

# 레이저 스펙클 간섭법(Laser Speckle Interferometry)에 이한 비접촉 면내 면외 변형 계측 기술

김 경 석\*

(\*조선대 기계공학부 교수)

## 1. 서 론

홀로그래픽 간섭법과 전자 스펙클 간섭법을 이용한 측정 기술은 레이저를 이용하는 원격 비접촉 정밀 측정기술로 고 분해능을 가지며, 한번의 측정으로 레이저가 조사되는 면적 전체의 동시측정이 가능하고, 대상체의 표면상태에 대한 처리를 필요로 하지 않는다는 장점으로 원자력 산업을 비롯하여 자동차 산업, 항공기 산업 등에서 많이 사용되고 있다. 이 글을 통해 가혹한 환경(초고온, 방사능유출 등)에서 사용되는 물체의 비접촉, 비파괴, 전영역을 검사할 수 있는 레이저 응용 계측기술과 적용사례를 소개하고자 한다.

## 2. 레이저 응용 기술

19세기 중반 레이저의 개발 이래로 이를 이용한 응용분야는 의료, 공학, 예술, 순수과학 등 다양한 분야에서 쉽게 볼 수가 있다. 떨어진 각막을 붙이고, 핵융합 중성자를 생산하고, 씨의 성장을 유도하고, 칼라 텔레비전의 상을 전달하고, 다이아몬드에 구멍을 뚫고, 작은 물체를 공중에 띄우는 등과 같이 매우 신기하면서도 매력적인 응용들 중 가장 일찍부터 실용화된 분야는 레이저 응용계측이었다. 레이저를 응용한 계측이 매력적인 최대의 이유는 광원으로서 레이저의 우수한 특성에 있다. 즉 레이저는 단색성, 직진성, 편광성이 우수하고, 큰 에너지를 넓은 면에 조사할 수 있는 것이다. 공학분야에서는 비접촉, 전면검사, 에너지집중, 비파괴검사라는 장점이 부각되면서 표면거칠기 검사, 레이저가공, 변위 측정 등 다양한 분야로 발전을 하게 되었다.

특히, 시간적·공간적으로 가간섭성이 우수한 레이저를 이용하여 검사하는 비접촉, 비파괴 검사기술은 물체의 표면에 대한 전처리 과정 및 센서(Sensor)의 부착등을 요구하지 않기 때문에 극한의 상황에서 있는 구조물에 대해 효과적으로 측정할 수 있다는 장점이 있다.

## 3. 홀로그래피 간섭법과 레이저 스펙클간섭법

이 글에서 다루고자 하는 레이저 스펙클 간섭법의 원리를 이해하기 위해서 그 모체가 되는 홀로그래피에 대하여 먼저 다루어야 한다. 홀로그래피 간섭법은 전자 현미경의 배율을 올리기 위하여 1948년에 처음 세상에 알려지게 되었다.

파장이 짧은 전자파의 파동이 이루는 회절광의 장을 하나의 기록재에 기록하고 파장이 전자파의 파장보다 훨씬 긴 가시광파를 이용하여 확대된 회절광을 재현시키는 것이다. 즉, 물체에서 나오는 회절광이 기준광과 간섭을 일으켜 간섭무늬를 만들며, 이것을 홀로그래피 기록재에 기록하여 홀로그래프를 만들고 이 홀로그래프에 기준광을 다시 입사시켜 물체를 재현한다는 것이다.

즉, 홀로그래피 간섭법의 기본원리는 홀로그래피에 의해 형성된 이미지를 원래의 물체, 혹은 또 다른 물체의 홀로그래피 이미지와 비교가 가능하다는 것이다.



그림 1. 실시간 홀로그래피 간섭계를 이용하여 측정된 고화(古畵)의 결함



원리상으로는 홀로그래픽 간섭과 유사하지만 더 많은 이점을 가지고 있는 레이저 스페클 간섭법(Laser Speckle Interferometry)의 가장 큰 특징은 홀로그래피 간섭법에서 잡음으로 간주되는 스페클을 이용하여 계측한다는 것이다. 이러한 스페클의 성질을 잘 이용하여 다양한 계측 즉, 면내 변위나 진동 같은 면외변위의 측정을 할 수 있다. 또한, 홀로그래피의 기록재 대신 CCD카메라를 사용하며, 저해상력의 감광재, VTR카메라 등도 사용이 가능하다. 홀로그래피 간섭법이나 레이저 스페클 간섭법 모두 한 번의 측정으로 레이저가 조사되는 면 전체의 동시 측정이 가능하고, 대상체의 표면상태에 대한 처리를 필요로 하지 않는다는 장점으로 원자력산업을 비롯하여 자동차산업, 항공기산업 등에서 많이 사용되고 있다. 특히, 원격, 고정밀, 고속 측정이라는 장점을 가지고 있다.

#### 4. 전자처리 스페클 패턴 간섭법(ESPI)

전자처리 스페클 패턴 간섭법(Electronic Speckle Pattern Interferometry:ESPI)는 스페클패턴 간섭법(Speckle Pattern Interferometry : SPD)에 영상을 기록하고 처리하는 기술을 응용하여 형성한 간섭법이다. 물체의 변형 전과 후의 화상을 컴퓨터를 이용하여 감산 처리함으로써 화상처리 과정을 수행하고, 그 결과를 거의 실시간적으로 TV 모니터 상에 출력시킴으로써 비접촉 계측법을 이용한 준 실시간 해석을 가능하게 하는 것이다.

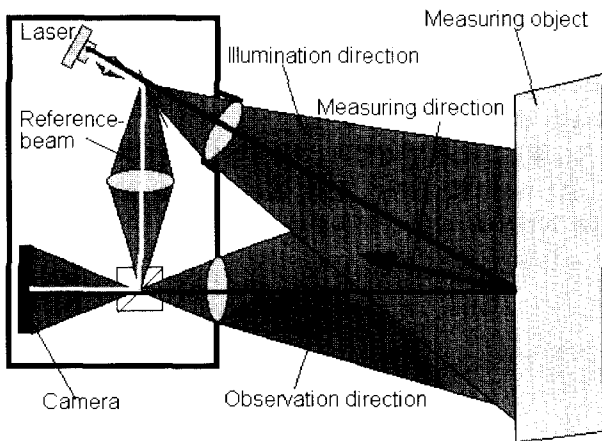


그림 2. ESPI의 원리

최근에는, 우주항공 산업 및 원자력 산업의 발전으로 구조물들이 열악한 조건하에 사용되는 경우가 빈번하여, 이러한 환경에서 사용되고 있는 구조물들의 거동해석이 반드시 필요하게 되었다.

따라서, 이러한 분야에 사용되는 특수강이나 복합재료 등의 신소재에 대한 인장, 진동 상태 및 초고온(1000℃ 이상) 하에서의 거동해석은 반드시 필요하며, 이를 해결할 수 있는 많은 계측 기법들이 도입이 되어, 부분적으로 정확한 평

가가 이루어지고 있다. 그러나, 진동 및 초고온에서의 거동해석은 기존의 센서 등을 이용한 접촉식 검사, Point by Point 검사기법으로는 정확한 거동해석을 하는데는 어려움이 따른다. 따라서, 레이저의 장점인 비접촉, 전면조사 등의 새로운 검사기법들을 이용하면 진동 및 열변형 해석 분야에서 기존 기법의 문제점을 보완할 수 있으리라 사료된다.

#### 5. 전자처리 스페클 간섭법의 현장 적용

외국의 경우 기본원리에 바탕을 둔 많은 연구가 행해져서 현재는 응력 가시화, 진동가시화 등으로 산업체 현장에 많은 적용이 이루어지고 있는 분야이다. 특히, 미국, 독일, 일본을 비롯한 선진국에서는 계측분야에 있어서 빼놓을 수 없는 부분을 차지하고 있고, 독일에서는 광응용계측기 개발사(Ettemyer Co., Stenbieler Co. 등)에 의한 완전한 하나의 센서화된 시스템을 개발하여 산업현장에서 적용하고 있다. 그 예로서 독일에서는 콘크리트 교량에 대한 스트레인 측정 등 안전진단 시스템으로서 활용되고 있으며, 헬리콥터 블레이드에 대한 비파괴검사가 행해지고 있다.



그림 3. ESPI에 의한 차체의 진동실험

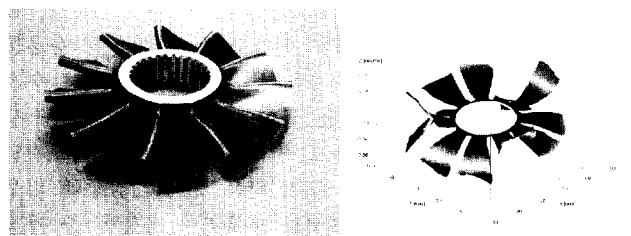


그림 4. Impella의 진동모드 측정

국내에서도 (주)대우전자에서 냉장고, 세탁기 등의 제품 품질개선을 위해 이용하고 있다. 레이저 스페클 간섭법을 이용한 변위 및 변형률의 계측은 사용목적에 따라 광학계 구성이 달라지며, 크게 면내변위 계측간섭계와 면외변위 계측간섭계로 나뉘어진다. 면내변위 계측간섭계를 이용하여 비접촉에 의한 x축 y축에 대한 변위(인장, 압축, 열변형 등)를 측정하게 되며, 면외변위 계측간섭계는 z축 변위(진동)를 측정하게 된다.

구조물의 역학적 거동해석들 중 기존의 계측기법으로는 측정이 어려운 초고온(1000℃ 이상)에서의 물체의 거동해석

ㄱ 레이저 스페클 간섭법(Laser Speckle Interferometry)에 의한 비접촉 면내, 면외 변형 계측 기술 ㄴ

이 가능한 것이다. 재료의 열변형은 공작기계 정밀도 저하의 한 원인이며, 원자력 압력용기 등의 설계시 중요한자이고, 각종 고온증기 파이프 등의 열변형은 구조물의 파괴를 가져올 수도 있다.

열변형을 측정하기 위한 방법으로 스트레인이메이지 기법, Moire 기법 등의 다양한 측정기법이 있으나, 접촉에 따른 완전한 보상문제, 표면처리 등의 문제점이 있어 보다 편리하고 고정밀도를 갖는 전자처리 스페클 간섭법 기법을 제시하고자 한다.

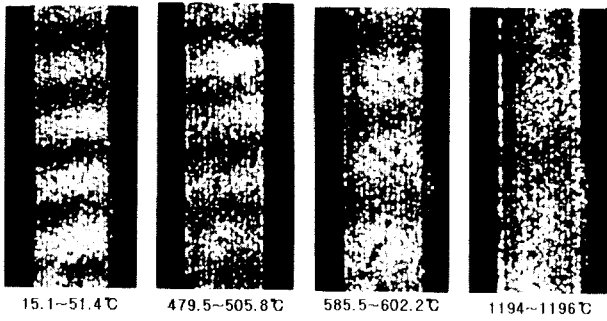


그림 5. 온도차에 따른 INCONEL601의 열변형

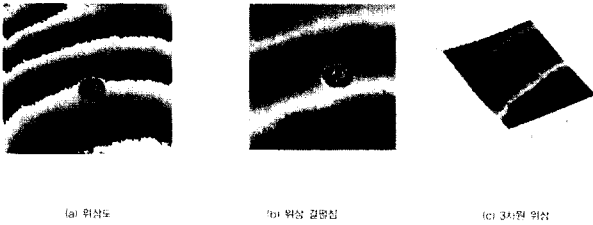


그림 6. ESPI법을 이용한 고온에서의 복합재료(Honeycomb)구조물 결함 측정

전자처리 스페클 간섭법은 계측기법과 검사기법으로 나누어질 수 있다. 먼저 계측기법으로의 적용은 초고온에서 사용되는 내열재료의 불성평가이다. 전자처리 스페클 간섭법을 이용한 열팽창계수의 측정원리는 전자처리 스페클 간섭법을 이용하여 구하여진 스트레인을 온도차로 나누어줌으로써 열팽창계수를 구할 수 있다. 전자처리 스페클 간섭법의 면내변위 측정에서는 변형전의 이미지와 변형후의 이미지를 감산처리하고 화상처리기법을 적용하여 스트레인을 얻는다는 개념과 물체의 변형전과 후의 온도차에 의해 열변형이 일어난다는 개념을 이용하여 온도를 측정함으로써 열팽창계수를 구할 수 있다. 열을 받을 대상체는 열에 의한 변형량이 발생할 것이다. 대상체에 두 개의 레이저 광을 동일한 입사각으로 조사하여 변형 방향으로 감도를 갖도록 하여 온도변화에 따른 줄무늬를 얻는다. 모니터 상에서 나타나는 간섭무늬로부터 간격을 구할 수 있으며, 온도가 올라감에 따라 발생하는 대상체의 열변형 정도는 줄무늬 간격의 변화량에 비례한다. 이러한 기법으로 공작기계 및 각종 고온환경에서 사용하는 구조물의 발열이 심한 부분의

열팽창계수를 측정할 수 있고, 이러한 데이터를 바탕으로 발열 대책의 수립 및 생산성을 고려한 새로운 재료로의 대체 방안을 모색할 수 있다.

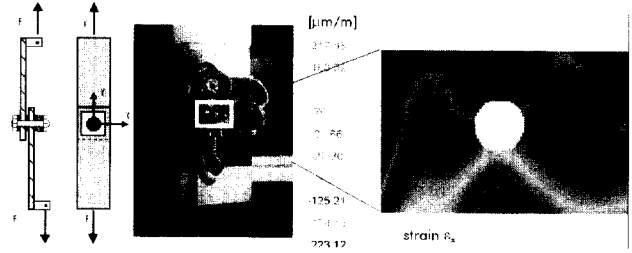


그림 7. Spot용접부의 스트레인 분포 해석

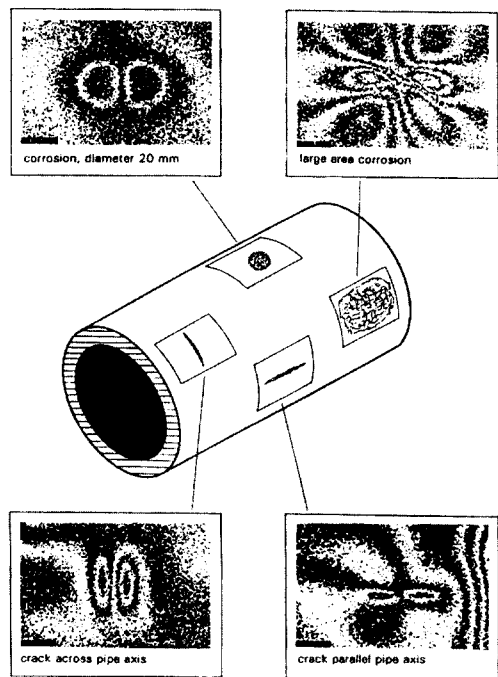


그림 8. 파이프 라인(Pipe-Line)의 결함 검출



전자처리 스펙클 간섭법의 검사분야로는 비접촉, 비파괴 및 대상체의 전체검사로 변형의 가시화에 많이 사용된다. 가동 중인 기계구조물(공작기계, 원자로, 냉각수 파이프 등)의 열거동해석, 전기/전자 제품의 발열에 따른 부품의 변형, 전자부품의 발열에 따른 전자기판과 납땀부의 박리검출, 철 탭이나 고분자 애자와 같은 전기재료 및 전력 설비에 대한 열화 진단 등에 사용하고 있다. 그러나, 아직 국내에서는 대상체를 실험실 환경에서 검사하여 자료를 이용하고 있으며, 대형 기계구조물의 현장적용은 이루어지지 않고 있다. 적용을 위해서는 비접촉에 따른 구조물과의 상대운동 제거 등의 적용방법을 위한 연구 및 레이저응용계측장비의 상품화에 주력하여야 할 것이다.

## 저 자 소개



### 김 경 석(金 庚 錫)

1957년 9월 23일생. 1981년 한양대 공대 정밀기계 졸업. 1984년 동 대학원 계측·제어 졸업(석사). 1988년 동 대학원 계측·제어 졸업(공학박). 현재 조선대 공대 기계공학부 교수.