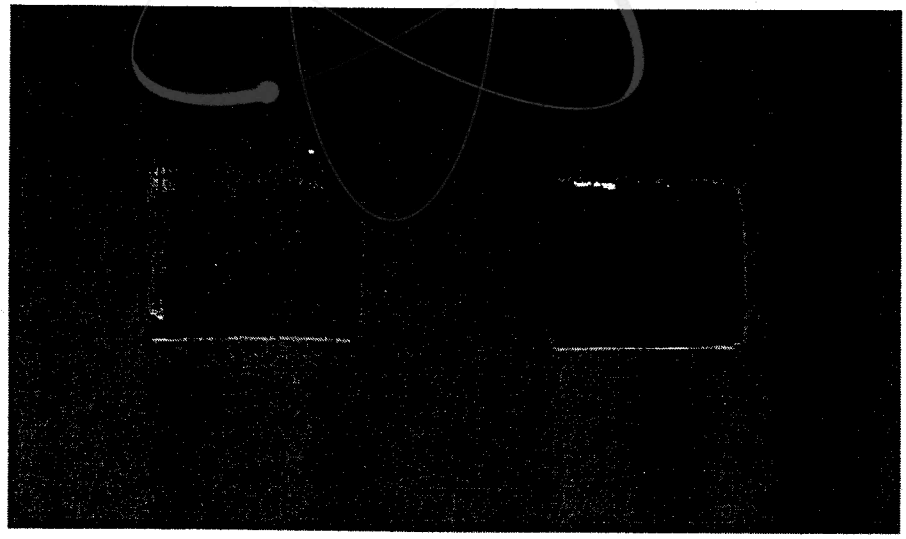


그림 2-7 제조가 완료된 sol-gel 고체색소셀 (pure sol-gel , RhB doped sol-gel)

제 3 절 고체 색소쎌 광특성조사

고체색소쎌을 레이저 이득매질로 사용하기 위해서는 이득매질을 통과한 후에도 광축이 잘 유지되어야하며 쎌 내부의 산란에 의해 손실이 발생되지 않아야 한다. 결국 고체색소쎌의 표면 편평도가 우수하여야 하며 고체상태색소의 내부에 기포 등의 불순물이 없어야한다. 본 연구에서는 플라스틱 고체색소쎌의 투명성을 조사하기 위하여 파장 612nm의 TEM_{00} 모드, 빔 퍼짐도 1.04mrad을 갖는 He-Ne 레이저(Research Electro-Optics, Inc. Model : LHOR-0300)를 사용하였다. 그림 2-13을 보면, He-Ne 레이저 빔을 초점거리가 200mm인 렌즈를 이용하여 고체상태색소에 집속하였고, 이때 렌즈로 입사되는 레이저빔의 직경은 약 5mm이었다. 그림과 같이 고체상태색소 시편에 투과된 빔을 측정하였는데 색소 시편을 등간격 거리 50mm마다 이동시킬 때에 각각의 레이저 빔의 직경이 다르게 하였다. 제작된 고체색소쎌의 특성을 비교분석하기 위하여 상용화된 고체색소쎌을 구입하여 결과를 분석하였다. 그리고 제작된 시편은 Rhodamine 6G (Exiton)의 색소를 첨가하여 제작되었다. 자체제작된 고체 색소셀은 앞서 언급된 방법으로 제작되었고 색소가 균일하게 녹아있도록 하기 위해서 에탄올에 색소를 녹이고 이를 MMA와 혼합된 것이다. 상용화된 고체상태색소의 경우에 대한 측정한 결과, 그림 2-14의 (a)에서 (e)는 거리 L1에서 L5까지 위치를 이동하면서 투과된 레이저 빔을 나타낸 것이다. 그림 2-14의 (e)는 렌즈의 초점거리에서 색소 시편을 공간적으로 상하좌우로 약 수 mm이동하여 여러 다른 위치에서도 균질한 지를 측정한 것이다. 초점거리에서 He-Ne의 레이저 빔의 직경이 약 수백㎛이내가 되므로 고체상태색소 내부의 미세한 입자에 의한 산란 광들이 측정되었다. 마찬가지로 제작된 시편의 경우에 대한 결과도 그림 2-14의 (f)에서 (k)까지 측정되었다. 이 시편의 제작에서 색소분말이 잘 녹지 않아 일부분에서 균질성이 제대로 유지하지 못하였으나 분말의 완전히 녹은 부분에서는 상용화 고체상태색소에서의 결과와 비슷한 경향을 주고 있다. 물론 산란광의 빔 형태는 좋지 않았다. 간섭계(Zygo Corp.)를 이용한 두 시편의 편평도는 간섭무늬 사이의 간격이 상용화 제품의 경우 등간격으로 측정되었으나, 제작된 고체 색소셀은 간섭무늬상의 약간의 왜곡이 있었다. 이는 자체제작된 고체색소쎌의 경우 제작한 후에 아무런 광학적 연마를 하지 않고 측정하였기 때문이다. 레이저 이득매질이 두께가 균일하지 못하고 내부에 이물질 등이 있다면, 공진기내에서 round-trip하는 광 경로 진행을 바꾸거나 광 산란을 일으키므로 고체상태 색소에서 투명성

과 편평도는 레이저 발진특성에 영향을 미치는 중요한 요인이 된다. 또한 출력된 레이저의 횡모드의 품질에도 영향을 주게된다.

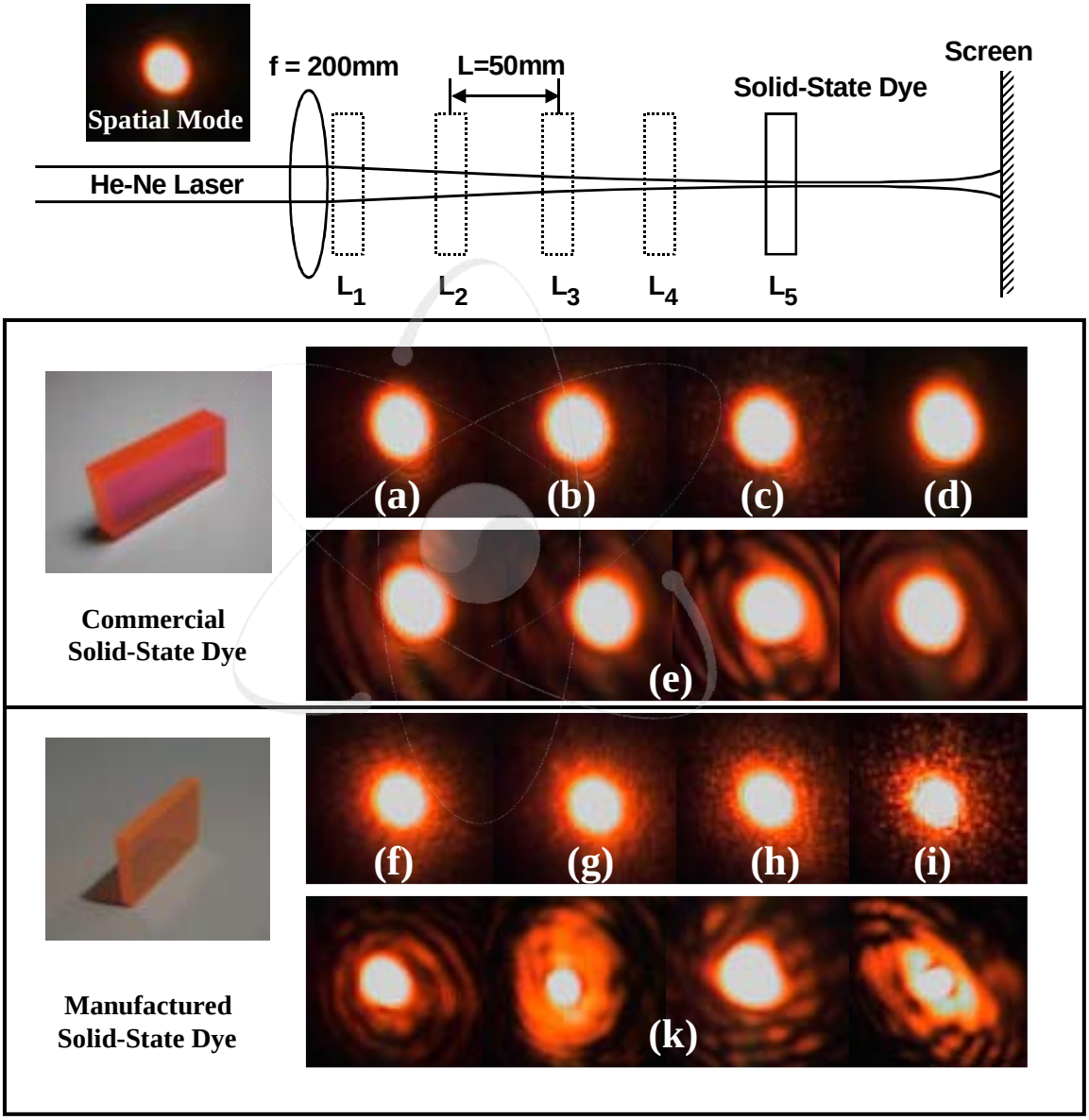


그림 2-14. 고체상태 색소 셀을 투과한 He-Ne 레이저 광의 공간분포.

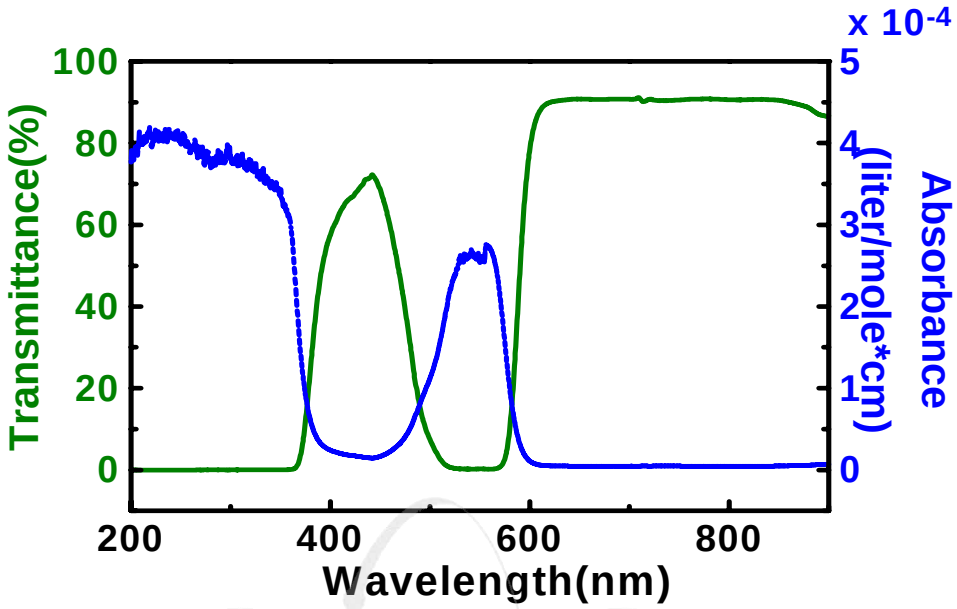


그림 2-15 고체색소셀의 투과도 및 흡수도 측정결과

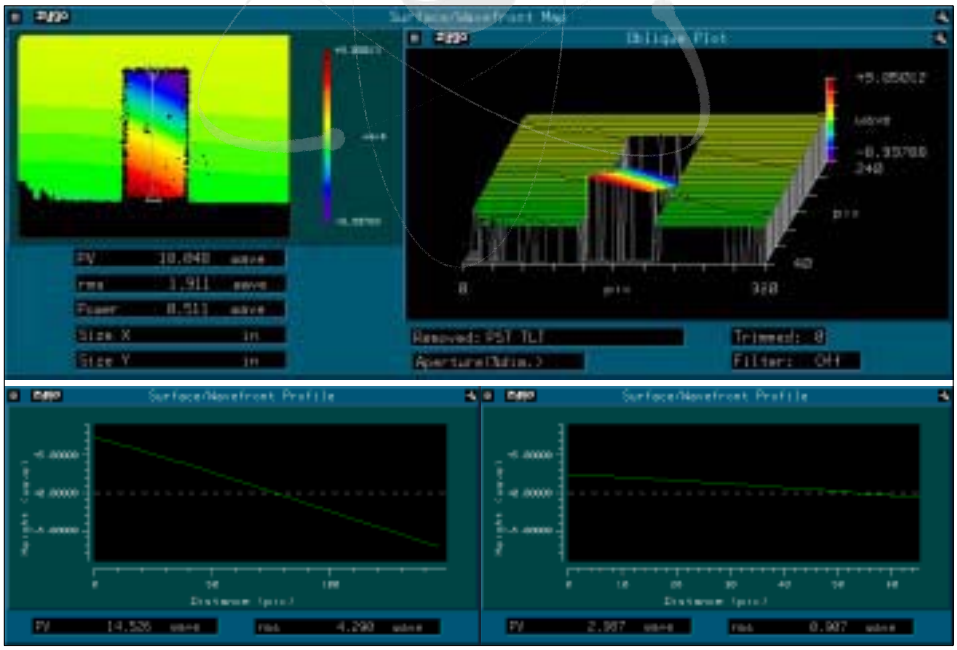


그림 2-16. Zygo를 이용한 간섭계 사진.

정상파형 공진기의 경우 출력의 기울기 효율은 10.8% 였으며 GIM형 공진기의 경우 기울기 효율은 1.2%였다. 또한 고체색소레이저 출력펄스폭은 3ns였다. 아울러 고체색소의 수명을 측정한 결과 3mJ/pulse(5 - 9 J/cm^2)의 펌프에너지에서 다음과 같은 출력감소를 얻었다

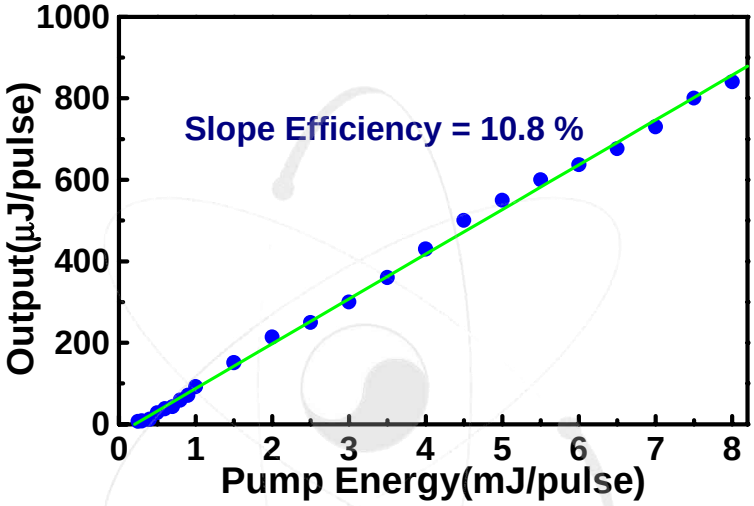


그림 2-17 정상파 공진기에서의 고체색소 레이저의 출력효율

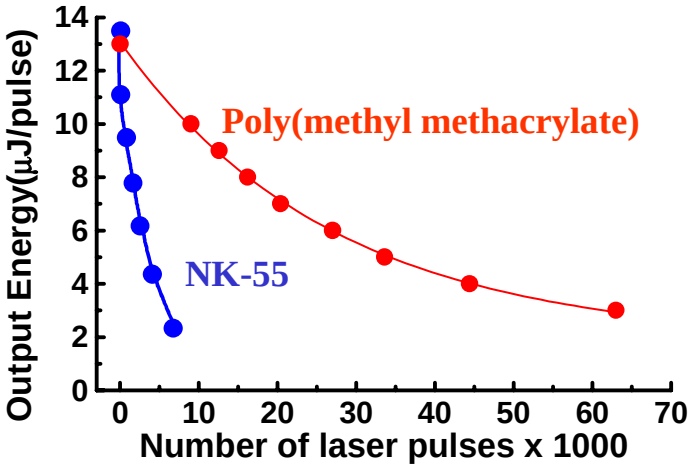


그림 2-18 정상파 공진기에서의 NK-55 및 PMMA 고체색소 레이저의 수명 측정결과

고체색소쎌의 가장 큰 단점은 입사되는 위의 실험 결과에서 보듯이 레이저 펌프광에 의한 photodegradation이다. 이러한 photodegradation의 원인은 여러 가지가 있지만 그 원인중의 하나는 singlet oxygen으로 알려져 있다. 그림 은 pyrromethene 567 색소의 에너지 준위도이다. 그림에서 알 수 있듯이 singlet oxygen의 에너지 준위는 색소의 3중항 상태(triplet state)와 거의 일치하므로 삼중항 상태에 의해서만이 생성가능함을 알 수 있다. 이러한 산소의 존재는 색소의 바닥준위와 산소의 여기 준위와의 상호작용과 색소의 여기준위와 산소의 바닥준위간의 상호작용을 일으키게 되어 photodegration을 발생시킨다. 이를 억제하기 위하여 고체색소 제조시에 산소를 제거할 수 있는 첨가제를 넣게 되는데 이에 따른 고체색소쎌의 광특성을 연구하였다.

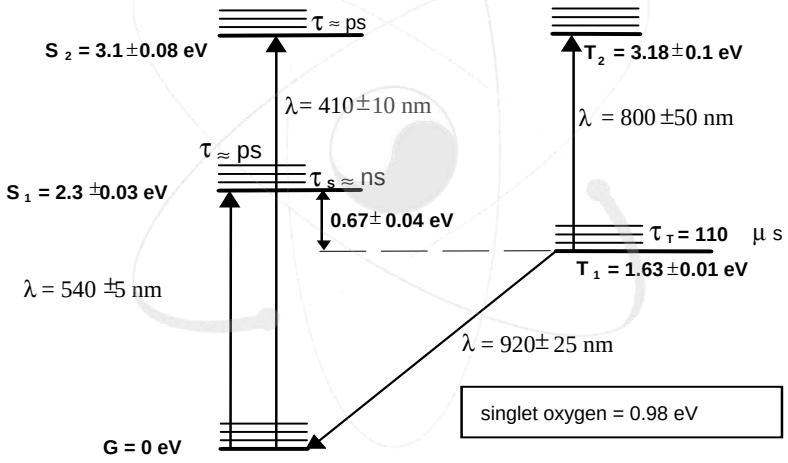


그림 2-19 Pyrromethene 567의 에너지 준위

광안정도(photostability)측정은 실험자마다 실험조건을 다르게하여 측정하는 경향이 있다. 본연구에서는 다음과 같은 정의하에서 실험을 수행하였다.

$$\text{Photostability(P.S)} = \frac{E(T_{1/2})10^{-6}}{\pi r^2 LC} \qquad (\text{GJ/mol})$$

여기서 E는 펄스당 에너지(mJ), $T_{1/2}$ 은 초기 출력이 반으로 떨어지기까지의 펄

스 수, r 은 빔의 반경(cm), L은 샘플의 길이(cm), C는 농도(mol/L)이다.
그림 은 광안정도를 측정하기 위한 실험 장치도이며 이때 레이저 공진기는 plane-plane 공진기이며 길이는 15mm이고 lens를 이용하여 레이저 빔의 직경을 2mm로 줄여서 공진기에 입사시켰다. 사진 은 광안정도 측정모습을 보여준다.

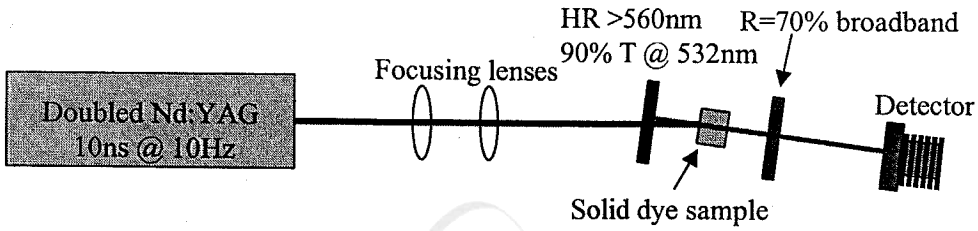


그림 2-20 고체색소셀의 광특성을 측정하기 위한 실험장치도

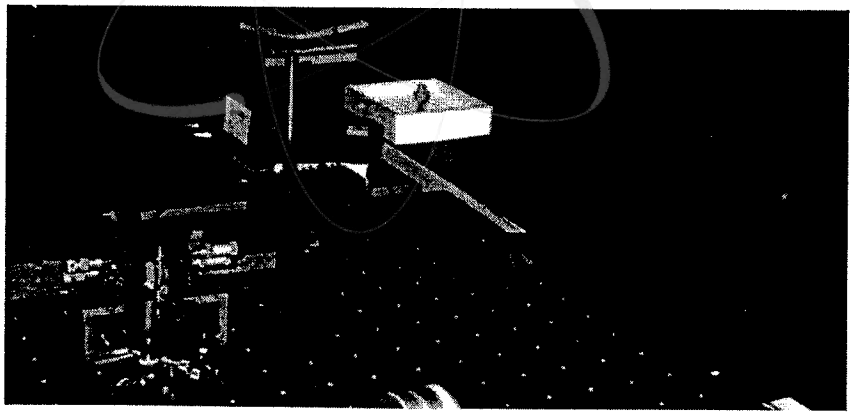


사진 2-8 고체색소를 이용한 레이저 광 안정도 실험장치
(우측에 발진된 레이저빔을 관측할 수 있다)

표 2-3은 PMMA에 첨가된 물질에 따른 광안정도 측정 결과이다. 실험 결과 첨가제를 넣음으로써 2배이상의 광안정도 향상을 확인하였으며 특히 Tinuvin을 첨가한 경우에 최대 3 배의 광안정도를 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

표 2-3 첨가제에 따른 PMMA 고체색소쎌의 광특성 변화

Additive	Relative conc. additive (additive/P567)	Relative efficiency (additive/P567)	Highest photostability (GJ/mol)	Increase in photostability (additive/P567)
None	0	1.00	20	1.00
COT	0.25	1.00	40	2.00
Dabco	0.2	0.95	45	2.25
Tinuvin 770	0.5	0.85	60	3.00
TMP	0.5	0.91	50	2.5
TPA	0.5	0.91	40	2.00

표 2-4는 졸겔법으로 제작된 pyrromethene 고체색소 쎌에 첨가제를 넣었을 경우의 광안정도의 변화를 측정한 결과로서 실험결과 Dabco를 첨가하였을 경우 약 5배의 광안정도를 얻을 수 있었다.

표 2-4 pyrromethene이 첨가된 sol-gel 고체색소쎌의 첨가제에 따른 광특성의 변화

Additive	Conc. of additive (1x10-4 M)	Efficiency (%)	Photostability (GJ/mol)	Increase in photostability
None	0	25	40	1.0
TPA	66.8	22	160	4.0
TMP	13.3	20	152	3.8
Tinuvin 770	33.4	20	165	4.1
Dabco	66.8	24	200	5.0

제 3 장 파장가변 고체색소 레이저 제작

제 1 절 다양한 파장가변 고체색소 레이저 공진기 제작 및 특성 연구

1. Littrow 형 파장가변 고체색소레이저 개발

본 연구에서는 다양한 형태의 파장가변 고체색소 레이저 공진기를 제작하여 그 특성을 조사하였다. 아래 사진은 1차년도에 제작된 Littrow 형 파장가변 레이저 의 발진 모습을 보여준다. Littrow 형은 반사거울 대신 회절격자를 사용하며 1차회절된 빛을 다시 feedback 시킴으로써 파장을 선택하여 레이저 발진을 일으키게 된다.

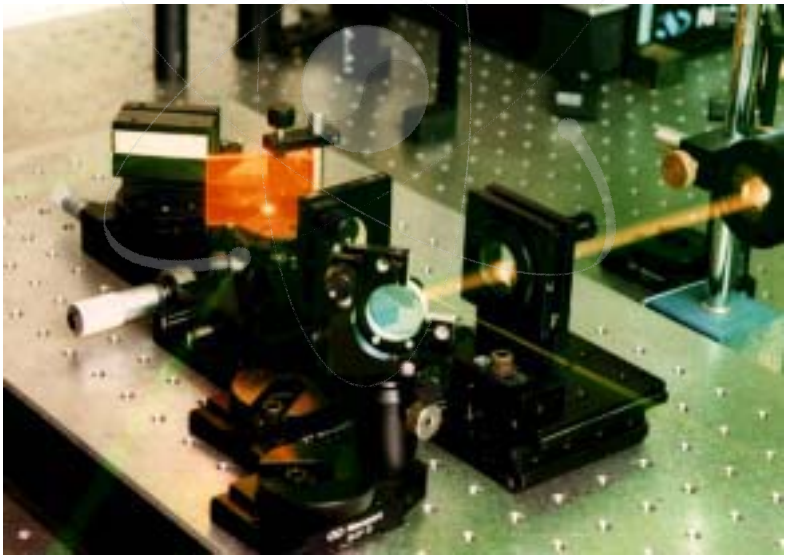


사진 3-1 : 제작된 Littrow형 파장가변 레이저의 발진모습

그림 3-1 과 3-2는 각각 Rh6G 와 RhB를 첨가한 PMMA 고체색소 쎌을 이용한 파장가변 실험 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 545nm-625nm 영역에서 파장을 마음대로 선택할 수 있음을 보여준다.

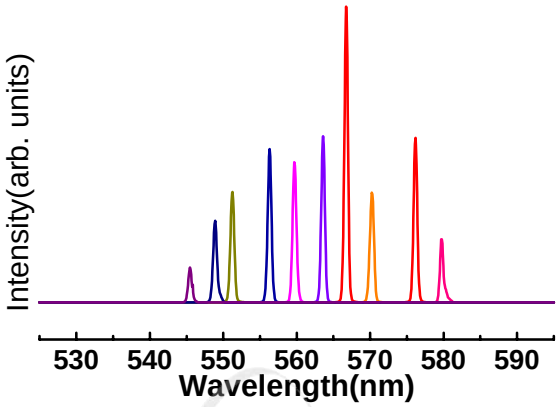


그림 3-1 PMMA에 Rhodamine 6G 및 B가 첨가된 고체색소 레이저의 발진 영역

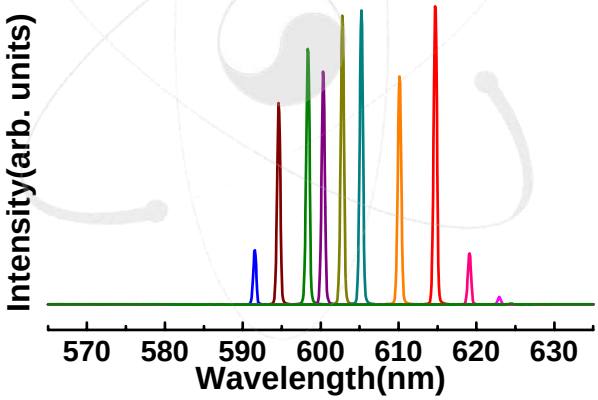


그림 3-2. PMMA에 Rhodamine 6G 및 B가 첨가된 고체색소 레이저의 발진 영역

2. 회전 병진형 고체색소레이저 제작

한편 고체색소를 원판형으로 제작하여 스텝모터에 의하여 병진운동과 회전운동이 동시에 이루어질 수 있도록 장치를 고안하였다. 고체색소의 가장 큰 단점은 앞장에서 설명한 바와 같이 계속적인 펌프광에 노출되는 색소 분자의 광학적

성능저하(photodegradation)이다. 이러한 광파괴 메카니즘의 원인은 첫째로는 레이저 발진이 일어나는 첫 번째 여기준위에 있는 색소분자의 광화학적 반응이다. 이 광화학적 반응은 산소, 자유기(free radicals), 반응성 탄화수소, 불순물등 주위를 둘러싼 물질들과 발생하는 반응이다. 또다른 가능성은 장수명의 삼중항상태나 다광자 흡수로 인한 색소분자의 광화학반응으로 반응성이 더욱 증가된 여기상태를 만들거나 분자결합니 끊어지는 결과를 초래한다. 색소분자의 열적, 공학적 안정성에 영향을 미치는 또다른 요인들은 첨두, 또는 평균 펌프출력(fluence)와 여기 파장등이다. 이로한 성능저하는 레이저 수명의 단축으로 이어지는데 이를 개선하는 방법이 고체색소쎌을 회전 또는 이동시켜줌으로써 펌프되는 색소를 계속해서 바꾸어주는 것이다. 이렇게 함으로써 펌프광에 의해 같은 지점을 연속적으로 펌프됨에 따른 출력저하를 방지하고 장시간 동작이 가능하도록 하였으며 아울러 이득매질을 골고루 사용할 수 있도록 하였다.

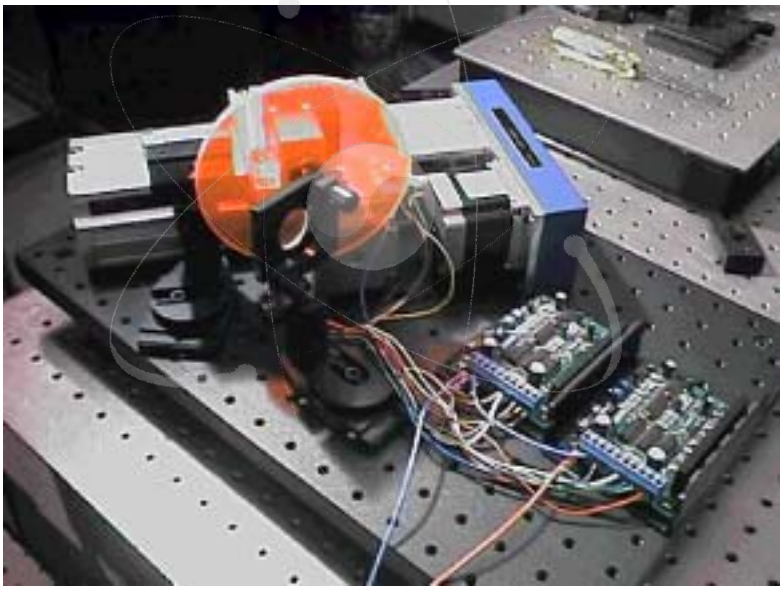


사진 3-2 병진운동과 회전운동이 가능한 장시간 동작용 고체색소레이저

3. 초소형 단일종모드 파장가변 고체색소레이저 제작

또한 본연구에서는 공진기 길이가 6cm인 초소형 고체색소 레이저 공진기를 제작하여 레이저 시스템의 소형화 경량화를 달성하였다. 사진 3-3은 GIM형 고체색소 레이저의 모습과 출력의 선폭측정을 위한 에탈론 fringe 패턴을 보여주며

측정 결과 목표치보다 우수한 1.5GHz이내 임을 알 수 있었다.

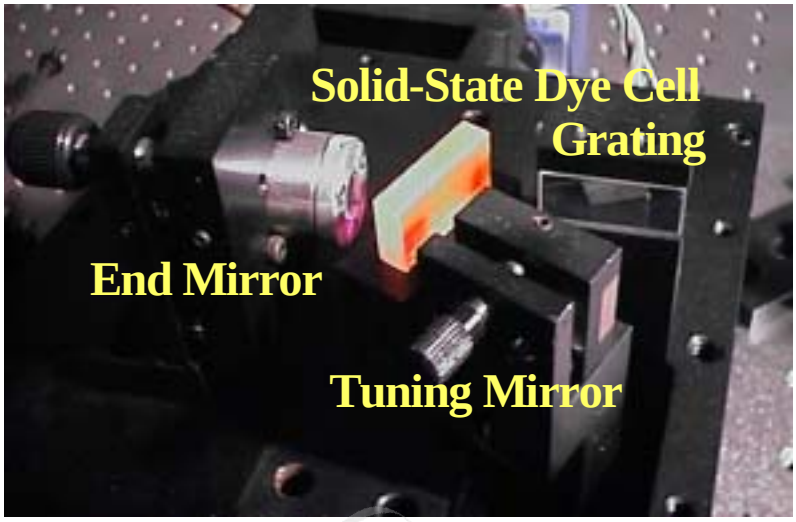


사진 3-3 초소형 GIM형 고체색소레이저 공진기의 발진모습

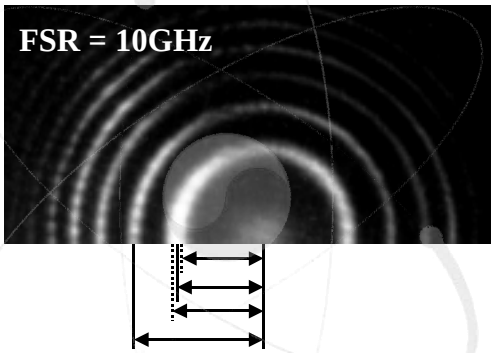


사진 3-4 GIM형 고체색소 레이저의 출력의 선폭측정을 위한 에탈론 fringe 패턴

4. self-seeding 형 파자가변 고체색소레이저 공진기 제작

자기파종(self-seeding)형 공진기는 하나의 공진기 내에 주공진기와 종공진기가 결합되어 잇는 결합공진기이다. 회절격자로부터 1차회절된 빛을 공진시키는 GIM형 공진기는 주공진기 역할을 수행하며 0차회절된 빛을 공진시키는 정상파 공진기는 종공진기의 역할을 수행한다. 주 공진기는 매우 좁은 선폭의 레이저 광을 발생시킬 수 있으며 파장조절이 가능하다. 종공진기는 넓은 선폭의 광을 발생시키게 되는데 주공진기에서 입사된 빛을 증폭시키는 역할을 하며 자기 파종이 이루어졌을 경우 좁은 선폭으로 발진되게 된다. 사진 3-5 는 제작된 자기

파종형 고체소레이저 공진기의 발진 모습이며 그림 3-3 은 종공진기의 발진 스펙트럼과 자기 파종이 일어났을 때의 출력 스펙트럼의 측정 결과이다.

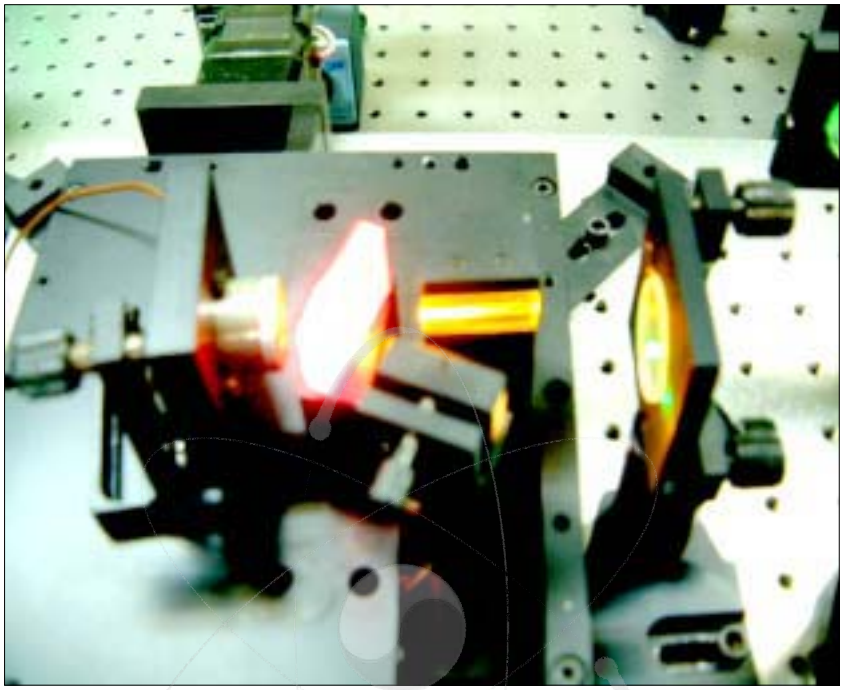


사진 3-5 Self-Seeding형 공진기의 레이저 발진시 모습

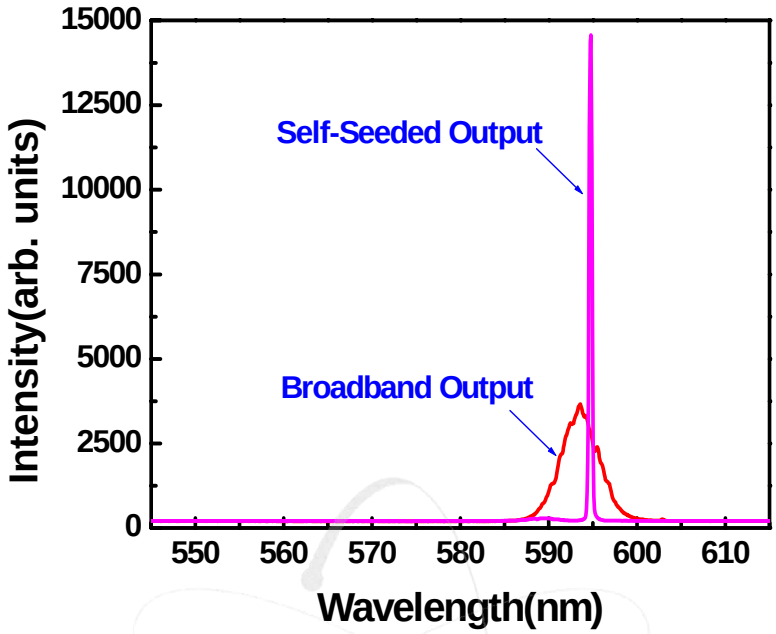


그림 3-3 Self-Seeding 레이저 출력과 정상파형 공진기에서의 레이저 출력 스펙트럼 비교.

5. 두파장 발진 파장가변 고체색소 레이저 공진기 개발

두파장 발진 파장가변 고체색소레이저 공진기는 두개의 회절격자, 파장가변거울, 그리고 부분반사 출력경을 색소 쎌을 기준으로 대칭적으로 구성된 공진기 구조를 갖으며 이것은 self-seeding 공진기가 두개 결합된 것으로 이해할 수 있다. 두 개의 부분반사거울는 wide-band (560 nm ~ 650 nm)코팅되어 있고 반사율이 30%이다. 파장λ_1의 레이저 광이 공진하는 self-seeding 공진기로 고려하면, 부분반사거울 1는 파장λ_1에 대해서는 후면경으로서 역할을 하며 부분반사거울 2는 파장λ_1을 되먹임시키는 거울로써 역할을 한다. 이와 대칭적으로 발진 파장 λ_2에 대하여 부분반사거울 1은 되먹임 거울로, 부분반사거울 2는 후면경으로써의 역할을 한다. 회절격자1과 회절격자 2에 grazing 으로 입사하는 각θ_1과 θ_2는 거의 88°로 같도록하여 공진시킨다. 따라서, 부분반사거울 1,과 2에서 두 개의 파장 λ_1과 λ_2를 동시에 발진시키게 된다. 그림 은 제작된 2파장 발진 고체색소레이저의 발진모습이며 그림 은 출력스펙트럼을 측정한 데이터이다.

사진 3-6 파장 발진 고체색소레이저의 발진 모습

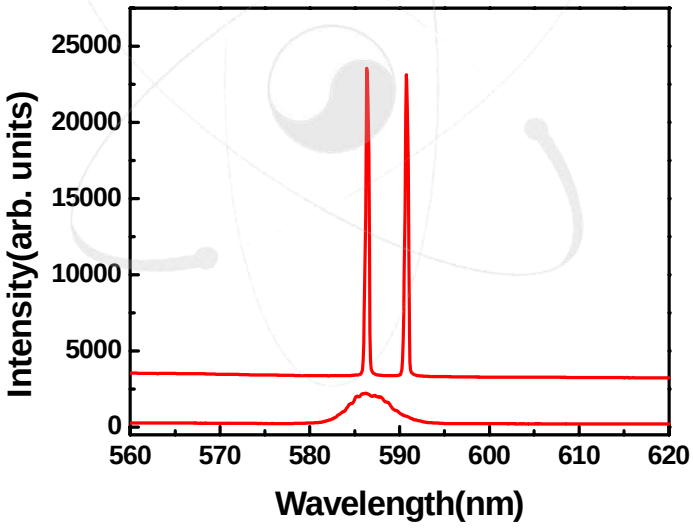


그림 3-4 발진된 2파장 스펙트럼 아래는 파장조정거울을 가렸을 때의 스펙트럼임

6. Three color 레이저 발진기 제작

정상파형 공진기는 고분해능의 SLM 공진기들과는 높은 변환효율을 준다. 이런 점을 이용하여 레이저 색소의 종류에 따라서 발진되는 파장영역이 다른 고체 색소 쎌을 제작하고 이들을 정상파형 공진기에 이득매질로 사용하고 하나의 레이저 시스템에 3개의 발진기와 각각에 대한 1단 증폭기를 구성함으로써 고체 색소 레이저의 출력 향상을 꾀하였다. 사진 3-7은 제작된 3파장 발진 고체색소레이저 시스템의 발진 모습이며 그림 3-5는 출력스펙트럼을 보여준다. 이 3파장 레이저는 디스플레이 광원이나 분광용 레이저 시스템으로의 응용가능성이 있다.

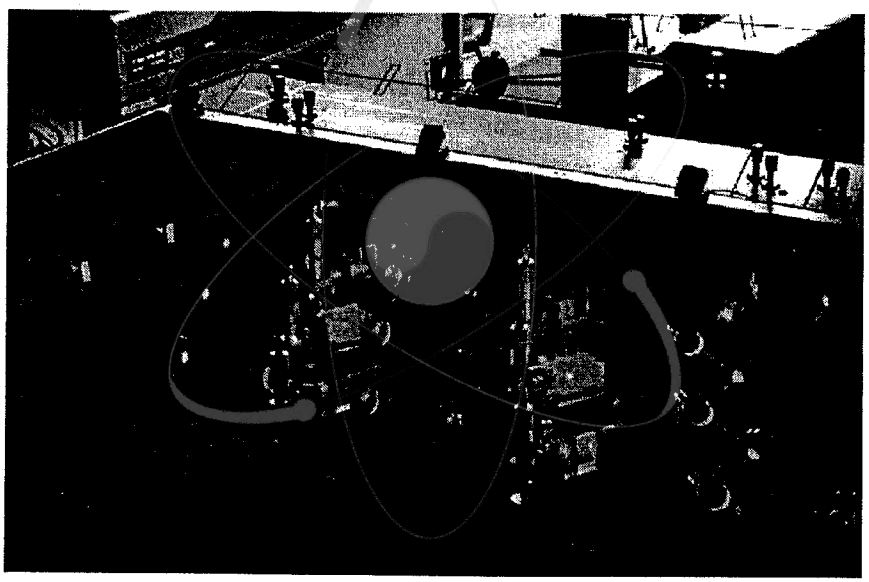


사진 3-7 3파장 고체색소 레이저 시스템의 발진 모습

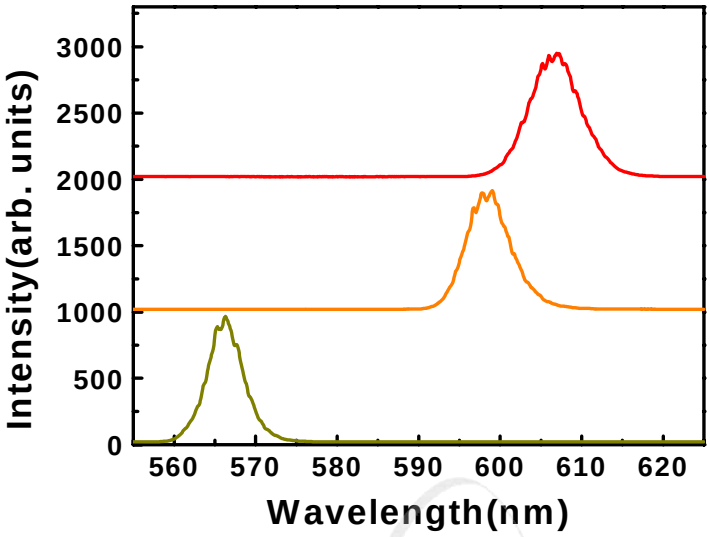


그림 3-5 제작된 3파장 레이저의 발진 모습과 출력 스펙트럼

7. 분포궤환형(DFDL) 고체 레이저

분포궤환형 레이저는 레이저 이득매질내에 이득격자(gain grating)을 형성시켜 궤환 거울없이도 레이저 발진이 이루어지도록 고안된 레이저이다. 펌프광을 둘로 나누어 일정한 각도로 고체색소쎌에 입사시키면 두 펌프광의 간섭에 의하여 고체색소쎌내에 주기적인 이득격자를 형성시킬 수 있다. 고체색소에서 방출된 빛은 이득격자를 통하여 다중반사되며 격자의 주기와 일치하는 파장의 빛만이 보강간섭을 일으키며 증폭되게 된다. 여기서 두 입사광의 사이각을 변화시키면 회절격자의 주기가 변하게 되어 발진되는 레이저 광의 파장도 같이 변하게 된다. 이렇게 함으로써 반사거울이 없는 레이저를 만들 수 있다. 사진 3-8 은 분포궤환 고체색소 레이저의 발진모습을 보여준다. 그림 3-6 은 분포궤환 레이저 의 레이저 출력 스펙트럼을 보여주며 좁은 선폭으로 발진됨을 알수 있다.

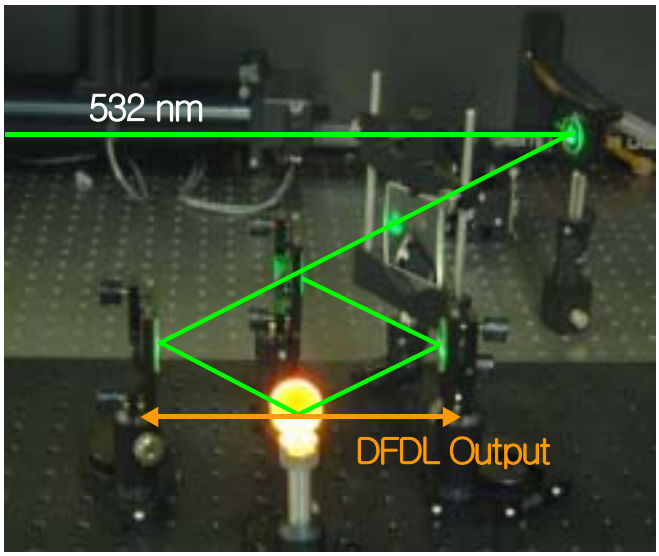


사진 3-8 분포궤환 레이저의 발진 모습

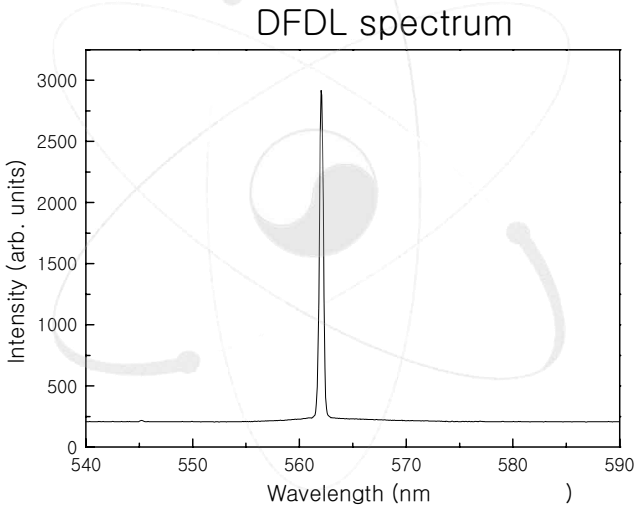


그림 3-6 DFDL 레이저 출력 스펙트럼

제 2 절 파장가변 구동장치 제작

파장가변 레이저의 특성을 향상시키기 위하여 자기파종형 2파장 (self-seeded dual- wavelength) 고체색소레이저에 파장가변 구동장치를 제작 설치 하였다. 사진 3-9는 제작된 파장가변 구동장치의 controller의 모습이다.

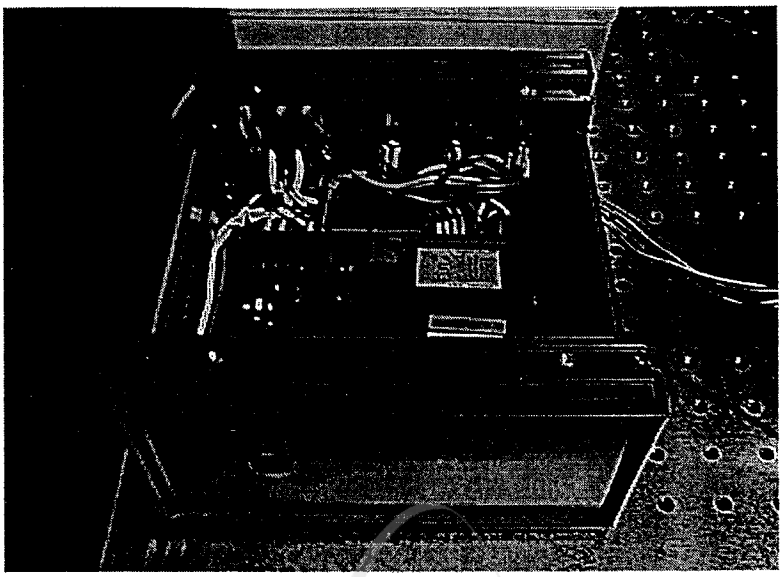


사진 3-9 제작된 파장가변 구동장치의 모습

구동장치에 사용된 DCmotor는 Maxon사 제품이며 Stepmotor는 Oriental motor의 Vexta, PX245M-02A였으며 상수, 스텝당 회전각, 정격전압 및 전류는 각각 2 phase, 0.9deg/step, DC6V, 0.6A이다. 그리고 Driver는 역시 Oriental motor의 제품으로 모델명은 SPD4208A이다. 사진 3-10은 파장가변 구동장치가 부착된 2파장 고체색소레이저의 발진모습을 보여주고 있다.

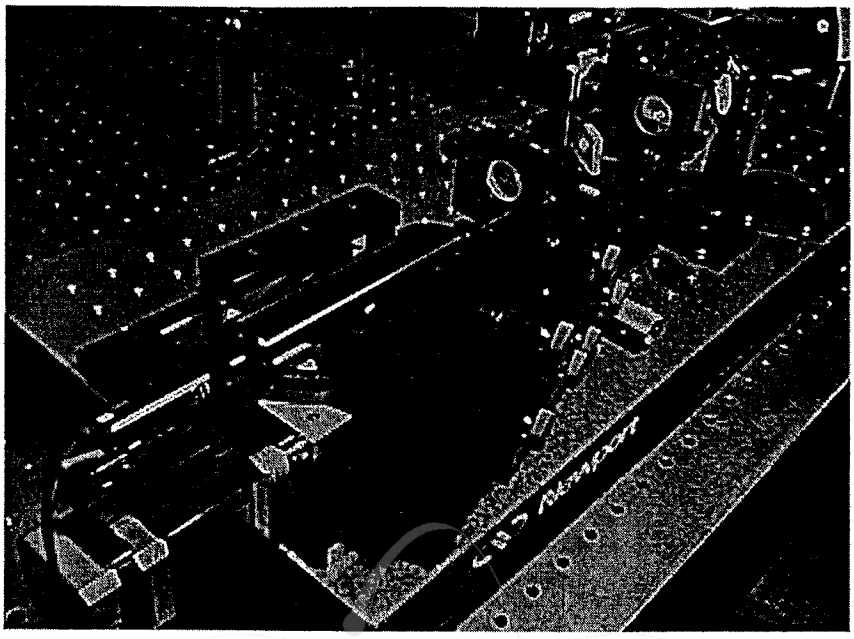


사진 3-10 파장가변 구동장치가 부착된 2파장 고체색소레이저의 발진모습

제 4 장 결론 및 토의

현재 선진국에서는 고체색소레이저의 상용화 연구가 진행되고 있는데 여기에는 다음과 같은 상용화가 타당한 요인들이 있다. 첫째로는 고체색소레이저는 저렴한 비용으로 바로 가시광선의 레이저광을 얻을 수 있다는 점이다. 다른 레이저 이득매질의 경우 레이저 발진에 적합할 정도의 광학적인 표면 품질을 얻기 위해서는 고비용이 소요되며 또한 일차적으로 적외선의 레이저 광을 얻은 후에 비선형 광학적인 방법을 이용하여 가시광을 얻게 되지만 고체색소의 경우에 발진선폭 1 GHz이내의 좁은선폭의 레이저 광을 어렵지 않게 얻을 수 있다. 두 번째로는 비록 고체색소쎌이 중합체로 구성되어 사용함에 따라 성능이 저하되는 단점이 있지만, 그 품질저하가 점진적으로 일어나므로 레이저 발진 위치를 연속적으로 바꾸어 줌으로써 하나의 이득매질에서 다른영역을 계속해서 사용할 수 있으므로 이러한 단점을 극복할 수 있다는 점이다. 세 번째로 이러한 레이저 매질을 공학적 단계로의 전이가 가능하게 해줄 수 있는 만큼 색소레이저 공진기, 증폭기 및 시스템 등에 대한 충분한 지식을 이미 확보하고 있으므로 고체색소레이저의 실용화가 가능하다는 점이다.

또한 고체색소는 광메모리 소자 등의 응용분야를 가지고 있으므로 국내에서도 고체색소를 이용한 연구에 관심을 가져볼만 하다고 생각되며 앞으로 레이저 수명 향상연구가 성공적으로 진행될 경우 의료용, 환경감시용, 학술용 등의 광원으로 이용이 될 수 있을 것이다.

제 5 장 참고문헌

[1]. B. H. Soffer and B. B. McFarland, "Continuously tunable narrow-band organic dye lasers", Appl. Phys. Lett. **10**, 266 (1967).

[2]. O. G. Peterson and B. B. Snavely, "Stimulated emission from flashlamp-excited organic dyes in polymethyl methacrylate", Appl. Phys. Lett. **12**, 238 (1968).

[3]. E. J. A. Pope, M. Asami, and J. D. Mackenzie, "Transparent silica gel-PMMA composites", J. Mater. Res. **4**, 1018-1026(1989).

[4]. Edward T. Knobbe, Bruce Dunn, Peter D. Fuqua, and Fumito Nishida, "Laser behavior and photostability characteristics of organic dye doped silicate gel materials", Appl. Opt. **29**, 2729-2733 (1990).

[5]. K. M. Dyumaev, A. A. Manenkov, A. P. Maslyukov, G. A. Matyushin, V. S. Nechitalio, and A. M. Prokhorov, "Dyes in modified polymers: problems of photostability and conversion efficiency at high intensities", J. Opt. Soc. Am. **B9**, 143-151 (1992).

[6]. D. Lo, J. E. Parris, J. L. Lawless, "Laser and fluorescence properties of dye-doped sol-gel silica from 400nm to 800nm", Appl. Phys. **B56**, 385-390 (1993).

[7]. M. L. Ferrer, A. U. Acuna, F. Amat-Guerri, A. Costela, J. M. Figuera, F. Florido, and R. Sastre, "Proton-transfer lasers from solid polymetric chains with covalently bound 2-(2′-hydroxyphenyl)benzimidazole groups", Appl. Opt. **33**, 2266-2272 (1994).

[8]. A. Maslyukov, S. Sokolov, M. Kaivola, K. Nyholm, and S. Popov, " Solid-state dye laser with modified poly(methyl methacrylate)-doped active elements", Appl. Opt. **34**, 1516-1518 (1995).

[9]. A. Tagaya, Y. Koike, T. Kinoshita, E. Nihei, T. Yamamoto, and K. Sasaki, "Polymer optical fiber amplifier", Appl. Phys. Lett. **63**, 883-884 (1993).

[10]. Akihiro Tagaya, Yasuhiro Koike, Eisuke Nihei, Shigehiro Tetamoto, Kazuhito Fujii, Tsuyoshi Yamamoto, and Keisuke Sasaki, "Basic performance of an organic dye-doped polymer optical fiber amplifier",

Appl. Opt, **34**, 988-992 (1995).

[11]. Akihito Tagaya, Shigehiro Teramoto, Eisuke Nihei, Keisuke Sasaki, and Yasuhiro Koike, "High-power and high-gain organic dye-doped polymer optical fiber amplifiers: novel techniques for preparation and spectral investigation", Appl. Opt. **36**, 572-578 (1997).

[12]. F. J. Duarte, "Solid-state multiple-prism grating dye laser oscillators", Appl. Opt. **33**, 3857-3860(1994).

[13]. F. J. Duarte, "Solid-state dispersive dye laser oscillator: very compact cavity", Opt. Commun. **117**, 480-484 (1995).

[14]. F. J. Duarte, A. Costela, I. Garcia-Moreno, R. Sastre, J. J. Ehrlich, T. S. Taylor, "Dispersive solid-state dye laser oscillators", Opt. Quantum Electron. **29**, 461-472 (1997).

[15]. F. J. Duarte, "Multiple-prism near-grazing-incidence grating solid-state dye laser oscillator", Opt. Laser Technol. **29**, 513-516 (1997).

[16]. F. J. Duarte, T. S. Taylor, A. Costela, I. Garcia-Moreno, and R. Sastre, "Long-pulse narrow-linewidth dispersive solid-state dye laser oscillator", Appl. Opt. **37**, 3987-3989 (1998).

[17]. Mark D. Rahn and Terence A. King, "Comparison of laser performance of dye molecules in sol-gel, polycom, ormosil, and poly(methyl methacrylate) host media", Appl. Opt. **34**, 8260-8271 (1995).

[18]. Mark D. Rahn, Terence A. King, Anthony A. Gorman, and Ian Hamblett, "Photostability enhancement of Pyrromethene 567 and Perylene Orange in oxygen-free liquid and soild dye lasers", Appl. Opt. **36**, 5862-5871 (1997).

[19]. Mark D. Rahn and Terence A. King, "High-performance solid-state dye laser based on perylence-orange-doped polycom glass", J. Mod. Opt. **45**, 1259-1267(1998).

[20] M. Ahmad, M. D. Rahn, and T. A. King, "Singlet oxygen and dye-triplet-state quenching in solid-state dye lasers consisting of Pyrromethene 567-doped poly(methyl methacrylate)," Appl. Opt. **38**, 6337 (1999)

[21]. Shirn M. Giffin, Iain T. Mckinnie, William J. Wadsworth, Anthony D.

Woolhouse, Gerald J. Smith, Tim G. Haskell, "Solid state dye lasers based on 2-hydroxyethyl methacrylate and methyl methacrylate co-polymers", Opt. Commun. **161**, 163-170 (1999).

[22]. William J. Wadswoth, Shirin M. Giffin, Iain T. Mckinnie, John C. Sharpe, Anthony D. Woolhouse, Timothy G. Haskell, and Gerald J. Smith, "Thermal and optical properties of polymer hosts for solid-state dye lasers", Appl. Opt. **38**, 2504-2509 (1999).

[23]. D. Lo, S. K. Lam, C. Ye, and K. S. Lam, "Narrow linwidth operation of solid state dye laser based on sol-gel silica", Opt. Commun. **156**, 361-320 (1998).

[24]. S. K. Lam, X.-L. Zhu, and D. Lo, "Single longitudinal mode lasing of coumarin-doped sol-gel sillica laser", Appl. Phys. B 68, 1151-1153(1999).

[25] X.-L. Zhu, S. K. Lam, and D. Lo, "Distributed-feedback dye-doped solgel silica lasers," Appl. Opt. **39(18)**, 3104 (2000).

[26]. Gwon Lim, Do-Kyeong Ko, Hyun Su Kim, Byung Heon Cha, Jongmin Lee, "Single longitudinal mode operation of a solid-state dye laser oscillator" , J. Korean Phys. Soc. **37**, 783-787(2000)

[27] H. Watanabe, T. Omatsu, T. Hirose, and M Tateda, "Yunable phase conjugation by intracavity degenerate four-wave mixing in an injection-seeded solid dye laser," Opt. Lett. **25(17)**, 1267 (2000).

[28] T. R. Bryans *et al.*, J. Sol-Gel Sci. & Tech. 17, 211-217 (2000).

서 지 정 보 양 식

수행기관보고서번호	위탁기관보고서번호	표준보고서번호	INIS 주제코드
KAERI/RR-2165/2001			

제목 / 부제	파장가변 고체색소레이저용 플라스틱 색소쎌 개발 및 광특성 연구
연구책임자 및 부서명	고 도 경 (양자광학기술개발팀)
연 구 자 및 부 서 명	차병헌(양자광학기술개발팀), 정의창(“), 임창환(“) 김현수(”), 임권(“)

출 판 지	대전	발행기관	도 표	발행년	2001.1
페 이 지	60p.	도 표	있음(0), 없음( )	크 기	29.7 Cm.
참고사항	‘01년도 기관고유사업				
비밀여부	공개(O), 대외비( ), __ 급비밀		보고서종류	연차보고서	
연구위탁기관			계약 번호		

초록 (15-20줄내외)

본 연구에서는 유기물인 PMMA 및 무기물인 졸-겔 유리를 host material로 하는 고체색소제조 기술을 개발하였다.

레이저 발진 선폭의 축소를 위하여 이렇게 제작된 고체색소쎌을 이득배질로 하는 다양한 형태의 고체색소 레이저 공진기를 제작하였다. 단일종모드 레이저. 자기파종형 레이저, 2파장 발진기, 분포궤환형 공진기등을 제작하여 그 출력특성을 조사하였으며 각각 3채널의 발진기와 증폭기로 구성되는 3색 고체색소 레이저 시스템을 제작하여 3파장 발진이 이루어짐을 확인하였다. 또한 파장구동장치를 제작하여 파장가변을 자동화하였다. 그리고 본연구에서는 고체색소의 장수명화연구를 위하여 첨가물을 넣어 PMMA의 경우 3배, sol-gel의 경우 5배의 광안정도 향상을 얻었다.

주제명키워드 (10단어내외)

고체색소쎌, 파장가변, PMMA, sol-gel, 레이저, 단일종모드, 자기파종, 파장구동장치, 광안정도

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET

Performing Org. Report No.	Sponsoring Org. Report No.	Stamdard Report No.	INIS Subject Code
KAERI/RR-2165/2001			

Title / Subtitle	Development of the plastic solid-dye cell for tunable solid-state dye lasers and study on its optical properties
Project Manager and Department	Ko, Do-Kyeong (Quantum Optics Team)
Researcher and Department	Byung Heon Cha(Quantum Optics Team), E.C. Jung(″), Changhwan Lim(″), Hyunsu Kim(″), Gwon Lim(″)

Publication Place	Taejon	Publisher	KAERI	Publication Date	Jan. 2001
Page	60p.	Ill. & Tab.	Yes(o), No ( )	Size	29.7 Cm.
Note	'01 Institute Basic Project				
Classified	Open(O), Restricted( ), ___ Class Document		Report Type	Research Report	
Sponsoring Org.			Contract No.		

Abstract (15-20 Lines)

we have fabricated solid-state dyes with PMMA and sol-gel materials.

We developed various kinds of solid-state dye lasers, such as single mode laser, a self-seeded laser, a dualwave laser oscillator and DFDL with solid-state dyes and investigated their operation characteristics And we have constructed the 3-color solid-state dye laser oscillator and amplifier system and observed 3-color operation. We also improved the laser oscliiator by installing the motorized frequency tuner. We studied the photostability of the solid-state dyes by adding various kinds of additives and achieved 3 times and 5 times enhancement in photostability in PMMA and sol-gel samples, respectively.

Subject Keywords (About 10 words)

solid-state dyes, tunable, PMMA, sol-gel, laser, single-longitudinal mode, self-seeding, dual wave, frequency tuner, photostability