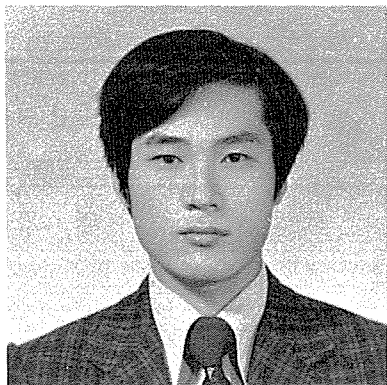


# 간섭계와 홀로그래피

조 제 철

〈한국과학기술원 응용화학연구소 연구원〉



간섭계(interferometer)와 홀로그래피(holography)는 근본적으로 간섭성이 매우 좋은 광파를 출사하는 레이저와 같은 광원으로부터 얻은 광파들의 간섭현상을 응용한 것이므로 이들을 이해하려면 파동의 특성에 대해 살펴 볼 필요가 있으며, 이를 토대로 간섭계와 홀로그래피의 원리및 응용에 대해 설명하기로 한다.

## 1. 파동의 특성

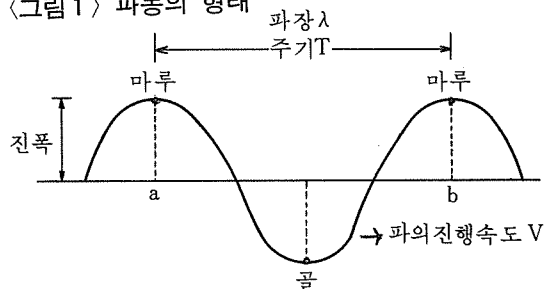
파동의 일반적 형태는 〈그림 1〉과 같이 주어지는데 여기서, 파동의 높이를 진폭A, 마루와 마루사이의 거리를 파장 $\lambda$ , 그리고 파동이 지점 a에서 b로 가는 데 걸리는 시간을 주기 T 라고 한다.

파동은 한주기T 동안에 한번 진동을 하며 매 초당의 진동횟수를 진동수라고 한다.

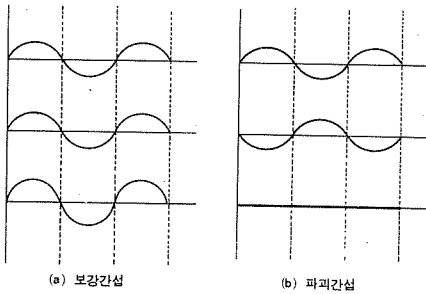
고요한 수면위에 작은 돌을 떨어뜨리면 그 돌의 낙하지점을 중심으로 하여 원의 형태를 갖는 파면(즉, 구면파)이 사방으로 퍼져나감을 볼 수 있다. 이 수면파의 각 파면은 사방으로 파동의 진행속도 v를 가지고 계속 퍼져 나가며, 어느 한 위치에서 수면의 높이(즉, 파동의 진폭)를 관찰해 보면 주기T에 따라 그 높이가 주기적으로 높았다 낮았다 하는 것을 알 수 있다. 이 경우에 수면이 가장 높은 곳이 마루에 해당하며 가장 낮은 곳이 골에 해당한다.

수면위에 근접한 두지점에서 두개의 돌을 동시에 낙하시키면 돌이 낙하한 두위치에서 수면파가 발생되며 이 두 수면파는 사방으로 진행하면서 서로 중첩되어지며 중첩된 부분에서 서로

〈그림 1〉 파동의 형태



간섭을 하게 된다. 간섭현상에 대한 도해가 <그림 2>에서 보여진다. <그림 2 (a)>는 진폭과 파장이 동일한 두개의 파동이 골과 마루가 서로 동일한 상태에서 즉, 두파동의 위상이 완전히 일치하는 경우에 발생된 간섭현상을 보여준다. 이 경우에 간섭에 의해 새로 형성된 파동은 진폭이 두배로 증가함을 볼 수 있으며, 이러한 간섭을



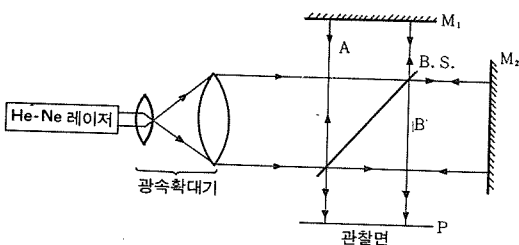
(그림 2) 파동의 간섭현상

보강간섭이라고 한다. 반면에, <그림 2 (b)>는 두개의 파동의 위상이 서로 반파장(즉,  $\lambda/2$ )만큼 차이가 생긴 경우에 발생하는 간섭현상을 보여주는데, 이 경우에는 간섭에 의해 새로 형성된 파동은 진폭이 0이 됨을 볼 수 있으며, 이러한 간섭을 파괴간섭이라고 한다. 그런데, 두 파동이 서로 간섭을 잘 하려면 파동은 거의 단일파장을 가져야 하며, 이러한 조건에 맞는 광파로는 He-Ne 레이저광이 있다.

## 2. 간섭계의 원리와 응용

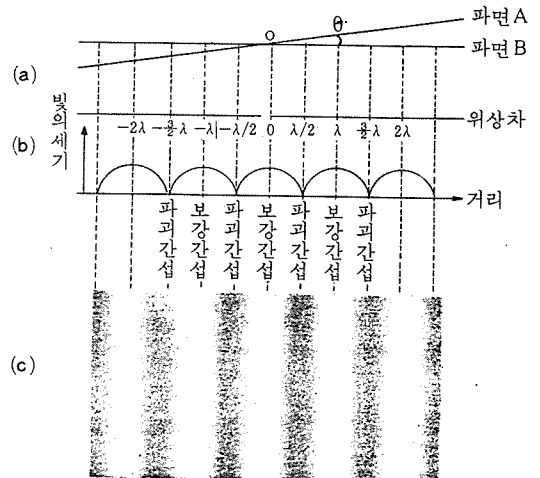
간섭성이 매우 좋은 광파를 출사하는 광원은

(그림 3) 마이켈슨(Michelson) 간섭계



로부터 얻은 광파를 두개의 광파로 분리시켜 각각 다른 경로를 진행하게 한 후에 이들 두개의 경로중에 어느 한쪽에 광학적 특성(예; 굴절율, 표면상태등)을 조사하기 위한 물체를 위치시켜 광파가 이 곳을 투과함으로써 위상변화가 발생토록한 뒤, 두개의 광파를 다시 중첩시켜 간섭무늬를 얻고, 간섭무늬의 변이로부터 물체의 광학적 특성을 측정하는 장치를 간섭계라고 한다. 가장 널리 사용되고 있는 간섭계로는 <그림 3>과 같은 광학계를 갖는 마이켈슨(Michelson) 간섭계를 예로 들 수 있다. 간섭성이 매우 좋은 단색평면파의 광파를 출사하는 He-Ne 레이저로부터 얻은 광을 배율이 높은 현미경대물렌즈와 초점거리가 긴 볼록렌즈로 이루어진 광속확대기(Beam expander)에 의해 광파의 단면이 비교적 큰 평행광이 되게 한다. 평행광은 광파를 받은 투과시키고 반은 반사시키는 광분할기(Beam splitter) B. S.에 의해 두개의 광파 A와 B로 분리된다. 광파 A와 B는 각각 거울  $M_1$ 과  $M_2$ 에 의해 반사되어 광분할기로 다시 되돌아오며, 되돌아오는 광파중에 광파 B는 다시 광분할기에 의해 반사되어 광파 A와 중첩되어 서로 간섭을 하게 된다. 거울  $M_1$ 과  $M_2$ 가 광의 진행방향(즉, 광축)에 대해 약간씩 기울어져 있어서 광파 A와 B는 관찰면 P에 서로 임의의 각도  $\theta$ 를 가지고

(그림 4) 두개의 평면파의 간섭현상



중첩되게 되어, 광파A와 B의 파면은 서로 각도  $\theta$ 를 가지고 교차된다고 하자, 광파A와 B의 파면의 교차점에서는 위상차가 0이 된다고 가정하고 위의 현상을 도해하면<그림4>와 같이 된다.<그림4(a)>에서 알 수 있듯이 파면의 교차점 0로부터 먼 곳으로 갈수록 위상차가 점점 커지며, 보강간섭과 파괴간섭이 교대로 발생하므로 관찰면P에 형성된 간섭무늬의 단면에서의 빛의 세기는 <그림4(b)>와 같이 된다. 관찰면 위에 형성된 간섭무늬를 사진건판에 기록한 결과는 <그림4(c)>와 같다. 이 사진에서 보듯이 간섭무늬는 선분으로 나타나는데 이것은 광파A와 B가 모두 평면파이기 때문이다.

간섭계의 종류에는 그 사용목적과 광학계의 차이에 따라 위에서 예로든 마이켈슨(Michelson) 간섭계 외에도 마흐젠더(Mach-Zehnder) 간섭계, 재민(Jamin) 간섭계, 패브리페롯(Fabry-Perot) 간섭계, 노마르스키(Nomarski) 간섭계, 타이만그린(Twyman-Green) 간섭계, 그리고 버크(Burch) 간섭계 등이 있다. 마이켈슨(Michelson) 간섭계는 기체의 굴절율과 투명판의 두께를 측정하거나, 표준길이를 측정하는 경우에 주로 사용된다. 패브리페롯(Fabry-Perot) 간섭계는 광원으로부터 출사되는 광파에 포함되어 있는 파장들을 측정하는 데 사용되며 파장의 분해능이 매우 좋다. 마흐젠더(Mach-Zehnder) 간섭계는 공기의 굴절율이 압력에 따라 조금씩 변화하기때문에 항공기날개 위에서의 압력분포를 조사하는 이른바 항공유체역학에 사용되기도 한다. 이외에도, 간섭계는 투명판(예;유리) 내의 밀도의 균일도의 측정, 두께가 매우 얇은(수  $\mu\text{m}$ 정도) 유전체박막의 두께측정, 유리표면의 평탄도(flatness)측정, 투명판의 양면의 평행도 측정, 그리고 광학렌즈의 성능(예;수차)측정 등에 사용되고 있다.

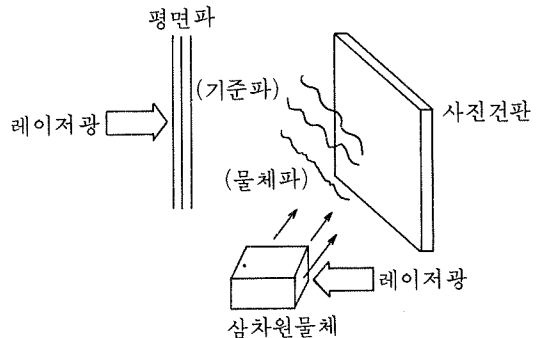
### 3. 홀로그래피의 원리와 응용

홀로그래피도 간섭계와 유사하게 기준파(Reference wave)와 피사체로부터 출사되는 파와

의 간섭을 이용하는 것이다. 이러한 간섭에 의해 형성된 매우 복잡한 간섭무늬를 분해능이 매우 좋은 사진건판위에 기록한 것을 홀로그램이라고 한다.

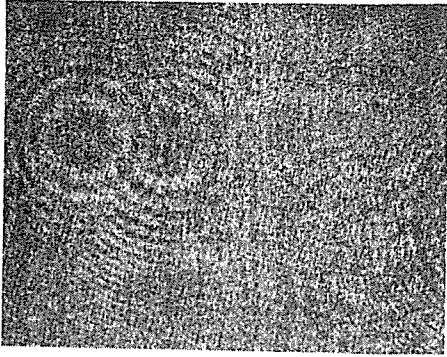
대상물체에 대한 홀로그램을 제작하려면, <그림5>와 같은 광학계를 설치해야 하며 분해능이 매우 좋은 사진건판을 준비해야 한다. 레이저광으로부터 출사되는 간섭성이 매우 좋은 단색평면파를 두개로 분리하여 한 평면파(이를 기준파라고 한다.)는 <그림5>와 같이 사진건판

<그림5> 홀로그래피를 위한 광학계

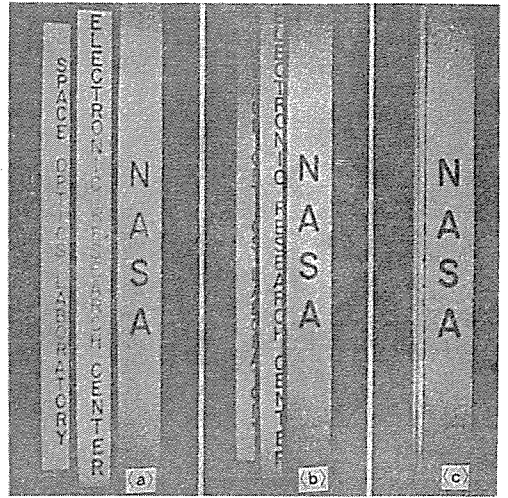


위로 그대로 입사시키고, 다른 평면파는 홀로그램을 제작하고자 하는 물체(또는 경치)로 입사시킨다. 레이저광이 물체에 입사하면, 물체의 각 부분에 따라서 빛의 세기와 위상이 서로 다른 광파(이를 물체파라고 한다.)들이 출사되어 사진건판위에서 기준파와 물체파가 서로 중첩되면 이 곳에서 간섭이 발생하며, 물체파의 위상변화는 매우 복잡하기 때문에 형성된 간섭무늬에 노출된 사진건판을 현상, 정착하면 이것이 바로 홀로그램이 된다.<그림6>은 이 홀로그램을 보인 것이다. 홀로그램을 직접 보면 이곳에 어떤 물체가 기록되어 있는지 전혀 판독이 안 됨을 알수있다. 제작된 홀로그램으로부터 기록된 물체를 다시 보기 위해서는 <그림7>과 같이 제작된 홀로그램을 기준파에 의해 조명하고 홀로그램뒤에서 눈으로 관찰을 해야 한다. 홀로그램으로 입사한 기준파는 홀로그램에 기

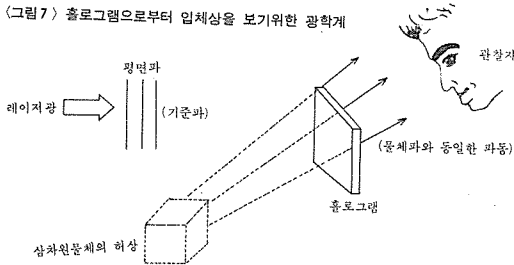
〈그림 6〉 홀로그램



〈그림 8〉 홀로그램으로부터 얻은 입체상



〈그림 7〉 홀로그램으로부터 입체상을 보기위한 광학계



록되어 있는 매우 복잡한 간섭무늬에 의해 물체 파와 동일한 모양으로 사방으로 흩어(이를 회절이라고 한다.)지기 때문에 눈의 위치를 홀로그램 뒤에 두면, 홀로그램을 제작할 때 사용했던 물체(또는 경치)가 입체적(즉, 삼차원적)으로 보이게 된다. 이를 재생상이라고 한다. 실제로, 홀로그램에 기준파를 입사시켜서 입체상을 얻은 결과를 예로 들면 〈그림 8〉과 같다.

〈그림 8〉의 세개의 사진은 홀로그램으로부터 형성된 입체상을 사진기를 오른쪽으로부터 왼쪽으로 이동하면서 세곳에서 촬영한 결과이다. 〈그림 8(c)〉는 뒤에 글자가 전혀 보이지 않으나, 사진기(또는 관찰자의 눈의 위치)가 왼쪽으로 이동하면서 촬영한 결과인 〈그림 8(a)〉와 〈그림 8(b)〉를 보면 뒤에 위치한 글자가 나타남을 알 수 있다.

홀로그래피의 응용분야를 예로 들면 다음과 같다. 우선, 입체영화나 입체텔레비전등을 들 수 있는데 두말할 필요없이 영상에 입체감이 부여됨으로써 매우 좋은 효과를 보여 줄 수 있다. 현재, 이러한 분야에대한 연구가 계속되고 있으나, 아직 실용화되지 못하고 있는 실정이다. 그리고, 한 지역의 전망을 정확히 입체적으로 재생할 수 있는 간섭레이다가 있다. 간섭레이다에서 높은 간섭성을 지닌 극초단파발전기가 비행기로부터 어느 한 지역을 조명하는 신호를 보내면서 동시에 이 발전기는 기준파를 발생시킨다. 비행기가 날으면서 지상의 각 지점에서 반사되어 되돌아오는 신호는 기준파와 간섭하게 된다. 이 때 간섭무늬가 형성되며 이것이 광신호로 변환되어 사진건판에 기록되어 진다. 이 기록은 일종의 홀로그램이며 후에 이곳에 레이저광을 입사시키면 극히 세밀한 지상의 구조물까지도 입체적으로 볼 수 있게 된다. 이외에도, 매우 크기가 작은 입자를 고배율로 크게 확대하여 볼 수 있는 홀로그래피 현미경도 있고, 광학적 상처리에 사용되는 공간필터의 제작에도 홀로그래피가 이용되어 지며, 홀로그래피 간섭계를 사용하면 변형력에 의한 통계의 각 부분에서의 미소한 변위를 입체적으로 정확히 측정할 수도 있다.