

디지털 스펙클 패턴 간섭계를 이용한 인장시험 현장에서의 스트레인 분포 측정

Measurement of Strain Distribution in Tensile-Testing Field by Using Digital Speckle Pattern Interferometer

박승규*, 백성훈*, 정용무**, 김영석**, 정현규***, 차형기*

*한국원자력연구원 양자광학연구부, **한국원자력연구원 원자력재료연구부,

***한국원자력연구원 원자력융합기술개발부

skpark4@kaeri.re.kr

물체의 미소 변형 형상 측정이나, 진동 패턴 측정, 유체의 굴절률 분포도 측정, 인장강도에 따른 영역별 스트레인 분포 측정 등 다양한 미소 변형 형상을 한번에 측정할 수 있는 디지털 스펙클 간섭계(DSPI: Digital Speckle Pattern Interferometer)는 최근 급속히 발전한 전자기술의 발전과 더불어 활용 영역이 점차로 넓어지고 있는 추세이다 [1]. 자동화가 가능하면서도 원거리 비접촉식 면적단위 측정방식인 DSPI 측정기술은 방사선 구역과 같이 사람의 접근이 용이하지 않은 지역에서의 응용이 용이하다. 빛의 파장의 수십 분의 1 정도로 정밀한 변형 위상 정보를 제공하는 일반적인 DSPI 시스템은 한쪽 레이저 빔 위상을 이동시키면서 복수의 영상을 획득한 다음 이들의 조합으로부터 세부적인 위상정보를 추출한다. 그러나 이러한 일반 DSPI 시스템은 레이저 빔의 위상이동 중에 외부 진동이 유입이 되면 에러가 발생하여 측정이 불가능한 단점이 있다. 이러한 단점으로 인하여 DSPI 기술은 일반적인 산업 현장에서 직접적으로 널리 활용되지 못하고 있는 실정이다.

본 논문에서는 진동이 존재하는 현장에서도 응용이 가능한 DSPI 시스템을 구성하기 위하여 단일 프린지 영상으로부터 3차원 변형 정보를 추출하는 시스템을 구성하였다. 구성된 DSPI 시스템은 인장시험 동안에 생성되는 모든 스펙클 간섭 영상을 획득하여 메모리에 저장을 한다. 저장된 스펙클 간섭영상은 서브 ms의 짧은 카메라 센서의 촬상 시간 동안에 생성되므로 외부 진동의 영향을 거의 받지 않는다. 시간차를 두고 저장된 두 스펙클 영상의 차분 영상으로부터 하나의 프린지 영상이 생성되며, 생성된 하나의 프린지 영상으로부터 미소 변형에 대한 3차원 위상정보가 추출된다. 프린지 영상 분석 방식은 진동이 존재하는 현장에서도 적용이 가능하므로, 하나의 프린지 영상으로부터 3차원 변형 정보를 추출하는 본 시스템은 진동이 존재하는 현장에서도 적용이 가능한 장점을 갖고 있다. 그러나 하나의 프린지 영상에서 3차원 위상정보를 추출하는 방식은 위상 이동된 복수 영상으로부터 얻는 위상정보 추출법에 비하여 신호 대 잡음 비율이 낮은 단점이 있다 [2]. 특히, 임펄스 패턴의 고주파 성분이 많이 섞여있는 스펙클 간섭의 단일 프린지 영상으로부터 추출된 위상 정보에는 잡음의 영향이 클 것이다. 본 논문에서는 DSPI 시스템의 성능을 높이기 위하여 주파수 영역에서 선택적으로 대역 필터를 적용함으로써 고주파 성분의 잡음을 효과적으로 제거하였다. 구성된 시스템은 진동이 있는 현장에서 인장시험에 따른 시편의 변형을 측정함으로써 시스템의 현장 활용 가능성을 확인하였다.

실험을 위하여 본 논문에서는 여러 장비들이 운영되는 인장시험실에서 인장시험편의 표면 미소변형 형상 측정 실험을 수행하였다. DSPI는 인장 시험시편 표면의 in-plane 방향의 변형을 측정하게 구성하였다. 실험실에서는 타 장비들도 운영되고 있었으며, 인장시험기 내부에는 유압 액추에이터와 냉각펌프 및 냉각팬이 동작되고 있었다. 스펙클 간섭계로 프린지 영상을 생성한 다음 초당 약 15프레임의 영상 획득 속도로 프린지 영상을

획득하여 분석해 본 결과 매 프린지 마다 최소 한 프린지 간격 이상의 큰 진폭을 갖는 랜덤 진동이 유입되고 있었다. 위상이동 방식의 일반적인 DSPI시스템을 사용하여 스트레인 분포 측정을 시도해 본 결과 위상맵의 획득이 불가능하였다. 그래서 본 논문에서는 단일 프린지 영상으로부터 in-plane 방향의 3차원 스트레인 분포를 측정하는 DSPI를 구성하였다.

두 스펙클 영상의 차분으로 생성된 하나의 프린지 영상에 대한 주파수 영역에서의 신호는 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$C(w_x, w_y) = A + H(w_x, w_y) + H^*(w_x, w_y) \quad (1)$$

여기서 A는 주파수 영역에서의 DC 계수이며 $H(w_x, w_y)$ 는 시간영역 영상의 (x, y)위치에서 밝기 값에 대한 주파수 영역에서의 표현이고, *는 복소공액을 나타낸다.

본 논문에서는 식 (1)의 H 신호에 대하여 대역필터를 적용하여 3차원 스트레인 분포 형상 정보를 추출하였다.

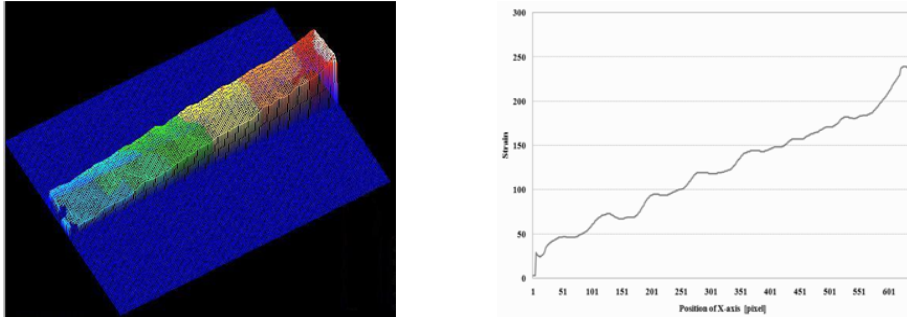


Fig. 1 3D shape of strain distribution and its center line-profile in elastic regime of a tensile specimen

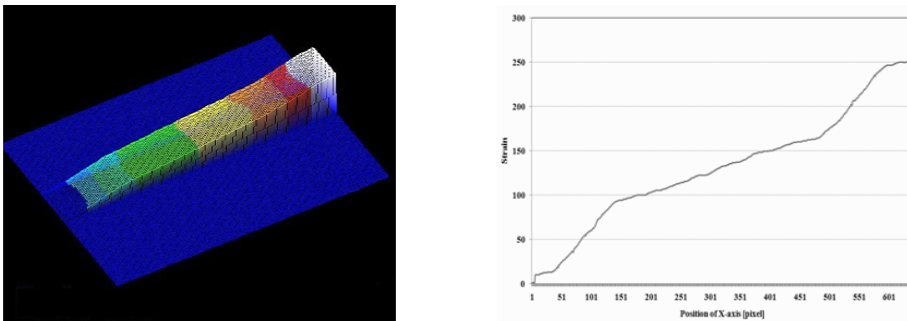


Fig. 2 3D shape of strain distribution and its center line-profile in plastic regime of a tensile specimen

본 논문에서는 경로독립 방식의 최소자승위상복원법 (Least-Squares Phase Unwrapping)을 사용하여 스트레인 분포에 대한 3차원 위상정보를 추출하였다 Fig. 1과 Fig. 2에서 각각 볼 수 있듯이 탄성영역에서의 스트레인 분포는 선형 변형 분포이고, 플레슈틱 영역에서는 시편의 양 끝에서 상대적으로 크게 변화되는 스트레인 분포를 관찰할 수 있었다. 본 실험에서 시편의 최종 파단부는 우측 끝단부 이었다.

[1] 백성훈, 박승규, 김철중, “스펙클 간섭계의 응용”, 한국정밀공학회, 제 21권 제 5호, pp.14-18, (2004).
 [2] M. Takeda, H. Ina and S. Kobayashi, "Fourier-transform method of fringe-pattern analysis for computer-based topography and inteferometry", J. Opt. Soc. Am., Vol. 72, No. 1, (1982).