

# 레이저를 이용한 가시화법과 공기조화 및 냉동분야에서의 적용

광학적계측법을 열 및 물질전달에 응용함으로써 공조 및 냉동분야에 폭 넓게 활용될 수 있는 실험법에 대해 간략히 소개한다.

이 동 호

홀로그래피의 원리는 1948년 D.Gabor에 의해 고안되었으며, 그후 그는 이러한 새로운 사진기술을 파면재생법(wave-front reconstruction)이라 불렀다. 물체광 파면을 기록한 사진을 홀로그램이라 명명하였다. 'holo'는 그리스어의 "모든"을 의미하며, 기록하였다는 의미의 'gram'을 붙여 홀로그램이라 하였다. 물체가 가지는 모든 정보를 기록한다는 의미를 갖는다. 종래의 사진기술인 포토그래피에 대응하여 홀로그램을 사용하는 사진기술을 홀로그래피로 부르게 되었다.

광학적 계측법의 일종인 홀로그래피는 광원을 단일파장인 레이저로 사용함으로써 일반적으로 사용되어 온 백색광원보다 정확한 물리적 공간정보를 얻을 수 있게 되었다. 이러한 광학적계측법을 열 및 물질전달에 응용함으로써 공조 및 냉동분야에 폭 넓게 활용될 수 있는 실험법에 대해 간략히 소개한다. 홀로그래피의 원리는 종래의 사진법과 비교해서 설명하면 다음과 같다. 홀로그래피는 사진법의 한 종류이며 근본원리는 일반적인 사진법과 다르다. 종래의 사진법에서는 광파의 진폭만이 기록되며 홀로그래피에서는 진폭과 위상의 양 성분을 간섭무늬의 명암(contrast)과 간섭무늬 위치로서 기록된다.

## 일반 사진법과의 차이점

종래의 사진법은 물체의 각 점에서 빛의 강도를 기록하여 상을 기록함으로써, 위상 성분이 기록되지 않아 입체감이 없는 반면 홀로그래피는 물체로부터의 광파의 진폭과 위상이 기록되므로 재생시 완전한 입체감을 얻을 수 있다. 이러한 기록 매체를 홀로그램(hologram)이라 하며 기록된 홀로그램에 재생광을 투사함으로써 재생상을 얻을 수 있다. 종래의 사진법에 의한 기록은 물체 명암정보만을 기록하게 되며, 물체의 요철정보를 갖는 위상성분 기록은 종래 사진법으로는 표현 불가능하다.

## 간섭 측정기술

홀로그래피 간섭측정을 이해하기 위해 종래의 간섭측정과 비교하여 알아보기로 한다. 간섭측정을 크게 나누면 물체표면현상에 따라 간섭무늬가 나타나는 현상을 측정하는 형상측정, 가열, 가압 등에 의해 A형태로부터 B형태로 변위하는 변형계측, 진동에 의해 A형태로부터 B형태로 단시간에 변위가 이동하여 변화되는 현상을 계측하는 진도(振度) 측정 등이 있다.

그림 1은 Michelson과 홀로그래피 간섭계의 원리를 각각 나타낸다.

Michelson 간섭계는 그림 1(a)에서 보는 바와 같이 광원 S로부터의 빛을 빔 스피리터 BS로 분할하여 M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>의 반사경으로 반사시켜 얻어지는 파면을 다시 BS로 중첩시켜 간섭하는 형태를 나타낸다. 따라서 M<sub>1</sub>을 변화하지 않는 기준면으로 본다면 M<sub>2</sub> 변형을 간섭무늬 형태의 변화로 관찰 가능하다. 만일 M<sub>1</sub>과 M<sub>2</sub> 중 하나의 반사경 또는 양쪽 모두가 거친 조도로 이루어졌다면, 미세한 간섭무늬를 나타내어 변형에 의한 간섭무늬는 관찰 불가능하다. 따라서, 간섭무늬를 관찰하기 위해서는 반사경 M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>의 정밀도에 제한을 받게 된다.

한편, 홀로그래피 간섭계에서는 그림 1(b)에 나타낸 것과 같이 변형 전 O에서 반사된 빛과 BS에서 반사하여 직접 홀로그램 H에 들어오는 참조광 R의

파면으로 O를 홀로그램 H에 기록하게 됨으로 변형 후 O의 면에서 오는 파면과 간섭이 일어나게 된다.

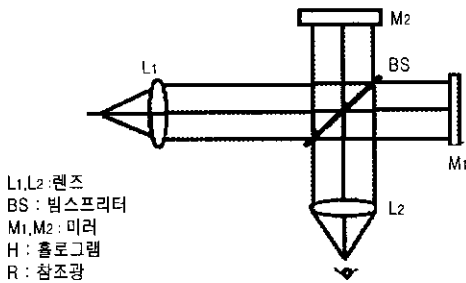
홀로그래피 간섭은 동일물체에 대해 변화전후의 변화량을 측정하므로 측정물체의 면이 거칠어도 관찰할 수 있는 특징을 갖는다.

### 영상측정의 예

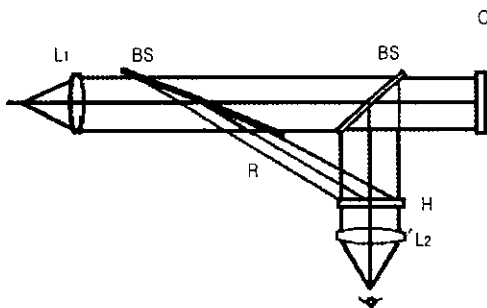
한편, 물체의 변위측정에 사용되는 방법으로 2중 로광법, 실시간법으로 나누어진다. 2중 로광법의 특징은 건판에 사용전 형태와 변형후의 상태를 2중 로광하여 재생하면 변형량에 따라 간섭무늬가 물체상에 나타난다. 간섭무늬 간격은 사용 레이저량의  $\lambda/2$ 이며, 변형량이 큰 곳에서는 간섭무늬 밀도가 높게 나타난다.

형태 실시간법의 특징은 변형 전 상태를 촬영한 후, 현상하여 재생하여 재생상과 계측대상 물체는 중복된 상태에 놓인다. 물체에 변형을 하여 홀로그램을 통해 관찰하면 변형량에 따른 간섭무늬를 물체면상에서 관찰 가능하다. 간섭무늬 간격은 2중 로광과 동일하게  $\lambda/2$ 이다

그림 2에 2중 로광법으로 촬영된 예를 보여 준다.



(a) Michelson 간섭계

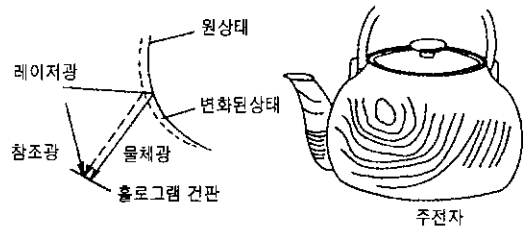


(b) 홀로그래피 간섭계

<그림 1> 간섭계 원리의 비교

### 열변형의 예

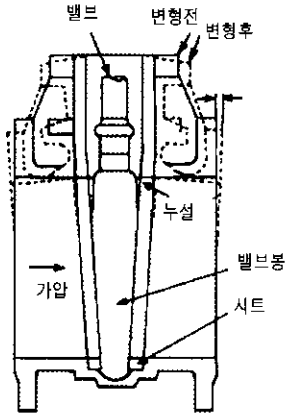
그림 3(a)는 공작기계의 열변형을 2중 로광법으로 촬영한 사진을 나타낸다. 스피들의 회전에 의해 발열된 상태를 간섭무늬로 파악 가능하다. 테이블 밑면에서 관찰되는 간섭무늬는 전원반이 위치한



<그림 2> 2중 로광법 (변형의 예)



(a) 밸브가 가압된 상태 아래에서의 정변형 간섭무늬 사진



(b) 정변형 간섭무늬 사진해석도

<그림 3> 열변형 측정 예(공작기계)

변압기의 국소적인 발열에 기인하며, 구조전체에 열변형의 영향은 거의 없음을 알 수 있다. 그림 3 (b)는 결과의 해석도를 나타낸다. 기계 가공 시 열에 의한 변형은 피할 수 없으므로 가공물, 치공구의 열변형 측정에 2중로광법은 필수적이라 할 수 있다

## 진동측정의 예

그림 4는 자동차의 배기다기관에서 발생하는 진동 모드를 촬영한 사진을 나타낸다. 가진방식은 전자형 가진기를 사용하였다. 형상이 매우 복잡한 물체를 대상으로 손쉽게 진동모두의 판단이 가능한 점은 레이저를 이용한 가시화 방법의 장점이라 할 수 있다.

## 이중 펄스법

그림 5는 이중펄스를 이용하여 공회전 시의 자동차 차체의 진동 상태를 나타낸다. 공회전 시 차체가 어떻게 진동하고 있는가를 명확히 관찰 가능하므로 자동차 소음대책에 이용되고 있다. 자동차 산업을 시작으로 내연기관에 의한 진동 측정에는 진동



<그림 4> 배기다기관의 진동 모드 측정 예 (시간평균법)



<그림 5> 진동측정 예 (자동차의 공회전 시, 이중펄스법)

모드가 비정상적으로 발생되므로 이중펄스법 이외의 진동 측정으로는 불가능하다. 이 방법은 인간의 생체 작용 중 비정상 진동으로 취급될 수 있는 호흡 시의 생체 변형에도 적용 가능하다.

이상에서의 예에서 알 수 있는 바와 같이 레이저를 활용한 계측은 공학의 다방면에 활용되고 있으며 이를 정리하면 표 1과 같다.

## 홀로그래피 간섭법

최근의 가시화 기술은 단순히 속도분포 및 온도 분포 만이 아니고 물질이동 및 화학 반응등 다양한 영향을 고려한 현상을 취급하는 경우가 많아지고 있다. 이러한 관점으로부터 각종 농도장의 계측에

〈표 1〉 레이저 계측의 활용 분야

응용 분야	응 용 예
항공기, 로켓	허니콤 판의 결함검사, 구조재료(FRP)의 실험 구조해석, 터빈 블레이드 진동 모드 측정 용접, 용접법의 시험연구, 로켓 본체 파괴시험, 풍동시험
자동차	차체구조연구, 유압부 구조 연구 및 시험, 소음대책 연구 엔진구조연구, 자동차 부품 용접부 및 용접부 시험 배기가스연구, 내연기관 연소가스 연구, 안전구조연구
중공업, 조선, 건설	용접법연구, 구조해석, 터빈날개 진동 모드 측정 액체계측
공작기계, 정밀기계	강성(열, 정, 동)측정, 구조해석, 부품시험, 치공구변형계측 내면원통도 계측, 가공변형계측
전기, 전자	발전용 터빈날개 진동 모드 측정 모터 진동 모드 측정, 변압기 진동 모드 측정 부품구조해석, 용접 및 접착시험, 스피커 진동 모드 측정 오디오 기기 구조해석, 회로부품 비파괴 검사
약 기	진동 모드 측정, 접착시험연구
화학, 화학기계	혼합액체 측정
타이어, 고무	타이어시험, 타이어 진동 모드 측정, 접착법 연구, 접합결합 측정
플라스틱	성형품 구조 해석, 재료시험
의학, 치의학	생체계측, 치과재료시험

〈표 2〉 레이저를 이용한 농도계측의 분류 및 원리

광학적 분류	명칭		시용레이저류	농도계측원리		
기하광학	쉐도우그래프		He-Ne	농도분포에 따른 굴절률 변화	농도분포를 윤곽으로 가시화. 농도장의 미세구조의 관찰에 유리	
	슈리렌		He-Ne		나이프엣지에 수직방향의 농도분포를 명암으로서 가시화 농도분포의 방향판별에 용이	
위상광학	레이저 간섭법	마하젠더 (2광로간섭계)	He-Ne	농도분포에 따른 굴절률 변화	등농도선을 간섭무늬의 가시화분포 정량측정에 용의	
		홀로그래피간섭법 (2중로광법, 실시간법)	He-Ne Ar이온		레이저이용으로 광학계 조정의 곤란 해소 측정부는 레이저광의 투과되는 곳. 용액의 농도측정에 유리 표면의 변형간섭측정 가능	
분광분석학	공명흡수법		반도체	흡수스펙트럼	대상성분의 흡수스펙트럼과 흡수량에 따라 평균농도측정	
	라만산란법		Ar이온 YAG		라만 산란스펙트럼 분포로부터 성분농도측정 고분해능 계측	
	레이저현광법		색소		산란스펙트럼	원자의 레이저 여기형광에 의해 농도측정 고분해능 계측
	CAR법		루비, YAG 색소		라만산란법보다 광강도가 높음. 고분해능 계측	



로 직접적인 대류의 영향이 쉽게 관찰되므로 일반적으로 열전달실험과 병행하여 활용된다.

어떠한 매체와 이중매체가 동시에 온도와 농도 구배가 존재하면서 확산하고 있는 현상에서는 레이저 간섭법으로 얻어진 굴절율이 온도와 농도의 함수관계가 성립함으로 어느 한쪽의 값을 알고 있는 경우라도 다른 한쪽의 물리량은 함수관계가 성립하지 않으므로 얻어질 수 없게 된다.

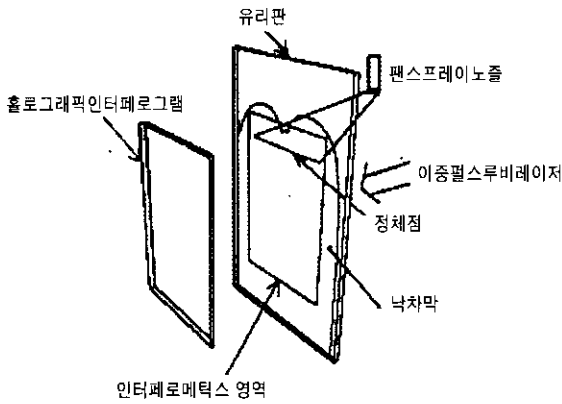
이러한 경우는 열전대와 레이저 간섭계를 병행하여 온도분포를 열전대로부터 측정하고 이 온도분포를 기초로 농도분포를 구할 수 있다. 이러한 열전대와 간섭계의 병행법은 급속한 현상이 아닌 경우에 대해 매우 유효하게 이용될 수 있다. 온도제어가 가능한 굴절율계를 이용하여 굴절율-농도의 관계로부터 농도가 결정된다. 이러한 가시화법수법은 비교적 간단한 반면 농도 변화가 불균일한 측정장에서의 적용은 불가능하며 점(point)계측으로 얻어진 온도를 기준으로 농도분포를 산출하게 되는 등의 결점을 내포한다. 이러한 결점을 보완하여 해석하고자 하는 모든 공간정보를 광학적 방법으로 얻을 수 있는 방법으로 굴절율의 파장 의존성(분산)을 들 수 있다.

## 열 및 물질전달속진 현상에서의 용액 액막 변화량 측정

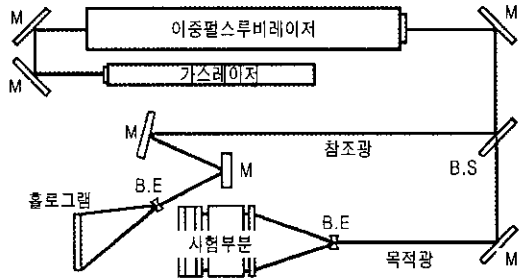
LiBr/H<sub>2</sub>O계 열펌프의 흡수효율 향상을 위해 흡수용액에 미량의 계면활성제를 첨가하고 있으며 첨가제로는 일반적으로 고급 알코올류가 사용되고 있다. 첨가제의 역할로는 냉매증기가 흡수용액에 흡수 시 첨가제와 흡수용액간의 국부적 표면장력 불균일을 유발시킴으로서 흡수용액에서 마랑고니 대류를 발생시킨다. 따라서, 용액표면으로부터 냉매증기가 침투되어 농도가 낮아진 부분의 용액을 새로운 용액으로 갱신시키는 역할을 계면활성제가 하게 된다. 이러한 대류의 발생은 외부의 동력 없이 흡수용액을 교란시켜 냉매증기의 흡수속진에

기여한다는 점에서 흥미를 끈다. 그림 8는 레이저 광원의 방향과 용액흐름을 나타내며 그림 9은 이중펄스루비레이저를 이용한 홀로그래피 간섭법의 광학계를 나타낸다. 본 그림은 평판 위를 흘러내리는 액막 두께변화를 이중펄스루비레이저를 이용하여 가시화 하였다. 가시화 된 결과의 재생은 홀로그래피 간섭법에서 얻어진 홀로그램을 참조광으로 재생함으로써 비로소 얻어지게 된다. 그림 10은 (a)는 첨가제를 투입하지 않은 조건으로 촬영된 홀로그램의 재생결과 계면교란은 발생되지 않음을 파악할 수 있다. 반면, 첨가제의 투입농도((b)<(c))에 따라 평판을 흘러내리는 흡수용액(LiBr/H<sub>2</sub>O) 액막으로 냉매증기(수증기)의 흡수와 동시에 계면교란(마랑고니대류)이 발생됨을 파악할 수 있다.

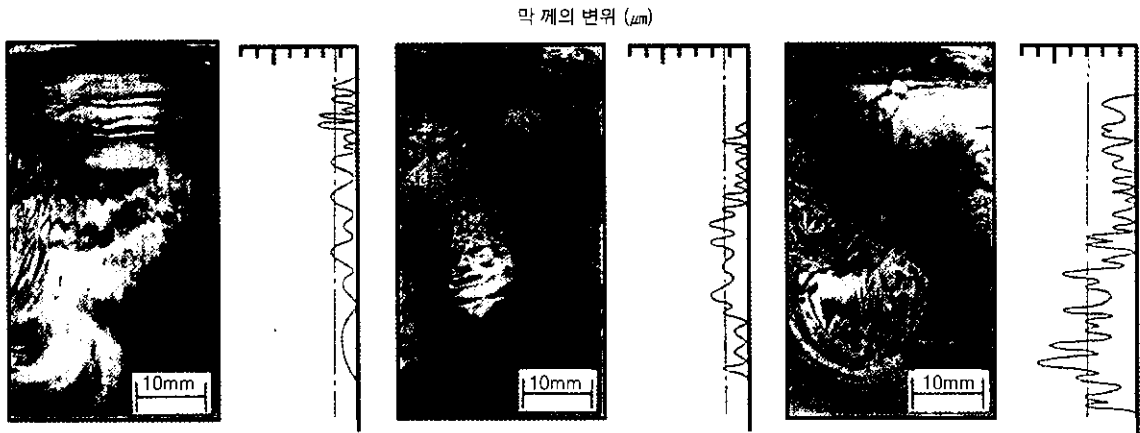
실험에 적용한 가시화의 목적은 계면활성제의 역할에 대한 규명하기 위하여 흡수 속진율과 계면활성제의 투입방식에 대한 기초적 지식을 얻기 위한 방법으로 가시화방식을 도입한 것으로 액막표면의 교란으로 흡수표면적 증대로 인한 흡수속진 효과를 규명하는데 있다. 본고에서는 실험결과 보다는 공조 및 냉동분야에서 활용 가능한 가시화기술에 대한 소개중심으로 상세한 실험결과에 대해서는 생략하기로 한다. 이상과 같이 공조 및 냉동기의 성능향상에 필요한 요소개발에서도 레이저를 활용하여 최적운전에 요구되는 현상의 규명 및 조건을 얻어낼 수 있다. 따라서 이중펄스루비레이저를 이용한 가시화는 1 $\mu$ sec~1msec의 시간 내에서 변화되는 물리량을 실시간 공간평면 또는 2차원평면 정보로 가시화하여 분석 할 수 있다는 장점을 내포한다. 이러한 가시화기법은 압축기내의 블레이드 설계에도 활용 가능하다. 특히 공조분야에서 이중펄스루비레이저의 활용은 수  $\mu$ sec의 분리 시간(1st pulse와 2nd pulse 이격시간)의 유체이동특성을 파악하기 위한 방식으로 PIV 입사추적법의 알곤 이온레이저의 광원으로 대체할 수 있는 장점 또한 내포한다. 따라서, 고속류를 대상으로 유체이동 특성 파악이 가능하므로 상사법칙을 이용하여 스케일 다운된 터널내의 유체이동특성 실험에서도



〈그림 8〉 레이저 광원의 방향과 용액흐름



〈그림 9〉 이중 펄스루비레이저를 이용한 출로그래피 간섭법의 광학계



(a) 첨가제를 투입하지 않은 경우

(b) 첨가제의 농도가 중간

(c) 첨가제의 농도가 진한 경우

〈그림 10〉 출로그래피로부터의 용액흐름형태 및 액막 두께

충분한 성능을 발휘할 수 있다.

이상에서 소개된 내용을 중심으로 레이저 계측분야를 중심으로 공학의 다양한 분야에서 다각도로 활용된 예를 중심으로 설명하였으며 국내 현시모양을 선진국과 달리 기초현상 규명과 요소기술개발을 별개의 분야로 취급하고 있는 점은 실로 안타까운 일이 아닐 수 없다. 상대적으로 비파괴분야 및 재료분야 보다는 상대적으로 도외시되고 있는 레이저

를 활용한 열 및 유체의 가시화법을 냉동 및 공조부분에 적용한 예를 소개하였으며 앞으로 많은 분야에서 활발히 적용된다면 기초연구를 바탕으로 요소기술개발에 일조 될 수 있을 것으로 전망된다. ㉔