

제 2 차년도
최종보고서

고출력 레이저 기술 개발

Development of High-Power Laser Technology

고출력 색소레이저용 색소셀 제작과 색소유동 측정기술 개발

Fabrication of a Dye Cell of the High Power Dye
Laser and Development of the Measurement
Technology of the Fluid Velocities in a Dye Cell

연구기관

한남대학교

RECEIVED
AUG 06 1996
OSTI

MASTER

한국원자력연구소

제 2 차년도
최종보고서

고출력 레이저 기술 개발

Development of High-Power Laser Technology

고출력 색소레이저용 색소셀
제작과 색소유동 측정기술 개발

Fabrication of a Dye Cell of the High Power Dye
Laser and Development of the Measurement
Technology of the Fluid Velocities in a Dye Cell

연구기관

한 남 대 학 교

한국원자력연구소

DISCLAIMER

**Portions of this document may be illegible
in electronic image products. Images are
produced from the best available original
document.**

제 출 문

한국원자력연구소장 귀하

본 보고서를 「고출력 색소레이저용 색소셀 제작과 색소유동 측정
기술 개발」 과제의 최종보고서로 제출합니다.

1994년 8월 20일

연구책임자 : 조 재 홍

연 구 원 : 장 수

연 구 원 : 임 권

연 구 원 : 김 지 택

연 구 원 : 최 완 해

1998

요 약 문

I. 제 목

고출력 색소레이저용 색소셀 제작과 색소유동 측정기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

본 연구의 목적은 고출력 색소레이저용 색소셀을 설계하고 제작하여 고출력 색소레이저에 사용할 수 있도록하며, 이를 위하여 색소셀내의 유동측정 및 유속측정기술을 개발하는 것이다. 10 kHz의 펄스반복률과 10 W이상의 평균 출력을 갖는 고출력 색소레이저를 구성하기 위해서는 펄핑레이저의 제반조건과 색소레이저 공진기 및 색소셀내의 색소 및 색소셀의 구조 등이 중요한 변수가 된다. 고반복률이고 높은 출력이 요구되는 색소레이저에서는 기존의 연구에서는 무시하였던 미세한 유속의 변화, 공간적 색소의 두께치, 고출력 펄핑광에 의한 국소적 굴절률 변화에 기인한 난류효과등이 레이저 출력에 미치는 영향이 크므로 이에 대한 측정이 요구되고 있다. 그리고 이러한 요소들은 유체역학에 바탕을 둔 색소셀의 기하적 구조에 의하여 개선될 수 있으므로 측정 데이터를 바탕으로 색소셀에 대한 수치해석적 모델을 세우고, 가장 유속의 변화가 적고 난류가 없는 색소셀을 제작하는 것이 매우 중요하다. 그리고 이러한 측정기술 및 색소셀 모델 개발은 고반복률이고 높은 출력이 요구되는 색소레이저 제작의 기초자료로서 매우 필요하고 중요한 연구이다. 이러

한 기술들은 원자력연구소에서 수행하고 있는 레이저 개발연구에 많은 도움이 되리라 예상되며, 국내의 레이저 제작산업에 있어서 특히 색소레이저 및 고출력레이저 제작분야에서 사용될 수 있으므로 이를 이용할 경우 기술적 향상이 이루어 질 수 있다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

고출력 색소레이저를 제작함에 있어서 색소의 흐름에 대한 연구가 중요하기 때문에, 색소셀 내부의 유속측정 및 이를 이용한 새로운 형태의 색소셀을 제작해야만 한다. 이를 위하여 유체역학 및 색소레이저 출력에 관한 정보를 이용하여 색소셀 내부에서의 유동에 대한 시뮬레이션을 할 수 있는 색소셀 모델을 고안하고 이에 대한 computer simulation을 시도한다. 그리고 이에 대한 실험적 근거를 확보하고, 정확한 유속 및 압력에 대한 정보를 얻기 위하여 기존의 상용 LDV를 이용하여 색소셀 내의 유동현상을 정확히 측정한다. 그리고 고출력 색소레이저가 작동하고 있는 상태에서 레이저의 출력 및 색소셀내의 유동현상을 실시간적으로 측정하기 위하여 소형 Fiber-Optic LDV를 구성한다. 그리고 이 LDV 및 시뮬레이션 결과를 이용하여 새로운 색소셀을 고안하고 제작하며, LDV 와 turbulence 측정장치를 이용하여 제작된 색소셀의 성능을 평가한다.

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

본 연구에서 개발된 소형 Fiber-Optic LDV 기술과 이를 이용한 고출력 색소셀내의 유동형상 측정 및 새로운 색소셀의 개방은 고출력 색소레이저 기술분야, 유속측정분야 및 레이저를 이용한 정밀측정분야에 있어서 기술적으로 많은 기여를 했다. 이로 인하여 고출력 색소레이저의 개발시 색소셀에 대한 설계 및 제작 기술에 상당한 개선을 가져올 것이며, 이로부터 색소를 순환시키는 순환 펌프시스템에 대한 개선이 이루어질 것이다. 또한 색소셀내에서의 유체의 유동현상에 대한 연구 결과에서 LDV나 간섭계를 구성하였을 때, 이를 다른 유량측정에 쉽게 전용할 수 있으며, 이러한 가시화연구는 기체나 액체에 대한 흐름의 비파괴 검사에 용이하게 사용될 수 있다. 그러므로 본 연구를 통하여 고출력 색소레이저의 색소셀 및 순환시스템에 대한 기술적 향상이 예상되며, 이를 검출하는 유동측정장치의 개발에서는 유량측정기술분야 및 가시화 연구분야에 파급효과가 클 것으로 예상된다.

SUMMARY

I. Project Title

Fabrication of a Dye Cell of the High Power Dye Laser and
Development of the Measurement Technology of the Fluid
Velocities in a Dye Cell

II. Objectives and Importance of the Project

The project objectives are to develop the laser Doppler velocimeter(LDV) with a directional coupler for the measurement of fluid velocities in a dye cell and to design a dye cell of the high power dye laser by using the computer simulation code for the simulation of the 2 dimension steady-state flow. Since the output power of the high power dye laser with the pulse repetition rate of 10 kHz and the average power of more than 10 W is sensitively affected by the shape of a dye cell, it is necessary to investigate precisely the effects of the fluctuation of steady-state fluid and/or the turbulent flow. The LDV system is a very useful to analyze the fluid mechanism in a dye cell. Therefore, it is important to develop the small size LDV with a single mode optical fiber and a directional coupler, etc. And a high power dye cell is designed by using the flow simulation code and the small size Fiber-Optic LDV. Since the

design technology of a dye cell and the LDV technology are basic technologies in the field of the high power dye laser, it is urgent to develop these technologies.

III. Scope and Contents of the Projects

- The computer simulation code for the simulation of the steady-state flow in a dye cell is developed by using the finite element method.
- The situation of the fluid flow is measured by the diode laser LDV system and compared with results of the computer simulation.
- The small size Fiber-Optic LDV with a directional coupler is designed and fabricated for the real time measurement of fluid velocities in a dye cell.

IV. Results and Proposal for Applications

- The computer simulation code for the simulation of the steady-state flow in a dye cell was developed and the small size Fiber-Optic LDV with a directional coupler was designed and fabricated for the real time measurement of fluid velocities
- The design technology of a dye cell is secured by using the

computer simulation code and Fiber-Optic LDV system fabricated.

- The measurement technology of the fluid velocity using the noncontact LDV method is developed.

목 차

제 1 장 서론	11
제 2 장 색소셀내의 유속분포에 대한 시뮬레이션	14
2.1 이론	14
2.2 유한요소법과 비압축성 유동	18
2.3 시뮬레이션 결과	19
제 3 장 반도체레이저 LDV를 이용한 색소셀내의 유속측정	29
3.1 유체유속 측정에의 LDV 응용	29
3.2 반도체 레이저 LDV를 이용한 실험장치	30
3.3 색소셀내의 유속분포 측정 결과	42
제 4 장 Fiber-Optic LDV의 설계 및 제작	47
4.1 이중광속 LDV의 원리	47
4.2 실험장치 및 실험방법	50
4.3 Fiber-Optic LDV의 제작 및 실험결과	53
4.4 후방산란형 Fiber-Optic LDV의 설계 및 제작	66
제 5 장 결론	75
참고문헌	81
부록	87
(1) 응용물리 1995년 8권 4호 게재예정 논문	89
(2) CLEO/Pacific Rim '95 (Chiba, Japan, 1995. 7. 10-14)	
발표요약문, 발표수락서, 발표초록	105
(3) 한국물리학회 제 69회 발표 초록	111
(4) 한국물리학회 제 70회 발표 초록	113

1920-1921

제 1 장 서 론

1966년 P.P. Sorokin과 J.R.Lankard에 의하여 처음으로 색소레이저가 발진된 이후 파장가변 레이저는 단일 파장만을 발진하는 대부분의 레이저와는 다르게 넓은 영역의 파장대에서 튜너블하게 파장을 선택하여 발진할 수 있다는 장점 때문에 많은 관심하에서 발전되고 응용되어 왔다. 특히 원자나 분자, 그리고 응집물질등의 구조와 특성을 조사하여 물질의 구조를 밝히고, 이를 응용하여, 원자력 산업, 극미량 원소 검출, 중금속 오염 및 공해 분석, 초고속 반도체 소자 개발, 원거리용 LIDAR 개발, 의료용 치료기 등에 사용되어 왔다. 특히 원자력 산업 및 극미량 원소 검출과 같은 분야에 있어서는 광대역의 파장가변성과 고출력이 요구되고 있다. 이러한 고출력 파장가변 레이저의 대표적인 것으로는 이미 언급한 색소레이저가 있으며, 현재에도 다단 증폭기를 통하여 최적의 상황에서 출력을 보다 높이려는 연구가 진행되고 있다. 그러나 무엇보다도 최초의 발진기에서 가능한한 안정되고 높은 출력이 나와야하며, 이를 위하여 지금까지는 정성적으로만 이해하고 경험적으로만 개선하였던 색소레이저의 색소셀에 대한 유체역학적인 해석과 실험적인 유동현상의 분석을 바탕으로 새롭고, 안정된 새로운 색소셀의 설계 및 제작이 요구되고 있다.

유체의 이동 및 그 현상을 이해하고 해석하여 물리적인 성질이나 화학적인 공정을 개선하기 위한 방법은 여러 가지가 있지만 실험적인 방법으로 유체의 가시화(flow visualization) 및 유속측정기술(flow velocity mesurment technique)등이 사용된다. 특히 유체유속측정기술

은 미소한 유체의 유동현상을 시간에 따른 유속측정기술은 미소한 유체의 유동현상을 시간에 따라 항속인지, 변화하는지를 정량적인 모멘트를 이용하여 유체의 유동을 파악할 수 있어 유체역학적으로 특정지점에 대한 유체의 이동을 측정하는 방법이다. 이러한 유체의 유속측정을 위한 방법으로는 피토크(pitot tube)나 열선 유속계(hot wire anemometer)등이 이용된다. 그러나 이러한 방법들은 계측기를 유체에 직접 접촉하는 방법으로, 유동현상에 교란을 주게 되므로 정밀도를 높이는데 부적합하며 대상 유체와 유동측정 범위에도 제한을 받는다. 1970년대에 개발되어 1980년부터 상용적으로 판매되기 시작한 레이저 도플러 속도계(LDV:Laser Doppler Velocimeter)는 피토크이나 열선 유속계의 단점을 보완하는 장치로 레이저 광속을 유체에 조사시켜 유체내의 미소입자에 의한 산란광을 이용하여 유체의 속도를 측정하는 비접촉식 측정기기이다. 특히 이 LDV는 기계적인 접촉이 없이 유속을 측정하기 때문에 유체의 교란을 피할 수 있으며 공간분해능을 높일 수 있어 접촉식 방법인 피토크이나 열선유속계보다 매우 우수한 특성을 갖는다. 이러한 LDV의 특성을 이용하여 유체의 유동현상을 해석하는 기술을 고출력 색소레이저 개발을 위한 펄핑용 색소셀의 제작에 응용하고자 한다.

고출력 색소레이저를 개발하기 위하여서는 이미 언급한 바와 같이 색소레이저의 공진기 및 펄핑레이저의 제반여건뿐 만이 아니라 색소레이저에 사용될 색소셀의 구조가 중요한 변수가 된다. 특히 색소셀내의 색소분포가 공간적으로 균일하고 유체가 적절하게 순환되는 상황에서 고반복률을 갖는 고출력 색소레이저의 개발이 가능하다. 그러나 실제 상황에 있어서는 고출력 펄핑광에 의한 국소적 굴절률의 변화에 기인하는 난

류동이 레이저의 출력에 영향을 주므로 색소셀내의 유속을 측정하여 색소의 분포와 유속이 균일한 색소셀의 개발은 매우 중요하다. 즉 색소셀내의 유속분포를 유속측정기술을 이용하여 분석하고 이를 기초로 색소셀을 설계제작하여 공간적으로 색소의 분포와 유속이 균일한 영역을 찾아 펌핑을 시켜 레이저 출력을 안정화시킬 수 있다.

이를 위하여 본 연구의 제2차년도에서는 색소셀의 유체역학적 유동현상을 분석하는 프로그램을 이용하여 다양한 형태의 색소셀에 대한 유동현상을 해석하고, 이 색소셀내의 유동현상을 반도체 LDV를 이용하여 직접적으로 측정한다. 그리고 이를 위하여 제2장에서는 유체역학의 비압축성 Navier-Stokes 방정식 및 경계조건을 유한요소법으로 프로그램한 유동현상 시뮬레이션 코드를 이용하여 평행판구조, 원통형 볼록렌즈 구조 2가지를 대상으로 색소셀의 유속을 시뮬레이션하였다. 그리고 제3장에서는 제2장에서 반도체 LDV를 이용한 시뮬레이션한 색소셀과 같은 규격의 색소셀에 대하여 실제의 유속분포를 측정하는데 중점을 두었다. 제4장에서는 본 연구에서 가장 중요한 도구인 LDV의 이론 및 실험방법을 언급하고, Fiber-Optic LDV에 대한 제작과정 및 실험방법에 대하여 언급하였다. 그리고 제5장에서는 당해년도의 실험결과를 요약하였다.

제 2 장 색소셀내의 유속분포에 대한 시뮬레이션

2.1 이 론

유체의 흐름을 구별하면, Reynolds 수(점성력과 관성력의 상대적 비율)에 따라 난류와 층류로 나뉘고, Mach수에 따라 압축성류와 비압축성류로 구분하고, 점성에 따라 점성유체와 비점성유체로 분류한다. 비록 비압축성류에 대한 지배적인 방정식이 모멘트가 일정하고 질량이 보존되는 경우라 할지라도 본래부터 비선형적이고 높은 레이놀드수(Reynolds number)인 경우는 시뮬레이션에 있어서 많은 어려움이 있다. 이와같이 유동장의 변화를 예측하는 시뮬레이션은 많은 변수들에 의하여 정확한 예측이 어렵고, 이로인하여 컴퓨터 유체 역학(Computational Fluid Dynamics; CFD)분야가 발전이 아직 잘되어 있지 못하기때문에, 현재로서는 유한요소분석 (Finite Element Analysis; FEA)코드만이 약간의 해석을 주고 있을 뿐이다. 본 연구에서 사용하는 고출력 색소레이저의 색소셀내의 유체는 비압축성 용매인 에탄올을 사용한 것이므로 비압축성 유동으로 시뮬레이션한다.

이러한 비압축성 유동에 대한 시뮬레이션에서 필요한 식은 비압축성 Navier-Stokes 방정식으로 비압축력에 좌우되는 뉴턴의 제2의 운동법칙을 나타내는 동적인 운동방정식이다. 이 식을 간단히하기 위하여 유체내에 균일하게 작용하는 중력과 같은 body force항은 고려하지 않고, 응력과 변형률과의 관계가 단순히 선형 구성 관계에 있다고 고려하면, 위 방정식은 다음과 같이 표현된다.

$$\rho \left(\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{u} \right) + \nabla p - \mu \nabla^2 \mathbf{u} = 0 \quad (2.2.1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (2.2.2)$$

여기에서 $\mathbf{u}$ 는 속도, p 는 압력, ρ 는 밀도, 그리고 μ 는 점성을 나타낸다. 위 (2.1.1)식과 (2.1.2)식들은 초기 변수인 속도와 압력으로 다시 표현되며, 이 방정식으로 이차원에서 유동장의 흐름에 대한 문제를 푸는데 있어서 미지수는 두개의 속도성분과 한개의 압력이 된다. 이 방법의 장점은 다음과 같이 열거할 수 있다.

- 물리적인 양들인 속도와 압력이 직접적으로 계산된다.
- 이 방법은 이차원과 삼차원 모두 적용된다.
- 경계조건을 충족시키기 쉽다.

그러나 이 방법의 단점은 다음과 같다.

- 삼차원 문제에서는 미지수가 4개이다.
- 속도와 압력에 대해 같은 차수의 보간법을 사용할 수 없다.
- 비논리적인 압력 형태들이 존재한다.
- 연속적인 압력장과, 소용돌이도나 유동함수와 같은 2차적 변수들은 보정되어야 한다.

이차원인 경우, 와도(vorticity)에 대해서는 대류-확산(convection-diffusion) 방정식, 유량(stream) 함수에 대해서는 Poisson

방정식으로 되어 있는 비압축성 Navier-Stokes 방정식의 와도-스트림 (vorticity-stream) 함수는 방정식 (2.1.1)에 curl을 취하면 다음과 같은 스칼라 전송 방정식 (2.1.3)이 구해지며, 방정식 (2.1.4)는 (2)식에 (2.1.5) 식을 대입하면 얻는다.

$$\rho \left(\frac{\partial \omega}{\partial t} \right) - \mu \nabla^2 \omega = 0 \quad (2.1.3)$$

$$\nabla^2 \psi + \omega = 0 \quad (2.1.4)$$

여기에서 스트림함수 (ψ) 와 와도(vorticity; ω) 는 다음과 같이 정의된다.

$$u = \nabla \times \psi = \left\{ \frac{\partial \psi}{\partial x_2}, -\frac{\partial \psi}{\partial x_1} \right\} \quad (2.1.5)$$

$$\omega = \frac{\partial u_2}{\partial x_1} - \frac{\partial u_1}{\partial x_2} \quad (2.1.6)$$

이렇게 변환된 방정식을 사용하는 이 방법의 장점은

- 단지 두개의 미지수만 있고,
- 연속방정식 (2.1.2)는 스트림함수의 정의에 의해 자동적으로 만족되어진다

는 것이다.

그러나 이 방법의 단점도 있으며, 이를 열거하면 다음과 같다.

- 축대칭인 경우를 제외하고는 이공식을 3차원으로 확장하기가 쉽지않고,

- 속도와 압력은 직접적으로 계산되는 양들이 아니며,
- 와도에 연관된 경계조건이 상당히 복잡해진다.
- 그리고 다중접촉된 영역은 특별한 취급이 필요하다.

2차원 공간상에서 스트림함수는 (2.1.3)식에 있는 ω 와 u 를 ψ 에 관한 항으로 대체하면 다음과 같이 유도된다.

$$\rho \left(\frac{\partial \nabla^2 \psi}{\partial t} + \frac{\partial \psi}{\partial x_2} \frac{\partial \nabla^2 \psi}{\partial x_1} - \frac{\partial \psi}{\partial x_1} \frac{\partial \nabla^2 \psi}{\partial x_2} \right) - \mu \nabla^4 \psi = 0 \quad (2.1.7)$$

이 식의 장점은 풀어야 할 미지수가 단 한개라는 것이다.

그러나 단점으로는 다음과 같은 것을 들 수 있다.

- (2.1.7)식은 4차 편미분 방정식이고, 높은 차수 값은 부차적인 계산 시간을 요구한다.
- 그러므로 와도, 속도, 그리고 압력이 직접적으로 계산되지 않는다.

그러므로 속도-압력공식이 3차원으로 쉽게 확장할 수 없기 때문에 효과적인 알고리즘(algorithms)을 생각하여 실제적인 문제들을 시뮬레이션(simulation)할 수 있도록 해야한다. 그리고 와도-스트림함수는 2차원으로 제한되어 있기 때문에 간단한 문제들에 대해서는 효과적으로 사용되어 질 수 있다. 그리고 스트림함수는 여러가지 조건들로 제한된 다른 경우에 취급이 용이하나, 역시 2차원으로 제한되어 있다. 본 연구에서는 경계조건들을 이용하여 유한요소법으로 정상류에 대한 시뮬레이션을 하였다.

2.2 유한 요소법과 비압축성 유동

속도-압력식의 수치적 시뮬레이션에 있어서 방향성이 있는 경우 중요 방정식들을 주로 고려해야만 한다. 디지털 컴퓨터의 발달로 많은 수치적 방법들이 일련의 대수방정식에 대한 중요 방법들로 변환될 수 있게 되었다. 유한요소법(Finite Element Method; FEM)은 가중치 오차방법(weighted residual method)이고, 복잡한 기하학들과 연관된 정상상태(steady-state)와 비정상상태(transient), 선형과 비선형 문제들 모두에 적용되어질 수 있기 때문에 일반적으로 사용되어진다.

그러나 비압축성 제한조건(constraint)과 대류항(convection term)에 기인하는 비선형성때문에 2.1절에서 언급된 중요 방정식을 유한요소법으로 모델링하는 것이 상당히 어렵다. 이와 더불어 모든 속도-압력함수에 있어서 사용된 보간법(interpolations)의 조합들이 항상 안정된 결과를 주지 못한다는 것도 이 방법의 단점중의 하나이다. 일반적으로 속도-압력 보간법의 안정성은 LBB조건으로 간주되는 Babuska-Bressi 조건에 의해 지배되며, 선택한 속도-압력 보간법들에서 실제 상황이 아닌 가상적인 압력 상태들이 시뮬레이션될 수도 있다.

현재까지 가장 효과적으로 속도-압력 공식을 시뮬레이션하는 방법으로는 다음과 같은 두가지 방식이 있다. 첫번째는 속도와 압력에 대해서 해를 구하는 것과 이를 연관시켜서 혼합된 방식으로 시뮬레이션하는 방법이다. 두번째는 비압축성 구속(constraint)의 약간의 압축성 형태를 사용함으로써 압력항이 소거되는 penalty 방법이다. 두번째 방법인 Penalty 방법이 보다 이해가 쉽고, 여러분야에 적용하기가 쉽기때문에 다양한 여

러 응용분야에서 많이 사용되고 있고 본 방법에서도 이를 채택하였다.

2.3 시뮬레이션 결과

본 연구에서는 먼저 이러한 유동장에 대한 시뮬레이션 이론에 근거를 두고 개발된 미국 ALGOR 사의 코드 number 107 (2-D Steady State Fluid Flow) 프로그램을 이용하여 그림 1과 같은 여러가지 형태의 색소셀에 대하여 유속 분포를 시뮬레이션하였다. 그림 2.3.1(a)와 같은 Hellma 사의 Quartz cell(HELLMA Cat.-No. 690.072-QS)을 기준으로 길이 25 mm, 폭 20 mm, 유속관의 폭 d mm의 구조를 갖는 셀을 우선적으로 고려하여 이 색소셀내의 두 평행판사이의 거리에 따라 2차원형태로 유체(본 연구에서는 에탄올임)의 속도를 분석하였다. x-y평면에서 $\rho = 0.02$ (점도 : 여기에서의 점도는 실제의 값이 아니며 시뮬레이션을 위해 임의로 잡은 값임), 초기유속이 5일 때(여기에서의 유속은 단위가 없으며 이 초기유속은 시뮬레이션을 수행하기 위한 임의의 값임), 수직(normal) 성분의 속도를 시뮬레이션하였으며, 이 결과는 본 과제의 1차년도 보고서에 잘 나타내었다. 2차년도 과제에서는 x-y평면보다는 y-z평면에서의 유속분포를 시뮬레이션하였으며, 그 결과는 두께가 d = 2 mm의 경우에 대하여 유속분포를 시뮬레이션한 결과가 그림 2.3.2에 나와 있다. 그림의 위-오른쪽에 있는 색선은 각 레벨을 표시하며 숫자는 그에 대응되는 상대크기를 나타낸다. 그리고 d를 0.5, 1, 2, 4 mm로 다양하게 유속관의 두께를 조절하여 시뮬레이션한 결과, 유속관의 폭이 좁을수록 유속은 빨라지며, 속도가 균일한 영역(적색부분)은 넓어지고 있음을 알 수 있

었다.

그림 2.3.3부터 그림 2.3.6까지는 그림 2.3.1(b)와 같이 색소셀을 구성하는 두 장의 판을 약간 다르게 곡률을 주어서, 마치 두 장의 원통형 렌즈를 블록한 두면을 마주보게하고 그 사이로 유체를 보내는 형태로 변형하였을 때의 시뮬레이션된 결과이다. 즉, 그림 2.3.3에서 그림 2.3.4까지는 곡률반경 $R = 126 \text{ mm}$, 길이 $l = 50 \text{ mm}$, 두 판 사이의 최단 거리가 각각 $d = 1, 2 \text{ mm}$ 로 바꾸었을 때이다. 그리고 그림 2.3.5에서 그림 2.3.6까지는 $R = 291 \text{ mm}$, 길이 $l = 80 \text{ mm}$, 두 판 사이의 최단 거리가 각각 $d = 1, 2 \text{ mm}$ 로 하였을 때이다. 여기에서 보면 양쪽 입구에서의 속도 변화율은 앞서의 그림 2.3.1의 형태보다 훨씬 낮다는 것, 즉 유체의 교란 및 속도 변화가 작음을 알 수 있다. 그리고 d 가 작을수록 유속은 커지나, 속도가 균일한 영역은 좁아짐을 알 수 있다. 이 균일한 영역은 곡률반경 R 이 커질수록 넓어짐을 알 수 있다. 실제로 곡률이 있으면 레이저로 광 펄핑을 할 때 광이 집속되는 효과가 생기며, 양쪽 입구에서 교란과 속도 변화율이 작아짐으로 앞으로는 이러한 곡률을 주는 방향으로 색소셀을 설계 제작하여야한다는 것을 알 수 있다.

그림 2.3.7에서 그림 2.3.8까지는 그림 1(c)와 같은 한쪽면을 평면으로, 그리고 다른 면을 $R = 126, 291 \text{ mm}$ 로 바꾸면서 두 면사이의 거리 d 를 2 mm 로 하였을 때 유속의 변화를 시뮬레이션한 결과이다. 이 결과는 양쪽면을 곡률을 준 결과와 큰 차이를 나타내지 않았으며, 앞 뒷쪽의 입구를 변형하는 문제를 추가로 고려해야 함을 보여주고 있다.

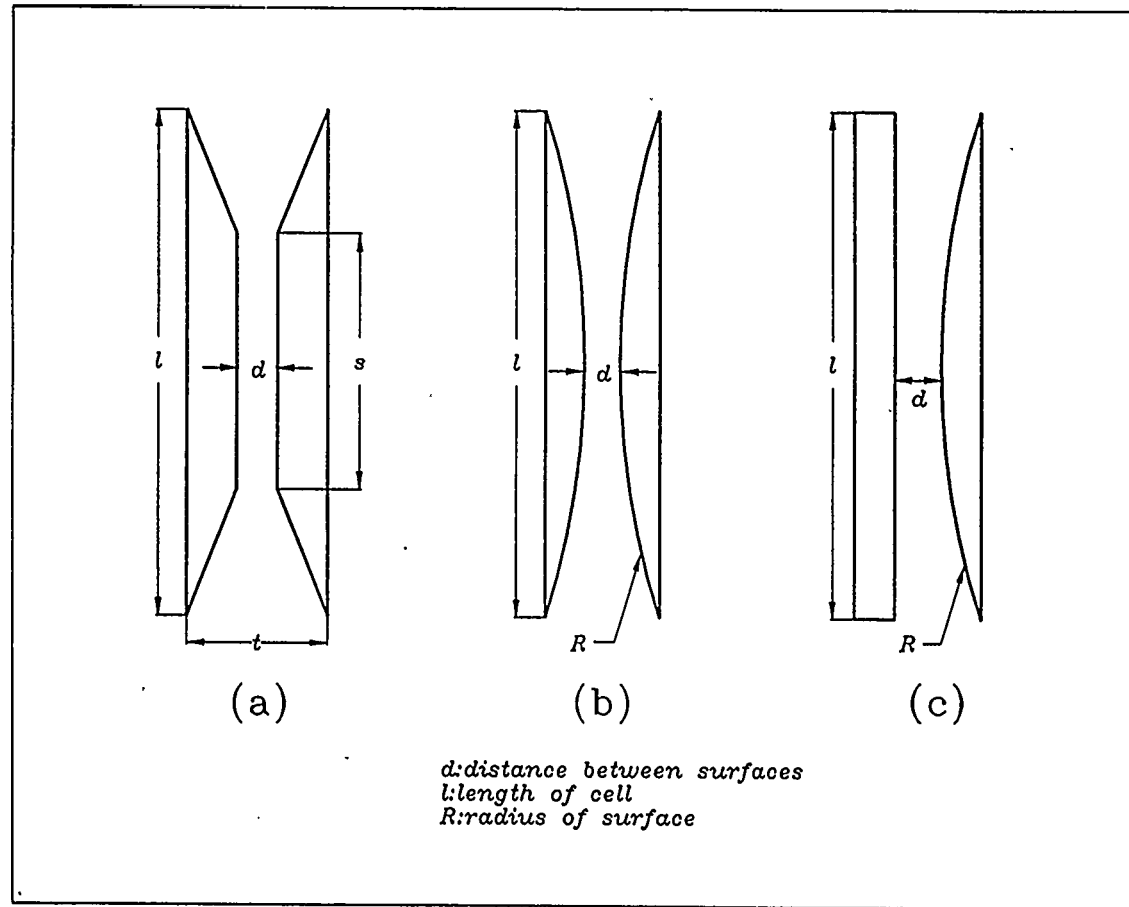
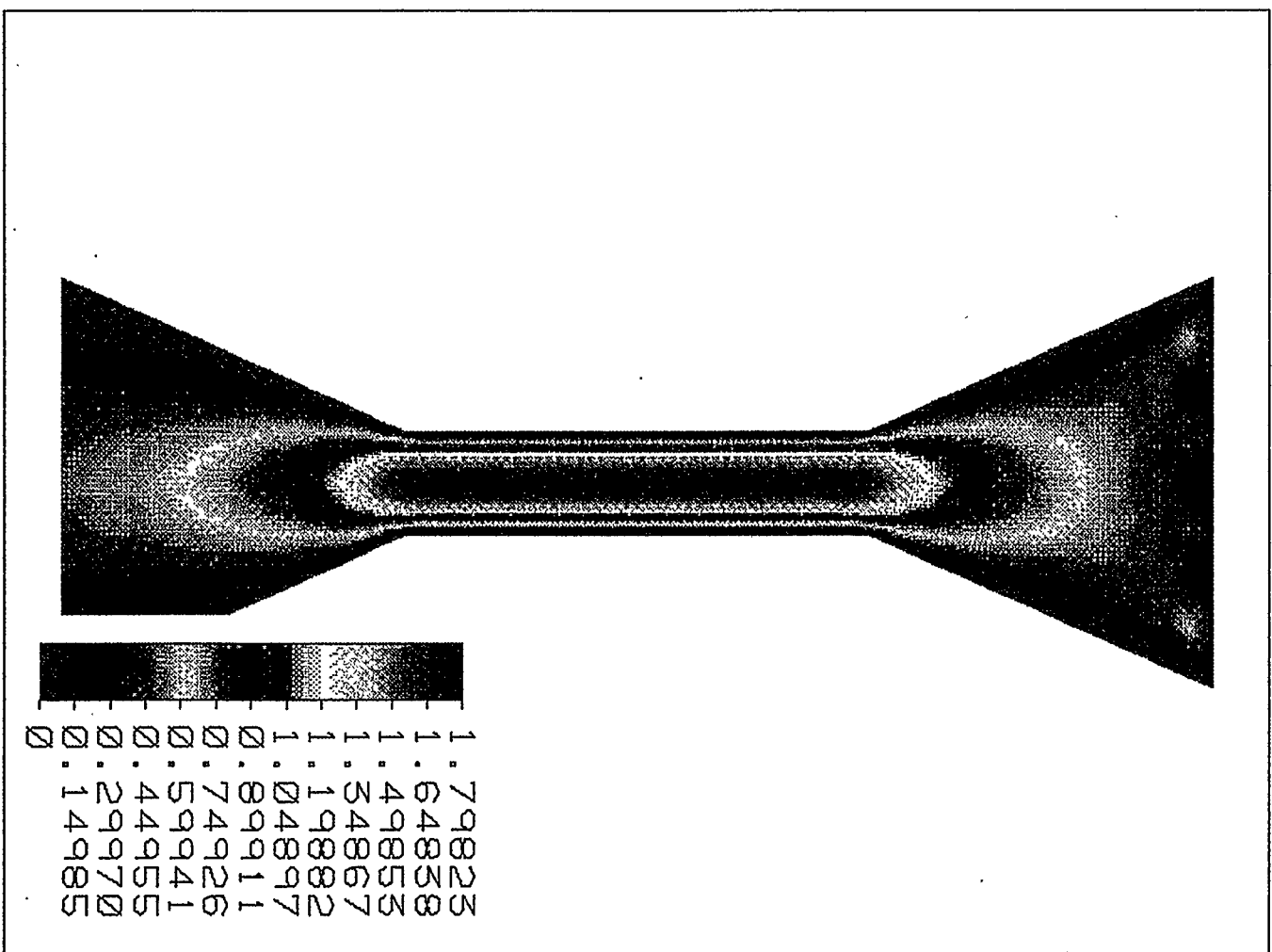


그림 2.3.1 세로이 디자인한 색소셀 모델 3종류.

五五公 李

그림 2.3.2 그림 1(a)의 실험에 $d = 2.0 \text{ mm}$, $s = 10 \text{ mm}$ 의 경우



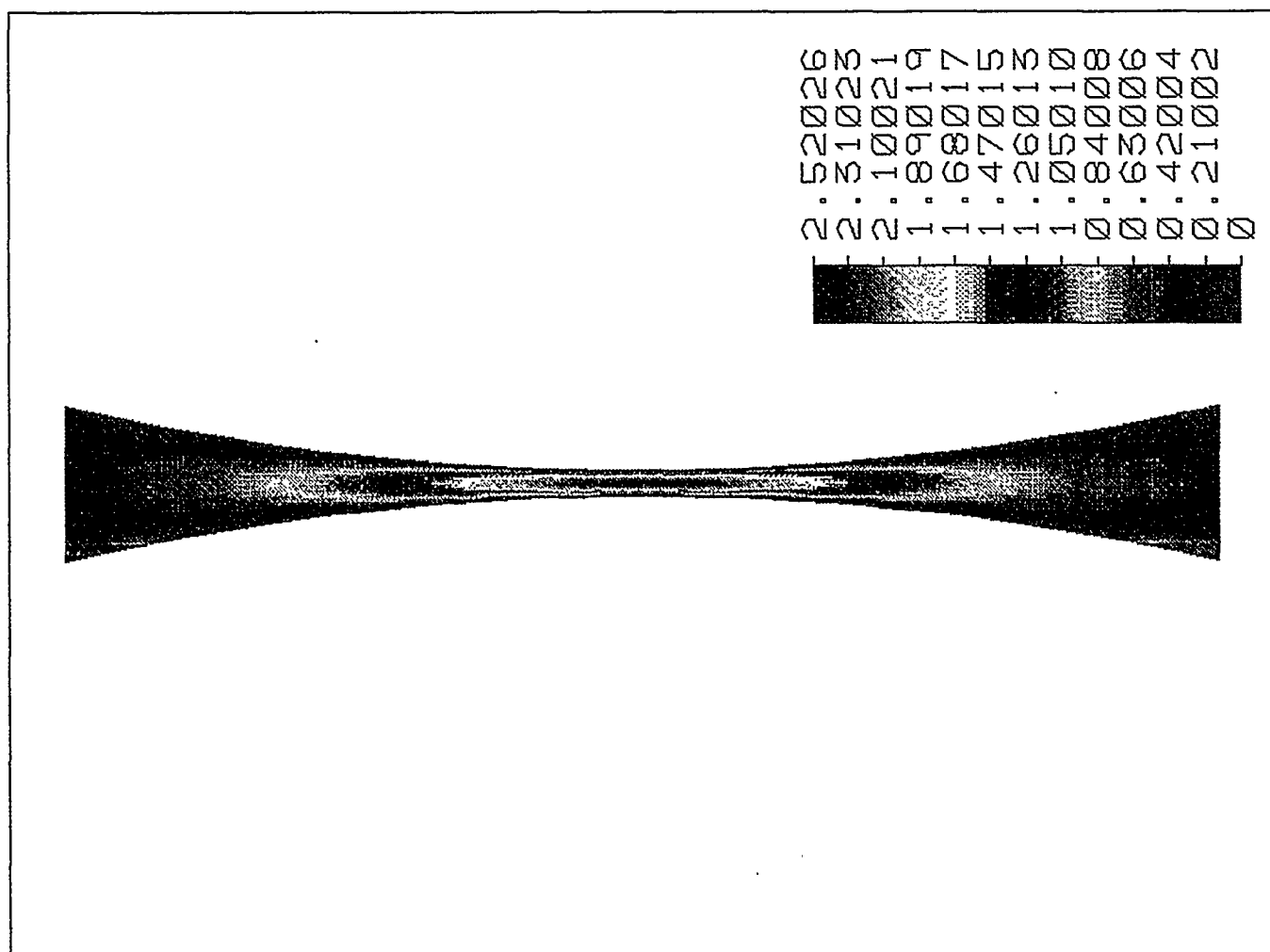


그림 2.3.3 그림1(b)의 형태로 $R = 126 \text{ mm}$, $d = 1.0 \text{ mm}$, $l = 50 \text{ mm}$ 의 경우 유속 분포도.

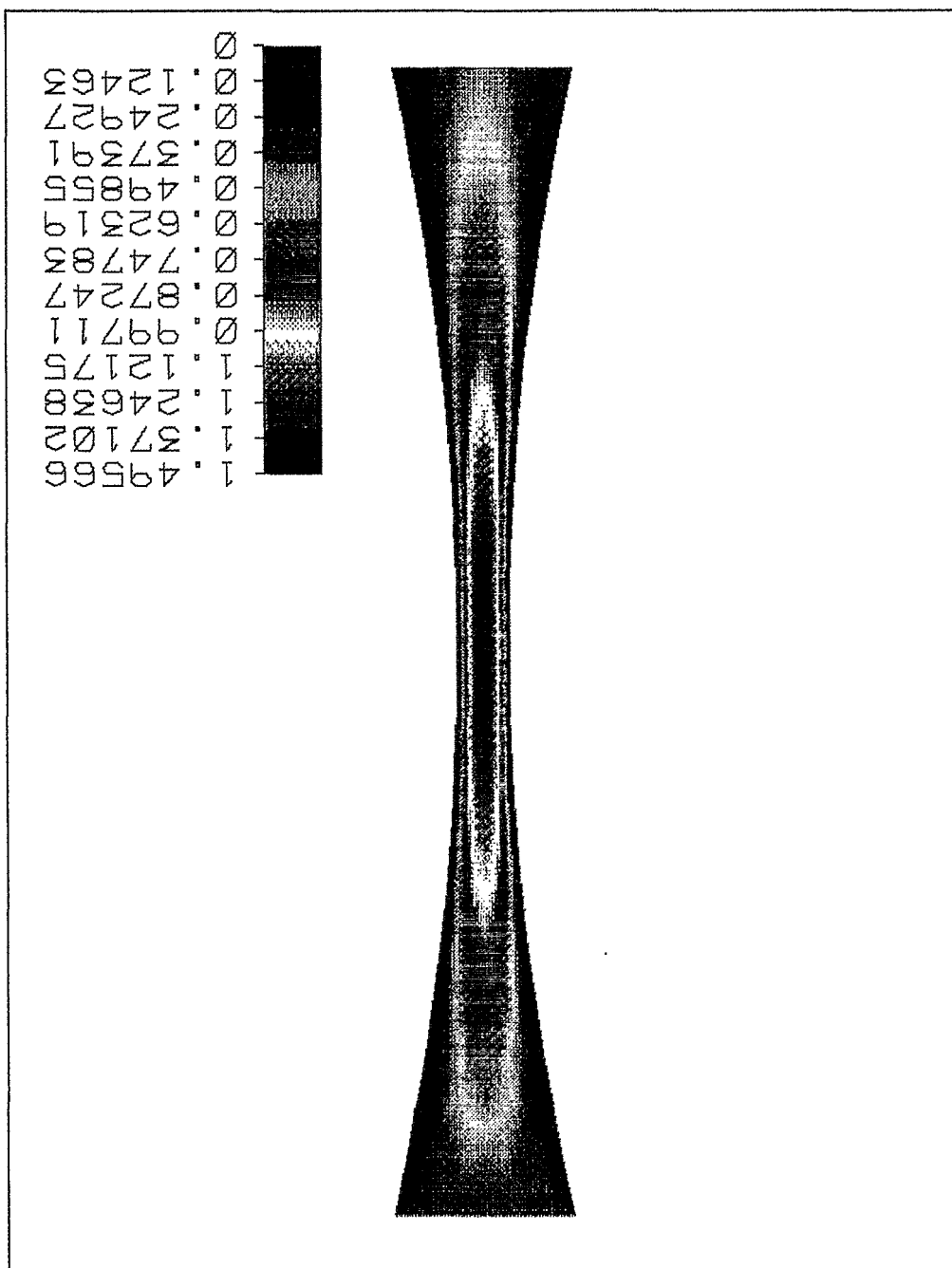


그림 2.3.4 그림 1(b)의 형태로 $R = 126 \text{ mm}$, $d = 2.0 \text{ mm}$, $l = 50 \text{ mm}$ 의 경우 유속 분포도.

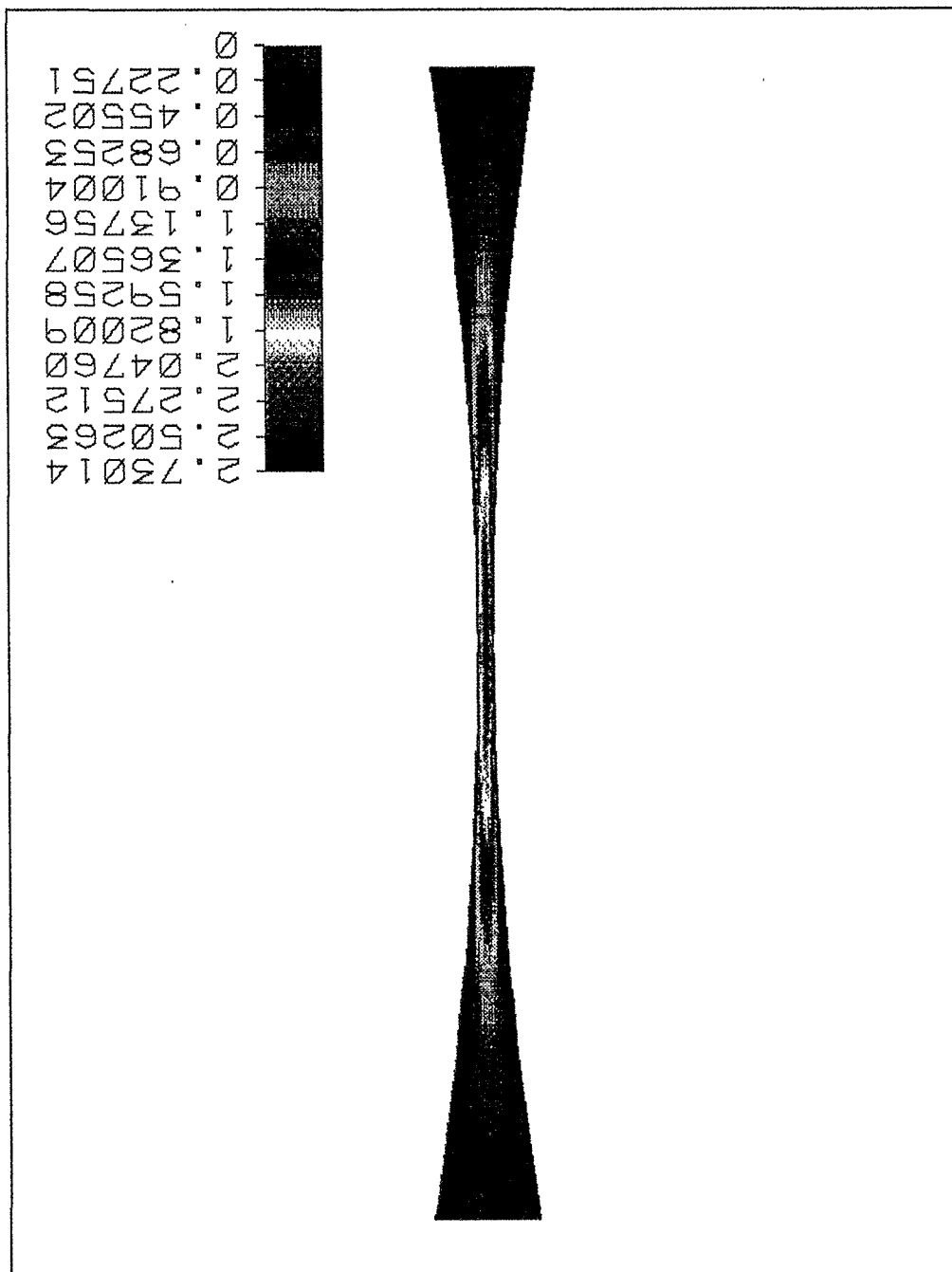
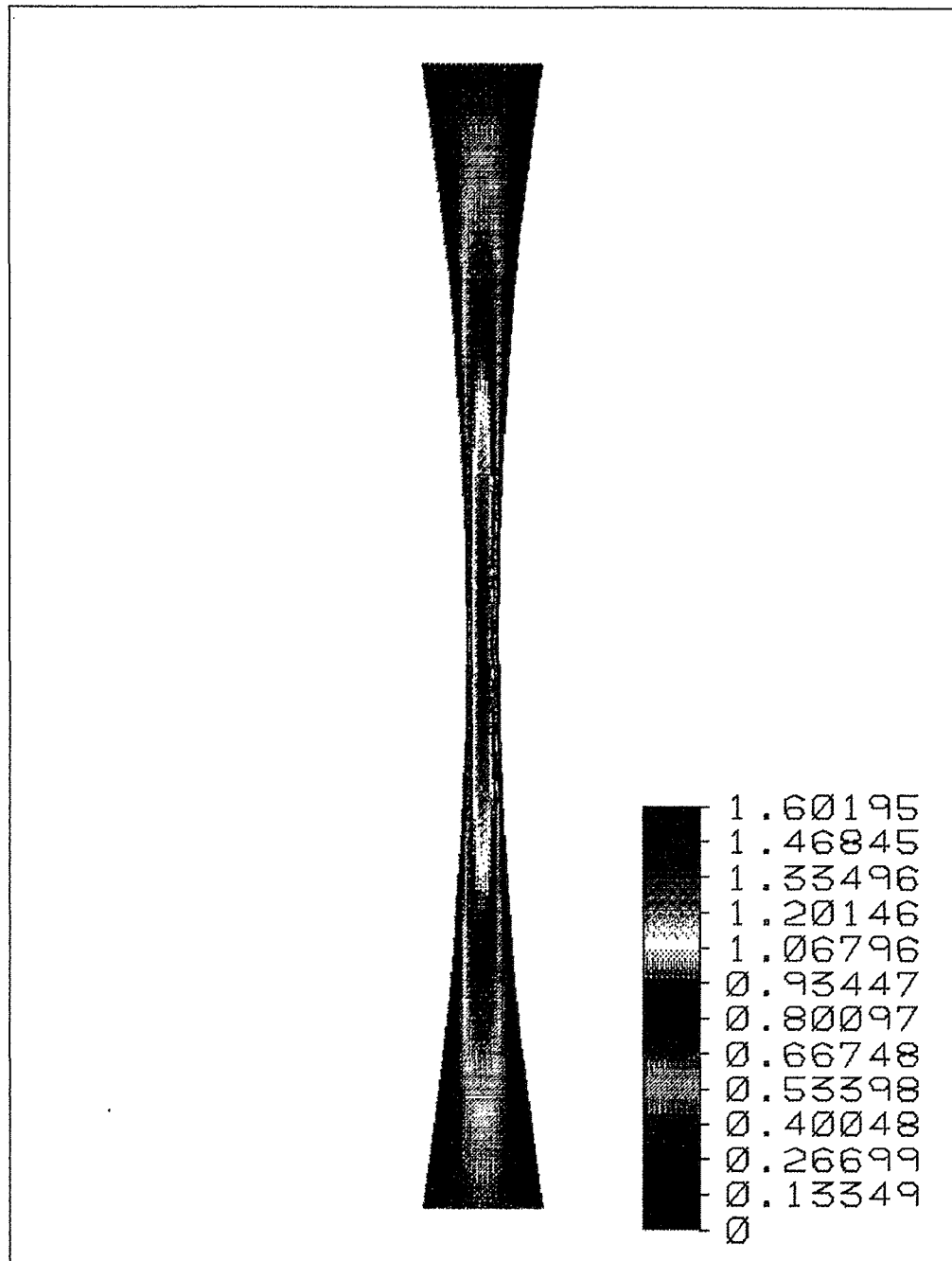


그림 2.3.5 그림1(b)의 형태로 $R = 291 \text{ mm}$, $d = 1.0 \text{ mm}$, $l = 80 \text{ mm}$ 의 경우 유속 분포도.

그림 2.3.6 그림 1(b)의 형태로 $R = 291 \text{ mm}$, $d = 2.0 \text{ mm}$, $l = 80 \text{ mm}$ 의 경우 유속 분포도.



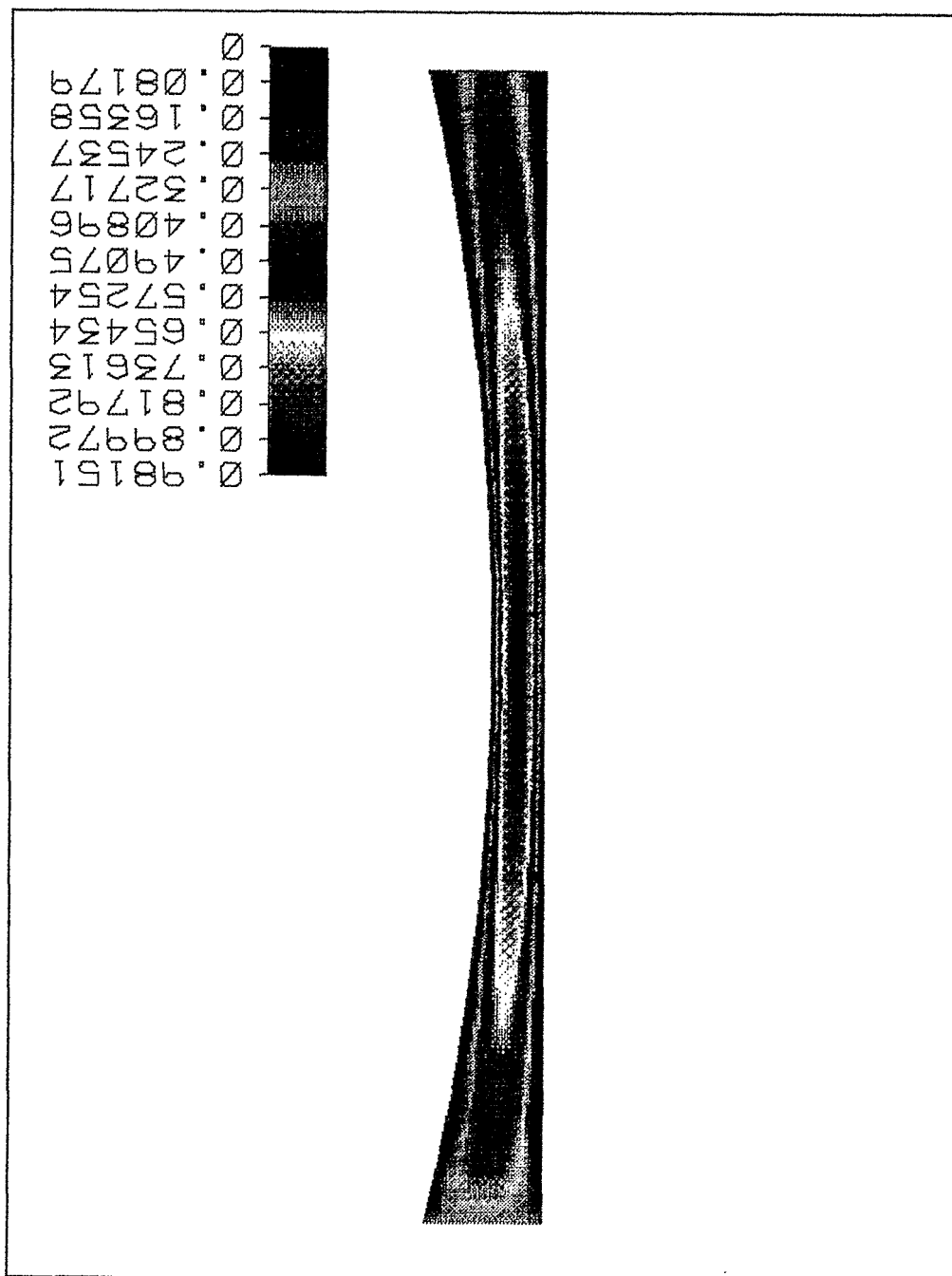
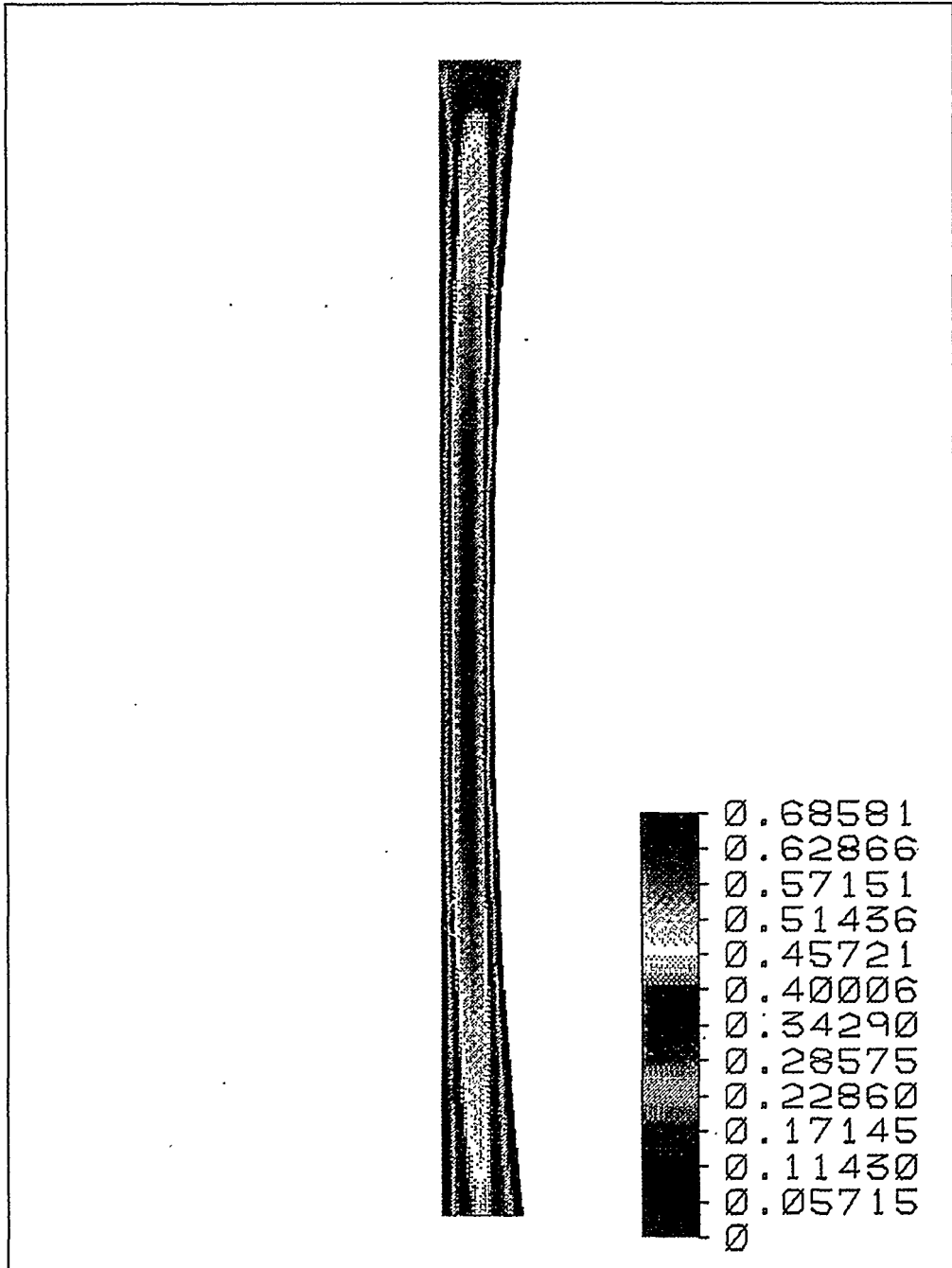


그림 2.3.7 그림1(c)의 형태로 $R = 126 \text{ mm}$, $d = 2.0 \text{ mm}$, $l = 50$

mm의 경우 유속 분포도.

그림 2.3.8 그림 1(c)의 형태로 $R = 291 \text{ mm}$, $d = 2.0 \text{ mm}$, $l = 50 \text{ mm}$ 의 경우 유속 분포도.



제 3 장 반도체 레이저 LDV를 이용한 색소셀내 의 유속측정

3.1 유체유속 측정에의 LDV 응용

유체의 이동 및 그 현상을 이해하고 해석하여 물리적인 성질이나 화학적인 공정을 개선하기 위한 방법은 여러가지가 있지만 실험적인 방법으로 유체의 가시화(flow visualization) 및 유속측정기술(flow velocity measurement technique) 등이 사용된다. 특히 유체유속 측정기술은 미소한 유체의 유동현상을 시간에 따라 항속인지, 변화하는지를 정량적인 모멘트를 이용하여 유체의 유동을 파악할 수 있어 유체역학적으로 특정지점에 대한 유체의 이동을 측정하는 방법이다. 이러한 유체의 유속측정을 위한 방법으로는 피토크(pitot tube)이나 열선유속계(hot wire anemometer) 등이 이용된다. 그러나 이러한 방법들은 계측기를 유체에 직접 접촉하는 방법으로, 유동현상에 교란을 주게 되므로 정밀도를 높이는 데 부적합하며 대상 유체와 유동 측정범위에도 제한을 받는다.

레이저 도플러 속도계(laser doppler velocimeter)는 레이저 광속을 유체에 조사시켜 유체내의 미소입자에 의한 산란광을 이용하여 유체의 속도를 측정하는 비접촉식 방법으로, 유체의 교란을 피할 수 있으며 공간분해능을 높일 수 있어 접촉식 방법인 피토크나 열선유속계보다 매우 우수한 특성을 갖는다. 이러한 LDV의 특성을 이용하여 유체의 유동현상을 해석하는 기술을 고출력 색소레이저 개발을 위한 펄핑용 색소셀

의 제작에 응용하고자 한다.

고출력 색소레이저를 개발하기 위하여서는 색소레이저의 공진기 및 펌핑 레이저의 제반여건뿐 만이 아니라 색소레이저에 사용 될 색소셀의 구조가 중요한 변수가 된다. 특히 색소셀내의 색소분포가 공간적으로 균일하고 유체가 적절하게 순환되는 상황하에서 고반복률을 갖는 고출력 색소레이저의 개발이 가능하다. 그러나 실제상황에 있어서는 고출력 펌핑광에 의한 국소적 굴절률의 변화에 기인하는 turbulence등이 레이저의 출력에 영향을 주므로 색소셀내의 유속을 측정하여 색소의 분포와 유속이 균일한 색소셀의 개발은 매우 중요하다.

즉 색소셀내의 유속분포를 유속측정기술을 이용하여 분석하고 이를 기초로 Cell을 설계,제작하여 공간적으로 색소의 분포와 유속이 균일한 영역을 찾아 펌핑을 시켜 레이저 출력을 안정화 시킬 수 있다.

3.2 반도체 레이저 LDV를 이용한 실험장치

광원이나 관측자 또는 전파매질의 운동에 의하여 광의 진동수가 변화하는 도플러효과는 레이저의 개발과 함께 레이저 도플러 헤테로다인 방법으로 움직이는 물체에 아무런 영향을 주지않고 물체의 속도를 측정할 수 있는 LDV를 가능하게 하였다. LDV는 산란광과 기준광을 헤테로다인시키는 방법에 따라 기본광속법(reference beam technique)과 이중광속법(dual beam technique)으로 나눌 수 있으며 이를 이용하여 색소셀 내에 포함된 입자에 의하여 산란된 두 광의 진동수차를 측정함으로써 유체의 속도를 측정할 수 있다.

색소셀내의 유체속도를 측정하기 위한 Optical Fiber LDV의 제작에 앞서 Polytec LDV 300 Serise를 사용하여 고출력 색소 레이저용 색소셀의 개발에 필요한 유체의 유속측정을 위하여 그림 2.3.1(b)에 나타낸 색소셀 내의 유속분포를 측정하였다. LDV를 이용한 유속측정기술에 있어 유체내에 포함된 입자의 크기 및 밀도, 간섭무늬 사이의 간격등이 중요한 변수로 작용하는데 일반적으로 입자의 크기는 무늬간격의 1/4정도의 것을 사용하며 입자의 크기가 간섭무늬 사이의 간격보다 너무 크거나, 매우 작은 경우 측정시 도플러 신호보다 페테스탈 잡음이 커지게 된다. 실험에 사용된 유체인 에탄올내에 포함된 입자의 크기 및 밀도는 유속측정에 적당한 상태였다.

실험에 사용된 LDV는 이중광속 헤테로다인 후방산란 기술을 이용한 것으로 그림 3.2.1에 실험장치를 나타내었다. Polytec LDV 300 Serise는 광원을 포함한 Optical Head(LDV-380)와 Controller(LDE-300) 그리고 신호처리를 위한 Doppler Signal Processor(Q3100)으로 구성되어 있다. 그림 3.2.2는 Optical Head 부분으로 그 기능을 살펴보면

1) Laser Diode Collimator.

파장이 830 nm이고 출력이 40 mW인 안정화된 반도체 레이저

2) Rhombus Beamsplitter.

Laser Beam을 두 부분으로 평행하게 나누어주는 역할을 하며, 평행도를 높이기 위하여 광속 A에 두 개의 Wedge Prisms을 두었다. Rhombus Beamsplitter을 통과한 두 개의 광속은 30 mm로 분리되어 진행한다.

3) Bragg Cell and Driver.

두 부분으로 나누어진 광속중 하나에 Frequency Shift를 주기 위하여 사용되었으며, 광속 B에 40 MHz의 Shift를 준다. 즉 beam의 한쪽 경로에 Bragg cell을 설치하여 Acousto-optic Modulation(AOM)을 시켜 beam의 진동수를 shift시킨다. 측정영역에서 입자에 의한 Doppler signal의 진동수를 f_d 라 하고 변조된 진동수를 f_0 라 하면 실제 측정되는 입자의 진동수는 AOM에 의하여 shift된 진동수와 관계로 부터 $f=f_0-f_d$ 로 표현되며 입자의 운동 방향에 대한 정보를 알 수 있다.

4) Wedge prisms.

광속 A에 놓여진 두 개의 Wedge Prisms은 광속이 Front Lens에 평행하게 진행하도록 한다

5) Rhombus prisms.

광속 B에 놓인 Rhombus prisms은 광속 A와 B를 60 mm의 간격으로 분리시켜 진행할 수 있도록 한다.

6) Compensation Prism.

Bragg Cell을 통과한 광속 B와 광속 A사이의 광로차를 보정하여 주어 측정영역에서 광속이 교차될때 광속의 Waist가 같게 함으로써 간섭무늬를 만들 수 있도록 한다.

7) Front Lens.

두 개의 광속을 측정영역에서 동시에 교차시켜 간섭을 일으킨다. Front Lens는 교환이 가능하며 렌즈의 초점거리를 바꾸어 간섭무늬 사이의 간격을 바꿀 수 있다. 여기서 간섭무늬 사이의 간격은 다음과 같이 주어진다.

$$d_f = \lambda \frac{f_1}{d_t}$$

λ : 레이저의 파장

f_1 : *Front Lens*의 초점거리

d_t : 투과되는 두 광속 사이의 거리

8) Receiver Lens.

측정영역에서 유체내의 입자에 의하여 산란된 광을 Fiber로 모아준다.

9) Fiber.

Glass/Glass As 200/300 receiving fiber로써 receving lens로 모아진 광을 avalanche photodetector에 전달한다.

10) A.P.D(Avalanche photodetector).

광학적인 신호를 전기적인 신호로 바꾸어주는 역할을 하며 변환된 전기적인 신호는 신호처리를 위하여 LDE-300 Controller로 보내어 진다.

그림 3.2.3부터 그림 3.2.5까지는 본 실험에서 사용하고자 하는 그림 2.3.1(b)에서 나타낸 두 개의 원통렌즈(곡률반경이 126 mm와 291 mm로 두 종류를 제작, 두 블록면사이의 거리는 똑같이 2 mm임)를 사용한 색소셀 2 종류를 지지해서 유동관을 설치하여 실험을 할 수 있도록 설계한 지지부의 설계도이다. 그림 3.2.3의 가운데 원형부에 유동관의 외경과 일치하는 O-ring을 끼우고, 직사각형 으로 파낸부분에 실리콘 고무판을 설

치한후 그림 3.2.5부분을 조립하여 볼트로 조이면 O-ring이 눌러서 유동관을 붙잡고 동시에 누수를 방지하도록 설계되었다. 이러한 부분이 색소셀 위아래 양쪽에 설치하도록되어 있으며 색소셀 전체를 레이저 몸체에 부착하는 부착부가 그림 3.2.5에 설계되어 있다. 이렇게 설계되어 제작된 지지대 및 부착부가 설치된 색소셀의 조립된 사진이 그림 3.2.6과 그림 3.2.7에 나와 있다. 그림 3.2.6은 원통렌즈의 반경이 126 mm인 경우이고, 그림 3.2.7은 원통렌즈의 반경이 291 mm인 경우이다.

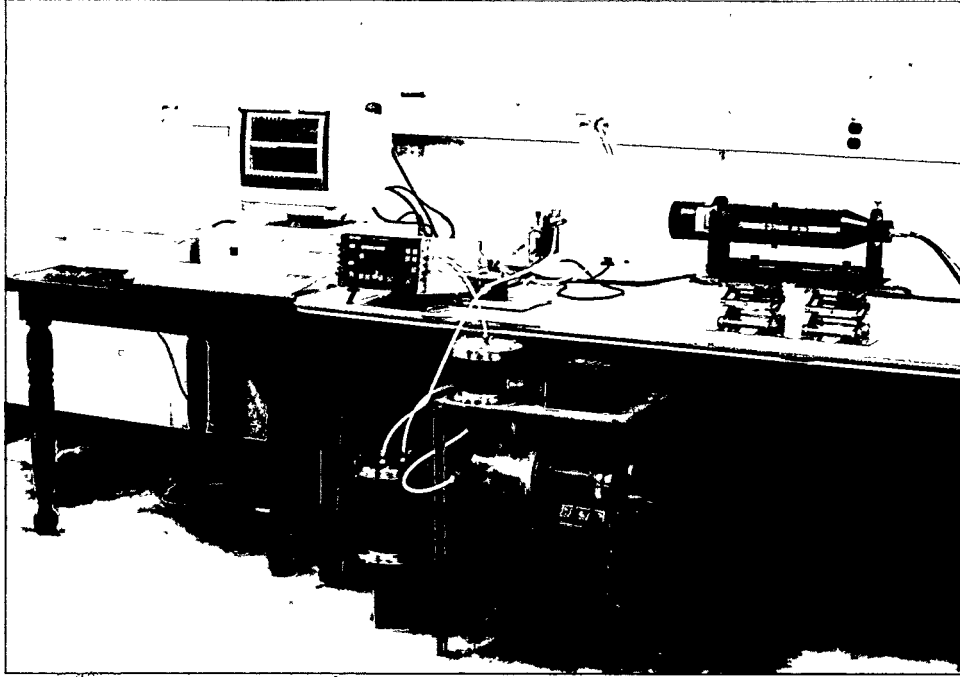


그림 3.2.1 반도체 레이저 LDV(Polytec, 모델 300)를 이용한 유속 측정 장치.

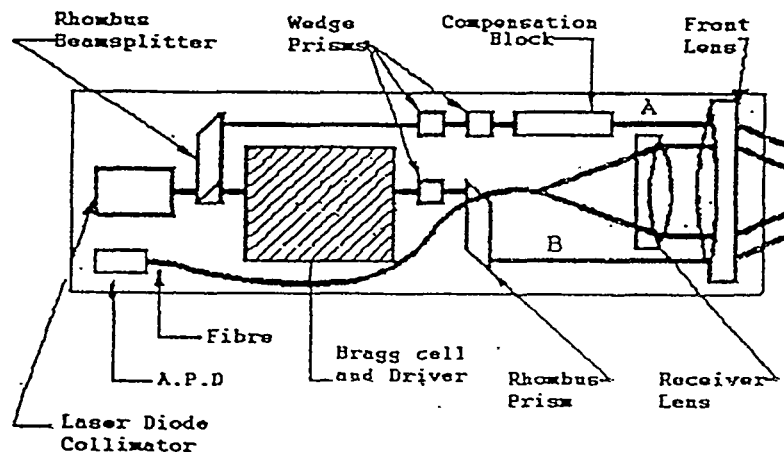


그림 3.2.2 반도체 레이저 LDV(Polytec, 모델 300)의 광학부의 구조도.

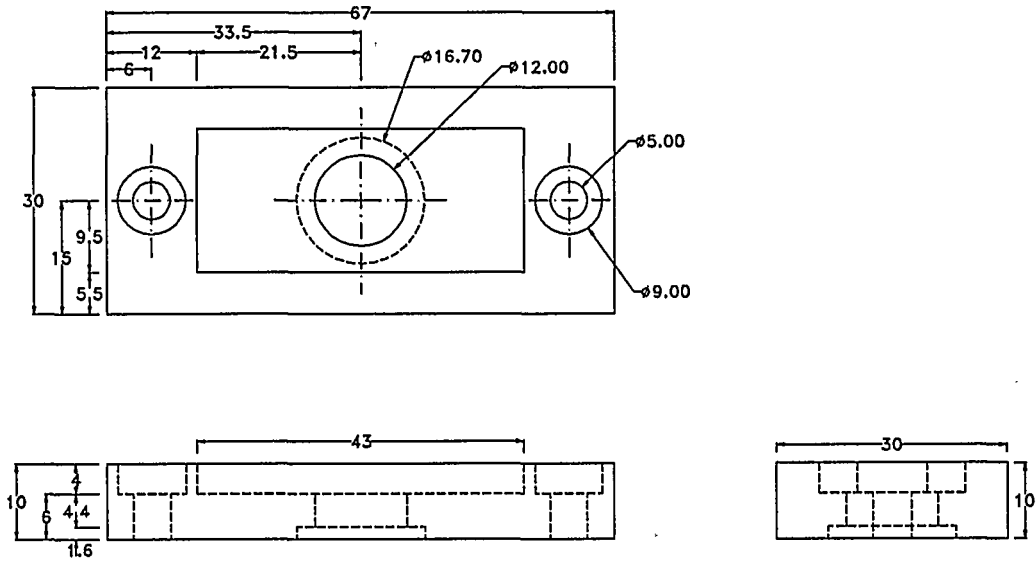


그림 3.2.3 원통렌즈 2 개를 이용하여 제작된 그림 2.3.1(b) 의 색 소셀을 지지하는 알루미늄 지지대 상판 1의 설계도.

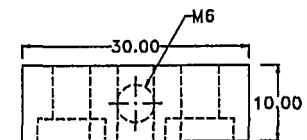
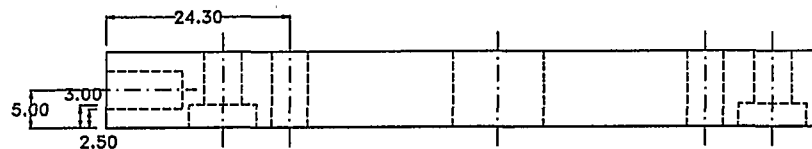


그림 3.2.4 원통렌즈 2 개를 이용하여 제작된 그림 2.3.1(b)의 색소셀을 지지하는 알루미늄 지지대 상판 2의 설계도.

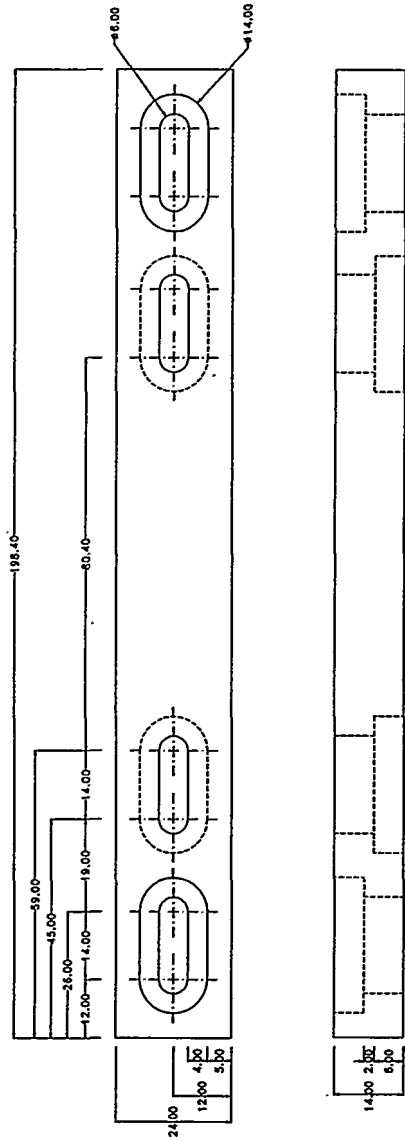


그림 3.2.5 그림 3.2.3과 그림 3.2.4로 구성된 색소셀을 레이저 물체에 고정하는 고정대 설계도.

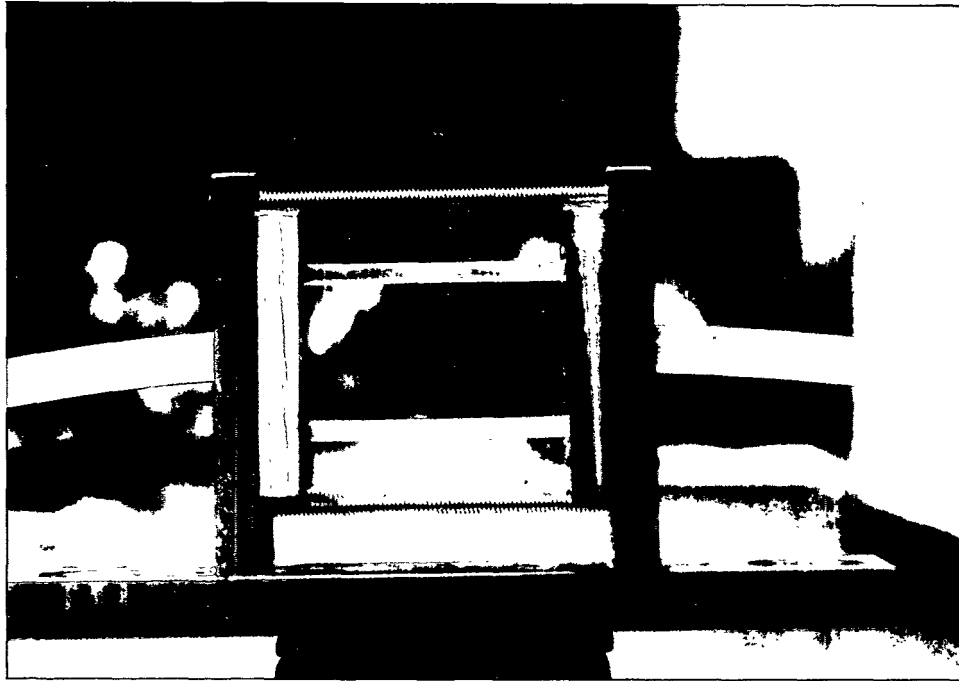


그림 3.2.6 곡률반경 126 mm의 원통렌즈 2개로 제작된 색소셀의 사진.



그림 3.2.7 곡률반경 291 mm의 원통렌즈 2개로 제작된 색소셀의 사진.

3.3 색소셀내의 유속분포 측정 결과

그림 3.2.1의 반도체 레이저 LDV를 이용하여 그림 3.2.6과 그림 3.2.7의 색소셀에 대한 Cell내의 유속분포를 측정한 결과 그림 3.3.1의 위쪽 화면에서와 같은 Burst 신호를 얻을 수 있으며, 그림 3.3.1의 아랫쪽 화면에서 이 Burst 신호를 FFT해서 얻은 스펙트럼 신호를 얻어서 이로부터 계산된 유속을 얻을 수 있다. 이 경우 유속을 계산한 결과 수 m/s 이며 이는 실험에 사용한 색소셀내의 유속을 조절하는 모터의 전압에 따라 바뀔 수 있다.

그림 3.2.6(그림 2.3.1(b)로 곡률반경 126 mm 의 경우)의 색소셀에 대한 유체의 속도를 x-y면인 넓은 면쪽에 대하여 그림 3.3.1에서와 같이 한 점마다 구해진 결과를 이차원으로 추적하여 측정한 결과가 그림 3.3.2에 나와 있다. 그리고 그림 3.2.7(그림 2.3.1(b)로 곡률반경 291 mm 의 경우)의 색소셀에 대한 유체의 속도를 똑같이 x-y면인 넓은 면쪽에 대하여 그림 3.3.1에서와 같이 한 점마다 구해진 결과를 이차원으로 추적하여 측정한 결과가 그림 3.3.3에 나와 있다. 이 들 결과들로 부터 유속 관 입구와 출구쪽에서 속도의 기울기가 심함을 알 수 있고, 벽쪽으로 갈 수록 속도가 급락함을 알 수 있다. 특히 원통렌즈로 제작한 본 색소셀의 구조상 두께가 가장 얇은 중앙부분의 속도가 거의 입구의 속도와 같음을 알 수 있으며, 직경 1 cm의 영역에서는 거의 유속이 일정하고 아주 빠름을 알 수 있다. 특히 원통렌즈의 곡률반경이 보다 큰 그림 3.3.3에서의 경과를 보면, 속도가 일정한 부분이 그림 3.3.2보다 훨씬 넓음을 알 수 있다. 다만 유속이 입구나 출구보다 다소 떨어짐을 알 수 있는데 이는

이미 예상했던 바이다. 그러므로 곡률반경이 291 mm보다 크고, 간격은 2 mm보다 좁은 색소셀이 고안되면 보다 좋은 색소셀이 될 수 있으리라 판단된다. 결론적으로 현재에 제작된 색소셀로는 그림 2.3.1(a) 를 갖는 것과 그림 2.3.1(b)의 형태를 갖는 것중 곡률반경이 291 mm인것을 선택하여 사용하면 된다. 다만 이 경우에도 유동관의 입구와 출구에서의 교란을 막기위하여 메쉬등의 사용이나, 보다 알맞는 입구출구가 고안될 필요가 있다.

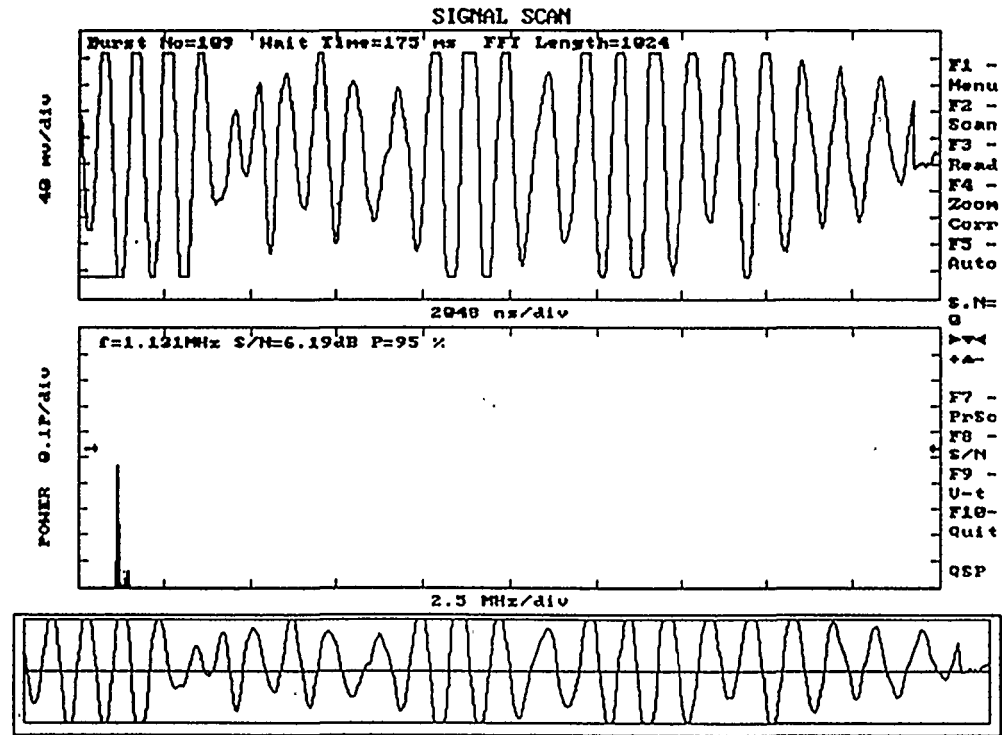


그림 3.3.1 그림 3.2.1의 반도체 레이저 LDV를 이용하여 그림 3.2.6과 그림 3.2.7의 색소셀에 대한 Cell내의 유속분포를 측정하여 얻은 Burst 신호와 이 Burst 신호를 FFT해서 얻은 스펙트럼 신호.

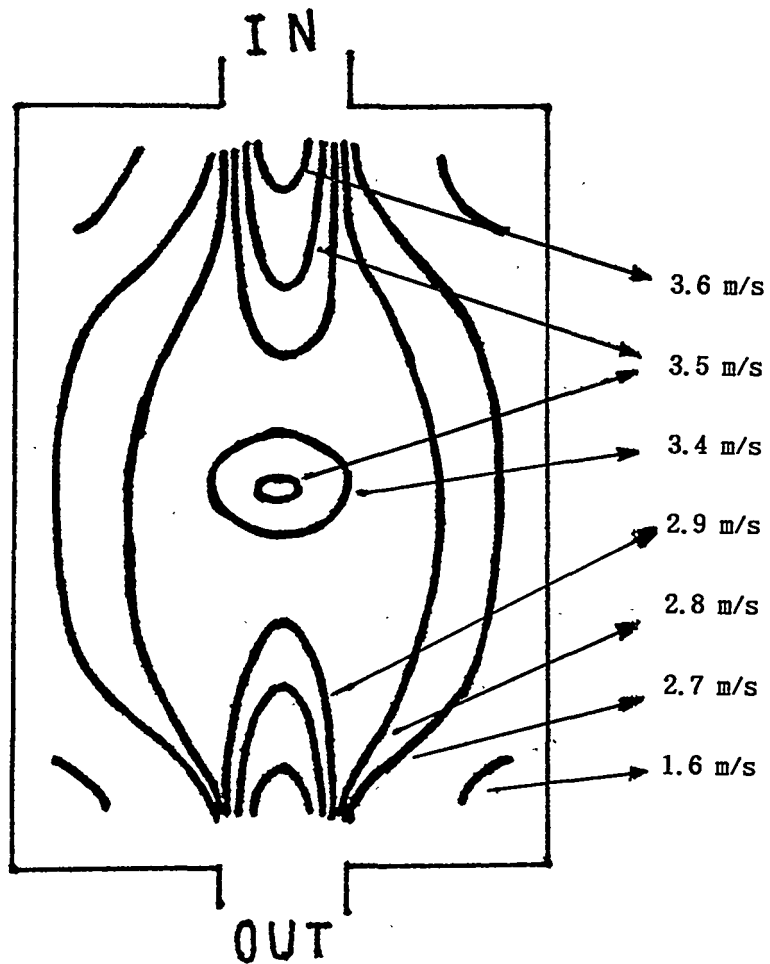


그림 3.3.2 곡률반경 126 mm의 원통렌즈 2개로 제작된 색소셀내
의 유속분포도.

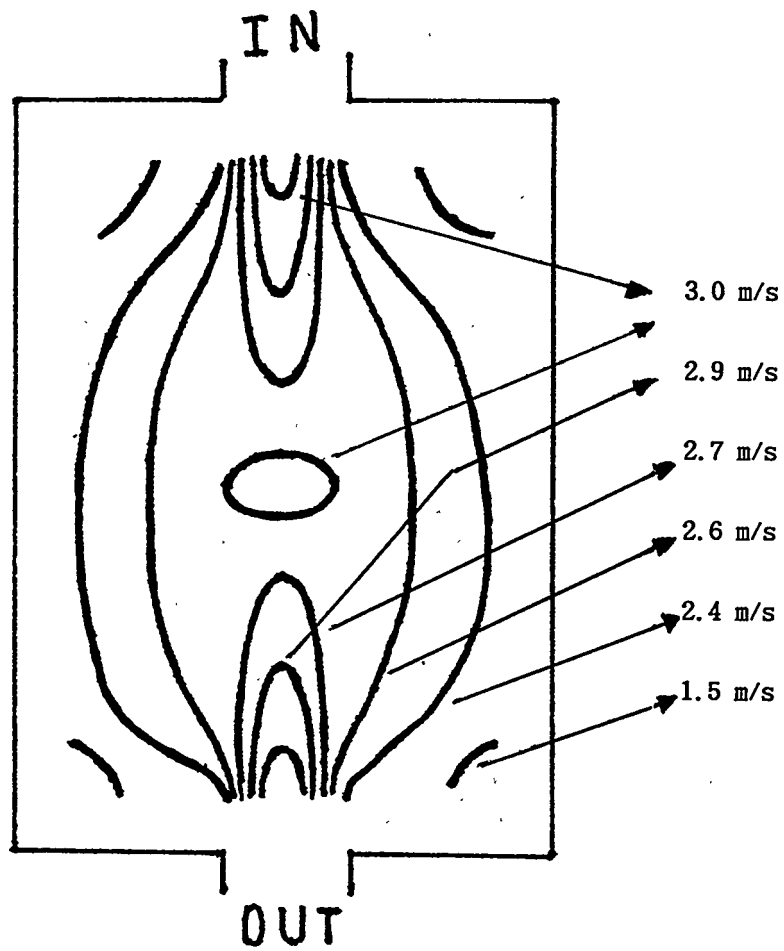


그림 3.3.3 곡률반경 291 mm의 원통렌즈 2개로 제작된 색소셀내
의 유속분포도.

제 4 장 Fiber-Optic LDV의 설계 및 제작

4.1 이중광속 LDV의 원리

레이저 광속을 둘로 나누고 이를 유속을 조사하고자 하는 지점에 함께 집속시켜서 간섭무늬를 형성하고, 이 간섭무늬를 유체내의 미립자들이 지나면서 산란시킨 광만을 출기로 검출하여 유체의 유속에 의한 도플러 주파수를 앞으로써 유속을 측정하는 것이 이중광속 LDV의 원리이다. 이중광속을 이용하는 LDV는 산란광만을 검출하게 되므로 상대적인 신호대잡음비를 높일 수 있다는 장점때문에 이중광속에 의한 LDV가 주로 사용된다.

그림 4.1.1은 이중광속 LDV에서 두 광속에 의하여 발생하는 간섭무늬의 형태를 보여준다. 유속을 측정하고자하는 지점에 각도 2θ 로 입사하는 두 레이저 광속을 평면파로 가정하면, $E_1 = E_{10} e^{[i(2\pi \nu t - k\xi_1)]}$ 와 $E_2 = E_{20} e^{[i(2\pi \nu t - k\xi_2)]}$ 로 표현할 수 있다. 그러므로 이 두 광속을 합한 세기는

$$I = E_{10}^2 + E_{20}^2 + 2E_{10}E_{20}\cos[k(\xi_2 - \xi_1)] \quad (4.1.1)$$

가 된다. 여기에서 E_{10} 와 E_{20} 는 두광속의 진폭이고, ν 는 진동수이며, k 는 파수이다. 그리고 ξ_1 과 ξ_2 는 두 광속의 진행방향에 대한 위치벡터의 크기이다. 따라서 (4.1.1)식에서 I 는 코사인항이 $2N\pi$ 일 때 최대가 되고, $2(N+1)\pi$ 일 때 최소가 된다. 여기에서 N 은 정수로 간섭무늬의 차수를 나

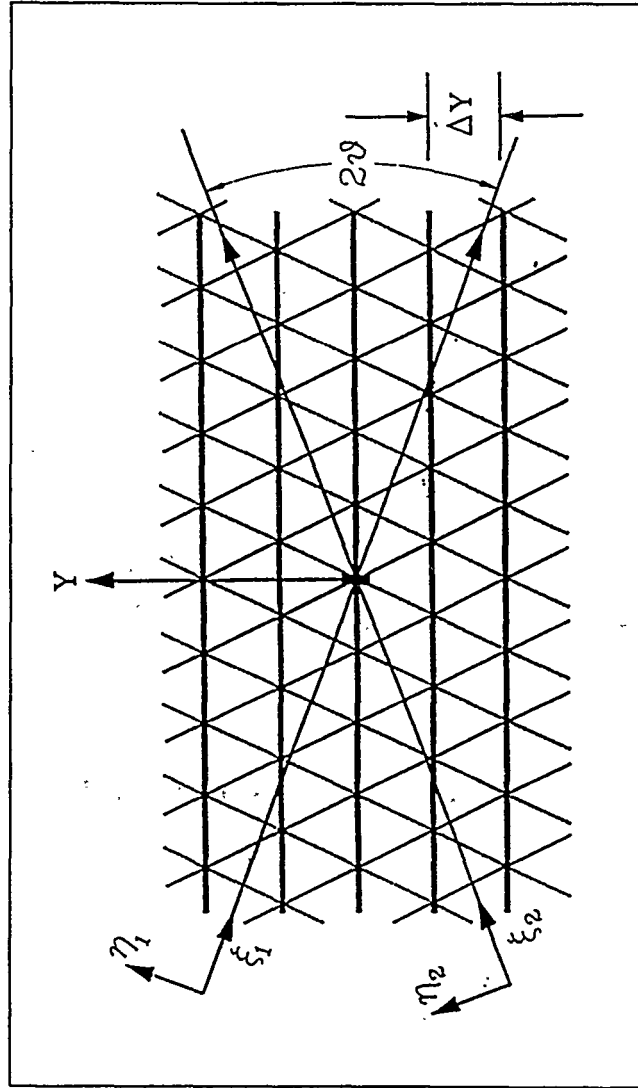


그림 4.1.1 유체내에 접속된 두 레이저 광에 의하여 형성된 간섭무늬 형태와 간격.

여기에서 t_0 는 도플러 주파수로 주기 t_0 의 역수가 된다. 그리고 ΔY 는 LDV의 광학계가 구성되면 기하적으로 고정되는 값이므로 상수가 되며, 유속에 따라 달라지는 t 또는 t_0 만을 측정함으로써 이에 비례하는 유속 V (3)식으로부터 구할 수 있다. 이와같이 레이저광속을 광속분할기로 두 부분으로 평행하게 나눈 후, 렌즈로 측정영역에 교차시켜서 간섭무늬를 만들면, 유체내의 입자가 간섭무늬 사이를 횡단할 때 산란되는 광을 검출함으로써 유속을 측정할 수 있게 된다.

$$V = \frac{\Delta Y}{t} = \Delta Y \cdot f_d \quad (4.1.3)$$

있다. 이다. 여기에서 λ 는 유체내에서의 광파장으로 진공중의 광파장 λ_0 를 유체의 굴절률 n 으로 나눈값과 같다. 그러므로 유체내의 미소입자가 측정 영역에 생긴 간섭무늬사이 ΔY 를 횡단할 때 생기는 산란광 세기의 주기 t 를 측정할 후, 이로부터 아래와 같이 유속의 1차원적인 값 V 를 알 수

$$\Delta Y = (Y)^{N+1} - (Y)^N = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \quad (4.1.2)$$

타낸다. 또한 $\xi_1 = X \cos \theta - Y \sin \theta$ 이고, $\xi_2 = X \cos \theta + Y \sin \theta$ 이므로, $\xi_2 - \xi_1 = 2Y \sin \theta$ 가 된다. 이로부터 N 번째 밝은 무늬와 $(N+1)$ 번째 밝은 무늬의 위치는 각각 $2k(Y)N \sin \theta = 2N\pi$ 와 $2k(Y)(N+1) \sin \theta = 2(N+1)\pi$ 가 되므로, 밝은 무늬의 간격, 즉, 간섭 무늬의 간격 ΔY 는

4.2 실험장치 및 실험방법

그림 4.2.1은 광섬유 방향성 결합기를 이용하여 구성한 반도체레이저 전방산란형 fiber-optic LDV를 보여주는 개략도이며, 그림 4.2.2는 이 장치를 보여주는 사진이다. 광원으로는 파장 $\lambda_0 = 850 \text{ nm}$, 출력 100 mW인 단일모드 GaAlAs 반도체레이저를 사용하였으며, 이를 pigtailling 하여 파장 850 nm 에 대해서 단일모드 광섬유(코아직경: 4 μm , 클래딩 직경: 125 μm)에 연결하였으며, 이를 Fiber-optic Dichroic 광속분할기의 포트 T로 입사하여 포트 1과 포트 2로 나누어 pigtailling 된 광속평행기 (beam collimator)에 입사시킨다. 이렇게 만들어진 평행광속을 렌즈 1로 색소셀에 입사시켜서 간섭무늬를 만들고, 이 간섭무늬에서 산란된 광을 렌즈 2와 렌즈 3으로 광검출기(photodiode)에 집속시킨다. 검출된 신호는 band pass filter와 증폭기를 거쳐서 오실로스코프와 스펙트럼분석기로 이 산란광의 도플러 주파수를 측정한다. 이때 입사되는 사잇각은 $\theta = 4.53^\circ$ 이다.

검출된 신호는 band pass filter(TSI, model no.: 1982)와 최대 60 dB까지 증폭할 수 있는 증폭기를 거쳐 디지털 스토리지 오실로스코프 (tektronix, model no.: 2440)로 산란신호를 관찰하였다. 이때 사용한 색소셀(Hellma, catalogue no.: 690.072-QS)은 상용의 색소셀과 자체적으로 제작한 그림 3.2.6과 그림 3.2.7의 색소셀을 사용하였다. 사용하는 유체는 실제 색소레이저를 동작시킬때 색소를 녹여서 사용하는 에탄올을 색소없이 사용하였으며, 이 유체의 속도는 입력 전압을 가변하여 조절할 수 있는 모터를 사용하여 조정하였다.

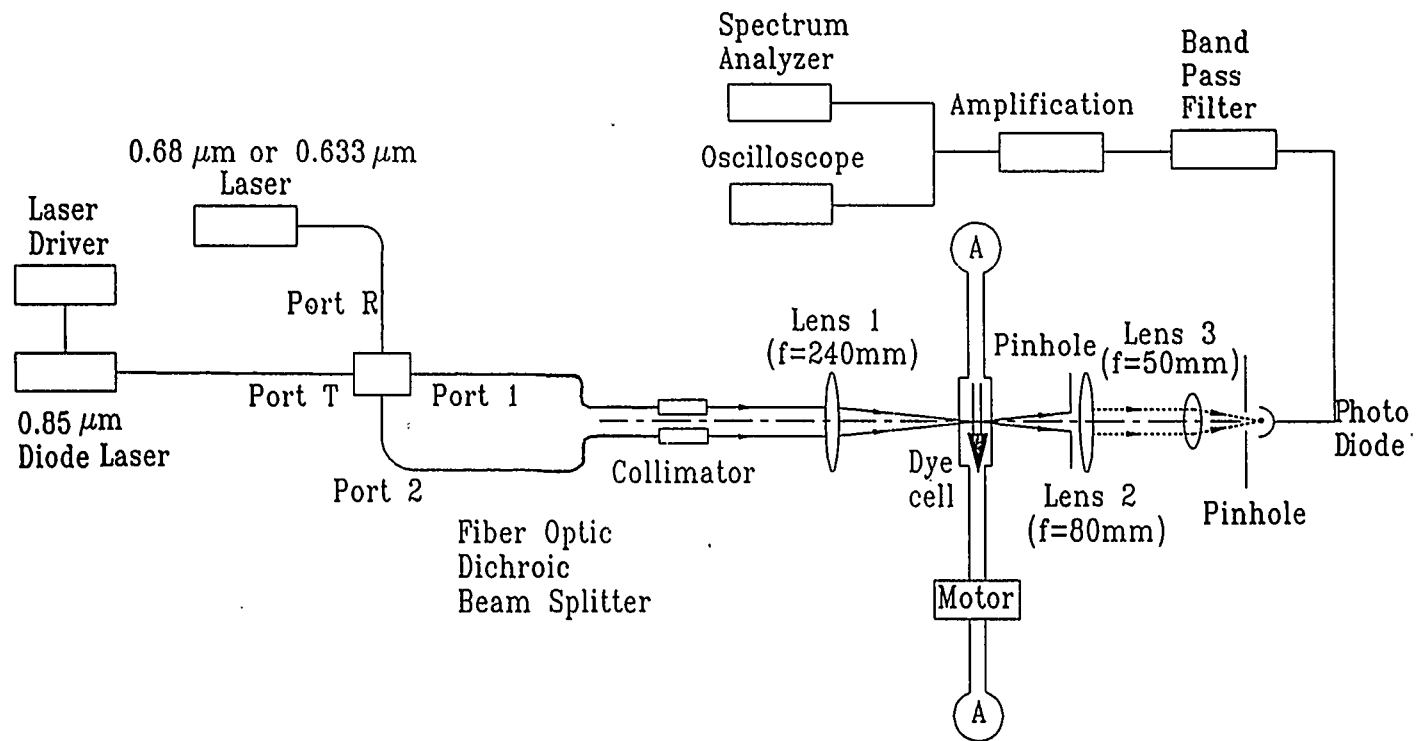


그림 4.2.1 Fiber-Optic LDV를 이용하여 전방산란형으로 구성한 실험장치도.

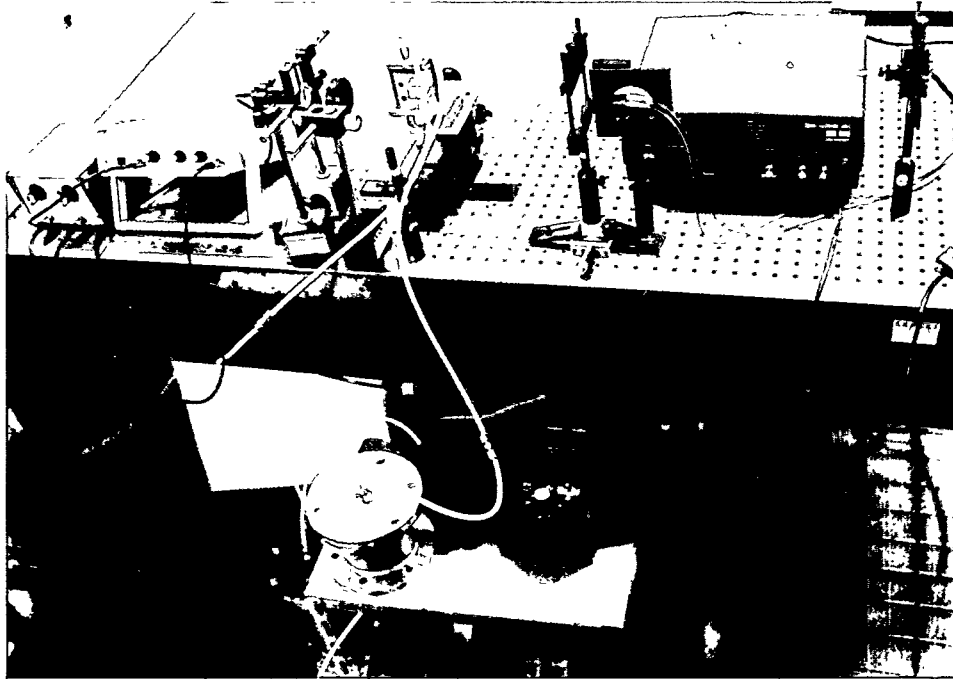


그림 4.2.2 Fiber-Optic LDV를 이용하여 전방산란형으로 구성한
실험장치의 사진.

4.3 Fiber-Optic LDV의 제작 및 실험결과

그림 4.3.1은 Fiber-optic Dichroic 광속분할기의 설계를 보여주는 것으로, 완성된 사진은 그림 4.3.2에 나와 있다. 이때 사용한 광섬유는 코아 직경이 $4\ \mu\text{m}$ 이고, 클래딩 직경이 $125\ \mu\text{m}$ 인 파장 $850\ \text{nm}$ 용 단일모드 광섬유였다. 이 광속분할기의 각 포트에서의 결합손실은 표 4.3.1에 나와 있으며, pigtailling해서 광속을 평행광으로 만드는 광속 collimator의 특성을 $0.633\ \mu\text{m}$ 헤륨네온 레이저를 사용하여 측정한 결과가 표 4.3.2에 나와 있다. 그리고 사용한 반도체 레이저의 제원과 출력곡선이 표 3과 그림 4.3.3에 나와 있으며, 이 레이저를 pigtailling하여 평행광이 되는 부분이 그림 4.3.4에 나와 있다. 그리고 그림 4.3.5는 이 반도체 레이저를 작동시키는 driver의 사진이고, driver의 회로도중 power supply에 대한 회로는 그림 4.3.6에, 앞쪽 front board에 대한 회로는 그림 4.3.7에, 그리고 이들을 동기하여 구동시키는 main board의 회로는 그림 4.3.8에 나와 있다.

그림 4.3.9는 그림 4.2.1과 그림 4.2.2의 반도체레이저 전방산란형 fiber-optic LDV를 구성하여 광다이오드로 검출한 신호를 band pass filter와 증폭기로 증폭한 후, 디지털 오실로스코프로 관찰한 도플러 신호의 주기를 보여주는 것이다. 이 신호를 스펙트럼 분석기로 주파수를 분석한 결과가 그림 4.3.10과 그림 4.3.11에 나와 있다. 이경우 유속은 저속 부분으로 $3.2\ \text{cm/s}$ (그림 4.3.10)와 $2.8\ \text{cm/s}$ (그림 4.3.11)의 유속이 측정되었다.

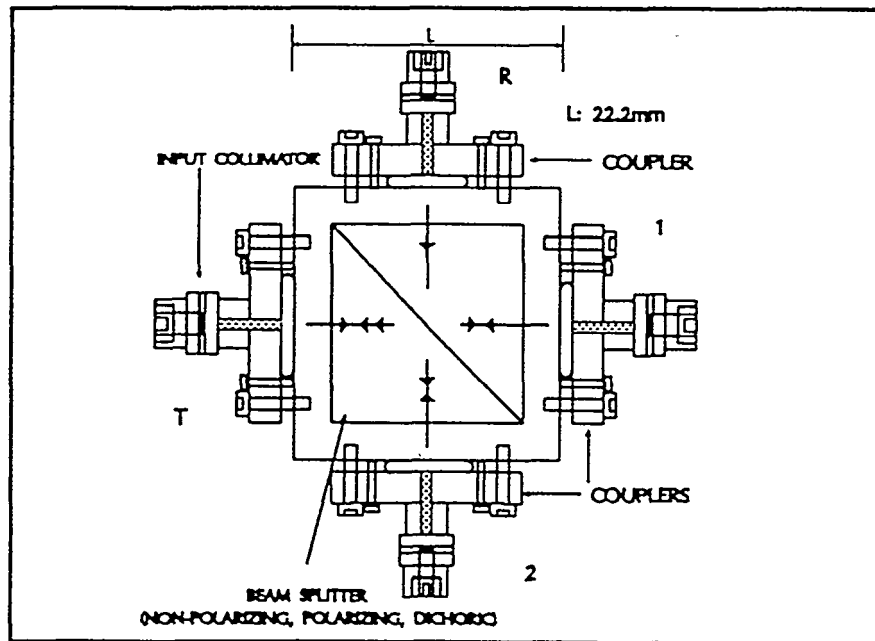


그림 4.3.1 Fiber-Optic Dichroic 광속분할기의 구조도.

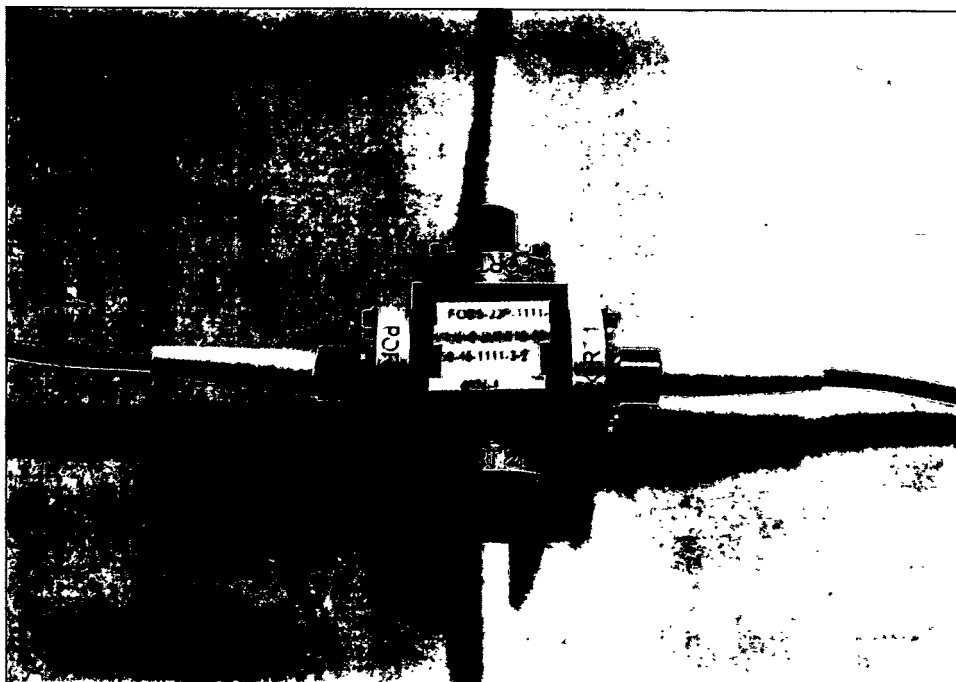


그림 4.3.2 제작된 Fiber-Optic Dichroic 광속분할기의 사진.

Insertion Loss (dB)			
$T \longleftrightarrow 1$	$T \longleftrightarrow 2$	$2 \longleftrightarrow R$	$1 \longleftrightarrow R$
7.8	4.8	—	—
—	—	4.75	6.6

표 4.3.1 Fiber-Optic Dichroic 광속분할기의 각 포트간의 광속 전송시 나타나는 결합률.

Wavelength	Beam Diameter	Divergence Angle	Coupling Efficiency
0.633 (μm)	1.02 (mm)	0.79 (mrad)	> 70 (%)

표 4.3.2 헬륨네온 레이저로 조사하였을때 측정된 Fiber-Optic Dichroic 광속분할기의 특성들.

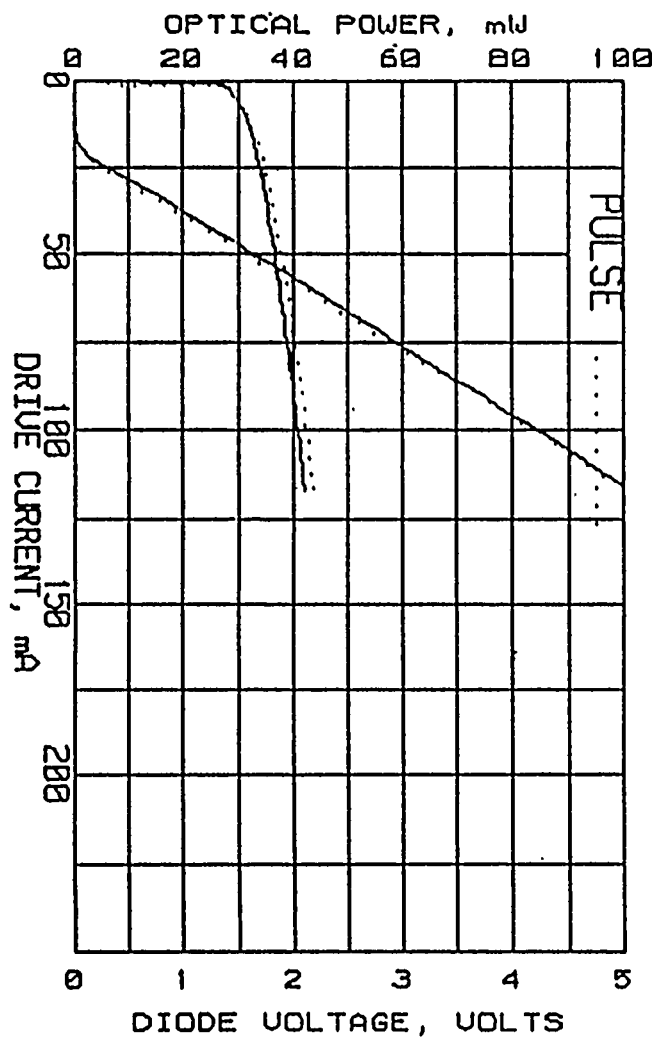


그림 4.3.3 실험에 사용된 850 nm 반도체 레이저의 출력 특성곡선.

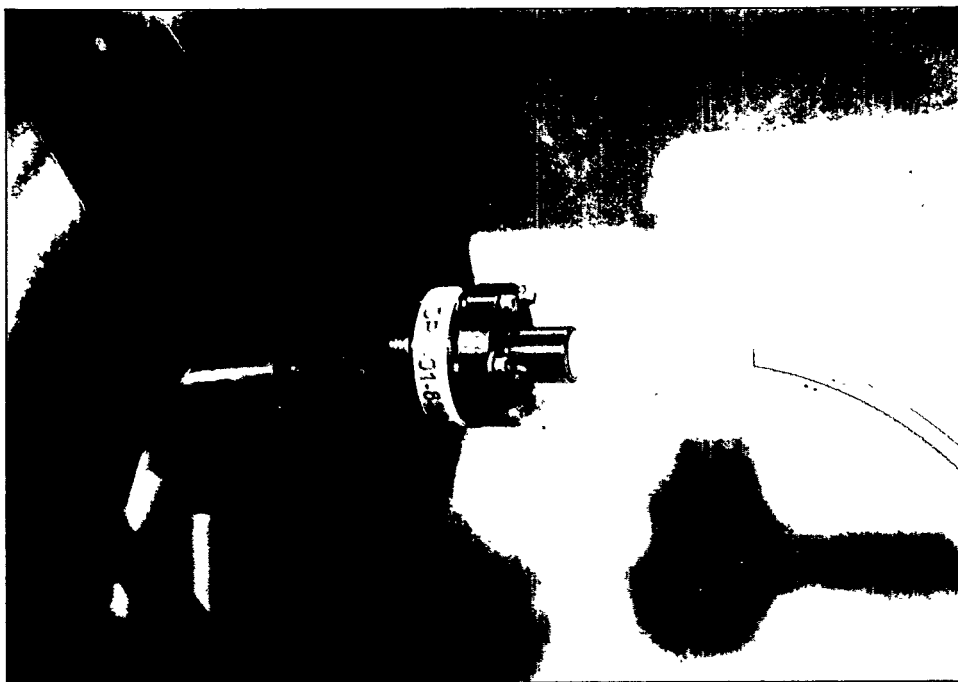


그림 4.3.4 Pigtailed된 반도체 레이저 사진.

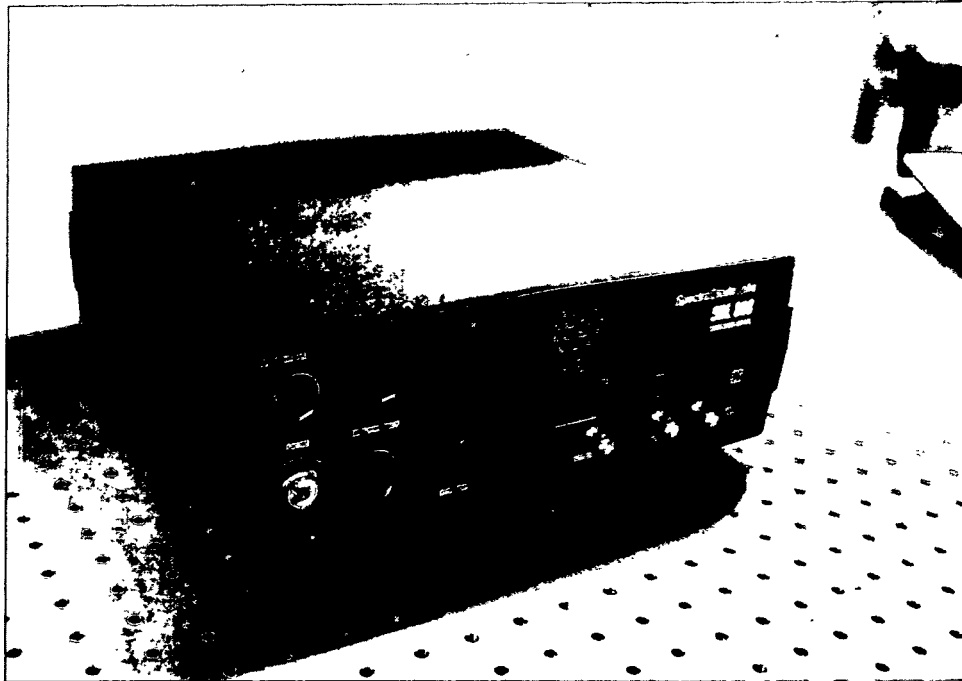
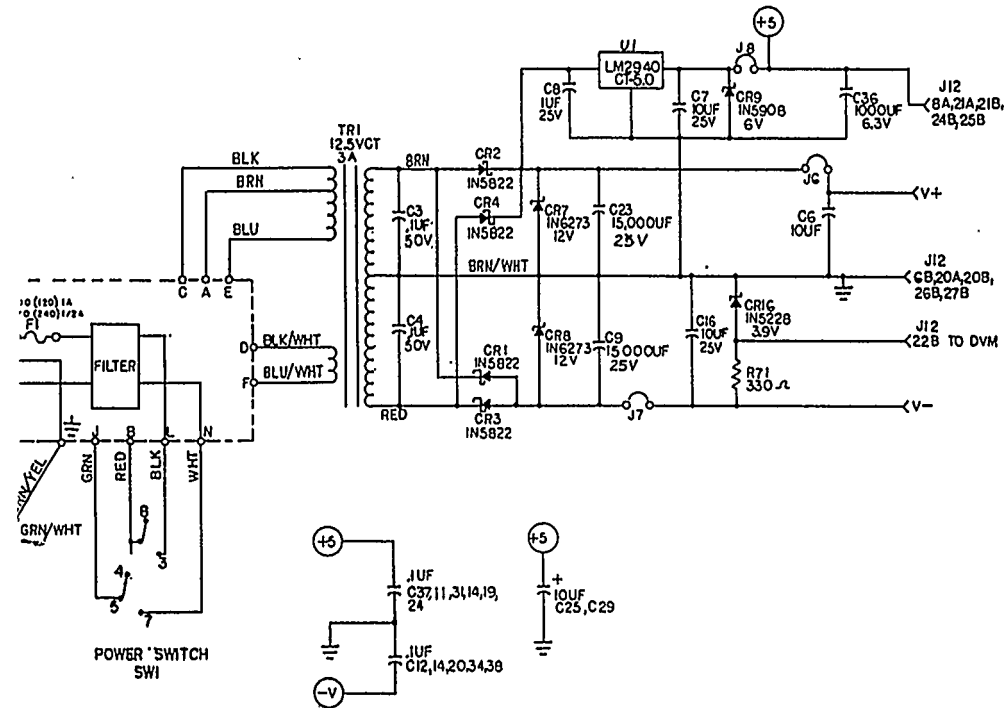


그림 4.3.5 반도체 레이저 구동기(driver)의 사진.



POWER SUPPLY

그림 4.3.6. 반도체 레이저 구동기의 power supply 회로도.



그림 4.3.7. 반도체 레이저 구동기의 front board.

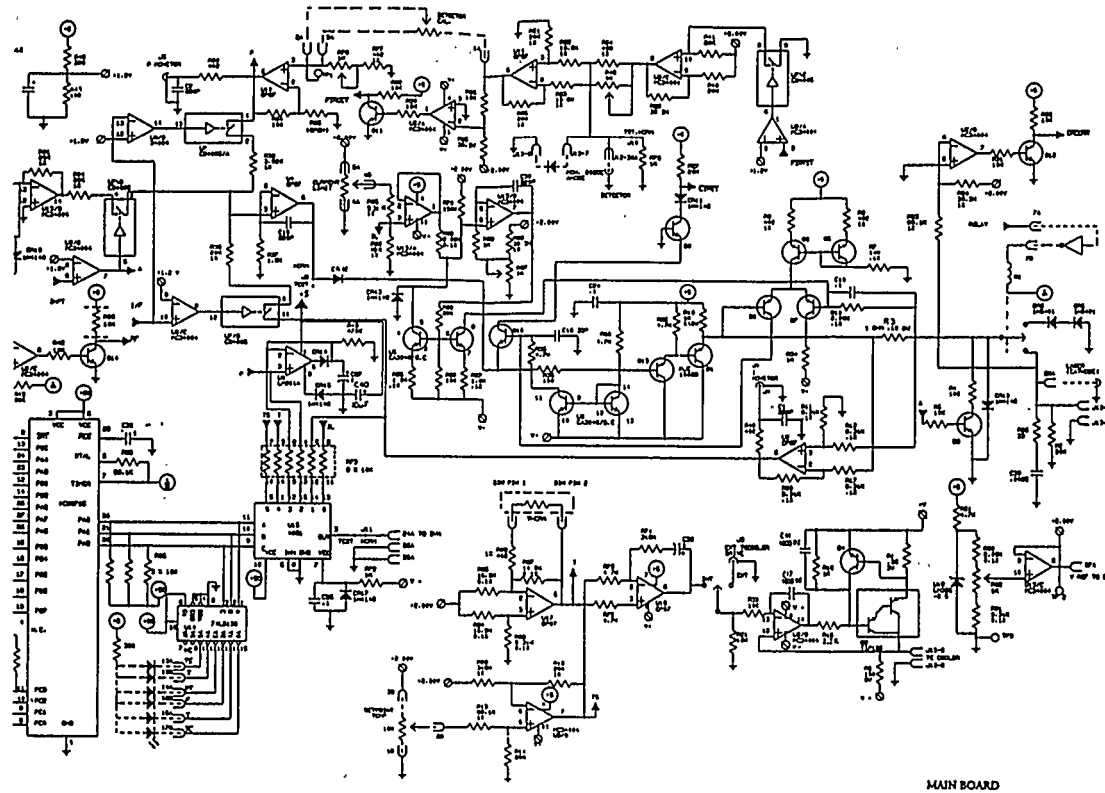


그림 4.3.8. 반도체 레이저 구동기의 main board 회로도.

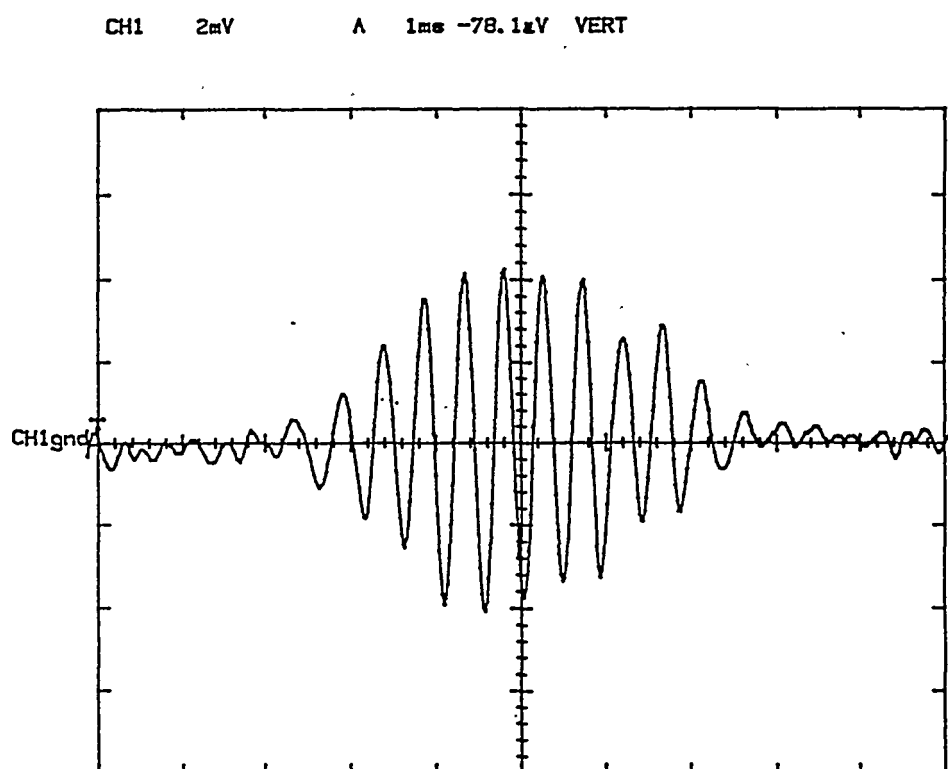


그림 4.3.9 그림 4.3.1의 실험장치로 얻은 색소셀내의 도플러 신호.

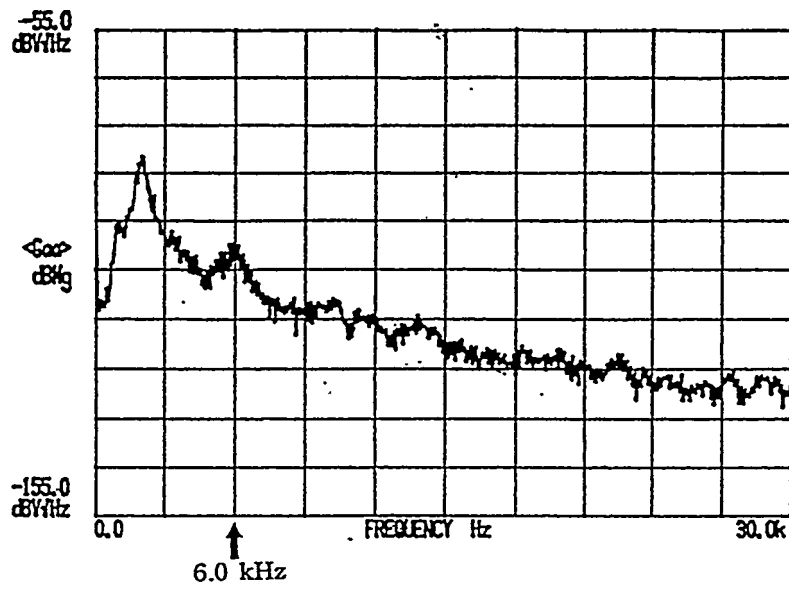


그림 4.3.10 그림 4.3.9의 신호를 스펙트럼 분석기로 주파수를 분석한
결과(도플러 신호의 주파수 $f = 6 \text{ kHz}$)

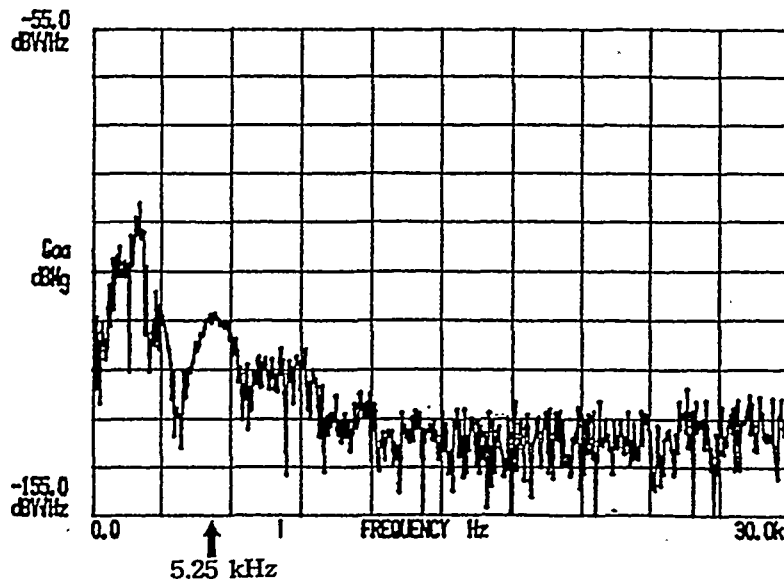
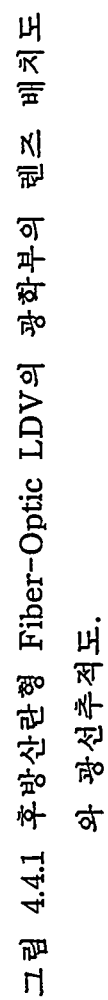


그림 4.3.11 그림 4.3.9의 신호를 스펙트럼 분석기로 주파수를 분석한
결과(도플러 신호의 주파수 $f = 5.25$ kHz)

4.4 후방산란형 Fiber-Optic LDV의 설계 및 제작

4.2절과 4.3절에서 따룬 LDV는 1차년도 보고서 제2장에서 언급한 전발 산란형 이중광속 LDV의 형태이다. 이러한 형태는 레이저 도플러 유속계의 신호를 쉽게 검출할 수 있다는 장점이 있으나, 장치가 광원부와 검출부가 이원화되어 있기때문에 구조가 복잡하고, 사용자의 취급이 용이하지 않다. 그래서 본 절에서는 이러한 문제점을 극복하고자 광원부와 검출부가 일원화된 후방산란형 LDV를 설계 제작하고자한다. 그림 4.4.1의 맨 아래 그림에서 큰 렌즈의 바로 왼쪽에 뚫려있는 상하의 두 긴 구멍에 그림 4.3.2의 Fiber-optic Dichroic 광속분할기의 각 출력 포트에서 나온 직경 6.5 mm의 광속 collimator 두 개를 넣으면, 그림과 같은 광선들이 직경 78.8 mm의 doublet렌즈를 통하여 한점으로 집속된다. 집속된 광은 그림 4.1.1과 같은 간섭무늬를 유속 탐사부에 형성하며 이로부터 후방산란된 산란광이 다시 직경 45.5 mm의 렌즈로 후방에 있는 광검출기에 비속되도록 설계하였다. 그림 4.4.2는 이 탐사부에 간섭무늬를 만드는 집속렌즈와 광검출기에 산란된 신호광을 집속시켜주는 검출렌즈를 고정시키는 몸체의 설계도이고, 그림 4.4.3은 광검출기가 설치되는 검출부에 대한 설계도이며, 그림 4.4.4는 이들 두부분을 결합한 조립도가 된다. 그림 4.4.5와 그림 4.4.6은 각 렌즈를 고정하는 고정 나사이며, 이들을 모두 조립하여 완성된 후방산란형 Fiber-Optic LDV의 광학계의 사진이 그림 4.4.7에 나와 있으며, 이를 이용하요 구성한 전체적인 Fiber-Optic LDV의 실험장치 사진이 그림 4.4.8에 나와 있다.



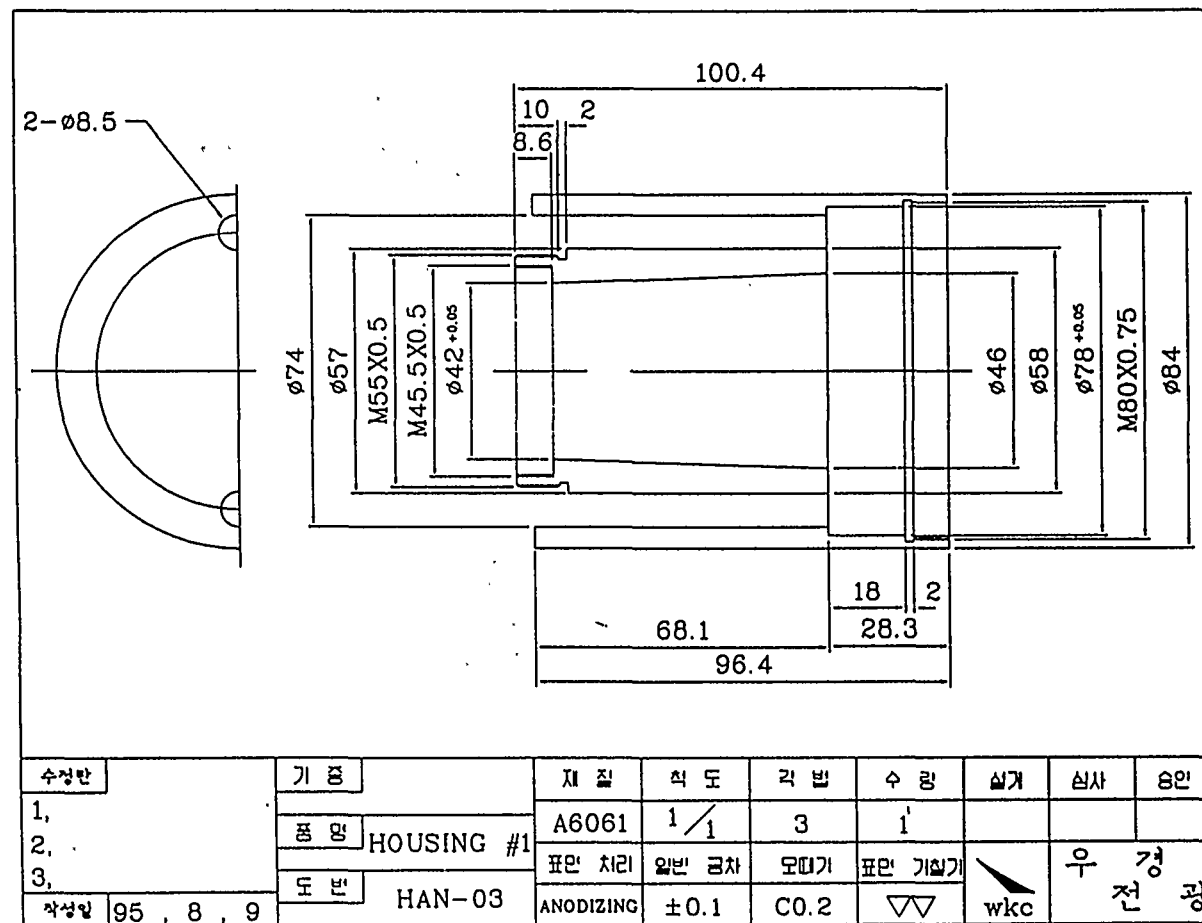


그림 4.4.2 후방산란형 Fiber-Optic LDV의 광학부의 렌즈 홀더부의 설계도.

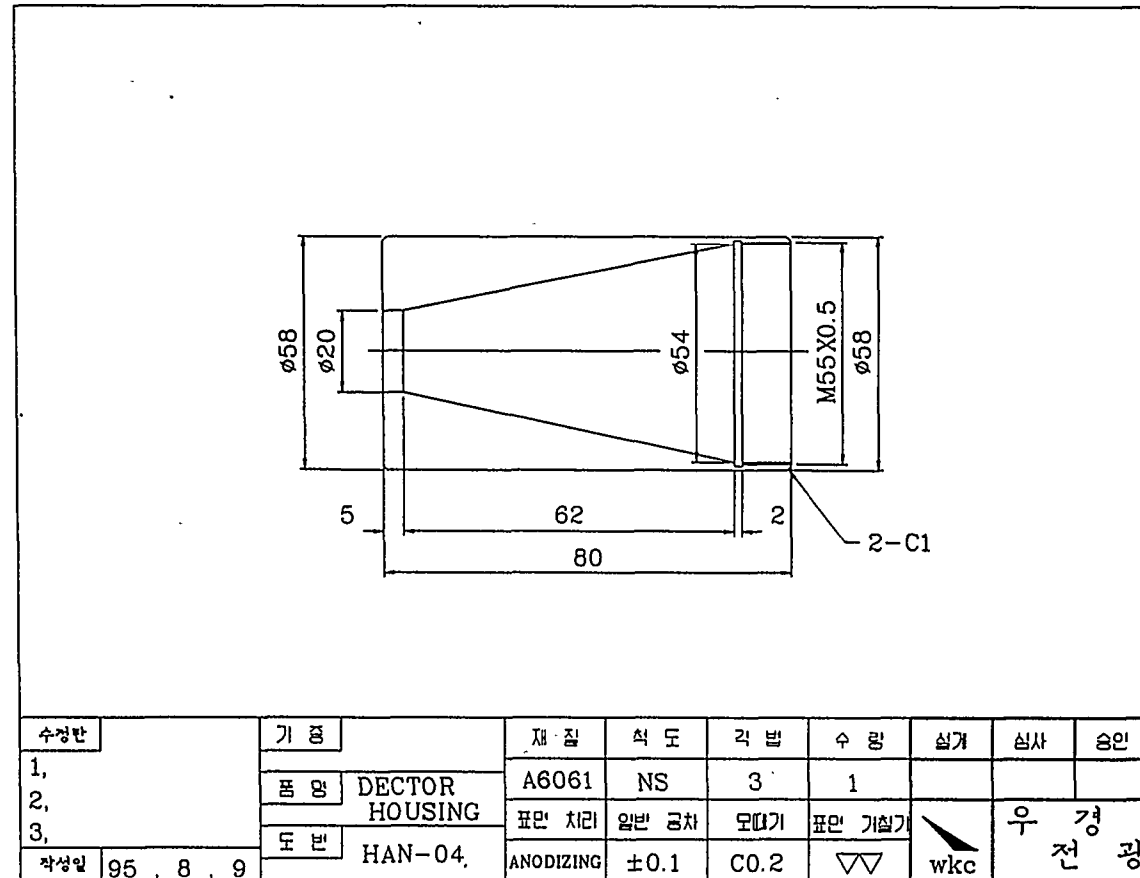


그림 4.4.3 후방산란형 Fiber-Optic LDV의 광학부의 광검출부 및 지대의 설계도.

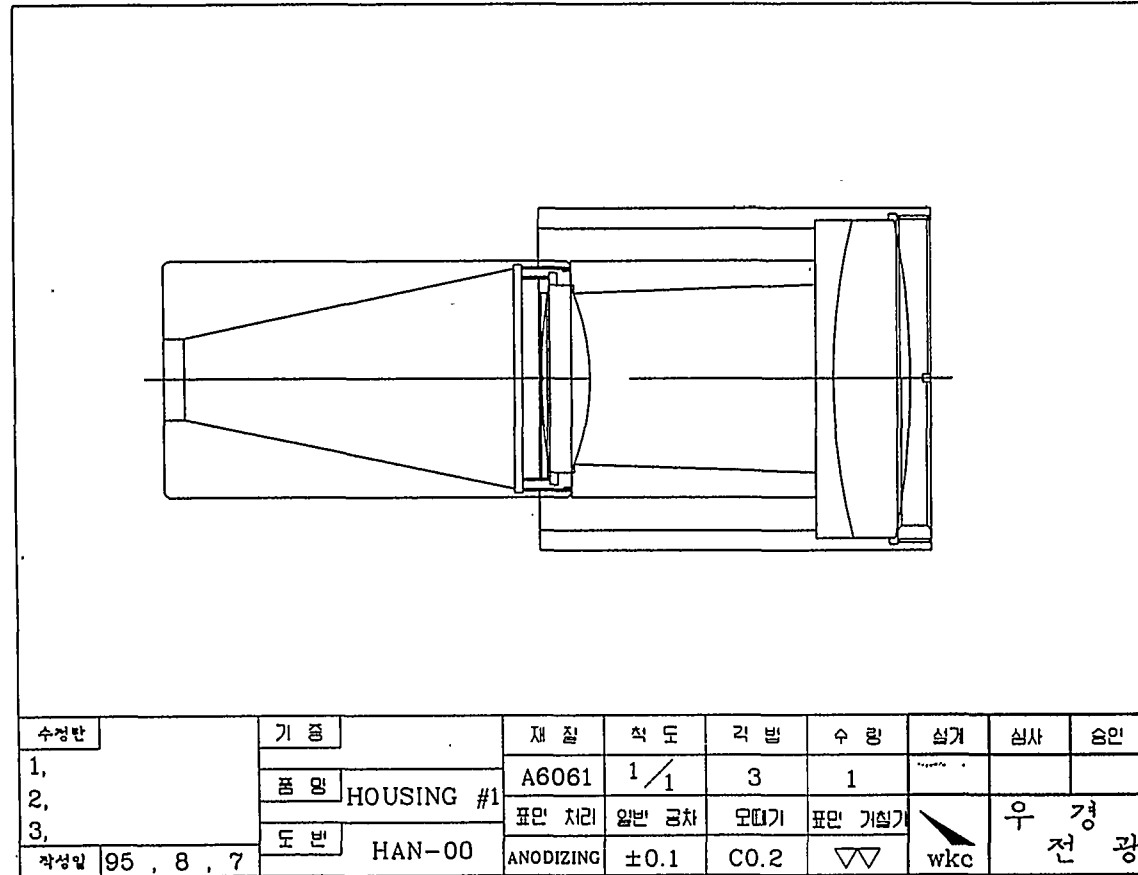


그림 4.4.4 후방산란형 Fiber-Optic LDV의 광학부의 렌즈 배치부와 광검출부 홀더와의 결합도.

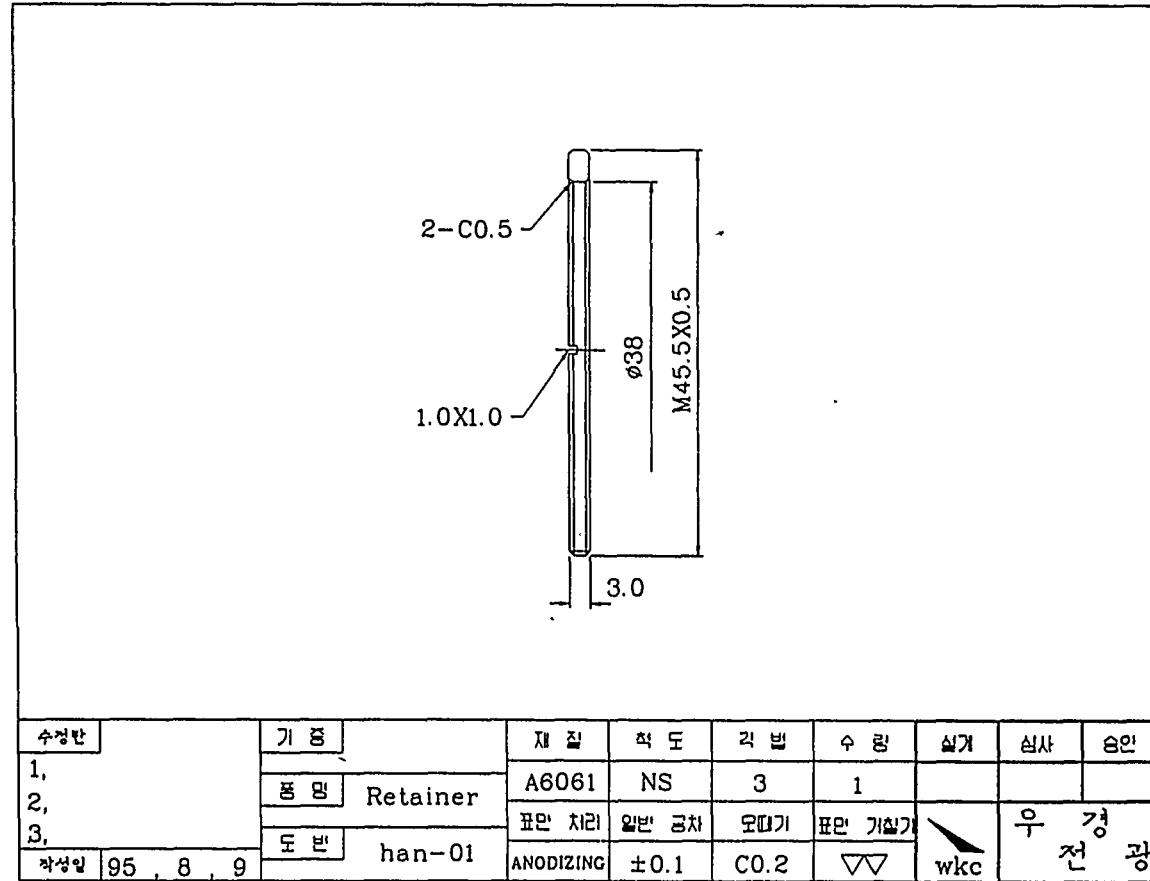
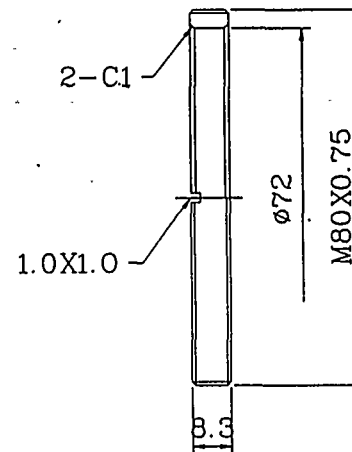


그림 4.4.5 탐사부에 레이저광을 지속시키는 집속렌즈를 고정시키는 나사의 설계도.



수정판	기 증	재 질	척 도	각 법	수 링	심 거	심 사	승 인
1,	품 명	A6061	1/1	3	1			
2,	Retainer	표면 처리	일반 공차	모따기	표면 거칠기			
3,	도 번	HAN-02						
작성일	95 , 8 , 5	ANODIZING	±0.1	C0.2	▽▽	wkc	우 경 전 광	

그림 4.4.6 광검출부에 산란된 신호광을 집속시키는 집속렌즈를 고정하는 나사의 설계도.

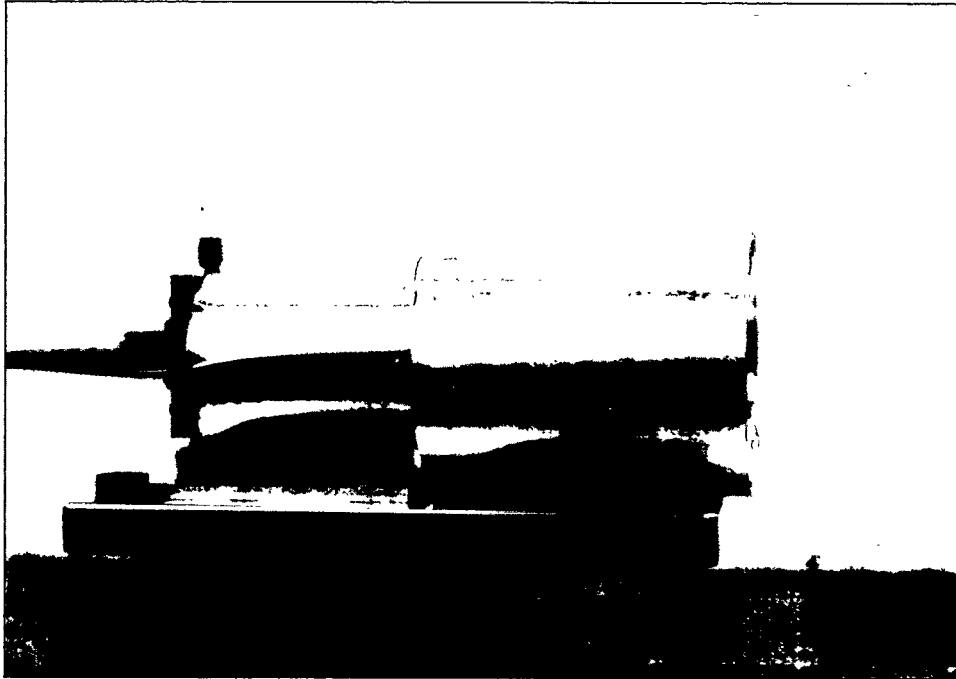


그림 4.4.7 조립된 후방산란형 Fiber-Optic LDV의 광학계 사진.

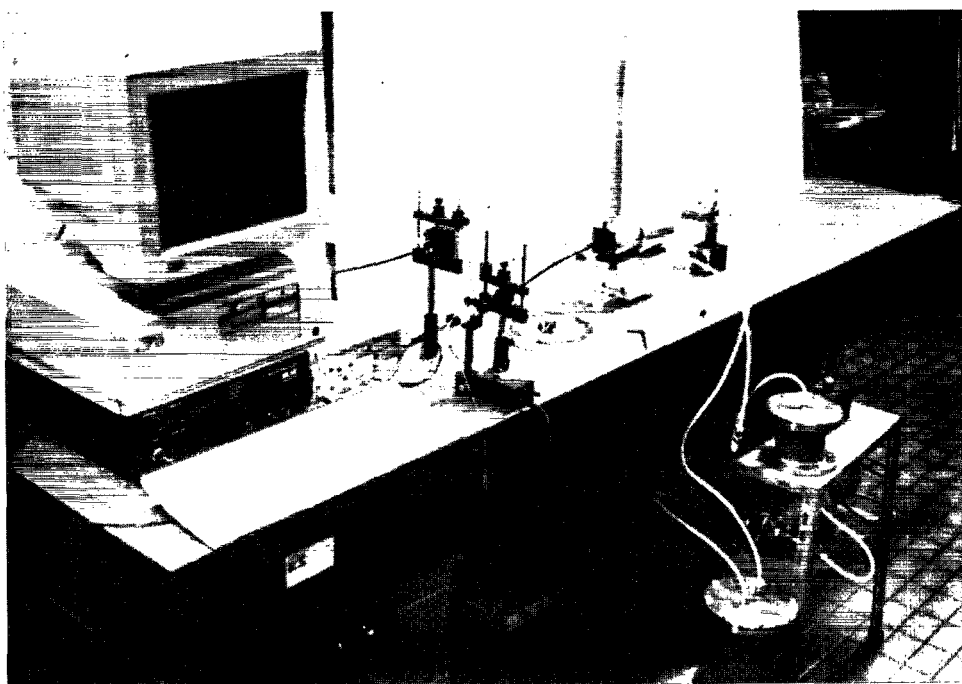


그림 4.4.8 조립된 후방산란형 Fiber-Optic LDV의 광학계를 이용하여 구성된 실험장치 사진.

제 5 장 결 론

1. 색소셀 시뮬레이션 및 디자인

본 연구에서는 유동장에 대한 시뮬레이션 이론에 근거를 두고 개발된 미국 ALGOR 사의 코드 number 107 (2-D Steady State Fluid Flow) 프로그램을 이용하여 여러가지 형태의 색소셀에 대하여 유속 분포를 시뮬레이션하였다. 먼저 편행판으로 이루어진 Hellma 사의 Quartz cell(HELLMA Cat.-No. 690.072-QS)을 기준으로 길이 25 mm, 폭 20 mm, 유속관의 폭 d mm의 구조를 갖는 셀을 우선적으로 고려하여 이 색소셀내의 두 편행판사이의 거리에 따라 2차원 형태로 유체(본 연구에서는 에탄올임)의 속도를 분석하였다. x-y평면에서 $\rho=0.02$ (점도 : 여기에서의 점도는 실제의 값이 아니며 시뮬레이션을 위해 임의로 잡은 값임), 초기유속이 5일 때(여기에서의 유속은 단위가 없으며 이 초기유속은 시뮬레이션을 수행하기 위한 임의의 값임), 수직(normal)성분의 속도를 시뮬레이션하였다. 그리고 두 면사이의 최단거리 d 는 2 mm로 유속관의 폭을 조절하여 시뮬레이션한 결과, 일반적으로 예측하듯이 유속관의 폭이 좁을수록 유속은 빨라지며, 속도가 균일한 영역(적색부분)은 넓어지고 있음을 알 수 있었다.

그리고 색소셀을 구성하는 구성하는 두 장의 판을 약간 다르게 곡률을 주어서, 마치 두 장의 원통형 렌즈를 붙여놓은 두면을 마주보게하고 그 사이로 유체를 보내는 형태로 변형하였을 때의 시뮬레이션하였다. 즉, 곡률반경 $R = 126$ mm, 길이 $l = 50$ mm, 두 판 사이의 최단 거리가 각각

$d = 1, 2 \text{ mm}$ 로 바꾸었다. 그리고 $R = 291 \text{ mm}$, 길이 $l = 80 \text{ mm}$, 두 판 사이의 최단 거리가 각각 $d = 1, 2 \text{ mm}$ 로 하였을 때를 각각 시뮬레이션하였다. 그 결과 양쪽 입구에서의 속도 변화율은 앞서의 평행판 형태보다 훨씬 낮다는 것, 즉 유체의 교란 및 속도 변화가 작음을 알 수 있었다. 그리고 d 가 작을수록 유속은 커지나, 속도가 균일한 영역은 좁아짐을 알 수 있다. 이 균일한 영역은 곡률반경 R 이 커질수록 넓어짐을 알 수 있다. 실제로 곡률이 있으면 레이저로 광 펄핑을 할 때 광이 집속되는 효과가 생기며, 양쪽 입구에서 교란과 속도 변화율이 작아짐으로 앞으로는 이러한 곡률을 주는 방향으로 색소셀을 설계 제작하여야 한다는 것을 알 수 있었다.

그리고 한쪽면을 평면으로, 그리고 다른 면을 앞서와 같이 $R = 126, 291, 500 \text{ mm}$ 로 바꾸면서 두 면사이의 거리 d 를 $0.5, 1, 2 \text{ mm}$ 로 변화시켜서 유속의 변화를 시뮬레이션하였다. 이 결과는 양쪽면을 곡률을 준결과와 큰 차이를 나타내지 않았으며, 앞 뒷쪽의 입구를 변형하는 문제를 추가로 고려해야 함을 보여주고 있다.

2. 반도체레이저 LDV를 이용한 색소셀내의 유속 측정

Polytec사의 반도체레이저 LDV(모델 300 Serise)를 사용하여 고출력 색소레이저용 색소셀의 개발에 필요한 유체의 유속측정을 하여 LDV의 원리 및 사용법을 익혔다. 또한 이를 이용하여 앞으로 개발하고자하는 Fiber-Optic LDV와 상호 성능비교를 하는데 사용했으며, Fiber-Optic LDV가 제작 완성되기 전까지 유동장 시뮬레이션 프로그램을 이용하여

새로이 설계 및 제작된 색소셀내의 유동현상을 실험적으로 검증하는데 이 LDV를 사용하였다. 시물레이션에서 사용한 그림 2.3.1(b)의 형태를 갖는 색소셀을 제작하여 유속분포를 측정하였다.

그림 2.3.1(b)에 기초한 그림 3.2.6과 그림 3.2.7에서 보여준 색소셀내의 유속분포를 측정된 결과 그림 3.3.1과 같은 Burst 신호와 그 FFT 신호를 얻을 수 있었다. 이 경우 유속을 계산한 결과 수 m/s이며 이는 실험에 사용한 색소셀내의 유속을 조절하는 모터의 전압에 따라 바뀔 수 있다. 유체의 속도를 측정된 결과, 이미 1차년도에서 실험적으로 확인한 결과 같이 색소셀내의 유속의 성분은 간섭무늬와 평행한 성분보다 각각 인 속도성분이 주로 우세함을 알 수 있었다. 이것은 이미 시물레이션 결과에서 잘 예측된 결과였다. 그리고 색소셀내의 유속을 공간적으로 여러 점에서 측정된 후 같은 속도를 갖는 점들을 이어서 등고선 형태의 유속 분포를 얻었으며, 이로부터 색소셀내의 유속 분포가 상하와 좌우가 각각 대칭적인 분포를 나타냄을 알 수 있었다. 이는 실험에 사용된 색소셀의 구조가 대칭인 점을 고려할 때 쉽게 이해될 수 있는 결과이다. 또한 이들 결과들로 부터 유속관 입구와 출구쪽에서 속도의 기울기가 심함을 알 수 있고, 벽쪽으로 갈수록 속도가 급락함을 알 수 있다. 특히 원통렌즈로 제작한 본 색소셀의 구조상 두께가 가장 얇은 중앙부분의 속도가 거의 입구의 속도와 같음을 알 수 있으며, 직경 1 cm의 영역에서는 거의 유속이 일정하고 아주 빠름을 알 수 있다. 특히 원통렌즈의 곡률반경이 보다 큰 그림 3.3.3에서의 결과를 보면, 속도가 일정한 부분이 그림 3.3.2보다 훨씬 넓음을 알 수 있다. 다만 유속이 입구나 출구보다 다소 떨어짐을 알 수 있는데 이는 이미 예상했던 바이다. 그러므로 곡률반경이 291 mm

보다 크고, 간격은 2 mm보다 좁은 색소셀이 고안되면 보다 좋은 색소셀이 될 수 있으리라 판단된다. 결론적으로 현재에 제작된 색소셀로는 그림 2.3.1(a)를 갖는 것과 그림 2.3.1(b)의 형태를 갖는 것중 곡률반경이 291 mm인것을 선택하여 사용하면 된다. 다만 이 경우에도 유동관의 입구와 출구에서의 교란을 막기위하여 메쉬등의 사용이나, 보다 알맞는 입구출구가 고안될 필요가 있다.

3. Fiber-Optic LDV의 제작 및 이를 이용한 유속측정

파장 $\lambda_0 = 850$ nm, 출력 100 mW인 단일모드 GaAlAs 반도체레이저를 광원으로 사용하였으며, 이를 pigtailing하여 파장 850 nm에 대해서 단일모드 광섬유(코어직경: 4 μ m, 클래딩 직경: 125 μ m)에 연결하였으며, 이를 Fiber-optic Dichroic 광속분할기의 포트 T로 입사하여 포트 1과 포트 2로 나누어 pigtailing 된 광속평행기(beam collimator)에 입사시킨다. 이렇게 만들어진 평행광속을 렌즈 1로 색소셀에 입사시켜서 간섭무늬를 만들고, 이 간섭무늬에서 산란된 광을 렌즈 2와 렌즈 3으로 광검출기(photodiode)에 집속시킨다. 검출된 신호는 band pass filter와 증폭기를 거쳐서 오실로스코프와 스펙트럼분석기로 이 산란광의 도플러 주파수를 측정한다. 이때 입사되는 사잇각은 $\theta = 4.53^\circ$ 이다. 검출된 신호는 band pass filter(TSI, model no.: 1982)와 최대 60 dB까지 증폭할 수 있는 증폭기를 거쳐 디지털 스토리지 오실로스코프(tektronix, model no.: 2440)로 산란신호를 관찰하였다. 이때 사용한 색소셀은 상용의 색소셀(Hellma, catalogue no.: 690.072-QS)과 곡률이 있는 원통렌즈로 제작한

색소셀을 사용하였다. 사용하는 유체는 실제 색소레이저를 동작시킬때 색소를 녹여서 사용하는 에탄올을 색소없이 사용하였으며, 이 유체의 속도는 입력 전압을 가변하여 조절할 수 있는 모터를 사용하여 조정하였다.

이 장치에서 Fiber-optic Dichroic 광속분할기를 코아 직경이 $4\ \mu\text{m}$ 이고, 클래딩 직경이 $125\ \mu\text{m}$ 인 파장 $850\ \text{nm}$ 용 단일모드 광섬유를 사용하여 제작하였으며, pigtailling해서 광속을 평행광으로 만든 $850\ \text{nm}$ 의 반도체 레이저를 광원으로 사용하였다. 반도체 레이저는 pigtailling하여 평행광용 collimator를 결합하여 제작하였으며, 레이저를 지지하는 홀더, Fiber-optic Dichroic 광속분할기등을 제작하였다.

반도체레이저 전방산란형 fiber-optic LDV를 구성하여 광다이오드로 검출한 신호를 band pass filter와 증폭기로 증폭한 후, 디지털 오실로스코프로 관찰한 도플러 신호를 측정하였으며 앞으로 제작된 색소셀을 이용하여 색소셀 전체에 걸친 유속분포를 측정하고자 한다. 그리고 페테스탈 잡음이 제거된 이 도플러 신호를 스펙트럼 분석기로 주파수를 분석한 결과 유속은 저속부분으로 $3.2\ \text{cm/s}$ (그림 37)와 $2.8\ \text{cm/s}$ (그림38)의 유속이 측정 되었다.

본 연구에서는 먼저 이러한 유동장에 대한 시뮬레이션 이론에 근거를 두고 개발된 미국 ALGOR 사의 코드 number 107 프로그램을 이용하여 그림 3.2.6과 그림 3.2.7과 같은 색소셀을 우선적으로 고려하여 이 색소셀내의 2차원형태에서 점선성분의 유체(본 연구에서는 에탄올임)의 속도를 분석하는 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과 색소셀의 x-y평면상

에서 보면 유속의 상대적인 속도에 있어서 z 축상의 중앙부위로 다가갈수록 유속의 y 성분이 급속도로 높아짐을 알 수 있다. 그러므로 색소셀의 중앙부분에서는 유속의 접선성분이 지배적임을 알 수 있으며, 이는 그 부분이 매우 안정된 유속분포를 가진다는 것을 말해준다. 그리고 색소셀의 폭과 길이방향에서 바라보며, 그 두께의 중앙인 y - z 평면에서의 유속의 접선속도성분(y 성분)만을 표현한 결과 전체 폭(z 방향)의 1/3되는 중앙부분은 넓은 폭으로 균일한 접속속도를 갖고 점차 벽쪽으로 접근할수록 접선속도가 떨어짐을 알 수 있었다. 그리고 유체가 입력되는 앞부분과 유체가 빠져나가는 뒷부분에서는 극심한 유속의 혼란 지역이 생김을 알 수 있으므로 가능한 한 이러한 부분들이 적도록 색소셀을 고안해야 한다는 결론을 얻었다. 그리고 곡률반경은 보다 크게 두면사이의 거리는 보다 가깝게 제작하여야 한다는 결론도 같이 얻었다. 그러므로 앞으로 이러한 균일한 속도영역이 가능한한 넓게 되도록 셀의 구조를 계속적으로 개선하여야 한다.

참 고 문 헌

- [1] P. S. Bedi, *A simplified optical arrangement for the laser Doppler velocimeter*, J. Phys. E4, 27-28, 1971.
- [2] K. A. Blake, New developments of the NEL laser velocimeter and the treatment of data, in *Electro-optic Systems in Measurement*, University of Southampton, 25th-26th, September, Southampton, 1972.
- [3] H. H. Bossel, W. J. Hiller, and G. E. A. Meier, Noise cancelling signal difference method for optical velocity measurements, J. Phys. E5, 893-896, 1972
- [4] P. J. Bourke, C. G. Brown, and L. E. Drain, Measurement of Reynolds shear stress in water by laser anemometry, DISA Inf. 12, 21-24, 1971.
- [5] D. B. Brayon, H. T. Kalb, and F. L. Crosswy, Two-component dual-scatter laser Doppler velocimeter with frequency burst signal readout, Appl. Opt.12, 1145-1156, 1973.
- [6] L. E. Drain, Coherent and noncoherent methods in Doppler optical beat velocity measurement, J. Phys. D5, 481-495, 1972.
- [7] L. E. Drain, and B. C. Moss, The frequency shifting of laser light by electro-optic techniques, in *Electro-optic Systems in Flow Measurement*, University of Southampton, 25th-26th September, Southampton, 1972.

- [8] T. S. Durrani, and C. A. Greated, Frequency domain analysis of laser Doppler signals for estimation of turbulence parameters, Proc. IEE(GB)120, 913-918, 1973.
- [9] T. S. Durrani, and C. A. Greated, Statistical analysis and computer simulation of laser Doppler velocimeter systems, Trans. IEE IM-22, 23-34, 1973.
- [10] T. S. Durrani, and C. A. Greated, Application of photon correlation analysis to wind tunnel measurements, International Congress on Instrumentation in Aerospace Simulation Facilities, Cal. Tech., Pasadena, Calif., 210-218, 1973.
- [11] T. S. Durrani, and C. A. Greated, Theory of LDV tracking systems, Trans. IEEE, AES-10, 418-428, 1974.
- [12] T. S. Durrani, and C. A. Greated, Statistical analysis and cross-correlation techniques for photon-counting measurements on fluid flows, Appl. Opt. 14, 778-786, 1974.
- [13] B. Eliasson, and R. Dandliker, A theoretical analysis of laser Doppler flowmeters, Optica Acta 21, 119-149, 1974.
- [14] J. W. Goodman, *Introduction to Fourier Optics*. McGraw-Hill, New York, 1968.
- [15] C. A. Greated, Noise reduction in a laser velocimeter, J. Phys. E4, 261-262, 1971.

- [16] R. M. Huffaker, Laser Doppler detection systems for gas velocity measurements, Appl. Opt. 9, 1026-1039, 1970.
- [17] M. Kerker, *The scattering of light and Other Electromagnetic Radiation*, Academic, New York, 1969.
- [18] H. Kogelnik, Imaging of optical modes-resonators with internal lenses. Bell Syst. Tech. J. 43, 455-493, 1950.
- [19] L. Landing, Analysis of a laser correlation anemometer, Turbulence in Liquids, University of Missouri, 10-12 September, Rolla, Missouri, 1973.
- [20] O. Lanz, C. C. Johnson, and S. Morikawa, Directional laser Doppler velocimeter, Appl. Opt. 10, 884-888, 1971.
- [21] R. Manning, Symmetric transforms for the laser velocimeter, J. Phy. D6, 1173-1187, 1973.
- [22] M. K. Mazumder, Laser Doppler velocity measurement without directional ambiguity by using frequency shifted incident beams, Appl. Phys. Lett. 16, 462-464, 1970.
- [23] J. E. Rizzo, Velocity measuring interferometers. Electro-optic Systems in Flow Measurement, University of Southampton, 25th-26th, September, Southampton, 1972.
- [24] M. J. Rudd, A new theoretical model for the laser Doppler meter, J. Phys. E2, 55-58, 1969.

- [25] H. C. Van de Hulst, *Light Scattering by Small Particles*, Wiley, New York, 1957.
- [26] C. P. Wang, A unified analysis of laser Doppler velocimeters, *J. Phys.* E5, 763-766, 1972.
- [27] C. P. Wang, and D. Snyder, Laser Doppler velocimetry : experimental study, *Appl. Opt.* 13, 98-103, 1974.
- [28] B. M. Watrasiewicz, Improved signal-to-noise ratio in the laser velocimeter, *J. Phys.* E3, 823, 1970.
- [29] Y. Yeh, and H. Cummins, Localized fluid flow measurements with an He-Ne laser spectrometer, *Appl. Phys. Lett.* 4, 176-178, 1964.
- [30] G. K. Batchelor, *An Introduction to Fluid Mechanics*, Cambridge University Press, 1970.
- [31] Bercovier, Engelman, Gresho and Sani, "Consistent Versus Reduced Integration Penalty Methods for Incompressible Media Using Several Old and New Elements", *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, vol. 2, pp. 25-42, 1983.
- [32] M. Braza, P. Chassaing and H. H. Minh, "Numerical Study and Physical Analysis of the Pressure and Velocity Fields in the Near Wake of a Circular Cylinder", *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 165, pp. 79-130, 1979.

- [33] A. Brooks, T. J. R. Hughes and W. K. Liu, "Review of finite Element Analysis of Incompressible Viscous Flows by the Penalty Function Formulation", *Journal of Computation Physics*, vol. 30, pp. 1-60, 1979.
- [34] G. G. Carey and J. T. Oden, *Finite Elements-Fluid Mechanics Volume VI*, Prentice Hall, 1986.
- [35] S. C. R. Dennis and J. D. A. Walker, "Calculation of the Steady Flow Past a Sphere at Low and Moderate Reynolds Numbers", *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 48, pp. 771-789, 1971.
- [36] T. J. R. Hughes, *The Finite Element Method-linear Static and Dynamic Finite Element Analysis*, Prentice Hall, 1987.
- [37] T. J. R. Hughes and D. S. Malkus, "Mixed Finite Element Methods -- Reduced and Selective Integration Techniques, A Unification of Concepts", *Computer Methods in Applied Mechanics & Engineering*, vol. 15, pp. 63-81, 1978.
- [38] J. L. Lumley and H. Tennekes, *A First Course in Turbulence*, The MIT Press, 1983.
- [39] R. L. Panton, *Incompressible Flow*, John Wiley & Sons, Inc., 1984.

- [40] H. Schlichting, *Boundary Layer Theory*, McGraw-Hill Book Company, 1979.
- [41] T. E. Tezduyar, J. Liou, and D. K. Ganjoo, "Incompressible Flow Computations based on the Vorticity-Stream Function and the Velocity-Pressure Formulations", *University of Minnesota Supercomputer Institute Report UMSI, 89/86*, May 1989.

부 록

- (1) 응용물리 1995년 8권 4호 게재예정 논문
- (2) CLEO/Pacific Rim '95 (Chiba, Japan, 1995. 7.
10-14) 발표요약문, 발표수락서, 발표초록
- (3) 한국물리학회 제 69회 발표 초록
- (4) 한국물리학회 제 70회 발표 초록

광섬유 방향성 결합기를 이용한 전방산란형
fiber-optic 레이저 도플러 유속계의 제작

김종수*, 임 권, 최완해, 진영화, 조재홍, 장 수
한남대학교 물리학과, 대전 300-791

김성호, 고도경, 이종민
한국원자력연구소, 대전 305-600

(1995년 1월 일 받음)

색소레이저의 색소셀내 유속 분포를 측정하기 위한, 광섬유 방향성 결합기를 이용한 fiber-optic 레이저 도플러 유속계를 고안하고 구성하였다. 632.8 nm용 단일모드 광섬유로 제작한 가변형 광섬유 방향성 결합기와 출력 20 mW 인 헬륨네온 레이저를 이용하여 색소셀내에 무늬간격이 2.70 μm 인 간섭무늬를 형성하고, 이로부터 전방산란된 산란광을 검출하여 유속을 측정하였다. 그 결과, 측정된 도플러 주파수는 111 MHz였으며, 이로부터 계산된 유속은 30.0 cm/s였다.

* 현주소: 경기도 안산시 성곡동 640, (우)425-110, (주)우경전광 부설연구소

색소레이저는 1966년 P. P. Sorokin과 J. R. Lankard에 의하여 처음 발견되었으며^[1], 이러한 색소레이저는 단일파장만을 발진하는 레이저들과는 달리 넓은 영역의 파장을 선택하여 발진할 수 있다는 장점때문에 그 응용 범위가 확대 되어왔다.^[2] 특히 원자력 산업이나 극미량의 원소검출과 같은 분야에서는 넓은 대역에서 파장을 가변할 수 있는 고출력의 파장가변 레이저가 요구된다.^[3] 이와같은 요구에 대응하여 파장가변 레이저의 대표적 레이저인 색소레이저를 다단 증폭하여 출력을 높이는 연구가 진행되고 있다. 색소레이저의 출력을 높이고 안정화하는데 있어서는 발진기의 출력안정화가 필요하므로 고출력 색소레이저용 색소셀내의 유체에 대한 유동 현상을 이해하고, 이로부터 교란현상이 없는 색소셀을 설계하는 것이 매우 중요하다.

이와같은 유체의 유동현상을 이해하고 해석하는 비접촉식 방법으로 레이저 도플러 유속계(LDV: Laser Doppler Velocimeter)^[4]나 입자 상 유속계(PIV: Particle Imaging Velocimeter)^[5] 등이 사용되어 왔다. 이 중에서 1964년 Y. Yeh와 H. Z. Cummins^[6]에 의하여 최초로 제안된 LDV는 레이저 광속을 유체에 조사시켜 유체내의 미소입자에 의하여 산란된 광을 측정하여 이로부터 유속에 대응하는 도플러 주파수를 측정하는 방법으로, 유체에 직접 교란을 주지않으며, 공간분해능을 높일 수 있어 기계적인 유속측정방법과 비교하여 매우 우수한 특성과 높은 신뢰도를 갖는다.^[7] 이러한 LDV는 크게 광학계에서 이중광속 방식과 기준광속 방식으로 구별되며, 산란된 신호광을 수광하는 방향에 따라 전방산란과 후방산란으로 분류한다.^[8] 이중 이중광속 방식은 검출된 도플러 주파수가 관측 위치에 무관하기 때문에 구경이 큰 수렴용 집광용 집광렌즈를 사용하여 강도가 큰 신호를 얻을 수 있으므로 기준광속 방식보다 실제 응용에 많이 사용되고 있다.^[9] 이와같은 형태의 LDV에 대한 연구는 국내에서도 이미 있었으며,^[10, 11] 상용화된 LDV도 있다.

본 논문에서는 상용 LDV로는 측정이 어려운 고출력 색소레이저용 색소셀내의 유속을 측정하기 위하여 기존의 LDV에 사용되는 광학 부품들을 파장 632.8 nm용 단일모드 광섬유와 이를 이용한 가변형 광섬유 방향성 결합기(variable directional fiber coupler)로 대체함으로써 소형화된 LDV장치를 개발하고자 한다. 이를 위하여 필요한 가변형 광섬유 방향성 결합기를 자체적으로 제작하고, 이를 이용하여 헬륨네온 레이저 광속을 원하는 위치에 접속시키는 Fiber-Optic LDV를 구성하여 실험하고자 한다.

II. 이중광속 LDV의 원리

레이저 광속을 둘로 나누고 이를 유속을 조사하고자 하는 지점에 함께 접속시켜서 간섭무늬를 형성하고, 이 간섭무늬를 유체내의 미립자들이 지나면서 산란시킨 광만을 출기로 검출하여 유체의 유속에 의한 도플러 주파수를 알아으로써 유속을 측정하는 것이 이

대적인 신호대잡음비를 높일 수 있다는 장점때문에 이중광속에 의한 LDV가 주로 사용된다.

그림 1

그림 1은 이중광속 LDV에서 두 광속에 의하여 발생되는 간섭무늬의 형태를 보여준다. 유속을 측정하고자하는 지점에 각도 2θ 로 입사하는 두 레이저 광속을 평면파로 가정하면, $E_1 = E_{10} e^{i(2\pi vt - k\xi_1)}$ 와 $E_2 = E_{20} e^{i(2\pi vt - k\xi_2)}$ 로 표현할 수 있다. 그러므로

이 두 광속을 합한 세기는

$$I = |E_1 + E_2|^2$$

$$= E_{10}^2 + E_{20}^2 + 2E_{10}E_{20} \cos[k(\xi_2 - \xi_1)] \quad (1)$$

가 된다. 야기에서 E_{10} 와 E_{20} 는 두광속의 진폭이고, v 는 진동수이며, k 는 파수이다. 그리고 ξ_1 과 ξ_2 는 두 광속의 진행방향에 대한 위치벡터의 크기이다. 따라서 (1)식에서 I 는 $\cos$ 항이 $2N\pi$ 일 때 최대가 되고, $2(N+1)\pi$ 일 때 최소가 된다. 여기에서 N 은 정수로 간섭무늬의 차수를 나타낸다. 또한 $\xi_1 = X \cos \theta - Y \sin \theta$ 이고 $\xi_2 = X \cos \theta + Y \sin \theta$ 이므로, $\xi_2 - \xi_1 = 2Y \sin \theta$ 가 된다. 이로부터 N 번째 밝은 무늬와 $(N+1)$ 번째 밝은 무늬의 위치는 각각 $2k(Y)_N \sin \theta = 2N\pi$ 와 $2k(Y)_{N+1} \sin \theta = 2(N+1)\pi$ 가 되므로, 밝은 무늬의 간격, 즉, 간섭 무늬의 간격 ΔY 는

$$\Delta Y = (Y)_{N+1} - (Y)_N$$

$$= \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \quad (2)$$

이다. 여기에서 λ 는 유체내에서의 광파장으로 진공중의 광파장 λ_0 를 유체의 굴절률 n 으로 나눈값과 같다. 그러므로 유체내의 미소입자가 측정영역에 생긴 간섭무늬사이 ΔY 를 횡단할 때 생기는 산란광 세기의 주기 t 를 측정 한 후, 이로부터 아래와 같이 유속의 1차원적인 값 V 를 알 수 있다.

$$V = \frac{\Delta Y}{t} = \Delta Y \cdot f_d \quad (3)$$

여기에서 f_d 는 도플러 주파수로 주기 t 의 역수가 된다. 그리고 산란광에서 이 값이 도플

러 주파수가 되는 이유는 참고문헌 [4],[7],[8]에 자세히 나와 있으며, (2)식에서 각도 θ 를 정하는 방법은 측정하고자하는 유속의 변위와 유체에 존재하는 산란 미립자의 크기와 깊은 관련이 있으며, 이는 도플러 신호의 신호대잡음비와 관련이 있음이 이미 알려져 있다. [4,9,11] 그리고 ΔY 는 LDV의 광학계가 구성되면 기하적으로 고정되는 값이므로 상수가 되며, 유속에 따라 달라지는 t 또는 f_d 만을 측정함으로써 이에 비례하는 유속을 (3)식으로부터 구할 수 있다. 이와같이 레이저광속을 광속분할기로 두 부분으로 평행하게 나눈 후, 렌즈로 측정영역에 교차시켜서 간섭무늬를 만들면, 유체내의 입자가 간섭무늬 사이를 횡단할 때 산란되는 광을 검출함으로써 유속을 측정할 수 있게 된다.

III. 실험장치 및 실험방법

그림 2

그림 2는 광섬유 방향성 결합기를 이용하여 구성된 전방산란형 fiber-optic LDV를 보여주는 개략도이다. 광원으로는 파장 $\lambda_0 = 632.8$ nm, 출력 20 mW인 He-Ne 레이저를 사용하였으며, 이를 배율 14배의 대물렌즈를 사용하여 가변형 방향성 광섬유 결합기의 입력단중 하나의 입력단에 접속시켰다. 사용된 광섬유 방향성 결합기는 $\lambda_0 = 632.8$ nm에서 단일모드 광섬유(newport, model no.: F-SV-20)를 사용하여 제작하였으며, 이에 대한 자세한 내용은 다음장에서 설명하고자 한다, 그리고 50 : 50으로 광섬유의 결합비를 조절한 가변형 광섬유 방향성 결합기를 통하여 나온 광속들을 14배의 대물렌즈를 이용한 광섬유 launching unit로 평행광을 만들었다. 이들 두 광속사이의 거리는 45 mm로 띄었으며, 이들 두광속을 촛점거리 26 cm이고 직경 55 mm인 볼록렌즈 L_1 으로 유체내에 입사시켜서 교차각 $2\theta = 9.89^\circ$ 로 접속시켰다. 이때 유속을 측정하고자 하는 지점에 형성되는 간섭무늬의 간격은 사용한 유체가 에탄올이므로 파장 632.8 nm에서 굴절률인 1.360^[12]과 교차각 9.89° 를 사용할 경우, (2)식에 의하여 $2.70 \mu\text{m}$ 로 계산된다. 그리고 이들 간섭무늬를 지나는 유체내의 미립자들에 산란광이 발생하며, 전방산란된 광은 조리개에 의하여 이중광속을 만드는 기준광과 분리되어 촛점거리 10 cm인 볼록렌즈 L_2 로 광검출기(SP1-KL)로 검출된다. 검출된 신호는 band pass filter(TSI, model no.: 1982)와 최대 60 dB까지 증폭할 수 있는 증폭기를 거쳐 디지털 스토리지 오실로스코프(tektronix, model no.: 2440)로 산란신호를 관찰하였다. 이때 사용한 색소셀(Hellma, catalogue no.: 690.072-QS)은 상용의 색소셀을 구입하여 사용하였다. 사용하는 유체는 실제 색소레이저를 동작시킬때 색소를 녹여서 사용하는 에탄올을 색소없이 사용하였으며, 이 유체의 속도는 입력 전압을 가변하여 조절할 수 있는 모터를 사용하여 조정하였다. 이러한 실험장치를

구성하여 보여주는 사진이 그림 3에 나와 있다.

그림 3

그리고 본 연구의 핵심인 소형 LDV 제작에 가장 중요한 가변형 광섬유 방향성 결합기는 다음과 같은 과정으로 제작하였다.^[13]

- (1) 서브스트레이트로 쓰일 석영을 폭 10 mm × 길이 25 mm × 두께 5 mm로 절단한다.
- (2) 절단된 석영블록을 mash number #120으로 grinding를 시작하여 #600, #800순으로 smoothing한 후, mash number #1200으로 polishing한다.
- (3) 석영블록의 표면에 다이아몬드 휘일을 사용하여 반경 25 cm, 폭 200 μ m의 홈을 내며, 블록의 양끝 5 mm 부분은 광섬유를 고정시키기 위해서 조금 넓게 홈을 낸다.
- (4) 홈을 낸 석영블록위에 재킷을 벗긴 광섬유의 중앙부분을 부착한다.
- (5) He-Ne 레이저 광속을 광섬유에 집광시키면서 석영블록과 홈 위로 나온 광섬유를 연마를 한다. 이때 클래딩의 연마 정도를 기름방울 측정방법을 이용하여 확인한다.
- (6) 위의 방법으로 준비된 석영블록 2개를 나사가 붙은 기계장치 안에 조립시킴으로써 결합비율을 조절할 수 있는 가변형 광섬유 방향성 결합기를 제작한다.

IV. 실험결과 및 토의

그림 4

그림 5

그림 4는 완성된 가변형 광섬유 방향성 결합기를 보여주는 것으로, 코아 직경이 3 μ m이고, 클래딩 직경이 125 μ m인 newport사의 파장 632.8 nm용 단일모드 광섬유를 석영블록이 있는 기계장치에 설치하여 길이가 3 m인 가변형 광섬유 방향성 결합기를 제작하였다. 그리고 기계장치의 한쪽에 붙은 나사를 돌리면 두개의 석영블록중 윗쪽의 석영블록이 밀려서 석영블록에 부착된 한쪽면이 연마되어 각인 광섬유들 사이의 '거리가 멀어짐

에 따라 결합비율이 바뀌게 된다. 그림 5는 이렇게 제작된 가변형 광섬유 방향성 결합기의 결합비율을 50 : 50 으로 조절하였을 때, 출력단 한쪽의 광섬유 2개에서 동시에 나온 헬륨네온 레이저 광속의 횡모드 및 밝기비를 보여주는 것으로 그 밝기 비가 같고, 횡모드가 TEM₀₀임을 보여주고 있다.

그림 6

그림 6은 그림 2와 그림 3의 전방산란형 fiber-optic LDV를 구성하여 광다이오드로 검출한 신호를 band pass filter는 사용하지 않고 직접적으로 디지털 오실로스코프로 관찰한 도플러 신호의 주기를 보여주는 것이다. 여기에서 세로축은 신호의 세기로 50 mV/division이고, 가로축은 도플러 신호의 시간축으로 50 μ s/division이다. 이 신호에서 도플러 신호는 증폭기를 사용하여 60 dB로 증폭하였으며, 이 신호에서 주기적인 도플러 신호의 주기는 13 μ s로 측정되었다. 이 주기를 이용할 경우 (2)식과 (3)식에 의하여 유속은 20.8 cm/s로 계산이 된다. 또한 이 신호에서 전체적인 sine형태의 envelope는 pedestal 잡음으로 불리는 것으로 가우스 형태의 레이저 광속에 의한 밝은 배경에 기인한다.^[4] 즉, TEM₀₀모드의 레이저 광속이 갖는 가우스 형태의 공간적 밝기분포로 인하여, 간섭무늬 탐사부의 중앙부분이 가장자리보다 밝고, 이 탐사부를 지나는 입자에 의한 산란광의 세기도 중앙부분에서 보다 강하기 때문이다. 이 envelope에 실린 작은 주기의 sine형태의 신호는 산란입자가 간섭무늬의 밝고 어두운 부분은 지나면서 발생하는 산란광의 세기를 나타내고 있다. 이 경우 13내지는 14개의 산란신호가 envelope상에서 발견되고 있다. 이러한 신호는 유속이 빠르고, 산란광의 세기가 약한 경우에 envelope에 묻혀서 관측이 어렵다.^[7,8] 이런 경우에는 검출기에서 나온 신호를 필히 전자적인 band pass filter로 pedestal 잡음을 제거하고 난 후, 증폭기로 증폭하여 도플러 신호를 측정해야한다.

그림 7

그림 7은 그림 6과 같이 pedestal 잡음을 포함하는 도플러 신호를 band pass filter로 필터링한 후 증폭하여 측정한 도플러 신호이다. 이 신호에서 보듯이 마디(node)가 완벽하게 관측되고 있으며, 간섭무늬의 밝고 어두운 부분과 비례하는 도플러 신호가 측정된다. 이때 신호 주기는 9 μ s로, 도플러 주파수 f_d 는 111 kHz로 측정이 되었으며, 이 값과

(2)식과 (3)식을 이용하여 계산한 결과, 색소셀내의 에탄올의 유속은 30 cm/s였다. 그리고 산란신호는 17개로 측정되었으며, 이는 산란입자가 그림 6의 경우보다 탐사부의 중앙부분쪽으로 지남에 따라 보다 많은 17개의 간섭무늬를 지나가고 있음을 보여주고 있다. 그러므로 pedestal 잡음이 없는 선명한 신호를 검출하고자 할 때에는 가능한 band pass filter를 사용하여야 한다. 앞으로는 이러한 결과들을 이용하여 전체구조가 기계적으로 안정하고, 구조적으로 단순한 적외선용 후방산란 fiber-optic LDV를 개발하고자 한다.

V. 결 론

상용 LDV로는 측정이 어려운 고출력 색소레이저용 색소셀내의 유속을 측정하기 위하여 기존의 LDV에 사용되는 광학 부품들을 파장 632.8 nm용 단일모드 광섬유와 이를 이용한 가변형 광섬유 방향성 결합기로 대체함으로써 소형화된 전방산란형 fiber-optic LDV를 개발하였다. 이를 위하여 코아 직경이 3 μm 이고, 클래딩 직경이 125 μm 인 newport사의 파장 632.8 nm용 단일모드 광섬유를 석영블럭이 있는 기계장치에 설치하여 길이 3 m인 가변형 광섬유 방향성 결합기를 제작하였다. 그리고 전자적인 band pass filter를 사용하여 고출력 색소레이저용 색소셀로 사용되는 quartz cell내의 유속을 측정하였다. 이로부터 pedestal 잡음이 제거된 탐사부의 간섭무늬로부터 산란된 도플러신호를 얻었으며, 이 신호의 주기는 9 μs 로, 도플러 주파수 f_d 는 111 kHz로 측정이 되었으며, 이 값과 (2)식과 (3)식을 이용하여 계산한 결과 색소셀내 에탄올의 유속은 30 cm/s였다. 이 결과로부터 전방산란형 fiber-optic LDV가 잘 작동되고 있음을 확인할 수 있었다. 앞으로는 전방산란형 fiber-optic LDV의 신호처리계 및 정밀도에 대한 개선을 하고자하며, 동시에 전체적인 구조를 기계적으로 안정되고, 단순하게 구성하기 위하여 고출력 레이저 다이오드를 사용하는 후방산란 fiber-optic LDV를 개발하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 한국원자력연구소의 위탁과제 (과제번호: 중장기 '93-23)로 수행 되었음을 알려드리며, 실험에 사용한 광섬유 방향성 결합기의 제작에 도움을 주신 한국과학기술원 응용광학실에 계신 김영기 선생님께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] P. P. Sorokin, J. R. Lankard, IBM J. Res. Develop. 10, 162 (1966).
- [2] F. P. Schäfer, *Dye Lasers* (Topics in Applied Physics Vol. 1) (Springer-Verlag, Berlin, 1977) Chapter 1.
- [3] F. J. Duarte, *High-Power Dye Laser* (Springer Series in Optical Sciences Vol. 65) (Springer-Verlag, Berlin, 1991).
- [4] T. S. Durrani and C. A. Greated, *Laser Systems in Flow Measurement* (Plenum Press, New York, 1977).
- [5] P. V. Farrell, Optics and Lasers in Engineering 17, 187 (1992).
- [6] Y. Yeh and H. Z. Cummins, Appl. Phys. Lett. 4, 176 (1964).
- [7] 조재홍, 박정환, 최종운, 원종욱, 정명세, 응용물리 2, 34 (1989).
- [8] L. E. Drain, *The Laser Doppler Techniques* (John Wiley & Sons, Chichester, 1980).
- [9] B. M. Watrasiewicz and M. J. Rudd, *Laser Doppler Measurements* (Butterworths Co., London, 1976).
- [10] 이기백, 권영길, 김광수, 응용물리 1, 108 (1988).
- [11] 최종운, 조재홍, 정명세, 전자공학회논문집, 28A, 23 (1991).
- [12] E. Moreels, C. de Greef, and R. Finsy, Appl. Opt. 23, 3010 (1984).
- [13] 김영기, 광섬유 방향성 결합기와 광스위치 제작 및 특성 측정 (숭실대학교 석사학위 논문, 서울, 1993).

Fabrication of the fiber-optic laser Doppler velocimeter of the forward scattering type using a directional fiber coupler

Jong Soo Kim, Gwon Lim, Choi Wan Hae, Young Hwa Jin,
Jae Heung Jo, Soo Chang

Department of Physics, Hannam University, Taejon 300-791, Korea

Sung Ho Kim, Do-Kyeong Ko, Jongmin Lee
Atomic Spectroscopy Dept. Korea Atomic Energy Research Institute,
Taejon 305-600, Korea

We have designed and fabricated the fiber-optic laser Doppler velocimeter of forward scattering type using a directional fiber coupler in order to measure the liquid velocity in a quartz dye cell of a high power dye laser. The interference fringes with a fringe space of $2.70\ \mu\text{m}$ was formed in a dye cell by using a He-Ne laser with the power of 20 mW and a directional fiber coupler with the single mode optical fibers of $\lambda = 632.8\ \text{nm}$. From the forward scattering signals, the Doppler frequency of 111 kHz was measured and the liquid velocity of 30.0 cm/s was calculated.

그림 설명

그림 1 레이저 도플러 속도계에 의하여 유체내에 형성된 간섭무늬의 간격

$\Delta Y = \frac{\lambda}{2 \sin \theta}$ 을 보여주는 것으로, 여기에서 λ 는 유체내에서의 광파장으로 진

공중의 광파장 λ_0 를 유체의 굴절률 n 으로 나눈값과 같음.

그림 2 광섬유 방향성 결합기를 이용하여 구성된 전방산란형 Fiber-Optic LDV를 보여 주는 구성도. 여기에서 L1과 L2는 렌즈, PD는 광검출기, DC는 광섬유 방향성 결합기, BPF는 band pass filter, AMP는 증폭기, OSC는 디지털 오실로스코프임.

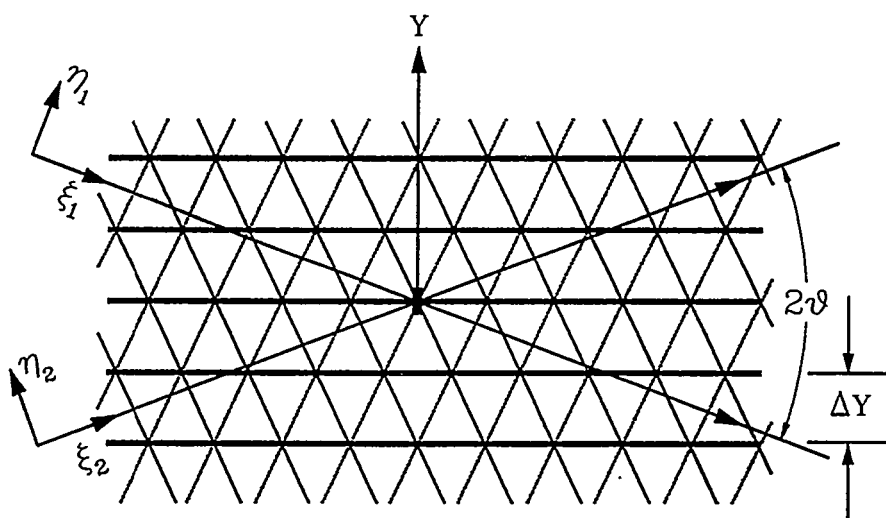
그림 3 광섬유 방향성 결합기를 이용하여 구성된 전방산란형 Fiber-Optic LDV의 실험 장치 사진.

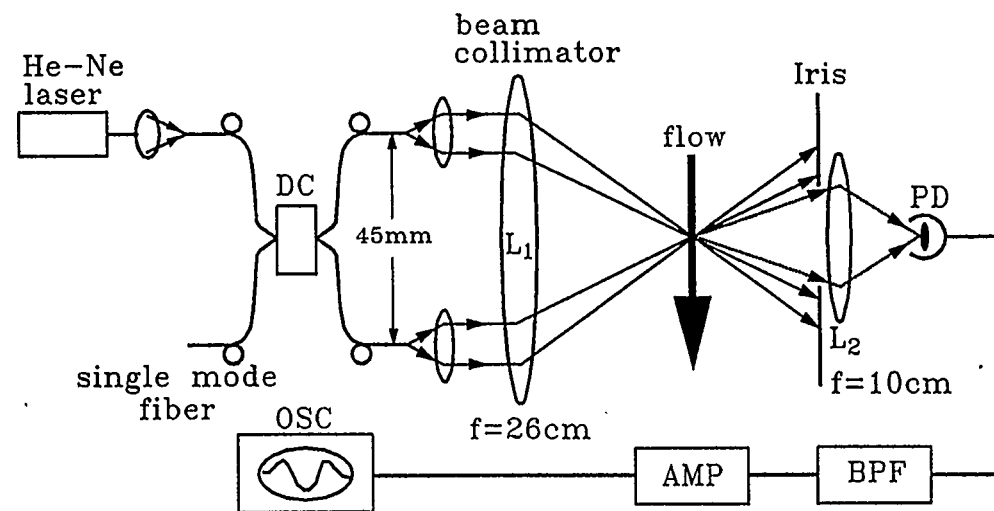
그림 4 제작된 가변형 광섬유 방향성 결합기로, 코아 직경이 3 μm 이고, 클래딩 직경이 125 μm 인 파장 632.8 nm용 단일모드 광섬유를 석영블럭이 있는 기계장치에 설치하여 제작하였음.

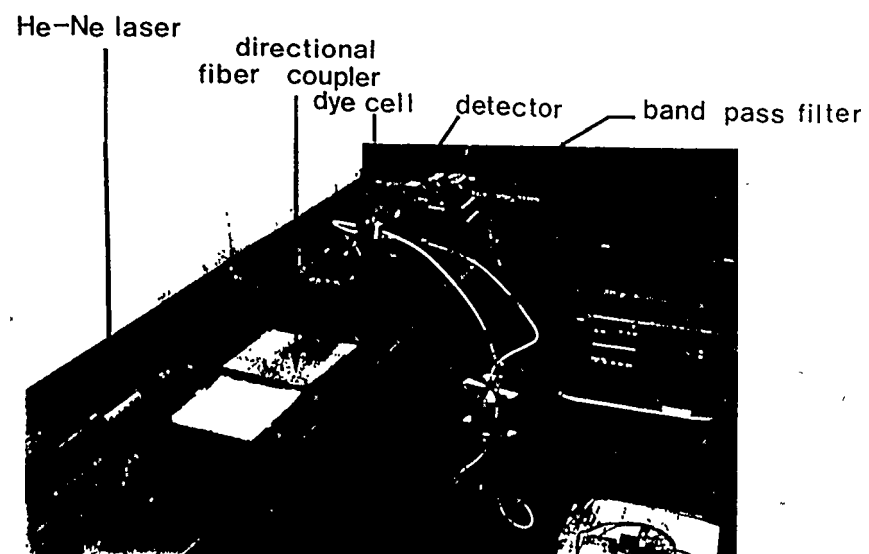
그림 5 제작된 가변형 광섬유 방향성 결합기의 결합비율을 50 : 50 으로 조절하였을 때, 출력단 한쪽의 광섬유 2개에서 동시에 나온 헬륨네온 레이저 광속의 횡모드 및 밝기비.

그림 6 전방산란형 fiber-optic 레이저 도플러 속도계를 구성하여 광다이오드 검출기로 검출한 신호를 band pass filter는 사용하지 않고 직접적으로 디지털 오실로스코프로 관찰한 13 μs 의 도플러 신호의 주기. 이로부터 계산된 유속은 20.8 cm/s임.

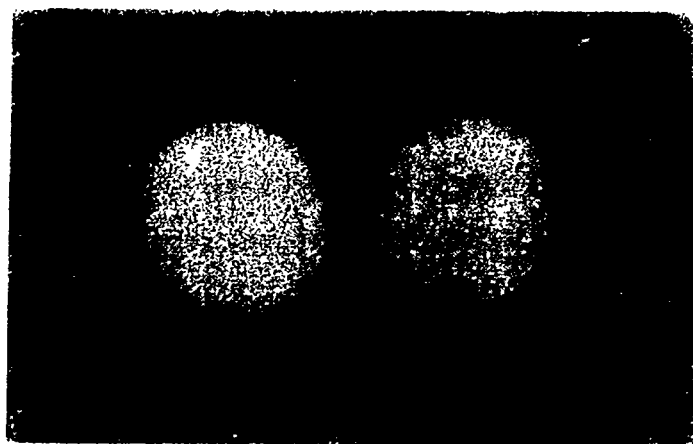
그림 7 pedestal 잡음을 포함하는 도플러 신호를 band pass filter로 필터링한 후 증폭하여 측정된 도플러 신호. 이때 신호 주기는 9 μs 로, 도플러 주파수 f_d 는 111 kHz로 측정이 되었으며, 색소셀내의 에탄올의 유속은 30 cm/s로 계산됨.

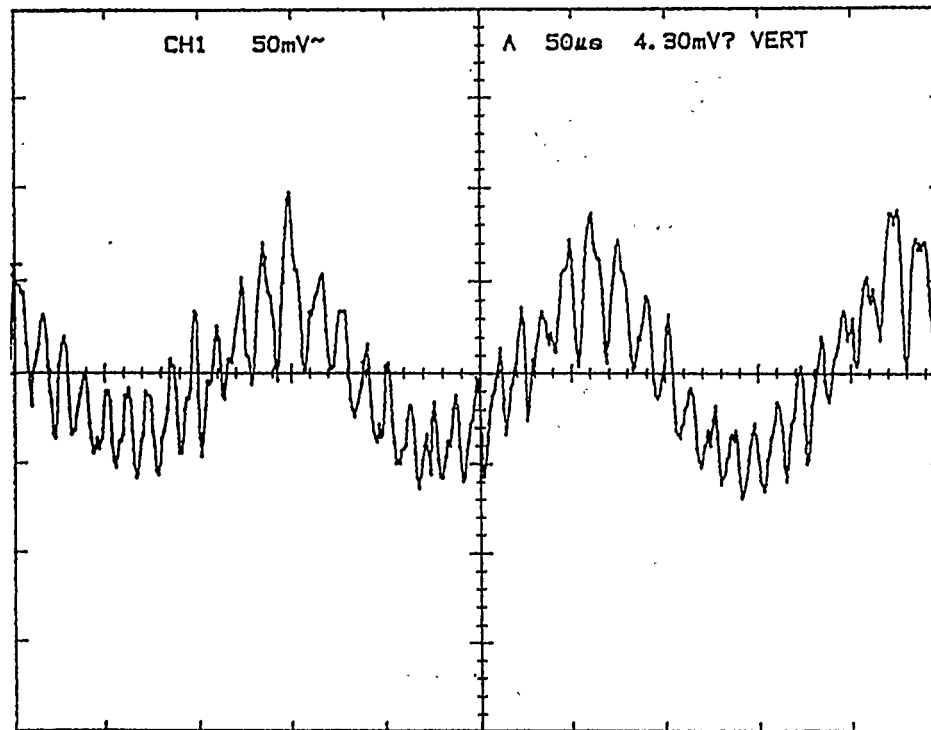












ADVANCING CLEO PROGRAM



CLEO/Pacific Rim 1995

THE PACIFIC RIM CONFERENCE ON LASERS AND ELECTRO-OPTICS

Makuhari Messe Convention Center
Chiba, Japan
July 10-14, 1995

CLEO with **Int. Opto'95**

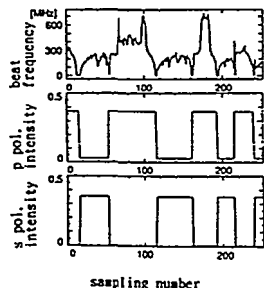
SPONSORED BY

- JAPAN SOCIETY OF APPLIED PHYSICS
- INSTITUTE OF ELECTRONICS, INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS
- IEEE/LASERS AND ELECTRO-OPTICS SOCIETY
- OSA
- OPTOELECTRONIC INDUSTRY AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT ASSOCIATION

is removed.¹ This bistable behavior in polarization is based on intracavity anisotropies of loss and phase. We observed the dependence of the polarization switching on the angle of $\theta = 0^\circ, 45^\circ$ and 90° between one of the laser polarization and the linear-polarized injection light.

In our experiment, the injected light from a master laser (Uniphase 10075/X) which operated on a single-mode oscillation is swept its frequency by the cavity length variation on a temperature control. A slave laser (USHIO UNL-205RS) operated on a single-mode with one of two orthogonal natural axes. The injected polarization angles θ for the slave laser are set by the adjustment of an isolator. The two orthogonal polarizations were separated by a polarizing beam-splitter and detected by photo diodes set on the two natural axes of a slave laser. Their data were sampled by a personal computer through a digital multimeter and GPIB. Figure 1 shows polarization switching waveforms when the master laser is swept to lower and higher frequencies for $\theta = 0^\circ$ (p polarization). The first plot is the monitored beat signal between the master and the slave laser and the beat frequency shows 0 Hz at a polarization switching point. The second and third plots show the intensities of p and s components of the polarization. The bistable polarization state of the switching is found as shown in Table 1. The same state is also found in the cases of $\theta = 45^\circ$ and 90° except for * mark in Table 1.

The polarization switching may depend on the cavity anisotropic loss of p and s polarized modes and the splitting frequency between p and s polarized resonant frequencies, f_p and f_s . We assume that the slave laser with $f_p > f_s$ operates on p polarized mode at first for $\theta = 0^\circ$. When the injected light of p polarization is swept to higher frequency, the s polar-



P79 Fig. 1. Polarization switching waveforms in the single-mode slave laser when the master laser is swept to lower and higher frequencies for p polarization. The first plot is the beat signal between the master and slave lasers and the beat frequency shows 0 Hz at a polarization switching point. The second and third plots show the intensities of p and s components of polarizations.

P79 Table 1. Observed polarization bistability in the slave laser by injecting a tunable frequency signal from the master laser.

Polarization angle of the injected light (The master laser) for a natural axis of the slave laser	Polarization state of the slave laser (P = p polarization, S = s polarization)			
	Sweeping frequency of the master laser			
	Sweeping to lower frequency		Sweeping to higher frequency	
	Initial state	Final state	Initial state	Final state
0° (p polarization)	P	S	S	P
45°	P	S	S	P
90° (s polarization)	P	S	* P	S

ized mode can not build up at f_s because the p polarized mode exists at f_p . If the slave laser operates on s polarized mode at first, its mode changes to p polarized mode at f_p by spatial hole burning effect. When the injected light is swept to lower frequency, the intensity of p polarized mode at f_p decreases by gain saturation effect and s polarized mode can build up again at f_s by spatial hole burning effect. We can take the similar consideration in the cases of $\theta = 45^\circ$ and 90° .

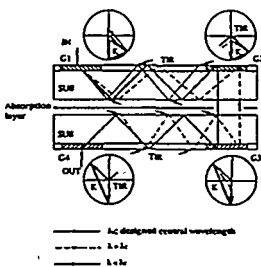
- S. T. Hendow, R. W. Dunn, W. W. Chow, J. G. Small, *Optics Lett.* 7, 356 (1982)

P80

A new type of optical band-pass filter using total internal reflections

Der-Chin Su et al

The architecture of this new type of optical band-pass filter is shown in Fig. 1. It consists of a pair of transmission-type volume gratings G_1, G_2 with identical structures in the upper part and a pair of reflection-type volume gratings G_3, G_4 with identical structure in the lower part. The K-vector diagram of each volume grating is shown in circle near that grating. The output of the upper part is the input of the lower part, and the performance of the lower part is opposite to that of the upper part. For convenience, the performances of these two parts are



P80 Fig. 1. The architecture of this new type of optical band-pass filter.

written together with a slash. The input wave is normally incident on G_1/G_2 , and it can be diffracted by G_1/G_2 into the substrate. The diffracted angle is proportional/inversely proportional to wavelength in a transmission-type/reflection-type volume grating, respectively. The diffracted angle corresponding to the central wavelength λ_c is designed so that it is equal to the critical angle. Then the component with wavelength larger/smaller than λ_c is partly reflected and attenuates obviously as the wave is guided through the substrate. Because the structure of G_3/G_4 is the same as that G_1/G_2 , the diffracted wave of G_3/G_4 will be parallel to the input wave, that is, the output wave passes normally through the substrate. Hence, the upper/lower acts as a low/high pass filter. Consequently, it can act as a band-pass filter and its bandwidth is determined by the number of total internal reflection and dispersive properties of the volume gratings.

- Y. T. Huang, D. C. Su, Y. K. Tsai, "Wavelength-division-multiplexing and demultiplexing by using a substrate-mode grating pair," *Opt. Lett.* 15, 1629-1631 (1992).
- H. Kogelnik, "Coupled wave theory for thick hologram gratings," *Bell Syst. Tech. J.* 48, 2909-2947 (1969).

Laser Metrology and Environmental Optics P81-P83

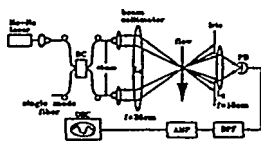
P81

Fiber-optic laser Doppler velocimeter using a directional fiber coupler

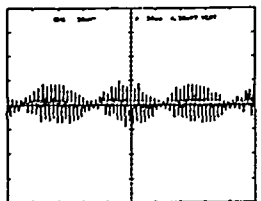
Jae Heung Jo, Jong Soo Kim, Wan Hae Choi, Soo Chang, *Department of Physics, Hannam University, Taean 300-791, Korea*

Laser Doppler velocimeter (LDV) that is proposed firstly by Y. Yeh and H. Z. Cummins¹ is a well established technique in many fields such as fluid mechanics and thermal engineering.² It provides remote, absolute and non-invasive measurement of the velocity distribution within a probe volume, with high spatial resolution. However, there are still some problems in the LDV system, its large body, large probe, and high price. In order to solve these problems, the versatility of the technique has been extended by the availability of optical fibers and related components.³ Fiber LDV system have been also developed to enhance the potential of the conventional fixed-type LDV.⁴ In this paper, we have proposed the possibility of the small, light and remote fiber-optic LDV system with a variable directional fiber coupler (DC) in order to measure the velocity of fluids in a quartz dye cell of the dye laser on working and to produce a sufficiently small instrument.

Figure 1 is the schematic diagram of the fiber-optic LDV system of forward scattering type with a DC. Since the visible light is useful for the arrangement of the optical system and to seek for the position of a probe volume, we use the red He-Ne laser with 20 mW as the source



P81 Fig. 1. The schematic diagram of the fiber-optic laser Doppler velocimeter system of forward scattering type with a variable directional fiber coupler (DC), where L1 and L2 are lenses, PD the photo-detector, BPF the electronic band pass filter, AMP the 60 dB amplifier, OSC the digital oscilloscope.



P81 Fig. 2. The Doppler signal detected by the photo-detector (PD) without pedestal noises. The fluid velocity of 30 cm/s by using the Doppler frequency of 111 kHz and the fringe space of 27 μm is obtained.

beam. The DC is made of two single mode fibers of He-Ne laser with 3 m long and can be controlled the coupling efficiency by handling distances between two fibers. The laser beam is divided by two beams with same intensity by DC with intensity ratio of 50:50. These two beams are collimated and focused at the probe volume in a dye cell by microscope objective lenses and focusing lens L₁. The scattering signals is collected at a detector by the collecting lens L₂. The signal detected by the photo-diode is observed in the digital oscilloscope through the electric band pass filter (BPF) and the amplifier (AMP). Figure 2 shows a Doppler signal detected by the photo-detector (PD) without pedestal noises. From Fig. 2, we obtain the fluid velocity of 30 cm/s by using the Doppler frequency of 111 kHz and the fringe space of 27 μm . Next, we will try to get the backward scattering signals by using the improved probes that will be made of two transmitting single mode optical fibers and a receiving multi-mode optical fiber.

1. Y. Yeh, H. Z. Cummins, *Appl. Phys. Lett.* 4, 176 (1964).
2. L. E. Drain, *The Laser Techniques* (John Wiley & Sons, Chichester, 1980).
3. D. A. Jackson, J. D. C. Jones, *Opt. Laser Tech.* 18, 299 (1986).
4. Y. Ikeda, T. Nakajima, S. Hosokawa, R. Matsumoto, *Meas. Sci. Technol.* 1, 260 (1990).

P82

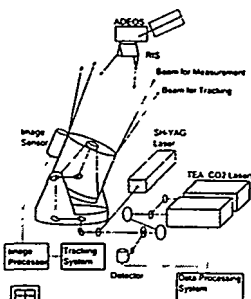
Laser long-path absorption experiments using the Retroreflector in Space (RIS)

Nobuo Sugimoto, Atsushi Minato, Ichiro Matsui, Yasuhiro Sasano, Toshikazu Inabe,* Tetsuo Aoki,* Masao Takabe,* Norihisa Hirokawa,* Hiroo Kunimori,* National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsurumi, Ibaraki 305 Japan

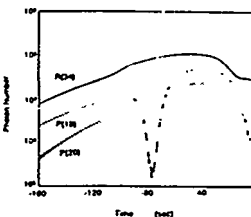
Experiments on the earth-satellite-earth laser long-path absorption measurements of atmospheric trace species are planned with the Retroreflector in Space (RIS) for the Advanced Earth Observing Satellite (ADEOS). The ADEOS is a Japanese sun-synchronous polar-orbit satellite which is scheduled for launch in February 1996. The RIS is a single-element hollow cube-corner retroreflector with an effective diameter of 0.5 m.^{1,2}

In the RIS experiments, a laser beam is transmitted from a ground station, reflected by RIS, and received at the ground station. The absorption spectrum of the atmosphere is measured in the round-trip optical path. The column contents and the vertical profiles of atmospheric trace species are derived from the measured spectra.

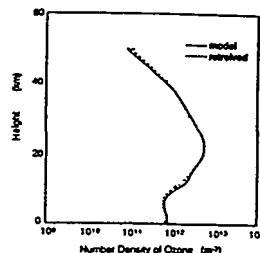
Figure 1 shows a schematic diagram of the ground system for the experiment. The system consists of an optical satellite



P82 Fig. 1. Ground system for the RIS experiment.



P82 Fig. 2. Simulated return signal (photon number per shot) in the ozone measurement.



P82 Fig. 3. Ozone profile retrieved from the simulated signal.

tracking system and a laser transmitter/receiver system for spectroscopic measurements. We use a tracking system with a 1.5-m diameter telescope at the Communications Research Laboratory. We developed an active satellite tracking method which utilizes the image of RIS lit by a second-harmonics Nd:YAG laser. The active method will be used at the same time with the programmed tracking to achieve the accuracy required by the RIS experiments.

For the spectroscopic measurements, we use two single-longitudinal-mode TEA-CO₂ lasers which have capability of switching laser lines rapidly.³ One of the lasers is tuned to the laser lines close to the absorption lines of the target molecule, and the other is used for measuring the reference signals. We measure high-resolution absorption spectra of the atmosphere by using the Doppler-shift of the return beam caused by the satellite movement.

Figure 2 shows an example of the simulated return signals which is calculated with the actual system parameters and the reflection characteristics of the RIS. In this measurement, the line of a CO₂ laser is switched every one second to measure the two absorption lines of ozone seen in the figure. Vertical profile of ozone will be obtained from the spectra by means of inversion method using the pressure dependence of absorption line shape. Figure 3 shows the ozone profile retrieved from the simulated signals. We plan to measure vertical profiles of ozone and methane, and column contents of CO₂, HNO₃, CFC12, CO, N₂O, etc. with the TEA CO₂ lasers (¹³C¹⁸O, ¹³C¹⁶O₂) and their second and third harmonics. *Communications Research Laboratory, 4-2-1 Nukui-Kit, Koganei, Tokyo 184 Japan

1. N. Sugimoto, A. Minato, Y. Sasano, *CLEO'91*, Baltimore, p. 450 (1991).
2. A. Minato, N. Sugimoto, Y. Sasano, *Appl. Opt.* 31, 6016 (1992).
3. R. J. Nordstrom, L. J. Berg, A. F. DeSimone, N. Sugimoto, *Rev. Sci. Instr.* 64, 1663 (1993).



CLEO/Pacific Rim '95

The Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics

March 22, 1995

Joe Heung Jo
Hannam University
Department of Physics
Ojung-dong 133, Taedok-gu
Taerjon, 300-791
KOREA

Dear Dr. Jo:

I am pleased to inform you that your paper submission for the PACIFIC RIM CONFERENCE ON LASERS AND ELECTRO-OPTICS 1995 (CLEO/Pacific Rim'95), July 10 - 14, 1995, in Chiba, Japan at the Makuhari Messe Convention Center has been accepted as a poster presentation and is scheduled as follows:

PAPER NUMBER: P81
PAPER TITLE: Fiber-optic laser Doppler
velocimeter using a directional
fiber coupler
SESSION: Poster Session
DATE: Thursday, July 13, 1995
TIME: 13:30 - 15:30

Each author is provided a bulletin board that is 4 feet high by 8 feet wide on which to display your paper. You may set-up your posterboard on July 13, 1995 between 13:00 - 13:30 and remove your paper between 15:30 - 16:00. Authors will remain in the vicinity of the bulletin board for the duration of the session to answer the questions of the attendees. Poster papers will not be supplied with any audio-visual equipment. If you have any questions please contact me at (908) 562.3896 by phone; (908) 562.8434 by fax; or m.estrin@ieee.org by email.

Please sign and return the enclosed IEEE copyright form to Elsie Vega at the IEEE/LEOS Executive Office by June 9, 1995.

Please note that all speakers and session chairs must pay the conference registration fee in order to support the Conference. Complete registration and other information will be included in the Advance Program. We greatly appreciate your interest in the Conference and we look forward to seeing you in Chiba, Japan.

Regards,

Melissa K. Estrin
Melissa K. Estrin
IEEE/LEOS Meetings Manager, CLEO/Pacific Rim'95

Technical Program Information: CLEO/Pacific Rim '95 • IEEE/LEOS • 445 Hoes Lane • PO Box 1331 • Piscataway • NJ • 08855-1331 • USA
Tel: 1 908 562 3893 • Fax: 1 908 562 8434

Exhibit Information: CLEO/Pacific Rim '95 • OITDA • Sumitomo Fudocan Toyoko ML Plaza, 5-6, Toyo 7-chome • Koto-Ku, Tokyo 135
Japan • Tel: +81 3 5432 7721 • Fax: +81 3 5432 7725
In the U.S. and Europe: CLEO/Pacific Rim '95 • CSEA Conference Service Department • 2010 Massachusetts
Avenue, NW • Washington, DC 20036-1023 • USA • Tel: 1 202 416 1950 • Fax: 1 202 416 6140

TECHNICAL DIGEST

CLEO/Pacific Rim '95

The Pacific Rim Conference on
Lasers and Electro-Optics

Makuhari Messe Convention Center
Chiba, Japan

July 10-14, 1995

Co-Located with InterOpto'95

Optoelectronic Society and Technology Development Association



P69
Improved Performance of Vertical-Cavity Modulator through the use of Diffused Quantum Wells, E.H. Li, W.C.H. Choy, *The University of Hong Kong, Hong Kong*
The transmission and its field-induced change spectra of a vertical-cavity Fabry-Perot $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}/\text{GaAs}$ diffused-quantum-well modulator are analyzed and results indicate improved modulation performance and capability for wide band-width applications.

P70
Impurity Induced Disorder Produced Lateral Optical Confinement in $\text{AlGaAs}/\text{GaAs}$ Quantum Well Waveguides, E.H. Li, C.-B. Cheung, W.-K. Tsui, *The University of Hong Kong, Hong Kong*
A two dimensional $\text{AlGaAs}/\text{GaAs}$ quantum well waveguide with lateral optical confinement can be produced using impurity induced disordering. The single and multi mode guiding requirements are analyzed in terms of mask width, layers thickness, and wavelengths.

P71
A Simple and Efficient Scalar Finite Element Approach to Nonlinear Optical Channel Waveguides, A. Niiyama, M. Koshiba, *Hokkaido University, Sapporo, Japan*
A unified scalar finite element approach is developed for both TE-like and TM-like nonlinear waves in three-dimensional optical waveguides. Propagation characteristics of nonlinear elliptical core fibers and graded-index nonlinear channel waveguides are investigated in detail.

P72
Propagation of Incident Gaussian-Beam Down Adjoining Nonlinear Planar Waveguide, J.-S. Jeong, S.H. Song, S.D. Jung, E.-H. Lee, *Electronics and Telecommunications Research Institute, Taejeon, Korea*
In adjoining nonlinear planar waveguide, we present numerical results that a solitary wave can be generated from high-power Gaussian beam excitation after propagation of few hundreds μm .

OPTICAL SWITCHING, COMPUTING AND INFORMATION PROCESSING

P73
Optical Adaptive Processing for an Intensity Invariant Pattern Recognition, K. Matsuoka, M. Taniguchi, Y. Mokuo, *Osaka National Research Institute, Osaka, Japan*
We propose optical adaptive discrimination for a pattern recognition by using a two-correlator system, which achieves an intensity invariant recognition by adaptive thresholding. Computer simulation results show the performance of optical adaptive discrimination.

P74
Use of Limited Distortion Invariant Correlation Filters for Recognition of Road Signs, M. Taniguchi, K. Matsuoka, *Osaka National Research Institute, Osaka, Japan*
We propose multiple-object correlation filters with limited distortion invariance to the recognition of road signs. To detect the distorted signs, the techniques of Mellin harmonics decomposition and synthetic discriminant function are applied.

P75
Unified Filter Modulation Synthetic Discriminant Function, R.K. Wang, I.A. Watson, C.R. Chatwin, *University of Glasgow, Glasgow, UK*
Via the filter modulation operator N , the modified filter synthetic discrimination function permits advantageous preprocessing of individual training-set images that are used to construct the filter synthetic discriminant function which applies a modulation operator M .

P76
A Compact Implementation of Optical Omega Network, K.W. Wong, T. Ngai, L.M. Cheng, *City University of Hong Kong, Kowloon Tong, Hong Kong*
A technique for the compact implementation of optical Omega network is proposed. By using this technique, the whole Omega network is realized by a single set of optics in a time-multiplexed recursive manner.

P77
Application of Reflective Block Optics to a Discrete Correlator, D. Miyazaki, K. Matsushita, *Osaka City University, Osaka, Japan*
Reflective block optics (REBOP) is a packaging technique for rigid and reliable optical computing system. We present experiments on a preliminary system based on REBOP. In addition, we propose use of a self-aligning technique for REBOP.

P78
Reduced Alignment Accuracy Requirement for Free-Space Optical Interconnection Using Focused Gaussian Beams, H. Sasaki, K. Shinozaki, T. Kamijoh, *Old Electric Industry Company Limited, Tokyo, Japan*
Numerical simulation reveals that the alignment accuracy requirement for free-space optical interconnection is severer for lateral misalignment than longitudinal one. It is also shown that lateral misalignment requirement is greatly reduced by using focused Gaussian beams.

P79
Optical Polarization Switching and Bistability by Injected Light in a 633nm He-Ne Laser, T. Ohta, S. Ohno, Y. Aono, T. Ichinose, *Doshisha University, Kyoto, Japan*
Optical polarization switching and bistability in

a single-mode 633 nm He-Ne laser are observed by injected light with the polarization axes of 0° , 45° and 90° .

P80
A New Type of Optical Band-Pass Filter Using Total Internal Reflections, D.-C. Su, J.-T. Chang, W.-R. Lin, Y.-T. Huang, *National Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan, R.O.C.*
A new type of optical band-pass filter which consists of a pair of transmission-type volume gratings and a pair of reflection-type volume gratings is proposed and a sample is fabricated for testing its quality.

LASER METROLOGY AND ENVIRONMENTAL OPTICS

P81
Fiber-Optic Laser Doppler Velocimeter using a Directional Fiber Coupler, J.H. Jo, J.S. Kim, W.H. Choi, S. Chang, *Hannam University, Taejeon, Korea*
We have designed and fabricated the fiber-optic laser Doppler velocimeter using a directional fiber coupler in order to measure the velocity of fluids in a quartz dye cell of the dye laser.

P82
Laser-Long-Path Absorption Experiments Using the Retroreflector in Space (RIS), N. Sugimoto, A. Minato, I. Matsui, Y. Sasano, *National Institute for Environmental Studies, Ibaraki, Japan*, T. Itabe, T. Aoki, M. Takabe, N. Hiromoto, H. Kunimori, *Communications Research Laboratory, Tokyo, Japan*
Plan for earth-satellite-earth laser long-path absorption experiment using the Retroreflector in Space is presented. Vertical profiles of ozone and methane, and column contents of CFC_{12} , HNO_3 , etc. will be measured with single-longitudinal-mode TEA CO₂ lasers.

P83
High-Accuracy Dimension Measurements of Complex Optical Parts using Femtosecond Optical Pulses, K. Minoshima, H. Matsumoto, *National Research Laboratory of Metrology, Ibaraki, Japan*
Dimensions of complex optical parts are accurately measured by using femtosecond optical pulses. The overlapping optical pulses from the parts can be separated by making nonlinear second-harmonic correlation with reference pulses with variable delays.

韓國物理學會 會報

Abstracts, Bulletin of the Korean Physical Society

第 12 卷 第 2 號

Vol. 12 No. 2 October 1994

第 69 回 總會프로그램, 論文抄錄集

日 時 : 1994. 10. 21 (금) ~ 22 (토)

場 所 : 東國大學校 慶州캠퍼스

社團
法人

韓 國 物 理 學 會

The Korean Physical Society

Pa-55

이온빔 보조 증착법으로 제작된 ZrO_2 박막의 특성 연구.

조현주, 황보창권 (인하대 물리학과). 이온의 에너지가 비교적 크고 이온 전류밀도가 작은 Kaufman형 이온총을 사용하여 ZrO_2 박막을 이온빔 보조 증착법으로 제작하고 이온 전류밀도와 이온 에너지의 변화에 따른 박막의 광학상수와 비균일성(inhomogeneity)을 포락선 방법을 이용하여 결정된 뒤 이를 이온 보조 증착을 하지 않은 박막과 비교하였다. 또한 다층 박막을 제작하고 제작된 박막의 진공과 대기간의 투과파장의 이동도를 측정하여 이온빔이 ZrO_2 박막에 미치는 기계적 특성에 대하여도 조사하였으며, X선 회절(XRD)을 이용하여 박막의 결정이 이온빔의 세기의 변화에 의하여 어떻게 변하는지도 조사하였다.

Pa-56

Fiber-Optic LDV의 설계 및 이를 이용한 유체유속 측정

기술 개발(I). 김종수*, 조재홍, 장 수(한남대). 이미 개발된 LDV(Laser Doppler Velocimeter)들의 광학적인 형태(1)로는 수 cm의 크기로 소형화 하는데 있어 제한이 따르므로 본 연구에서는 He-Ne(6328 Å)레이저와 단일모드용 광섬유(클래딩 직경: $80\mu m$, 코어직경: $2\sim 3\mu m$), 그리고 He-Ne레이저용 방향성 결합기로 모든 광학적인 요소들을 대치함으로써 LDV를 소형화할 수 있음을 제안하고, 이를 이용하여 고출력 색소레이저용 색소셀로 사용되는 Quartz Cell(HELLMA Cat.-No. 690.072-QS)내의 유속분포를 측정 하였다.

* 본 연구는 한국 원자력 연구소의 고출력 색소레이저용 색소셀 제작과 색소유동 측정기술 개발(과제번호: 중장기 93-23)의 일환으로 수행 되었음.

(1) Tariq S. Durrani and Clive A. Greated, "LASER SYSTEMS IN FLOW MEASUREMENT", PLENUM PRESS, NEW YORK AND LONDON, 1977.

Pa-57

위상 마스크를 이용한 광섬유 격자 제조 및 주파수 특성. 김동환*,

전영민, 이상배, 주홍, 손정영, 최상삼 (KIST). 위상 마스크를 이용하여 협대역 광통신 파장용($\lambda = 1.55\mu m$) 광섬유 회절격자를 제조하였다. 보통의 광섬유보다 Ge이 많이 도핑된 (9 mole%) 광섬유를 특수제작하였으며, 위상 마스크를 투과하는 KrF($\lambda = 248\text{ nm}$) 레이저빔의 Fresnel 근거리 회절형상에 의해 광섬유 core내에 주기적 격자를 형성시켰으며, $\lambda = 1.55\mu m$ 근처에서 협대역 반사특성을 얻었다. 또한, 수소처리가 된 광섬유를 이용하여 제조한 회절격자의 특성과 비교하여 수소처리효과를 분석하였다.

韓國物理學會 會報

Abstracts, Bulletin of the Korean Physical Society

第 13 卷 第 1 號

Vol. 13 No. 1 April 1995

第 70 回 總會프로그램, 論文抄錄集

日 時: 1995. 4. 21 (금)~22 (토)

場 所: 韓國外國語大學校 龍仁캠퍼스

社團
法人 韓國物理學會
The Korean Physical Society

Ib-4

단일모드 광섬유를 이용한 광섬유 스펙클 간섭계, 진영화, 최완해, 조재홍, 장수(한남대). 0.633 μm 단일모드 광섬유를 이용한 광섬유 방향성 결합기를 이용하여 물체의 변형 및 변위를 측정하는 광섬유 스펙클 간섭계를 구성하였다. 광섬유 방향성 결합기의 한쪽 팔에서 나온 광을 물체에 조명하여 스펙클로 이루어진 물체광과 다른 팔에서 나온 기준광을 함께 필름에 비추어 스펙클 간섭무늬를 형성한다. 이 스펙클그림을 Fourier transform 시켜서 물체의 변형 또는 변위를 측정하였다.

- 1) J. L. Santos, T. P. Newson, and D. A. Jackson, Opt.Lett. 15, 573 (1990).

Ib-5

1.3 μm 다이오드 레이저와 0.68 μm 다이오드 레이저를 이용한 소형 fiber-optic LDV의 개발, 최완해, 임권, 조재홍, 장수(한남대). 1.3 μm 다이오드 레이저의 광속을 광섬유 방향성 결합기에 입사하여 두 광속으로 분리한 후, 이를 laser Doppler velocimeter(LDV)의 간섭무늬를 형성하는 펌프광으로 사용하고, 0.68 μm 다이오드 레이저의 광속을 광섬유 방향성 결합기의 다른 입력단에 입사시켜서 탐사 위치를 파악하는 탐사광으로 사용하였다. 그리고 산란된 도플러 신호광들은 전방산란과 후방산란의 2가지 형태로 avalanche photodiode로 검출하였다. 그리고 이 신호들을 60 dB의 증폭기와 가변 electric band pass filter로 burst 신호로 만든 후, high speed A/D converter 와 fast Fourier transform 프로그램으로 이 신호의 주파수를 측정하고, 이로부터 유속을 계산하였다.

- 1) Thang T. Nguyen and Le N. Binh, Appl.Phys.Lett. 45, 1163 (1984).
- 2) Manfred Stieglmeier and Cameron Tropea, Appl.Opt., 4096 (1992).

Ib-6

Fiber와 chip의 커플링 향상을 위한 BH 형 InGaAsP/InP 광도파로의 설계 및 제작 안주현, 오광룡, 이승원, 김홍만(한국전자통신연구소 광전자연구실). 광도파로와 능동소자가 집적된 광스위치, 광변조기 등과 같은 광 집적소자 제작에 있어서 광섬유와 도파로의 커플링 효율은 소자의 성능향상에 미치는 매우 중요한 특성이다. 본 연구에서는 광스위치 소자 제작에 응용할 목적으로 BH 형 InGaAsP/InP 도파로의 도파층 구조변화(single core:1.12 μm (λ_g) InGaAsP, double core: 1.05 μm (λ_g) InGaAsP/InP/1.05 μm InGaAsP, triple core: 1.12 μm (λ_g) InGaAsP/InP/1.12 μm InGaAsP)/InP/1.12 μm InGaAsP)에 따라 단일모드 광도파로를 설계 및 제작하여 fiber와 chip의 커플링 효율 및 도파특성을 비교 검토하였다. 도파로의 모드 및 커플링 특성은 BPM법을 사용하여 simulation 하였으며, BH 형 도파로의 제작은 RIB를 사용하여 rib 패턴 형성후 LPMOCVD 법을 사용하여 재성장 하였다.

- 1) J.F. Vinchant, IEEE Photon. Tech. Lett. vol.6, NO.11, pp 1347 (1994)

서 지 정 보 양 식								
수행기관보고서번호		위탁기관 보고서번호		표준보고서번호		INIS 주제코드		
		KAERI/CM-121/94						
제목 / 부제		고출력 색소레이저용 색소셀 제작과 색소유동 측정기술 개발						
연구책임자 및 부서명		조 재 홍, 한남대학교 물리학과						
연구자 및 부서명		장수, 임권, 김지택, 최완해 (한남대학교, 물리학과)						
발행지		대전	발행기관		한국원자력연구소		발행일	1995. 8. 18
페이지		111 P.		도표	유(○), 무()		크 기	cm.
참고사항								
비밀여부		공개(○)대외비(), _급비밀			보고서종류		위탁연구 보고서	
연구위탁기관		한남대학교			계약 번호		증장기 94C-28	
초록 (300단어 내외)		고출력 색소레이저를 제작함에 있어서 색소의 흐름에 대한 연구가 중요하기 때문에, 색소셀 내부의 유속측정 및 이를 이용한 새로운 형태의 색소셀을 제작해야만 한다. 이를 위하여 유체역학 및 색소레이저 출력에 관한 정보를 이용하여 색소셀 내부에서의 유동에 대한 시뮬레이션을 할 수 있는 색소셀 모델을 고안하고 이에 대한 computer simulation을 시도한다. 그리고 이에 대한 실험적 근거를 확보하고, 정확한 유속 및 압력에 대한 정보를 얻기 위하여 기존의 상용 LDV를 이용하여 색소셀내의 유동현상을 정확히 측정한다. 그리고 고출력 색소레이저가 작동하고 있는 상태에서 레이저의 출력 및 색소셀내의 유동현상을 실시간적으로 측정하기 위하여 소형 Fiber-Optic LDV를 구성한다. 그리고 이 LDV 및 시뮬레이션 결과를 이용하여 새로운 색소셀을 고안하고 제작하며, LDV 와 turbulence 측정장치를 이용하여 제작된 색소셀의 성능을 평가한다.						
주제명 키워드 (10단어 내외)		레이저 도플러 유속계, 방향성 결합기, 산란, 색소셀, 간섭계, Fiber-Optic LDV						

*** 일련번호 부여, ** 수행년도 부여

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET							
Performing Org. Report No.		Sponsoring Org. Report No.		Standard Report NO.		INIS Subject Code	
		KAERI/CM-121/94					
Title / Subtitle		Fabrication of a Dye Cell of the High Power Dye Laser and Development of the Measuerment Technology of the Fluid Velocities in a Dye Cell					
Project Manager and Dept.			Jae Heung Jo, Dept. of Physics, Hannam University				
Researcher and Dept.			Soo Chang, Kwon Lim, Jee Teak Kim, Wan Hae Choi (Dept. of Physics, Hannam University)				
Pub.Place	Taejon	Pub.Org.	KAERI	Pub.Date	Aug. 18, 1995		
Page	111 P.	III. and Tab.	Yes(0), No()	크 기	cm.		
Note							
Classified	Open(0), Outside(), __Class			Report Type			
Sponsoring Org.		Hannam University		Contract No.	94C-28		
Abstract (About 300 Words)		o The computer simulation code for the simulation of the steady-state flow in a dye cell is developed by using the finite element method. o The situaion of the fluid flow is measured by the diode laser LDV sysytem and compared with results of the computer simulation. o The small size Fiber-Optic LDV with a dirctional coupler is designed and fabricated for the real time measurement of fluid velocities in a dye cell.					
Subject Keywords (About 10 Words)			Laser Doppler Velocimeter, Dye Cell,				
Directinal Coupler, Scattering,			Interferometry, Fiber-Optic LDV				

*** serial no., ** research year