

## 광계측 기술

曹 在 喆, 崔 相 三  
韓國科學技術研究院 應用光學室

### I. 序 言

光計測은 빛의 屈折, 反射, 回折, 干涉, 振動數 變位등을 利用하여 微小變위, 거리, 表面狀態 및 형상, 각도, 가속도, 회전각속도, 壓力, 溫度, 電磁場, 진류, 밀도, 유속, 두께, 크기등의 각종 基本物量들을 非접촉으로 精確하게 測定하는 技術이다.

直進性, 可干涉性, 單色性, 高에너지의 特徵을 갖는 레이저가 開發되면서부터 光計測분야는 급진적으로 발전해 왔으며 최근에는 소형컴퓨터와 空間光變調器(SLM; spatial light modulator)를 利用하여 實時間 데이터처리를 할 수 있는 精確 光計測器가 제작, 市販되고 있다.

光計測 技術은 品質검사, 공정제어 및 감시, 운반시스템, 로봇틱스등 공정자동화에 필요한 여러 분야에 應用되고 있으며 사무의 능률을 크게 向上시킬 수 있는 사무자동화에도 활용되고 있다. 또한, 기초과학, 의료 및 군사 분야에도 많은 활용이 되고 있으며 최근에는 첨단 전자공학 기술과의 접목으로 그 應用분야가 확장 추세에 있고 高精度와 다양한 기능을 갖추고도 使用이 간편한 高性能 光計測器가 市販되고 있다.

光計測 기술의 가장 큰 長點은 비접촉 계측이 가능하다는 것이다. 이로인해 對象물체에 전혀 손상이 없는 신속한 계측이 가능하다.

본 논문에서는 우선 광계측 기술에 대한 전반적인 이해를 도모하고자 그 原理 및 基本構成과 현재 사용되고 있는 광계측기에 대해 기술하고 다음으로 국내외 현황과 전망에 관해 기술하겠으며 결론으로 國內 광계측 산업의 활성화를 위한 方案에 대해 간단히 기술하고자 한다.

### II. 光計測의 概要

光計測은 그림 1과 같이 수은등, 백열등, 레이저등의 빛을 計測對象에 入射시키고 이로부터의 透過, 反射, 回折된 빛의 세기변화 및 位相, 편광, 진동수등의 상태변화를 계측함으로써 역으로 계측대상 의 基本物量을 산출해 내는 技術이다.

現在는 주로 레이저光이 光原으로써 많이 사용되고 있으며 계측대상으로부터 出射되는 빛은 포토다이오드, PMT 등의 光檢出器에 의해 感知되거나 CCD와 같은 이차원 광검출기에 의해 감지된다. 광검출기로부터의 출력신호는 다시 소형 컴퓨터나 마이크로프

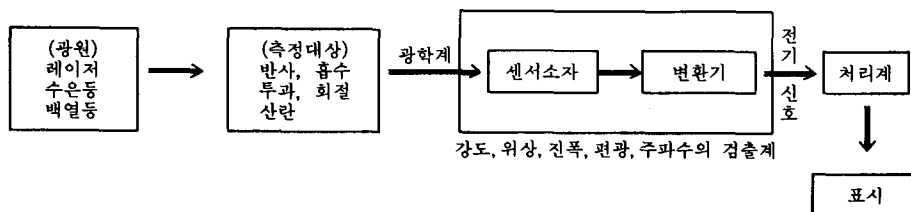


그림 1. 光計測器의 基本構造

로세서에 의해 신호처리되어 원하는 기본물량이 표시되도록 하고 있다.

光學的 간섭계를 利用하여 계측하는 경우와 로보틱 비존, 사무자동화에는 화상認識 및 處理기술이 사용되는데 일반적으로는 소형 컴퓨터와 비디콘 카메라에 의해 이루어지고 있으나 좀 더 신속한 데이터 처리를 위해서는 空間光變調器(SLM)가 사용되기도 한다. 공간광변조기는 통상 고순도 格子에 의해 제작되며 광학적 화상 및 간섭무늬등을 實時間 空間周波數 필터링하거나 자체상관처리를 할 경우 매우 필수적인 광학소자이다.

光計測 분야는 그 종류가 매우 다양하여 우리가 필요한 기본물량들을 모두 계측할 수 있으며 電子的, 力學的 계측이 매우 곤란한 경우에도 용이한 계측이 가능하다. 각 기본물량에 따른 광계측 방법과 그의 특성을 요약하여 정리하면 表 1과 같다.

표 1에서와 같이 한가지 基本物量을 計測하는 데에는 여러가지 광계측 기술이 사용되며 그들의 계측 精密度가 대단히 높은 것을 알 수 있다.

수  $\mu\text{m}$  정도의 微小이동 계측에는 주로 간섭계가 이용되며 반도체 제조공정에 사용되는 각종 정밀 이동기기에 應用되고 있다. 수백 m 정도의 원거리 계측에는 幾何光學的 방법과 光펄스 지연법이 이용되며 이를 레인지 파인더라고 부르는데 주로 토목공사, 자동초점 카메라등에 활용되거나 군사용으로 이용되고 있다. 간섭계는 또한, 對象物體의 三次元的 表面 형상을 측정하는 데에도 이용되며 이 기술은 반도체 웨이퍼, 금속표면등의 평탄도를 측정할 때 사용된다.

對象物體의 三次元的 形상 측정기술에는 X선, C.T. (computer tomography)와 같이 물체 및 인체내부구조를 立體的으로 관찰할 수 있는 방법과 金屬구조分析 및 評價등을 위한 Moiré 간섭계, 加工物體의 하중에 따라 微小變形을 立體的으로 分析할 수 있는 홀로그래픽 간섭계등이 있다. 특히, 홀로그래픽 간섭계의 경우는 二重노출 방법이 사용되기 때문에 實時間 처리를 위해서는 空間光變調器가 사용되어야 하며 액체, 기체내의 밀도변화를 입체적으로 관찰하는 데에도 활용된다. 이러한 기술은 자동차, 항공기 제작산업, 반도체 소자 性能檢査, 物體加工 선반설계, 의료 등 여러분야에 활용될 수 있다.

움직이는 물체의 移動速度를 非接觸으로 측정하는 데에도 LDV (laser Doppler velocimeter)가 이용되는데 이 기술은 가깝게는 자동차 過速탐지에서부터 레이저, 액체의 유속 및 유량계측, 인체내 혈류속도계

측등에 이용되고 있다.

레이저光을 일정한 속도로 對象物體 위에서 走査시키고 反射光의 세기변화를 검출하는 방법은  $0.01\mu\text{m}$  정도의 精密度로 반도체 회로의 선폭을 정확, 신속히 계측하는데 이용되거나, 슈퍼마켓등지에서 상품가격을 判讀하는데 이용되고 있는 바-코드 판독기에 활용되고 있다. 최근에는 이 방법으로 物體 表面의 三次元的 形상을 측정하는 데에도 이용되고 있다.

레이저光처럼 可干涉性이 좋고 集光性이 좋은 빛을 물체에 入射시키면 그 입사표면의 모양에 따라 散亂, 回折무늬가 변화하게 되는데 이 방법을 이용하면 加工物體의 品質檢査와 微細粒子의 크기 및 모양 계측에 활용할 수 있다.

二次元的 映像이 基準 映像과 같은지를 判別하는 데에는 光學的 映像認識法이 이용된다. 이 기술은 수학적인 자체상관 과정을 광학적으로 실현시켜 入力 映像의 異常有無와 種類를 判讀하는 데 이용되는 데 현재는 주로 CCD 카메라와 소형컴퓨터에 의한 수학적 演算처리를 거쳐 판독이 이루어지고 있으며 이는 대상물체의 追跡에도 이용할 수 있어 로보틱 비존에 매우 중요한 기술이다. 그러나, 조만간 低價格, 高分解能의 이차원 공간광변조기가 실현되면 지금보다 훨씬 빠른 영상처리가 가능해져 더욱 널리 이용될 전망이다.

高倍率 망원광학계와 초정밀 광학부품을 사용하면 수초단위의 角度를 測定할 수 있는 데 이 기술은 광학부품의 規格檢査, 토목공사 및 대형 광학시스템의 배열, 탄광 및 지하터널의 굴착공사등에 이용되고 있으며 최근에는 二次元 位置感知素子가 개발되면서 측정된 각도에 전자적 信號로 轉換되어 表示되는 것도 시판되고 있다.

尖端 光電子機器에 소요되는 광학부품들은 거의 모두가 高品質이어야 하며 광학적 가공오차가 매우 적어야 하는 데 제조된 광학부품들의 품질검사에는 주로 간섭계가 이용되며 사용 광원의 출사파장의 백분의 일까지도 정밀 계측이 가능하다.

産業的 測面에서 비교적 널리 활용되고 있는 光計測 技術에는 溫度계측 기술이 있다. 광학적 방법에 의한 온도계측은 기본적으로 물체표면의 溫度에 따른 외부로 방출되는 熱輻射量의 변화를 이용하고 있는데 총 열복사량이 표면온도의 네제곱에 비례하기 때문에 표면온도에 따른 총 열복사량의 변화는 매우 크다. 常溫下에 있는 물체로부터 放出되는 熱輻射波長은 수  $\mu\text{m}$ 의 遠赤外線 영역이므로 온도계측에는 InP,

표 1. 光計測器의 種類 및 特性

基本 物量	光計測器의 種類	特 性
길 이 nm~수 Km	간섭계 < Homodyne Mach-Zehnder Heterodyne → Twyman-Green	分解能 = 0.08 μm 100m 측정시 1.4mm 오차
	光필스 지연법 < 時間 지연법 (Range Finder) 位相 지연법	오차 = 10m 1Km 측정시 1mm 오차
	幾何光學法	
表面 형상 (Profile)	Optical Profilometer	분해능 < 깊이 = 1 Å 폭 = 2 μm
	간섭계 : Twyman-Green, Fizeau, Shearing Newton's Ring, Mach-Zehnder	분해능 = λ/1000
	幾何光學法	측정범위 = 8mm 분해능 = 2 μm 오 차 = 8 μm
三次元 형상	Tomography : CT	
	Moiré Topography	분해능 = 20 μm
	Holographic 간섭계 : 二重露出法	분해능 = 수 μm
微小변위, 振動	Moiré 간섭계, Holographic 간섭계, Speckle 간섭계	분해능 = 수 μm
	Critical Angle 법	분해능 = 10 Å
速度	Laser Doppler Velocimeter (LDV)	
두께, 선폭	光走査法	분해능 = 0.01 μm
수 량	Shadow 법 : light on/off	
품 질	光音響 映像法, 回折法, 散亂法	
映像認識	Pattern Recognition : Auto-correlation	
溫度	Optical Pyrometer : 熱輻射	분해능 = 0.3°F (-60~數千°F)
각종물량	光纖維 센서	感度 : 저장 = 10 <sup>-8</sup> G 온도 = 10 <sup>-6</sup> C
角度	Auto-collimator	분해능 = 수 초
배 열 (Align)	레이저의 直進성을 이용	빔직경 = 2mm 빔퍼짐 = 0.026°
Particle	회절법 : Fraunhofer 회절	0.1~1000 μm
부품성능	Twyman-Green 간섭계	분해능 = 光波長
회 전 각속도	Optical Gyroscope : Ring-Laser	感度 = 10 <sup>-5</sup> /hr
	光纖維 Gyroscope	感度 = 10 <sup>-4</sup> /hr
기 타	LIDAR : 公害 및 大氣 측정	
	Remote Sensing, SAR : 地形, 資源 探查	
	Laser Spectroscopy : 基礎 物性 分析	

HgCdTe와 같은 원적외선 광검출기가 사용되며 최근에는 高分解能의 이차원 어레이 형태의 광검출기가 개발되어 종전의 光走査方式에서 한단계 발전된 온도 分布 계측기가 시판되고 있다. 이 기술은 건물의 斷熱상태 조사, 인체표면의 온도분포조사, 공장내의 에너지 손실조사, 가공물체의 온도변화 감지등에 활용된다.

그 내부에서 빛을 계속 誘導시킬 수 있는 光纖維와 박막 도파로를 이용하여 각종 기본물량들을 정밀히 계측하는 방법이 최근에 연구되고 있으며 이중 일부는 이미 實用化되어 시판되고 있다. 이 방법에는 크게 광도파로 자체 특성변화에 의해 유도되는 빛의 세기와 位相이 변화하는 것을 이용하는 경우와 광도파로는 단지 빛을 유도시키는 역할만 하고 광도파로 중간 또는, 끝지점에 위치해 있는 感知素子에 의해 誘導光의 세기와 位相이 변화하는 것을 이용하는 경우의 두가지로 구분된다. 이 가운데, 특히 항공기, 자동차, 선박등의 진로를 추적, 보정할 수 있는 광섬유 자이로스코프에 대해 가장 활발한 연구가 진행되고 있으며, 현재는 매 시간당 0.02°의 회전각속도를 측정할 수 있는 단계에 이르렀다. 이 기술은 軍事的側面에서도 매우 중요한 기술이며 日本에서는 금년도부터 지도가 내장되어 있는 소형컴퓨터가 裝着된 자동차에 이를 활용하려는 시도가 진행되고 있다. 광도파로를 이용한 광계측 기술은 기존 계측기술에 비해 電子의 干涉이 전혀 없고, 高感度이며, 分布計測이 가능한 長點을 갖고 있으며, 특히 化學센서로서의 가능성이 매우 크다.

이외에도 넓은 범위에서 보면 인공위성을 통한 지구 지형 및 자원 탐사도 광계측 분야에 포함된다고 볼 수 있으며, 高出力 극초단 광펄스를 이용한 기조物性分析 기술도 이 범주에 속한다고 볼 수 있다.

### Ⅲ. 光計測器의 構成 예

본 논문에서는 表 1에서 열거한 여러가지 광계측기 가운데 비교적 많이 사용되고 있는 것들에 대해서만 그들의 光學系와 計測原理에 대해 좀 더 자세히 기술하고자 한다.

#### 1. 一般 光計測器

##### 1) 길이<sup>1),2)</sup>

그림 2는 heterodyne 방식의 Mach-Zehnder 간섭계를 이용한 레이저光的 출사波長 정도의 ( $\leq 1 \mu m$ ) 측정오차를 갖는 길이측정기이다. 여기서 사용하는 레

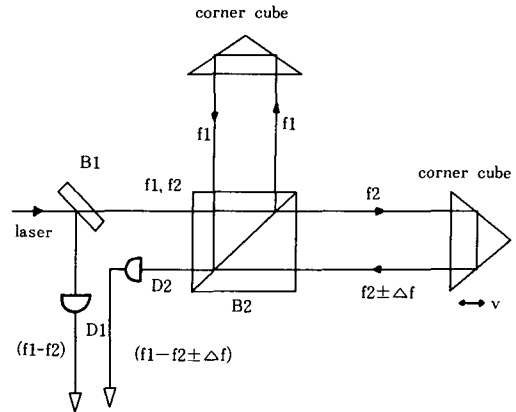


그림 2. Heterodyne 방식 Mach-Zehnder 간섭계를 이용한 길이 측정기

이저는 서로 偏光方向이 직교하면서 각각 다른 진동수  $f_1, f_2$ 를 갖는 빛을 출사하며 두 진동수의 차는 매우 적다. 레이저로부터 출사된 빛은 光分割器 B<sub>1</sub>에 의해 두개의 빛으로 나뉘어 지고, 反射된 빛은 光檢出器 D<sub>1</sub>으로, 다른 한 빛은 그대로 透過하여 편광분할기 B<sub>2</sub>에 의해 진동수  $f_1$ 의 빛은 corner cube에서 반사되어 다시 되돌아 오게 되며, 진동수  $f_2$ 의 빛은 그대로 투과하여 속도  $v(t)$ 로 움직이고 있는 이동물체에 놓여 있는 corner cube에서 반사되어 역시 되돌아 오게 된다. 이 두 빛은 다시 광분할기 B<sub>2</sub>에 의해 광검출기 D<sub>2</sub>로 입사된다. 이렇게 光學系를 構成해 놓으면, 移動物體上의 corner cube에서 反射된 빛은 Doppler 效果에 의해  $\Delta f_2 (= f_2 \cdot 2v(t)/c, c =$  빛의 속도)의 진동수 변위를 받게 되어 광검출기 D<sub>2</sub>에서는 진동수  $f_1$ 과 진동수  $f_2 + \Delta f_2$ 를 갖는 두 빛의 干涉 현상에 의한 빛의 세기변화가 검출된다. 이 빛의 세기변화를  $I_s(t)$ 라 하면  $I_s(t)$ 는,

$$I_s(t) \propto 2 \cos^2 \{ \pi (f_1 - f_2 - \Delta f_2) t \}$$

로 표현된다. 그런데, 광검출기 D<sub>1</sub>에서는 진동수  $f_1$ 과 진동수  $f_2$ 를 갖는 두 빛의 간섭현상에 의해

$$I_r(t) \propto 2 \cos^2 \{ \pi (f_1 - f_2) t \}$$

에 비례하는 빛의 세기변화가 검출된다.

물체의 이동속도  $v$ 가 시간에 따라 일정하면  $\Delta t$  시간동안의 이동거리  $\Delta l$ 은,

$$\Delta l = v \cdot \Delta t = (c/2f_2) \cdot \Delta f_2 \cdot \Delta t$$

가 되며 두개의 광검출기 D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>에서의 電氣信號 파형의 펄스 갯수의 차이 ΔN은 Δf<sub>2</sub>·Δt로 주어지므로 Δℓ은,

$$\Delta \ell = \lambda_2 / 2 \cdot \Delta N \quad (\text{단, } c = f_2 \cdot \lambda_2)$$

이 된다. 따라서, 두 광검출기의 신호파형의 펄스갯수의 차이로부터 Δt 시간동안의 이동물체의 변위를 정확히 算出할 수 있으며 이 방식은 레이저光의 출력변화에 무관한 長點을 갖고 있다.

그림 3은 레이저光의 세기를 시간에 따라 정현적으로 변조하고 그림 4와 같이 측정하려는 위치로부터 반사되어 되돌아 오는 光의 位相을 정확히 측정함으로써 수백 m의 長距離를 계측할 수 있는 光學系이다.

15MHz로 레이저光을 變調시키면 한 波長에 해당되는 거리는 20m이며 150KHz의 경우에는 2Km가 되므로 측정하려는 거리에 따라 變調周波數를 몇 단계로 變換시켜줘야 한다.

2) 表面 형상 (roughness, flatness, 굴곡등)<sup>[3-6]</sup>

Roughness 計測에는 optical profilometer가 사용되는데 scanning Fizeau 간섭방식, optical heterodyne 방식, Mireau heterodyne 간섭방식, Nomarski현미경

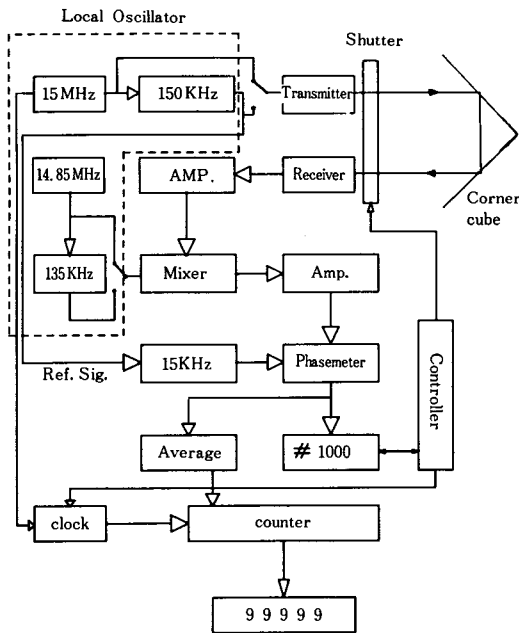


그림 3. 位相測定法을 이용한 길이측정기의 구조

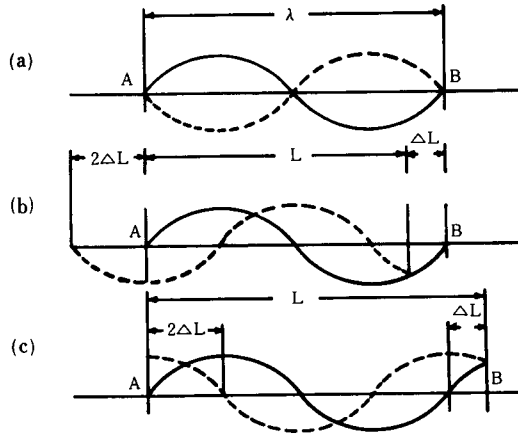


그림 4. 反射點의 위치에 따른 位相변화

- (a) 位相差가 없는 경우
- (b) 反射點을 發射點 가까이 이동시킨 경우
- (c) 反射點을 發射點으로부터 멀리 이동시킨 경우

방식, 散亂 방식등 여러가지가 있다.

그림 5는 Mireau heterodyne 간섭방식을 보여준다. 이는 현미경 대물렌즈 바로 앞에 놓인 유리판의 중심부에 Al 증착을 함으로써 이를 투과한 光의 일부가 그 앞에 놓인 半透過거울에서 두번 反射되도록 하여 이 反射光과 對象物體 表面에서 반사된 光이 서로 干涉하도록 광학계가 構成되어 있다. 이렇게 하면 대상물체의 표면굴곡에 따른 반사光的 位相變化를 간섭무늬로부터 계측할 수 있다. 이 방식에서는 한번에 2mm 이하의 구간에 대해서만 계측이 가능하며 횡방향 분해능은 2~3μm 정도이다.

좀 더 큰 면적에 대한 계측방식으로는 Newtonring 방식, Fizeau 간섭방식, Twyman-Green 간섭방식 등이 있는데 그림 6은 Twyman-Green 방식을 보여준다.

平面波 형태의 레이저光은 光分割器에 의해 두개로 분리되어 한 빛은 基準거울 M<sub>1</sub>에서 반사되어 되돌아오고 다른 한 빛은 대상물체 M<sub>2</sub>에서 반사되어 되돌아와 다시 광분할기에 의해 서로 중첩되어 진다. 이렇게 하면 기준거울과 대상물체의 표면형상에 따른 波面上의 이차원적 위상변화 분포를 그림에서 보는 간섭무늬로부터 파악할 수 있다.

3) 三次元的 형상<sup>[7-9]</sup>

대상물체의 삼차원적 구조를 계측하는 데에는

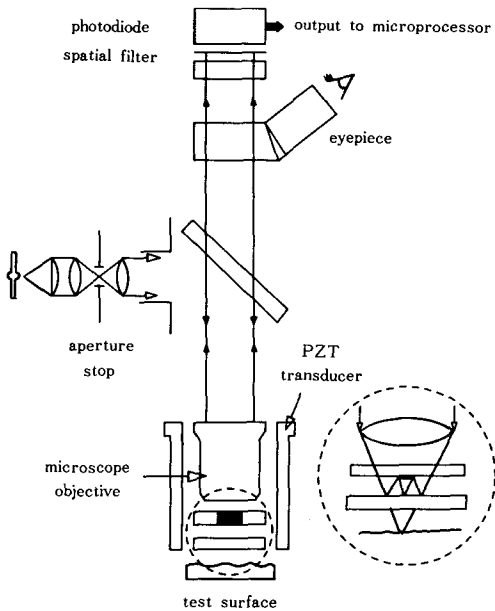
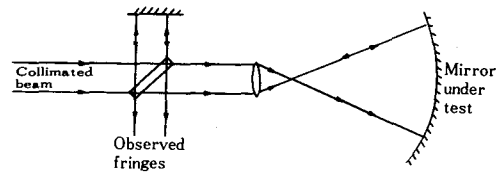


그림 5. Mireau heterodyne 干涉방식을 이용한 profilometer



(a) Twyman-Green 간섭계의 구조

S.No.	Surface type	Appearance	
		Without tilt	With tilt
1.	Plane		
2.	Almost plane		
3.	Spherical		
4.	Conical		

(b) 対象物體에 따른 干涉무늬

그림 6. Twyman-Green 간섭계

Moiré topography, 홀로그래픽 간섭방식, CT 등이 있다. 그림 7은 投射形의 Moiré topography이다.

텅스텐 램프로부터 출사된 빛은 회절격자 G를 조사하고 회절격자 G는 결상렌즈에 의해 대상물체 표면에 投射된다. 이렇게 하면 대상물체 표면의 굴곡에 따라 회절격자 映像 즉, 선무늬들의 위치가 약간씩 이동하게 되는데 이를 다시 결상렌즈에 의해 비디콘 카메라의 결상面 위에 결상시킨다. 비디콘 카메라의 수평, 수직 走査方式은 또하나의 회절격자를 결상면 위에 위치시킨 것과 동일한 효과를 주기 때문에 이로인해 Moiré 무늬가 모니터 화면에 나타나게 된다. 이 Moiré 무늬로부터 대상물체 표면의 굴곡분포를 산출할 수 있다. 그림 8의 (a)는 둥그런 사발모양의 굴곡분포를 갖는 대상물체에 회절격자를 投射했을 때 회절격자 영상 즉, 선무늬들의 이동양상을 보여준다. 그림 8의 (b)는 모니터 화면상에 나타난 Moiré 무늬이며 (c)는 空間周波數 필터링법으로 좀더 명확하게 Moiré 무늬를 개선한 결과이다. 이는 그림 6에서 보듯이 Twyman-Green 방식의 경우와 같은 형태의 무늬이다. 그러나, Moiré 무늬는 波動干涉에 의한 것이 아니라는 점이 다르다.

그림 9는 인체의 형상을 이 방법으로 계측한 결과이다.

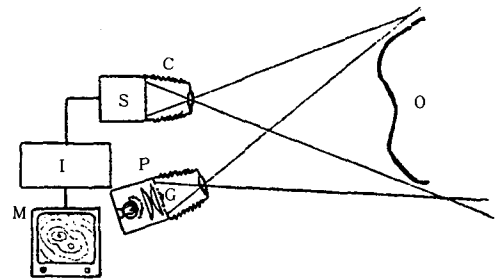


그림 7. 投射形 Moiré topography

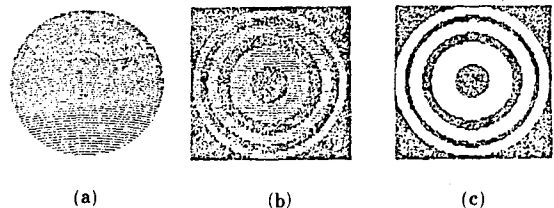


그림 8. 둥그런 사발모양의 対象物體의 計測結果  
 (a) 회절격자 映像의 移動양상  
 (b) 모니터에 형성된 Moiré 무늬  
 (c) 映像處理 결과

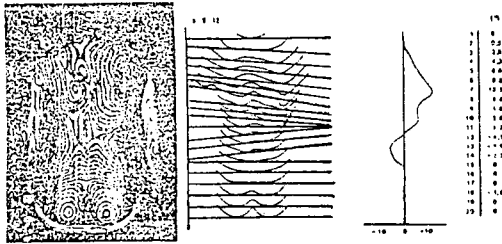


그림 9. 人體 형상의 Moiré 무늬 및 재측결과

4) 속도<sup>[10]</sup>

光學的 速度계측을 통상 LDV (laser Doppler velocimeter)라고 부른다. 일반적으로 관내를 흐르는 액체의 유속을 측정하는 방법에는 라텍스라 부르는 직경이 수  $\mu\text{m}$ 인 誘電體구를 관내에 소량 투입하여 레이저光이 라텍스에 의해 散亂되게 한 후 라텍스의 이동속도에 의한 散亂光의 진동수 변위 (Doppler 효과)를 계측하는 경우와 그림 10에서 보듯이 레이저光을 두 개의 平行線으로 나눈 다음 이를 렌즈로 집광시켜 초점면에서 線形 간섭무늬가 형성되게 하여 이곳을 지나는 라텍스로부터 산란되는 빛의 세기변화를 그대로 광검출기로 검출하는 경우의 두가지가 있다.

5) 微細 粒子의 크기<sup>[11]</sup>

크기가 수  $\mu\text{m}$ ~수  $\text{mm}$ 되는 미세입자의 크기를 계측하는 방법으로는 光散亂 및 回折을 이용하는 것이 있다. 이 방법은 사진 감광재료, 라텍스, 물감, 잉크, 페인트, 산화물, 세라믹 분말등의 製造에 이용되고 있다.

粒子密度가 적어서 레이저光은 단지 한 입자에 의해 산란 및 회절되어 투과된다고 가정하면, 직경  $a$ 의 한 입자에 의한 회절함수  $I(w)$ 는,

$$I(w) = Ek^2 a^4 [J_1(ka w / ka w)]^2$$

단,  $E$ : 入射光의 세기

$w$ :  $\sin \theta$ ,  $\theta$ : 산란각

$J_1$ : 제 1종 Bessel 함수,  $k = 2\pi/\lambda$

으로 표현된다.

이 回折光 모두를 광검출기로 검출한다면, 회절광의 총 세기  $F(a)$ 는,

$$F(a) = \int_0^1 I(w) \cdot 2\pi w dw \propto a^2$$

이 되어 입자의 직경  $a$ 의 제곱에 비례하게 된다. 따라서, 광검출기로 산란광을 모두 검출하면 입자의 직경

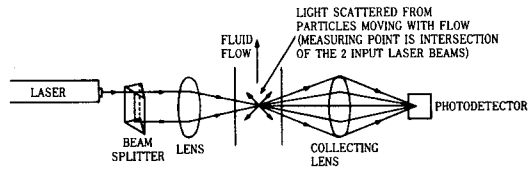


그림 10. LDV 光學系

을 산출할 수 있다.

6) 온도<sup>[12, 13]</sup>

光學的 溫度계측 방법을 통상 optical pyrometer라고 부른다. 이는 Planck의 熱輻射 法則과 Wien의 法則을 응용한 것인데 對象物體의 표면 絕對溫度를  $T$ 라 할 때 이로부터 외부로 放出되는 총 熱輻射量  $W(T)$ 는,

$$W(T) = \sigma \epsilon T^4$$

단,  $\epsilon$ : 물체의 emissivity

$\sigma$ : Stefan - Boltzmann 상수

으로 주어진다. 따라서, 총 열복사량을 遠赤外線 광검출기로 검출하면 표면온도 변화를 계측할 수 있으며 원격의선용 광학렌즈로 대상물체를 이차원 어레이 형태의 광검출기 위에 結像시키면 동시에 대상물체 표면의 이차원적 온도분포를 알 수 있다. 이 방법으로 빛이 전혀 없는 암흑속에서 있는 사람의 형상도 감지할 수 있다.

2. 光纖維 센서<sup>[14, 15]</sup>

최근에 그 내부에서 빛을 계속 誘導시킬 수 있는 光纖維 및 박막도파로를 이용하여 각종 기본 물량들을 정밀히 계측하는 연구가 활발히 진행되어 이들 중 溫度, 壓力, 速度, 電磁場, 音響, 변위등을 계측할 수 있는 광섬유 센서들이 이미 시판되고 있다. 또한, 거리 및 장소에 따른 온도, 압력, 음향등의 分布 計測이 가능한 광섬유 센싱 시스템이 개발되고 있어 향후 기존 계측산업에의 파급효과가 증대될 전망이다. 본 논문에서는 자세한 이론적 설명은 생략하였으며 다만 몇가지 경우에 대해서만 기술하기로 한다.

1) 液面 준위 센서

그림 11에서 액체에 접하는 부분의 광섬유 클래딩 (cladding)을 제거하면 誘導光은 액체가 없을 경우에는 그대로 계속 유도되지만 액체준위가 이 부분을 지

나게 되면 액체의 굴절율이 광섬유 코아(core)의 굴절율보다 더 크기 때문에 유도광이 액체속으로 새어나오게 되어 더이상 유도되지 못한다. 따라서, 이를 이용하면 액체준위를 계측할 수 있다. 이 방법은 전혀 電子의 裝置가 사용되지 않기 때문에 오일과 같은 發火性 물질을 저장하는 탱크에 부착하여 사용하는데 적합하다.

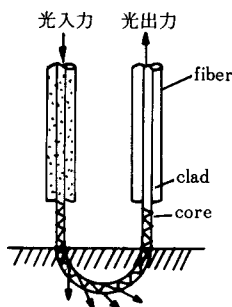


그림 11. 液面 準위 센서

2) 壓力 센서

그림 12는 광섬유로부터 출사되는 光을 grin rod 렌즈에 의해 平行光이 되도록 한 다음 두개의 서로 근접한 回折格子를 透過하여 다시 광섬유로 입사시킴으로써 압력에 따른 회절격자의 변위에 의해 발생하는 透過光의 세기변화로부터 diaphragm에 가해진 압력을 계측하는 구조이다.

3) 回轉 角速度 센서(optical fiber gyroscope)

그림 13은 광섬유 코일의 회전각속도를 매초당 7×

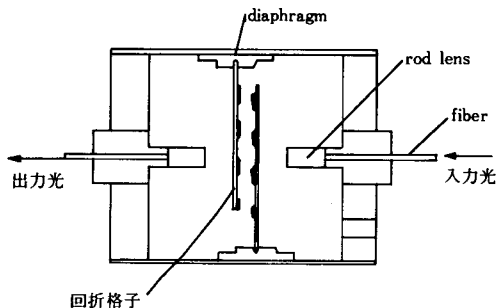


그림 12. 壓力 센서

$10^{-5}$  rad 정도의 分解能을 갖고 계측할 수 있는 optical fiber gyroscope의 구조이다. 光原으로는 可干涉性 길이가 비교적 짧은 SLD(superluminescent laser diode)를 사용하고 편광방향의 변화로 인한 S/N율의 감소를 방지하기 위해 depolarizer가 사용되었다. 3 dB 方向性結合器(directional coupler)는 光結合 현상에 의해 誘導光을 절반씩 나누는 기능을 갖고 있어 광섬유 코일 내부에서는 시계방향(C.W.)과 시계 반대방향(C.C.W.)으로 각각 회전하여 진행되는 두개의 유도광이 형성된다. 位相變換機는 synthetic heterodyne 방식의 신호처리를 위해 유도광의 위상을 시간에 따라 주기적으로 변화시키는데 사용되었다. 광섬유 코일이 角速度  $\Omega$ 로 회전하게 되면 Sagnac효과에 의해 앞의 두 유도광사이에 位相差  $\delta$ 가 발생되며  $\delta$ 는,

$$\delta = \frac{8\pi n^2(1-\alpha)}{c\lambda} \cdot \Omega NA$$

- 단,  $n$  : 광섬유코아의 굴절율
- $\alpha$  : Fizeau dragging 계수
- $A$  : 광섬유코일의 단면적
- $N$  : 광섬유코일의 감은수

으로 주어져 정확히 회전각속도  $\Omega$ 에 비례한다.

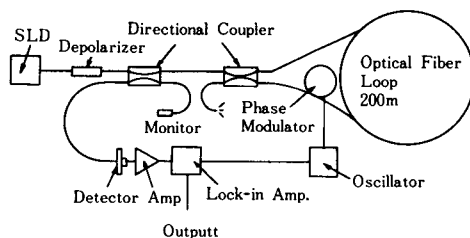


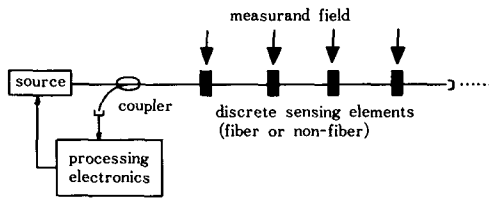
그림 13. 光纖維 자이로스코프의 구조

위상차  $\delta$ 를 갖는 유도광은 방향성결합기에 의해 다시 중첩되어 광검출기로 입사된다. 이 간섭신호는 lock-in 증폭기에서 증폭되며 이로부터의 출력신호는  $\sin(\delta)$ 에 비례하기 때문에 회전 각속도의 방향까지도 판별할 수 있다. 앞에서 기술된 방법외에도 그동안 여러가지 개선된 방법들이 발표된 바 있으나 여기서는 설명을 생략하기로 한다.

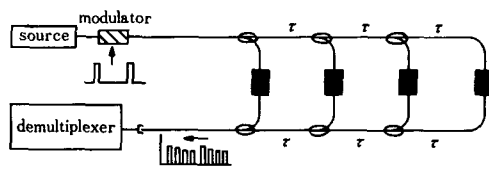


## 4) 分布計測시스템

그림 14의 (a), (b)는 동시에 여러장소에서서의 기본물량들을 측정할 수 있는 시스템이다. (a)는 OTDR 방식이며, (b)는 유도광들의 시간지연을 이용하는 방식으로 모두 유도광의 세기변화를 이용하는 광섬유 센싱방식이다. 이외에도 유도광의 位相變化 즉, 干涉方式을 이용하는 방법도 있다.



(a) OTDR 법



(b) 시간지연법

그림 14. Intensity形 分布計測 시스템의 구조

## IV. 현황 및 전망

光計測 분야의 國外 현황을 이해하려면 우선 가까운 日本의 경우를 예로 드는 것이 좋다고 생각된다. 日本의 경우 1989년도의 光計測 분야의 총 생산액은 806억엔에 달하고 있으며 이것은 日本 국내 광학산업 총생산액의 6%에 해당된다. 이 가운데 光測定器 분야는 매년 2.68%의 증가율을 보이고 있으며, 基本物量센서의 경우는 10.39%의 증가율을 보이고 있다.

또한, 광계측기 생산회사는 日本 국내에서 현재 91개 업체로써 주로 중소기업 규모이며 이는 총 광학산업 관련회사의 18.9%에 해당된다. 광학산업 관련 제품가운데 가장 많이 생산된 5대 제품 가운데에는 최근 연속 3년동안 광측정기와 기본물량 센서가 포함되어 있음을 볼 때 광계측 분야의 개발 重要性이 매우 크다는 것을 알 수 있다.

技術的인 면에서 보면, 광측정기 분야는 점차로 高信賴性, 高品質化를 철저히 추구하고 있으며 특히, 반

도체 제조공정에 필요한 장치에 응용이 활발히 진행되고 있고 위치, 거리센서의 경우는 nm 정도의 초미소 이동거리를 측정할 수 있는 기기 개발이 진행되고 있다.

日本에서 가장 많이 사용되고 있는 光計測器로는 외경 측정기, 길이 측정기, 유속계, 품질검사(직물표면검사등), 먼지 카운터, 진동 계측시스템, 표면 형상 측정기, 微小이동 측정기, 변위계등을 들 수 있다.

次世代 연구로써는 레이저광을 이용한 마이크로 바이오센서, 光纖維 센서를 이용한 化學物質 감지센서, 박막 도파형 센서를 이용한 변위, 압력, 온도, 가속도 센서, 광섬유 자이로스코프의 實用化등을 들 수 있다. 이외에도 엔진 연소상태 感知센서, 基本物量 광섬유센서의 低價格化, 既存 光센서의 集積化 등이 추진되고 있다.<sup>[16]</sup>

國內의 경우는 光計測 분야에 대한 연구개발이 수년전부터 서서히 추진되어 극히 일부이긴 하나 홀로그래픽 간섭계와 Moiré 무늬를 이용하여 물체의 立體的 형상 및 振動특성 계측에 대한 연구가 진행되고 있으며 중·장거리 길이 측정센서는 그동안 많은 연구가 진행되어 이미 개발이 된 것도 있다. 또한, LDV에 의한 유속 측정에 대한 연구도 진행되고 있으나 아직 實用化되기에는 미흡하며 光纖維 및 박막 도파로를 이용한 센서는 이제 연구 초기단계에 있는 실정이다.

더구나, 의료 및 반도체 산업에 필수적인 製造裝備에 사용되는 光計測機器의 개발은 거의 이루어지고 있지 않으며 현재 대부분을 수입하여 사용하고 있는 실정이다. 다만, 로봇틱 비존 및 물체추적, 認識에 사용되는 영상인식 분야는 그동안 상당한 연구가 진행되어 일부는 이미 산업계에 이용되고 있으며 高速 信號處理用 반도체 I.C. 回路의 개발이 추진되고 있는데 이 분야도 향후 空間 光變調器에 의한 純粹 光學的 신호처리에 대한 研究가 병행되어야만 先進國의 연구추세에 근접할 수 있을 것으로 展望된다.

## V. 結 論

光計測 분야는 앞으로 電子工學 기술과 光學기술을 접목한 光電子工學 기술의 발달과 더불어 그 應用 분야의 급속히 확장될 展望이며 고부가가치 산업의 하나이므로 國家的인 중점 研究추진 분야의 하나로서 지속적인 지원이 필요하다고 생각된다.

특히, 未來産業의 核心분야인 光電子工學 기술의 한 분야이면서 산업 파급효과가 대단히 큰 기술이며

國內 주요 수출분야인 電子産業機器 제조장비의 國産化率을 높이고, 공장자동화 및 제어시스템의 적극 도입에 의한 生産性 向上을 도모하기 위해서는 光計測 분야의 産·學·研 협동연구가 적극 추진되어야 할 것이며, 광계측 분야의 先進化를 위해서는

- 반도체 재료 제조 및 가공기술
- 高純度 광학재료 제조 및 가공기술
- 광학시스템 설계 및 제작기술
- 集積光學 기술
- 고속 신호처리 기술
- 光原 및 光檢出素子 제조기술
- 고속 光制御 기술
- 高品質 광학부품 제조기술

등의 綜合的 技術開發이 병행되어야 할 것이다.

參 考 文 獻

[1] 高木信雄, 長谷川可許: 新しいレーザー干渉計 L/L3000, *オプトロニクス*, no. 54, pp.109-111, 1986. 6.

[2] H. Matsumoto, "Synthetic interferometric distance measuring system using a CO<sub>2</sub> laser," *Appl. Opt.* vol. 25, no. 4, pp. 493-498, 1986.

[3] D. Malacara, *Optical Shop Testing*, John Wiley and Sons, N.Y., 1978.

[4] W.T. Cathey, *Optical Information Processing and Holography*, John Wiley and Sons, N.Y., 1974.

[5] M. Francon, *Optical Image Formation and Processing*, Academic Press, N.Y., 1979.

[6] R.J. Ahlers, "White-light method: a new sensor for the optical evaluation of rough surfaces," *Opt. Eng.*, vol. 24, no. 3, p. 423, 1985.

[7] H. Takasaki, "Moiré Topography," *Appl. Opt.*, vol. 9, no. 6, p. 1467, 1970.

[8] D.M. Meadows, W.O. Johnson, and J.B. Allen, "Generation of surface contours by Moiré patterns," *Appl. Opt.*, vol. 9, no. 4, p. 942, 1970.

[9] M. Idesawa, T. Yatagai, and T. Soma, "Scanning Moiré method and automatic measurement of 3-D shapes," *Appl. Opt.*, vol. 16, no. 8, p. 2152, 1977.

[10] *オプトロニクス*, no. 5, p. 88, 1987.

[11] E.C. Muly and H.N. Frock, "Industrial particle size measurement using light scattering," *Opt. Eng.*, vol. 19, no. 6, p. 861, 1980.

[12] R.W. Astheimer and F. Schwarz, "Thermal imaging using pyroelectric detectors," *Appl. Opt.*, vol. 7, no. 9, p. 1687, 1968.

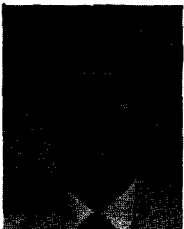
[13] E.M. Wormser, "Sensing the invisible world," *Appl. Opt.*, vol. 7, no. 9, p. 1667, 1968.

[14] J. Dakin and B. Culshaw, *Optical Fiber Sensors: Principles and Components*, Artech House, Inc., Boston and London, 1988.

[15] J. Dakin and B. Culshaw, *Optical Fiber Sensors: Systems and Applications (II)*, Artech House, Inc., Boston and London, 1989.

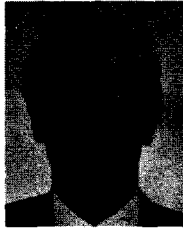
[16] "光産業の動向", 光産業技術振興協會, 1989. (㉔)

筆 者 紹 介



曹 在 喆  
 1953年 8月 17日生  
 1975年 2月 고려대학교 물리학과 (학사)  
 1977年 2月 한국과학원 수학과 물리학과 (석사)  
 1983年 2月 한국과학기술원 물리학과 (박사) 응용광학 전공

1977年 3月~현재 한국과학기술연구원 응용광학 연구실 재직중



崔 相 三  
 1940年 5月 23日生  
 1966年 Univ. of North Carolina (물리학사)  
 1968年 Michigan State Univ. (물리석사)  
 1971年 Ohio State Univ. (물리박사)

1971年 Ohio State Univ. 연구원  
 1972年~1974年 Univ. of North Carolina 연구원  
 1974年~1975年 불란서 국립과학연구소 연구원  
 1974年~현재 한국과학기술연구원 연구실장