

ESPI를 이용한 결함이 있는 평판의 진동특성에 관한 연구

박찬주*(조선대 대학원 기계공학부), 김경석(조선대 기계공학부),
홍진후(조선대 고분자공학과), 장호섭(조선대학교 대학원 기계공학부)

A Study On Vibration Characteristics Of Plate with Crack by ESPI Method

C. J. Park*(Dept. of Mech. Eng., CSU.), K. S. Kim(Dept. of Mech. Eng., CSU.)
J. H. Hong(Dept. of Polymer. Eng., CSU.), H. S. Chang(Dept. of Mech. Eng., CSU)

ABSTRACT

Electronic Speckle Pattern Interferometry (ESPI) was proposed in the 1970's as a method of producing the interferogram without using traditional holographic technique ESPI is more faster than Holography method , because the interferometric image is recorded and updated by the video camera every 1/30 second and whole-field inspection possibly. In this study using a non-contact optical technique that is suited for in-plane and out-of-plane deformation measurement. Thin plate with crack was analyzed by ESPI to determine the characteristics of vibration mode shape and natural frequency. Also, results of the experiment were compared with Finite Element Method(FEM)

Key Words ESPI (전자차리스패클간섭계), Resonance frequency (공진주파수), Vibration (진동), Whole-Field Measurement (전체영역측정), Mode shape (모드형상)

1. 서론

물체의 전체영역에 대한 진동분석 기법으로 홀로그래피 간섭계를 많이 이용하였으나, 필름에 의해 처리되어지는 과정이 복잡하고 시간의 소모가 많다이 제한점을 극복하고, 비파괴, 비접촉, 전체영역 검사 등의 장점을 갖고 변형된 물체의 표면 변위를 측정할 수 있는 ESPI(Electronic Speckle Pattern Interferometry)로 발전되어 다양한 분야에서 적용되고 있다 ESPI에서는 이미지를 CCD 카메라와 화상처리장치를 통하여 홀로그래피 방법에서 화학적 처리와 시간 소모를 줄일 수 있었다 그간 문제가 되어온 분해능의 저하는 고 분해능의 카메라를 사용함으로써 해결할 수 있다. 또한 거동상태를 실시간으로 측정할 수 있는 이점이 있다 또한 그간의 다양한 계측 기법과의 비교연구를 통하여 우수성을 입증 받고 있는 ESPI 기법은 응용분야가 다양하다.

본 연구에서는 진동측정을 위하여 진동 등에 민감한 면외변위 간섭계(Out-of-plane)를 구성하고 결함이 있는 얇은 평판의 진동특성을 측정하였다 최근경향으로 볼 때 박판의 사용 범위의 증가와 함께 결함이

발생시 진동특성의 대한 연구의 필요성이 늘어나고 있다 비교실험을 위하여 결함이 존재하지 않는 같은 재질, 크기의 평판의 실험과 비교하였다. 실험결과론 유한요소 해석법과 비교하였으며, 주파수와 모드 형상을 비교하였다

2. 이론

2.1 ESPI 원리

광학적으로 거친표면을 가진 대상체에 레이저빔을 조사하고 렌즈에 의해 결상하면 결상면에 작은 입자 모양의 스페클이 발생하는데 이 스페클에 의해 만들어진 불규칙한 반점 모양을 스페클패턴이라 한다 이러한 특성과 컴퓨터 영상처리 기술을 접목하여 대상물의 거동에 대한 변위를 해석할 수 있다

측정원리는 레이저에서 발생된 빔이 광 분할기(Beam splitter)를 통해 두빔으로 나누어져, 하나는 CCD카메라에 연속적으로 입사되는 기준빔(Reference Beam)이 되고, 다른 하나는 대상체에 조사되어 반사된 빔이 CCD카메라에 입사되는 물체빔(Object Beam)이 된다. 이 두 빔이 광 합성기(Beam

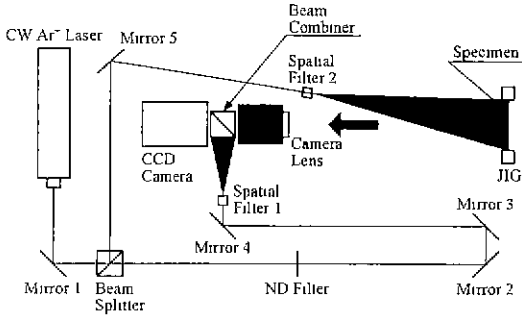


Fig 1 Schematic of ESPI setup for out-of-plane measurement

combiner)에서 간섭을 일으키게 되고 이때의 이미지가 CCD카메라의 수광소자에 입사된다.

측정체의 변형(진동)전후의 변위값은 변형 전 상태와 후 상태 각각의 이미지를 저장시켜 화상처리장치에서 그 차이를 계산함으로써 구하게된다.

Fig 1은 면외변위 측정을 위한 간섭계 구성을 나타낸다.

시험편이 무부하 상태일때 CCD카메라가 감지하는 빛의 세기는 다음과 같이 표현될 수 있다

물체빔(Object beam) $F_{o(before)} = A_o e^{i(\omega t + \phi_o)}$ 과 기준빔(Reference beam) $F_{r(before)} = A_r e^{i(\omega t + \phi_r)}$ 이 합쳐져서 식 (1)과 같은 강도 I_1 으로 나타낼 수 있다.

$$I_1 = A_o^2 + A_r^2 + 2A_o A_r \cos(\phi_r - \phi_o) \quad (1)$$

진동에 의해 변형이 발생하였을 때 CCD 카메라에 의해 나타내지는 빛의 세기는 물체빔(Object beam)

$F_{o(after)} = A_o e^{i(\omega t - \phi_o + \Delta\phi)}$ 과 기준빔(Reference beam) $F_{r(after)} = A_r e^{i(\omega t + \phi_r)}$ 을 합하여 식(2)와 같은 강도 I_2 로 나타낼 수 있다.

$$I_2 = A_o^2 + A_r^2 + 2A_o A_r \cos(\phi_r - \phi_o) \quad (2)$$

TV System 은 물체에 변위가 일어나기 전 이미지의 세기 분포에 해당되는 전자적인 비디오 신호를 CCD의 수광소자를 통하여 화상처리장치의 메모리에 기록하고, 변위가 발생하면, 그에 상당하는 이미지 강도 분포를 비디오 신호로 전환하여 변형전의 이미지 신호와 전자적으로 감산 처리한다 출력 카메라의 신호 I_1 와 I_2 이 입력 화상의 강도에 비례하므로, 감산된 광의 강도는 식 (3) 과 같이 나타낼 수 있다

$$I_1 - I_2 = -4A_o A_r \sin\left(\phi - \frac{1}{2}\Delta\phi\right) \sin \frac{1}{2}\Delta\phi \quad (3)$$

3. 실험

3.1 시험편 및 실험장치

본 연구에 사용된 재료는 일반 구조용 재료로 널리 사용되고 있는 STS304를 사용하였으며, 재료의 물성치는 Table 1과 같다.

시험편 형상과 결합위치와 고정단은 Fig 2 와 같다. 결합이 없는 시험편, 결합이 내측된 시험편에서 결합의 위치는 전체 길이에 대해 1/3 위치에 와이어 커팅을 통하여 가공하였고, 내부에 폭 0.3mm 의 결합이 60mm 길이를 갖도록 제작하였다.

경계조건에 있어서 한쪽 단을 고정하고 예상되는 노달라인(Nodal line)을 피하여 가진을 하였다.

3.2 실험방법

진동측정을 위하여 Fig. 1과 같은 면외변위 측정용 간섭계를 구성하였고, 측정에 사용된 레이저는 514.5nm 의 파장을 가지고 있는 Ar^+ 레이저를 사용하였다.

실험은 모드형상 및 주파수 대역을 찾아내고 이 결과를 FEM 해석을 통하여 검증하는 과정을 거쳤다. 시험편의 가진 방법은 고정된 시험편의 뒷면에서 실시하였으며, 함수발생기(Function Generator, HP Co, U.S A)에서 발생된 정현파가 증폭기(Amplifier)를 거쳐 가진장치(Shaker. B&K, Denmark)에 전달되고 여기서 시험편에 직접 전달되도록 구성하고 진동 모드 및 주파수 대역을 측정하였다.

Table 1. Material property of specimen

| Material | E (GPa) | ν_{12} | ρ (kg/m ³) |
|----------|-----------|------------|-----------------------------|
| STS304 | 193 | 0.3 | 7850 |

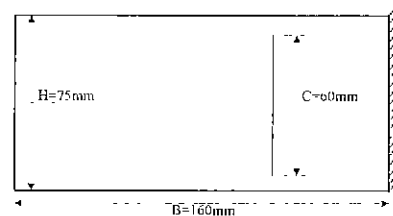


Fig 2 Geometric of specimen

4. 결과 및 고찰

4.1 FEM 해석

유한요소 해석은 상용프로그램인 ANSYS를 사용하였으며 결함 유·무 평판 두가지를 1-9차 모드까지 실시하였고 그 결과는 Fig. 3과 같다.

Fig. 3과 같은 해석결과처럼 결함이 있는 평판과 없는 평판에서 모드 1-4차까지는 대체적으로 결함의 영향이 나타나지 않았으나, 고 주파수 영역으로 갈수록 결함의 영향이 크게 나타났다.

Table. 2는 유한요소해석의 주파수 분석 결과이다. 고차모드로 가면서 비율폭이 증가되었다

4.2 ESPI 실험

유한요소해석과 비교를 위하여 결함 유·무와 상관없이 거의 동일한 주파수를 나타내고 있는 모드 2와 모드 4를 선택하여 실험결과와 비교하였다. 그 결과를 Fig. 4에 나타냈다.

Fig. 4에서 알 수 있듯이 저주파 에서 보다는 고 주파로 갈수록 결함에 대한 영향이 커져서 주파수가 낮게 검출되었고, 유한요소해석에 의한 결과보다 ESPI 방법에 의한 결과가 낮은 주파수를 보였다.

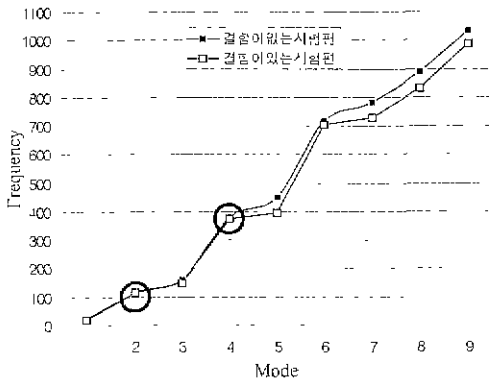


Fig. 3 A diagram of the FEM results (Frequency)

Table 2 Frequency Comparison of the each plates by FEM method.

| | | (Unit Hz) | | | | | | | | |
|-----------|--------|-----------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| F | Normal | 25.64 | 116.7 | 159.8 | 377 | 449 | 716 | 781 | 781 | 781 |
| | Crack | 23.18 | 116.6 | 147.1 | 373 | 393 | 705 | 730 | 730 | 730 |
| Ratio (%) | | 9.6 | 0.1 | 8.0 | 1.04 | 12.3 | 1.62 | 6.58 | 6.58 | 6.58 |

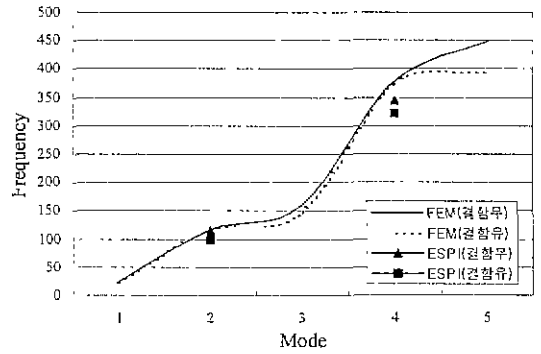


Fig. 4 A diagram of comparison results

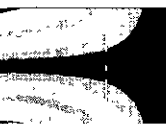
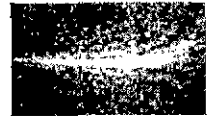
Table 2. Mode Comparison of the results by FEM and ESPI method

| | (Unit . Hz) | | | |
|-----------------|--------------|-------|---------------|-------|
| | Normal plate | | Cracked plate | |
| | 2nd | 4th | 2nd | 4th |
| FEM | 116.75 | 377.5 | 116.61 | 373.5 |
| ESPI | 115 | 345 | 99 | 323 |
| Error Ratio (%) | 1.5 | 9 | 15 | 13 |

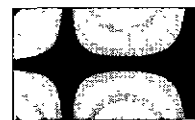
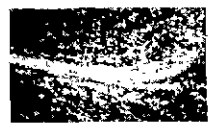
Table 2에서의 결과는 유한요소해석과 ESPI 실험결과를 비교하였는데 결함이 없는 평판은 2차 1.5%, 4차 9%의 오차율을 보였고, 결함이 내재된 평판의 2차 모드는 15%, 4차모드는 13%로 결함의 영향으로 인한 오차율이 커짐을 알 수 있었다. 모드의 형상은 Fig. 5에 나타내었다.



a) 21th Mode shape on Normal plate



b) 2th Mode shape on Cracked plate



c) 4th Mode shape on Normal plate



d) 4th Mode shape on Cracked plate

Fig. 5 Comparison of the FEM and ESPI results (Mode shape)

Fig. 5에서는 FEM과 ESPI에 의해서 얻어진 모드 2차, 4차를 비교하였다. 결함이 없는 평판은 잘 일치함을 볼수 있으니 결함이 있는 평판에서는 노달라인이(Nodal line) 중앙에서 벗어나 있음을 볼 수있다.

5. 결론

본 연구에서는 일단이 고정된 STS304 평판의 결함에 대한 진동특성을 알아보기 위하여 ESPI 기법과 FEM을 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다

먼저 결함이 없는 평판과 결함이 내재된 평판의 진동특성을 FEM으로 해석 비교하였을때 4차 모드까지의 주파수가 대체로 일치함을 알수 있었고, 최대 오차범위도 10% 이내로 결함에 대한 영향이 미乎其다고 사료된다

ESPI에 의한 진동모드 및 공진주파수 측정방법으로는 결함이 없는 평판에 대한 FEM 해석과 일치하는 반면 결함이 내재된 시험편에 대해서는 동일 모드에서 13-15%의 주파수의 변화를 확인할 수 있었다 또한 FEM에 의한 노달라인의 형상에 거의 빈틈이 없으나 ESPI에 의해 측정된 결과 예상되는 노달라인이 조금씩 중심에서 벗어나는 결과를 볼 수 있었다 이는 최대 진폭점을 갖는 공진점에서 결함에 의해 변위가 예상되는 것과 다른 형상으로 발생한다고 설명할 수 있다

후기

이 논문은 2000년 한국학술진흥재단의 협동연구 과제(KRF-99-042-E00009) 연구비에 의하여 연구 되었으며 이에 관계자 분들께 감사 드립니다.

참고문헌

1. Chien-Ching Ma and Chan-Chial Lin "Inverse Evaluation of Material Constants for Composite Plate by Optical Interferometry Method." AIAA Journal, Vol. 37. No. 8, pp. 947-953, 1999

2. D.J.Gorman. "Vibration of Rectangular Membranes with Linearly Varying Tension and Low Flexural Rigidity," International journal of Analytical and Experimental Modal Analysis. Vol 11. No 1, pp. 106-115, 1996.

3. Kounq-Suk.KIM,et al. "Vibration Modes Measurement of Rectangular Plates Clampd Two Parallel Edges by ESPI," The 9th International Pacific conference on Automotive Engineering, pp. 409-414, 1997.

4. Robert Jones, Catherinc Wykes "Holographic and speckle interferometry," Cambridge UNIV ,PRESS Second edition 1983.

5. Ryszard J Pryputnicwicz "Time average holography in vibration analysis", OPTICAL ENGINEERING, Vol 24, No. 5. pp 843-848, 1985

6. 김경석 외 6. "ESPI를 이용한 인장하중을 받는 STS304 평판의 진동특성평가". 한국정밀공학회. 2000년도 춘계학술논문집 pp. 457-460