

# 광공학의 총아, 레이저의 응용

글/강 형 부(한양대학교 전기공학과 교수, 공학박사)

## 1. 서론

전월호에서 설명한 바와 같이 레이저는 보통광선에는 없는 매우 우수한 특성을 지니고 있으므로 여러 방면의 응용분야가 가능하게 되었다.

레이저 광선은 현재 많이 이용되고 있는 전파에 비해 1만배나 주파수가 높으며, 그 외에 전파가 지니고 있는 특성을 거의 모두 지니고 있으므로 주파수가 매우 높다는 것이 레이저의 큰 장점이 된다.

레이저의 전파로서의 특성을 가장 잘 응용한 것은 광통신(Optical Communication), 레이더(Radar) 등이다. 주파수가 매우 높기 때문에 초다중통신이 가능하다. 통신신호를 반송하기 위해서는 어떤 주파수 대역이 필요하다. 예를 들면 전화에서는 3.4kHz, 텔레비전에서는 4MHz의 주파수 대역이 필요하다.

레이저의 전파로서의 특성을 가장 잘 응용한 것은 광통신(Optical Communication), 레이더(Radar) 등이다. 주파수가 매우 높기 때문에 초다중통신이 가능하다. 통신신호를 반송하기 위해서는 어떤 주파수 대역이 필요하다. 예를 들면 전화에서는 3.4kHz, 텔레비전에서는 4MHz의 주파수 대역이 필요하다.

다 광섬유를 통해서 광신호를 보내는 것이 신호의 감쇄가 훨씬 작고 신호의 누설도 적으며 경제적인 면에서도 훨씬 유리하므로 광통신이 보다 유망하다

고 볼 수 있다. 이것은 광섬유의 투명도가 극도로 개량된 성과이며, 재료의 자원을 생각하더라도 가까운 장래에 구리 전선 대신에 광섬유를 사용하는 광통신 시대가 다가올 것으로 예상된다.

레이저 광선을 직접 대기중에서 전파시킬 경우 대기중에 존재하는 안개, 연기, 수분, 그을음 등에 의한 흡수, 산란 때문에 레이저 광선이 크게 감쇄되므로 대기중 광통신은 어려운 점이 많다. 그러나 반대로 이러한 현상을 이용하여 대기 상태와 환경을 측정하는 레이저 레이더가 있다. 한편 우주공간에서는 이와 같은 레이저광이 흡수와 산란이 없으므로 우주간 광통신은 앞으로 크게 발전될 것으로 기대된다.

레이저를 이용한 계측도 공업계측, 과학계측 등에 획기적인 성과를 이룩하고 있다. 레이저 광선은 보통광선에 비해 코히런스성이 매우 우수하므로 측정 정밀도가 크게 개선되었으며 또한 종래는 불가능했던 계측도 가능하게 되었다.

레이저의 에너지를 이용하는 것으로는 레이저 가공, 외과수술용 레이저 메스, 레이저 핵융합, 레이저 동위체 분리 등이 있는데, 이들은 모두 각 분야에 기술혁신을 일으키고 있다.

아무튼 레이저는 실용단계에 들어선 지 얼마 안되지만 여러 방면에서 응용개발이 진행되고 있으며 앞으로 기대되는 바가 매우 크다.

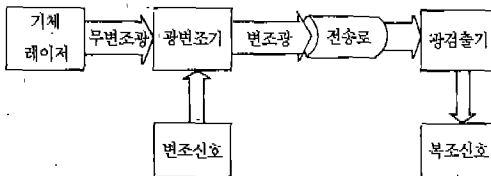
## 2. 레이저 광통신

여기서는 광섬유를 이용하는 광통신에 한하여 그 개요를 설명하기로 한다. 레이저 광통신이 실용화에 이르게 된 것은

- ① 반도체 레이저 기술
- ② 광학용 광섬유(Optical Fiber)
- ③ PCM(Pulse Code Modulation:펄스 부호변조) 통신 기술

등의 세 가지 영역에서 큰 기술발전이 있었기 때문이다.

당초 반도체 레이저가 실용화 되기 이전에는 주로 기체 레이저를 이용한 광통신 연구가 행해졌다. 레이저 광선은 매우 주파수가 높은 전파로 생각할 수 있으므로 이것을 어떻게 변조하고 복조하는가, 또 어떠한 변조방식이 좋은가, 복조기에는 어떠한 것이 좋은가 하는 문제들에 관해서 많은 연구가 있었다.



<그림 1> 기체레이저를 이용한 광통신 시스템의 예 (외부변조)

예를 들면 <그림 1>에 있는 바와 같이 기체 레이저의 경우 레이저광을 변조신호에 의해 외부 변조한 다음, 전송로로 반송하여 광검출기에서 다시 복조하는 방식이 사용됐다. 그러나 광의 주파수가 너무 높기 때문에 종래의 전파영역의 방법으로는 매우 어렵다. 그러나 다행스럽게도 그 당시 PCM 통신기술이 급속한 발전을 하고 있었다.

PCM 통신은 통신기술로서는 고도의 기술이지만 정보를 운반하는 전파와 광을 변조하는 입장에서 보면 오히려 손쉬운 점이 많다. 왜냐하면 펄스 변조(그것도 강도 변조)만 할 수 있으면 되기 때문이다.

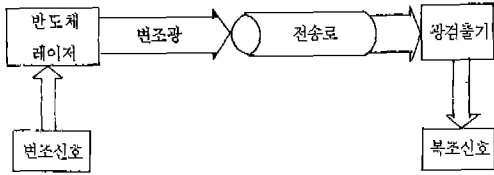
레이저광의 주파수가 너무나 높았기 때문에 어려

움을 겪고 있을 때였으므로 이 PCM 통신 기술은 아주 시기적절한 것이었다. 또, 이 시기에 고속도 광 펄스를 검출할 수 있는 광검출기도 개발되었다. 이 둘을 조합한 광 PCM 통신 시스템의 실험도 실시되었다. 이것이 대개 60년대 말에서 70년대 초반까지의 상황이다. 그런데 이때 광원으로 사용된 기체 레이저들은 너무나 부피가 크고 소비전력과 전압도 크기 때문에 실용적인 통신기기에는 적합한 것이 아니었으므로, 레이저의 소형화, 특히 반도체 레이저의 실용화가 요망되었다.

그 당시에는 반도체 레이저는 아직 상온에서는 연속발진이 이루어지지 않은 상황이었다. 그러나 그 후 미국에서 2중 헤테로 접합(Double Hetero Junction)구조를 갖는 반도체 레이저가 개발되어 처음으로 상온에서 연속발진이 성공되었으며, 이를 더욱 개량하여 1만시간 이상이 수명을 갖는 반도체 레이저가 개발됨으로써 레이저 광통신은 급격한 발전을 이룩하였다.

레이저 광통신의 실용화에는 광섬유의 개발도 매우 중요하다. 레이저 광선을 전송하는 광도파로서의 광섬유는 광신호를 거의 감쇄없이 장거리 전송시킬 수 있어야 한다. 그런데 이러한 저손실 광섬유의 개발에는 그야말로 엄청난 노력을 필요로 했다. 특히 1970년에 유리와 용융석영은 요업적 방법으로 만든다는 종래의 상식을 깨고 고순도 반도체를 만드는 방법인 화학적 기상 석출법(Chemical Vapor Deposition Method)을 사용하여 당시로서는 획기적인 손실률 20dB/km인 저손실 실리카 광섬유(Silica Fiber)가 개발되었다. 그 후 저손실화에 대한 노력이 계속되어 현재는 1~2dB/km (GaAlAs 반도체 레이저의 파장 1.3 $\mu$ m에 대해서), 0.2~0.5dB/km(InGaAsP 반도체 레이저의 파장에 대해서)란 거의 이론적 한계에 가까운 저손실 광섬유가 개발되었다. 이러한 저손실 광섬유가 개발됨으로써 레이저 광통신은 실용화에 크게 진전하였다.

반도체 레이저는 다른 레이저와 달리 <그림 2>에 있는 바와 같이 구동전류, 즉 펄핑전류를 직접 변



<그림 2> 반도체 레이저에 의한 광통신 시스템의 예 (내부변조)

조함으로써 수 백 MHz에 이르는 고속변조가 가능하므로 광변조기는 따로 필요없다. 직접변조가 가능한 반도체 레이저와 저손실 광섬유를 이용한 광통신 시스템이 실용화에 급속히 진전되고 있다. 이 광통신은 종래의 전파 통신에 비하여 다음과 같은 특징을 지니고 있다.

- ① 전자유도 장애와 신호 상호간의 간섭이 없다.
- ② 가볍고 구리와 같은 비싼 재료를 절약할 수 있다.
- ③ 넓은 대역 (km당 수 10MHz ~ 수 10GHz)을 갖는다.
- ④ 손실이 적다.

광통신에는 아날로그 통신과 디지털 통신의 두 가지 방식이 있다. 전자의 대표적인 응용은 컬러 텔레비전 화상신호의 전송이다. 화상 및 음성의 전기신호를 반도체 레이저 광송신기에 의해 광신호로 변환시켜 이 신호를 광섬유로 전송한 후 다시 광신호를 전기신호로 변환시키는 방식으로 화상 및 음성을 잡음없이 충실하게 전송할 수 있다. 이 아날로그 통신은 기타 여러가지 화상신호, FAX 신호, 제어 데이터 신호 등을 전송하는 데 널리 이용될 것이다.

후자의 디지털 신호를 광신호로 변환해서 광섬유로 전송하여 다시 광신호를 디지털 신호로 변환하여 수신하는 것이며 앞으로는

- ① PCM 전송 시스템 : PCM화 된 전화 데이터 신호를 다중화시켜 대량의 정보를 장거리 전송할 수 있다.
- ② 컴퓨터 통신 시스템 : 대형 컴퓨터와 미니 컴퓨터 또는 다른 시스템간의 데이터 교환

③ Loop Communication System : 넓은 구내에 분산된 각종 데이터 단말장치를 연결하는 데이터 전송로 등의 분야에서 이용될 것이다.

단거리 광통신은 현재의 기술로도 충분히 가능하나 장거리 통신을 위해서는 손실이 더 적은 초저손실 광섬유의 개발과 각종 결합손실의 경감, 고성능 발광·수광 소자의 개발 등 많은 기술개발이 절실히 요구된다.

### 3. 레이저 계측

레이저 광선을 이용하는 계측은 <표 1>에 표시한 바와 같이 여러 방면에 널리 응용되고 있다. 레이저 광선은 보통광선과 비교하여, 본지 전월호에서 소개한 바와 같이 우수한 특성을 지니고 있으므로 보다 정밀한 계측이 가능하게 되었으며 또한 새로운 계측법이 개발되었다.

레이저 계측을 크게 나누면 다음과 같이 두 가지 분야로 구분할 수 있다. 즉,

- ① 공업계측 : 공업생산에 직접 관계되는 측정법이며, 주로 거시적인 양을 측정하는 기술이다.
- ② 과학계측 : 과학계측에서는 새로운 측정 대상이 계속 나오기 때문에 끊임없이 새로운 측정법이 개발된다. 측정대상물은 원자, 분자의 분광학에서 우주관측에 이르기까지 매우 광범위하며 이러한 계측법의 발전은 결과적으로 공업계측의 발전을 촉진한다.

그러면 레이저 계측법에서 대표적인 것을 골라서 설명한다.

#### (1) 레이저의 직진성, 지향성을 이용하는 계측

이것은 레이저 광선의 직진성, 지향성의 특성을 이용한 것으로 위치에 관한 정보를 얻는 것을 목적으로 하는 것이 많다.

#### ① 직선의 기준

토크계측기로서 많이 실용되고 있다. 즉, 레이저 레벨(Laser Level)가, 레이저 트랜시트(Laser Transit) 조준기, 레이저 열라이너 등이다. 이들은 망원경으로 보는 목시 측정법에 의한 종래의 계측법에

<표 1> 레이저 계측

◎ 관련이 큰 특성

○ 관련이 있는 특성

| 구 분                | 이용하는 레이저의 특성                    |             |                  |             | 적 합 레 이 저                |
|--------------------|---------------------------------|-------------|------------------|-------------|--------------------------|
|                    | 지 향 성                           | 단 색 성       | 가 간 섭 성          | 집 중 성       |                          |
| 길이 단거리<br>장거리      | ◎변 조                            |             | ◎간 섭             |             | He-Ne 레이저<br>Q 스위치펄스 레이저 |
| 직선기준, 각도           | ◎빔                              |             |                  | ◎펄 스        | He-Ne 레이저                |
| 위치 100m<br>μm      | ◎ 4상한센서                         |             |                  | ◎반사광센서      | He-Ne 레이저                |
| 유 속<br>속도 물 체      |                                 | ◎Doppler 효과 | ◎Speckle Pattern |             | He-Ne 레이저<br>Ar 레이저      |
| 회 전<br>진 동         |                                 | ◎광 Beat     | ◎홀 로 그 램         |             | Ring Laser Gyro          |
| 발 광 분 석<br>분 광 분 석 |                                 | ◎파 장 가 변    |                  | ◎Microprobe | 루비, YAG 레이저              |
| 미 립 자              |                                 | ◎파 장 가 변    | ◎광 자 통 계         | ◎펄 스        | Ar 레이저, 색소 레이저           |
| 레이저레이다             |                                 | ◎산 란        | ◎광 자 통 계         | ◎펄 스        | He-Ne 레이저                |
| 표 면 검 사            |                                 | ◎흡 수 반 사    | ◎회절 패턴           |             | He-Ne 레이저                |
| 형 상                |                                 |             | ◎회절 패턴           |             | He-Ne 레이저                |
| 고속도사진              |                                 |             |                  | ◎단 펄 스      | YAG, 루비 레이저              |
| 전기계측전류<br>전계, 자계   | ◎변파면회전<br>Faraday효과<br>Pockel효과 |             |                  |             | He-Ne 레이저                |
| 굴 절 륜<br>광 속       |                                 | ◎광 산 란      | ◎간 섭 무 너         |             | He <sup>3</sup> Ne 레이저   |
| 주 파 수              |                                 | ◎Deat       | ◎위 상 간 섭 무 너     |             | He-Ne 레이저                |
| 수 치 제 어            |                                 |             | ◎간 섭 측 장         |             |                          |
| 공 작 기 계            | ◎미소 Spot                        |             |                  |             | He-Ne 레이저                |
| 자 동 선 별            |                                 |             | ◎간 섭             |             | He-Ne 레이저                |
| 의 용 진 단            |                                 |             | ◎간 섭             | ◎펄 스        | He-Ne 레이저                |

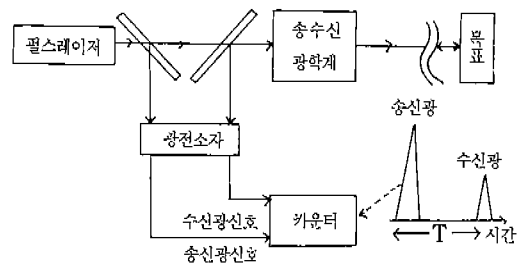
비해 연속적으로 위치측정을 할 수 있다든가 터널 등의 어두운 곳에서도 명확히 위치를 측정할 수 있다는 등의 특징을 갖고 있다.

㉠ 거리 측정

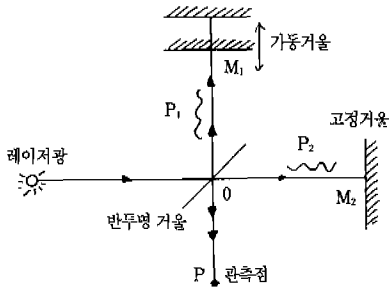
목표물까지의 거리를 레이저 광선의 직진성을 이용하여 측정하는 방법이다. 즉, <그림 3>과 같이 매우 시간폭이 짧은 고출력 레이저 펄스를 발사하여 광선이 목표물에 도달한 다음 반사된 광선이 다시 되돌아올 때까지의 시간을 T라 하면 목표물까지의 거리 L은  $L=CT/2$ 로부터 구할 수 있다. 단, C는 광속이며  $C=3 \times 10^{10}$ cm/sec이다.

이 방법으로 달까지의 거리도 매우 정확하게 측정

할 수 있다.



<그림 3> 펄스레이저를 이용한 거리 측정법



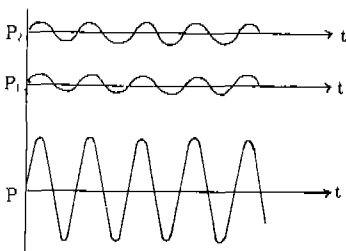
<그림 4> Michelson 간섭계

(2) 간섭 계측

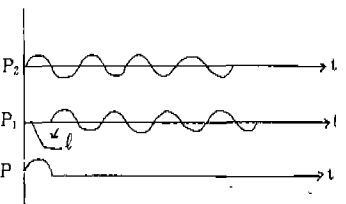
간섭현상은 빛의 가장 기본적인 성질이지만 레이저광은 특히 간섭성이 우수하기 때문에 매우 다양한 응용분야를 갖는다.

① Michelson 간섭계

2개의 광선을 중첩하면 이들은 서로 간섭하여 명암의 무늬(Fringe)를 형성한다. <그림 4>에 표시한 Michelson 간섭계를 생각해 본다. 레이저 광선은 가운데에 있는 반투명 거울에 의해 두 갈래로 나누어지며 직진한 광은 거울 M<sub>2</sub>에서 반사되고, 반투명 거울에서 직각방향으로 꺾어진 광선은 거울 M<sub>1</sub>에서 반사된다. 이들 반사된 광선을 반투명 거울을 통해



<그림 5> 같은 위상으로 간섭할 때

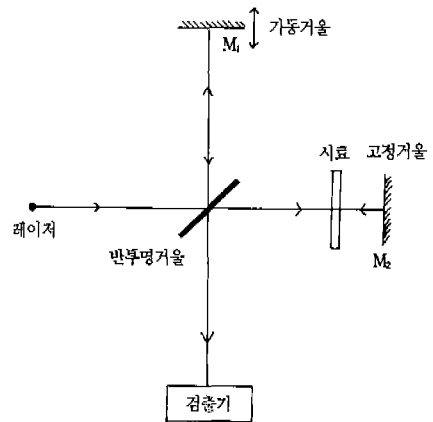


<그림 6> 반대 위상으로 간섭할 때

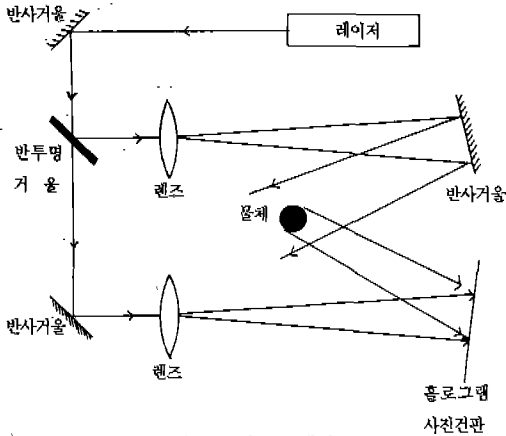
서 관측점에서 중첩시킬 때 반투명 거울로부터 거울 M<sub>1</sub> M<sub>2</sub>까지의 거리의 차  $l$  이 0이거나 레이저광의 파장  $\lambda$ 의 짝수배가 될 때에는 <그림 5>와 같이 같은 위상으로 간섭하므로 관측점에서는 최대 강도의 간섭 패턴이 얻어지고, 그 차  $l$  이 레이저광의 파장의 1/2 즉,  $\lambda/2$ 의 홀수배가 되면 <그림 6>과 같이 180°의 위상차로 간섭하므로 간섭 패턴의 강도는 0이 된다. 따라서 거울 M<sub>1</sub>을 이동시켜 거리의 차  $l$  을 1/2파장씩 변화시킬 때마다 명암의 무늬가 하나씩 변화한다. 따라서 간섭무늬의 간격을 측정함으로써 파장의 1/10정도의 길이 변화를 정확하게 측정할 수 있다. Michelson 간섭계의 응용례로서 <그림 7>에서 보는 바와 같이 반투명 거울과 거울 M<sub>2</sub>사이에 광학재료, 예를 들어 유리판을 놓았다고 하면 그 내부에서 굴절률의 변동이 있다든가 표면 다듬질의 불균일성이 있으면 간섭무늬가 나타나기 때문에 이를 측정하면 광학재료의 불균일성을 즉시 정밀하게 측정할 수 있다.

② 홀로그래피(Holography) 계측

입체사진이라고 하는 홀로그램(Hologram)의 원리는 1948년 영국의 D.Gabor에 의해 고안되었다. 홀로그램은 보기에는 아무 것도 촬영되어 있지않은 것처럼 보이는 필름 또는 건판에 레이저 광선을 쬐



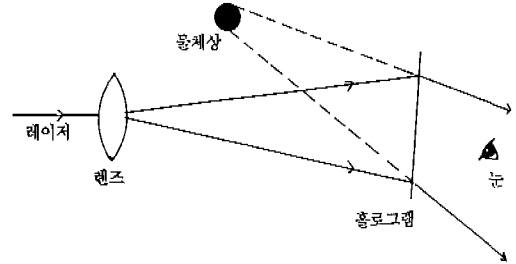
<그림 7> Michelson 간섭계의 응용 예



<그림 8> 홀로그램의 기록법

이때 그 필름으로부터 실제 물체상이 나타난다. 이와 같은 홀로그램을 이용하는 계측을 홀로그래피 계측이라 한다. 홀로그램의 원리를 간단히 설명하기로 한다.

홀로그램의 원리는 물체에서 나오는 신호광 즉, 그 빛의 강도와 위상을 사진 건판에 동시에 기록하는 것이다. 즉, 물체에서 나오는 빛의 강도는 사진 건판에서 콘트라스트로 기록되고 위상은 간섭무늬의 모양으로 기록된다. <그림 8>로 홀로그램을 기록하는 방법을 설명한다. 그림에서 보는 바와 같이 레이저 광선을 반투명 거울을 사용하여 2분하고 렌즈로 광선을 넓게 하여 한쪽 광선은 물체를 조사하고 또 한쪽 광선으로는 직접 사진 건판을 조사한다. 이때 물체에서 반사된 광선도 동시에 사진 건판에 입사시킨다. 물체에서 사진 건판에 입사되는 빛을 물체광, 그리고 사진 건판에 입사되는 빛을 참조광이라 한다. 사진 건판에 입사된 물체광과 참조광은 간섭을 일으켜 농담(Contrast)이 있는 간섭무늬가 사진 건판에 기록된다. 이것을 홀로그램이라 한다. 이 홀로그램으로부터 물체상을 재생하는 방법은 <그림 9>에 표시한 바와 같이 참조광과 같은 방향으로 재생광(레이저광)을 홀로그램에 조사하면 원래 그 물체가 있었던 자리에 3차원적인 입체상이 나타난다.

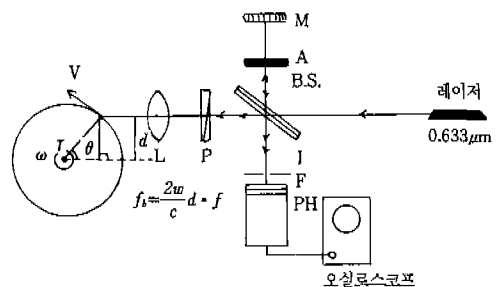


<그림 9> 홀로그램의 파면 재생법

이 홀로그램의 원리를 이용하여 변동의 계측, 비파괴 검사, 진동체의 계측 등을 3차원적으로 정밀하게 측정할 수 있게 되었으며, 앞으로 더욱 다양한 성과를 가져다 줄 것으로 기대된다.

㉔ Doppler 속도계

물리적으로 잘 알려져 있는 바와 같이 Doppler 효과를 이용하여 물체의 이동속도를 측정할 수 있다. 이동하는 물체로부터 반사되는 빛은 그 속도에 따라 주파수가 이동(Shift)한다. 이것을 Doppler 효과라 한다. 따라서 레이저 광선을 이동물체에 조사하여 반사된 빛과 원래의 빛을 중첩시키면 Doppler 효과에 의한 주파수의 차에 따라서 비트(Beat) 신호가 나타나는데 이 비트 주파수를 측정함으로써 이동물체의 속도를 즉시 계산할 수 있다. 이 방법에 의해 0.1mm/sec에서 수 10m/sec까지의 속도를 정밀하게 측정할 수 있다. <그림 10>에 측정 예를 표시하였다. 기타 많은 계측법이 있으나 지면상 생략하기로 한다.

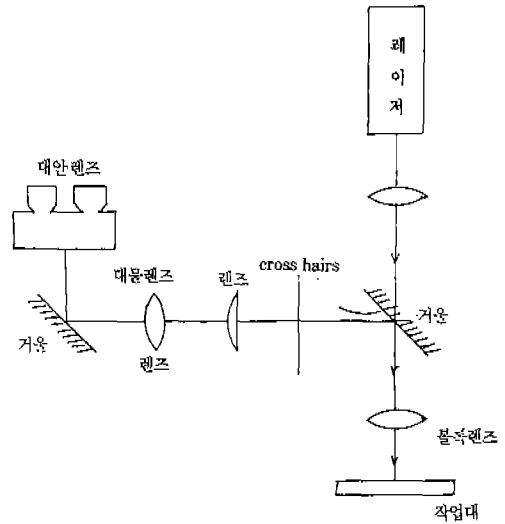


<그림 10> Doppler 효과를 이용한 속도측정 예

#### 4. 레이저 가공

레이저 가공은 레이저광의 공간적, 시간적 에너지 집중성을 이용한 것이다.

레이저광은 지향성과 단색성이 매우 우수하기 때문에 렌즈를 통하여 레이저광의 파장과 비슷한 정도의 아주 작은 면적내에 빛을 모을 수 있다. 따라서 대단히 큰 에너지 밀도를 만들어 낼 수 있으므로 용접, 절단, 무머뚫기, 열처리, 스크라이빙(Scribing), 트리밍(Trimming) 등의 정밀가공에 사용될 수 있다. 레이저 가공에는 주로 CO<sub>2</sub> 레이저(연속동작)와 Nd:YAG 레이저(펄스동작) 등이 사용된다. 특히 최근에는 연속동작에서 수 10kJ의 큰 에너지를 낼 수 있는 고에너지 CO<sub>2</sub> 레이저가 개발되어 중공업분야의 용접, 절단, 열처리 등에 사용되기 시작했다.



<그림 11> 레이저 가공기의 기본적인 광학계

<표 2> 주요 범용 마이크로프로세서의 종류와 특성

| 연 | 원 | 집광면적(cm <sup>2</sup> ) | 출력강도(W/cm <sup>2</sup> ) |
|---|---|------------------------|--------------------------|
| 태 | 양 | 10 <sup>-3</sup>       | 10 <sup>5</sup>          |
| 전 | 자 | 10 <sup>-7</sup>       | 10 <sup>9</sup>          |
| 레 | 이 | 10 <sup>-6</sup>       | 10 <sup>10</sup>         |
| 아 | 세 | 10 <sup>-2</sup>       | 10 <sup>4</sup>          |

<표 2>에 여러가지 열원을 사용할 경우의 최소 집광면적과 출력강도를 표시하였다. 표에서 보는 바와 같이 전자빔의 경우도 상당히 큰 강도를 얻을 수 있으나 진공의 유지, X선 발생 등 여러가지 문제점이 많다. 이에 비해 레이저의 경우는 비교적 쉽게 큰 레이저 강도를 얻을 수 있다. 레이저 가공기의 기본

적 광학계를 <그림 11>에 표시한다. 레이저 가공에 대한 열역학적 원리와 여러가지 구체적인 가공예에 대해서는 지면 관계상 생략하기로 한다.

#### 5. 맺음말

이상 레이저 응용에 대하여 그 일부를 간단히 기술하였다. 기타 많은 응용기술이 있다. 이미 실용화된 것도 많이 있고 앞으로의 연구개발에 달려있는 것도 많다. 현재를 전자공학(Electronics)의 시대라고 하지만 가까운 장래에는 광공학(Optronics)의 시대가 올 것으로 예상하는 전문가들도 많다.

내가 끈 전등 한등  
다음세대 밝혀준다.