

ESPI를 이용한 전자부품 비파괴 신뢰성평가

Non-destructive Reliability Evaluation of Electronic Device by ESPI

윤성운*, 김경석*, 조선희**, 강기수***

Sung Un Yoon*, Koung Suk Kim*, Seon Hyung Jo** and Ki Soo Kang***

초 록 본 연구에서는 국내에서 생산되는 에어컨용 팬의 진동해석을 위해 ESPI를 이용하였다. 기존의 진동해석 실험으로 많이 사용되는 가속도계를 에어컨용 팬에 직접 적용하는 데에는 형상의 제약 등으로 적용이 어려워 비접촉 진동해석기술을 요구하였다. 실험은 가진 장치를 이용하여 팬에 가진을 하고 ESPI를 이용하여 진동모드 및 고유주파수, 고유주파수의 범위를 검사하였다. 또한, 실험결과는 유한요소 해석과 비교되었으며, 실험결과로부터 실제 팬의 사용 회전수에서 제품의 신뢰성을 평가하였다. 본 연구에서 사용된 ESPI는 품질개선을 위한 재질변화 또는 형상변화 시 설계측면에서 효과적인 설계정보를 제공할 수 있으며, 기존의 진동해석 기술의 단점을 보완할 수 있으리라 사료된다.

주요용어: 전자처리스펙클 간섭법, 진동해석, 에어컨용 팬

Abstract This paper propose electronic speckle pattern interferometry(ESPI) for reliability evaluation of electronic device. Especially, vibration problem in a fan of air conditioner, motor of washing machine and etc. is important factor to design the devices. But, it is difficult to apply previous method, accelerometer to the devices with complex geometry. ESPI, non-contact measurement technique applies a commercial fan of air conditioner to vibration analysis. Vibration mode shapes, natural frequency and the range of the frequency are decided and compared with that of FEM analysis. In mechanical deign of new product, ESPI adds weak point of previous method to supply effective design information.

Keywords: electronic speckle pattern interferometry(ESPI), vibration analysis, fan for air conditioner

1. 서 론

본 연구에서는 electronic speckle pattern interferometry(ESPI)를 이용하여 전자제품의 비파괴 신뢰성평가에 응용하고자 한다. 에어컨, 세탁기, 냉장고 등의 전자제품 생산에 있어서 제품자체의 내구성뿐만 아니라 소음 등을 고려한 설계는 필수적이다. 그러나, 많은 진동해석 실험이 가속도계를 이용한 Point by Point 방식으로 에어컨용 송풍팬과 같이 형상이 복잡한 경우에는 고유주파수 해석은 가능하나, 진동모드 해석에는 어려움이 따른다. 또한, 품질개선을 위한

에어컨용 팬의 재질 또는 형상의 변화는 새로운 설계기준을 마련하여야하며, 유한요소해석뿐만 아니라 실험해석이 필요한 사항이다. 유한요소해석에서는 최대 공진주파수(Peak natural frequency)만을 보여주게 되나, 실제적으로는 특정모드에서 넓은 범위에 걸쳐 고유주파수가 존재하게 된다. 에어컨 팬의 경우 전원공급에서부터 시작하여 실제 사용 회전수에 이르기 위해서는 회전수가 점차적으로 상승하게 되고, 이는 넓은 범위의 주파수를 포함하는 것으로 이해할 수 있다. 진동해석을 위해 ESPI를 사용함으로써 고유주파수의 결정뿐만 아니라 진동모드의 생성 및 소멸과정을

(접수: 2001. 11. 4) * 조선대학교 기계공학부(Department of Mechanical Engineering, Chosun University, Kwangju 501-759), ** 동서울대학 금형설계과, *** 조선대학교 대학원

실시간으로 관찰함으로써 고유주파수의 범위까지를 결정할 수 있다. 본 연구에서는 국내 에어컨 생산업체의 도움을 받아 에어컨용 송풍팬의 진동해석을 유한요소 해석과 ESPI 실험을 통하여 진동모드 형상 비교 및 고유주파수의 범위를 결정하여 팬이 실제 사용되는 영역(1500rpm)에서 안전한가를 검증하였다.

2. ESPI

Fig. 1(a)와 같이 레이저 광을 확산 반사면에 조사하고 전방에 스크린을 놓으면 스페클패턴('Objective' speckle pattern)이라 불리우는 밝고 어두운 작은 입자모양의 반점으로 이루어진 반사 패턴이 관측된다. 이것은 불규칙한 위상변화를 동반한 각 산란 중심에서 다양한 방향으로 반사광이 관측면상의 각 점에서 겹치며, 서로 간섭하기 때문에 발생하는 것이다[1,2]. 이때, 스크린 AB에 형성되는 'Objective' speckle의 평균 크기 S_{obj} 는 조사영역의 직경을 D , 관측면과 스크린 AB 사이의 거리를 L 이라 하면[1]

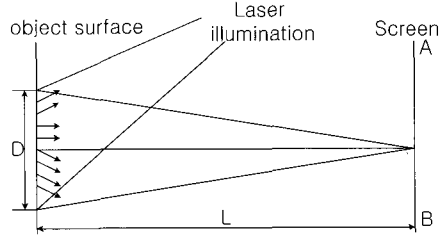
$$S_{obj} \approx 1.2\lambda L / D \dots\dots\dots (1)$$

로 주어지며, 여기서 λ 는 Laser 광의 파장이다. 이때 조사영역을 작게하면 스페클은 커지게 된다. 스페클 패턴의 구조는 물체면상의 광의 복소 진폭분포의 Fourier 변환이라고 생각해도 좋으며 미세한 표면 구조의 변화에 의해 달라지게 된다.

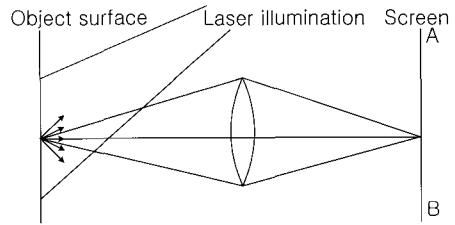
또한 레이저로 조사한 물체면을 렌즈로 결상할 때에도 스페클 현상을 만든다. Fig. 1(b)와 같이 이 스페클 패턴('Subjective' speckle pattern)은 조사면상의 어떤 점에서 다양한 방향으로 반사광이 집광되어 결상면에서 서로 간섭하기 때문에 발생하는 것이며, 이러한 경우의 스페클의 평균 크기 S_{sub} 는 렌즈계의 F -number(조리개비)를 F , 렌즈의 확대계수를 M 이라 하면

$$S_{sub} \approx 1.2(1 + M)\lambda F \dots\dots\dots (2)$$

로 주어진다. 이때의 스페클 크기는 확산표면에서의 크기가 다른 스페클 패턴의 이미지에 대한 것이다. 따라서, 간단한 렌즈이론을 고려하면 확산표면에서의 스페클 크기는 다음과 같다[1].



(a) Objective Speckle Pattern



(b) Subjective Speckle Pattern

Fig. 1 Speckle formation

$$S_{sub} \approx 1.2(1 + M)\lambda \frac{F}{M} \dots\dots\dots (3)$$

이와 같이 스페클 현상은 레이저 광의 가간섭성에 의해 생기며, 홀로그래피에서는 배경잡음(background noise)가 되어 이를 경감시키려는 시도도 행해져 왔다. 그러나 한편으로는 그 성질을 잘 이용한 다양한 계측도 행해지고 있다. 예를 들면 면내변형이나 진동의 측정이 용이하며 기록에는 저해상력의 감광재나 VTR 등도 사용할 수 있으며, 또한 장치의 안정성도 심하게 요구되지 않는 등의 홀로그래피간섭법과는 또 다른 잇점이 있다[3]. 스페클 패턴 간섭계에서 사용되는 기록 매체의 해상도는 홀로그래피에서 요구되는 만큼 높을 필요는 없다. Speckle 크기는 실제로 5~50 μ m의 영역 이내이다. 또한 이 크기는 TV의 해상도의 한계에 부합되도록 하기 위하여 어느 정도 변화될 수 있다. 스페클 패턴의 기록에 대부분 표준 TV 카메라가 이용되며, 이와 같이 photographic speckle 상관에 의한 결과와 동일한 상관 fringe를 생성하는데 비디오 처리를 행한다. 이러한 관점에서 볼 때, electronic speckle pattern interferometry(ESPI)의 주요 특징은 실시간적인 상관 출무늬가 Photography 처리, optical spatial filtering, 건판의 채워치 등 임의의 형태에 구속됨이 없이 TV 모니터 상에 즉시 나타난다는 것이다[4,5]. 또한 스페클 패턴의 한 frame을 기

록하는데 1/30초가 필요하기 때문에 진동의 방지를 위한 노력이 조금은 줄어든다. 사진 재료의 처리를 위한 암실도 필요치 않게 된다. 컴퓨터를 이용하여 전체 처리과정을 조절하고, 변위를 계산하며, 그래픽 형태로 결과를 표현한다. 따라서 ESPI는 홀로그래피 간섭법보다 손쉬운 방법임을 알 수 있다.

3. 실험

ESPI에서 간섭계 구성은 측정하고자 하는 변위방향에 따라 면내변위 간섭계와 면외변위 간섭계로 나뉘어진다. 본 연구에서는 면외 진동해석을 측정하여 진동모드를 가시화하기 위해 면외변위 간섭계를 구성하였으며, 간섭계 구성은 Fig. 2와 같다. 물체로부터 산란되어 CCD 카메라로 들어오는 물체광(objective beam)은 CCD로 바로 들어가는 참조광(reference beam)과 합성되어 간섭을 일으키고 물체의 운동에 따라 모니터에 진동모드를 보여 주게 된다. 실험에 사용된 에어콘용 팬은 국내 에어컨 생산업체에서 지원 받았으며, 가진장치(shaker)는 B&K Co.의 2704를 사용하였고 함수 발생기(function generator)는 HP 3440A를 사용하여 정현가진을 하였다. Fig. 3은 실험에 사용된 에어콘용 송풍팬의 경계조건과 가진장치의 사진을 보여주고 있다. 실제 팬은 1500rpm(25Hz) 정도로 회전을 하며 팬의 설계측면에서 이 영역 근처에서 고유주파수가 존재하지 않아야 한다. 따라서 본 연구에서는 함수발생기의 주파수를 변화하면서 고유모드를 찾고, 이때의 함수발생기의 주파수를 읽어 고유진동수로 결정을 하였다. 팬은 중앙에 원판이 있는 시로코팬이며 중앙의 원판을 기준으로 팬의 좌우가 대칭이라는 점을 감안하여 팬의 1/2 만을 해석하였으며, 또한, 내부 원판의 진동해석을 하였다.

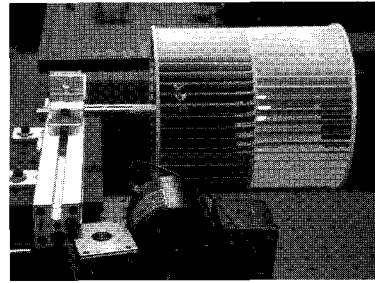


Fig. 3 Boundary condition of a fan

4. 실험결과

실험에서는 팬의 블레이드가 보이는 면과 중앙의 지지 원판에 대한 진동분석을 하였으며, 실험결과는 유한요소 해석과 비교하였다. 실험결과에서 제 1모드는 중앙 원판을 기준으로 팬이 숨쉬는 형태의 모드를 형성하였으며, 제 2모드는 뒤틀리는 형태의 진동을 보여 주었다. Fig. 4는 유한요소해석 결과를 보여주고 있으며, Fig. 5는 ESPI 실험결과로서 중앙의 흰색이 노달라인(Nodal line)를 나타내고 있다. 1모드와 2모드의 운동이 유한요소해석과 일치하며, 4모드는 원판의 운동으로 파악되었다. 실제 팬은 약 25Hz에서 사용이 되며, 실험결과에서 1모드는 65Hz에서 공진주파수를 나타내었으며, 1모드의 주파수 대역은 33-79Hz로 나타났다.

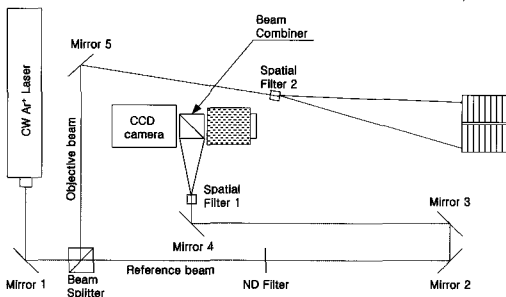


Fig. 2 Out-of-plane ESPI Interferometer

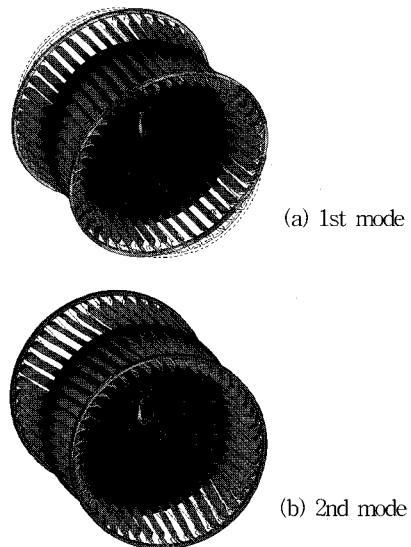


Fig. 4 Vibration Analysis by Finite Element Method

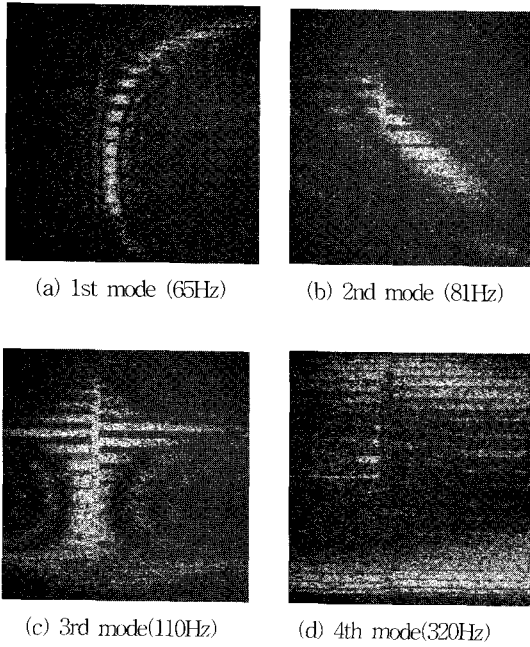


Fig. 5 Vibration Analysis by ESPI

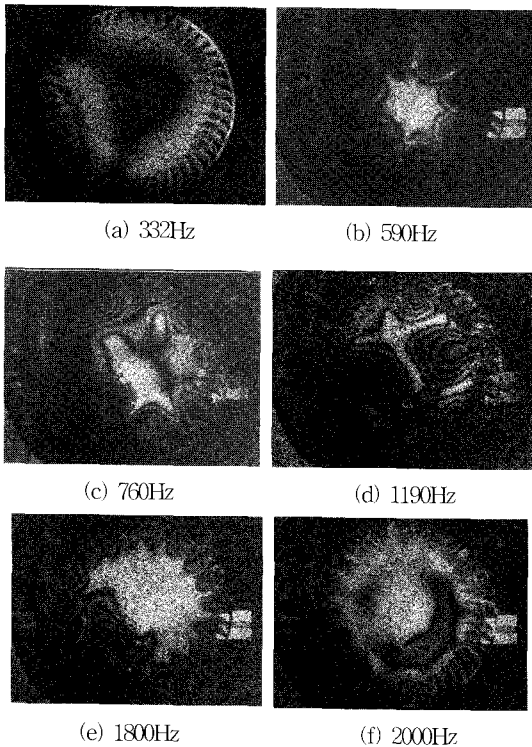


Fig 6 Vibration Analysis by ESPI

Fig. 6은 내부 원판의 진동해석 실험결과이다. Fig. 5(d)는 팬 중앙의 원판의 진동의 영향으로 나타나는 모드 형상으로 이 주파수에서 원판의 진동을 Fig. 6(a)에 나타내었다. 또한 원판의 진동결과에서 Fig. 6(a)와 (b)는 대칭적 진동 분포를 나타낸 반면에 760Hz이상에서는 비대칭 진동모드를 보여 주고 있는데, 이는 각 팬블레이드가 진동함으로서 원판에 영향을 주는 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 연구에서는 실제 국내 생산된 에어컨용 팬의 진동해석에 ESPI 기술을 적용하여 신뢰성을 평가하였다. 에어컨 팬의 경우 형상이 복잡하여 기존의 가속도계 등의 진동해석 기술로는 해석이 어려우며, 대부분이 유한요소해석 등에 의존하여 설계를 하고 있다. 그러나, 실험적 해석기술은 실제 제품생산 전에 반드시 필요한 부분으로 본 연구에서는 ESPI를 사용하여 실험적 검증을 하였다. 실험결과로부터 제품의 사용조건인 1500rpm에서 공진주파수는 존재하지 않았으며, 설계에 문제점이 없는 것으로 파악되었다. ESPI는 전자제품에 사용되는 세탁기 모터 및 냉장고용 압축기 등의 진동해석에 유용한 기법으로 이용될 수 있으리라 사료된다.

후 기

이 논문은 1997년 한국학술진흥재단의 자유응모과제(97-001-E00683) 연구비에 의하여 연구되었습니다.

참고문헌

[1] Cloud, Gary L, "Optical Methods of Engineering Analysis," pp. 395-400, Cambridge University Press, NewYork, (1995)
 [2] Robert Jones and Catherine Wykes, "Holographic and speckle interferometry," 2nd Edition, Cambridge University Press, NewYork, pp. 51-61, (1998)
 [3] Ed. by Rajpal S. Sirohi, "Speckle Metrology," Marcel Dekker Inc, New York, pp. 157-194, (1995)
 [4] P. Hariharan, "Optical Holography," 2nd Edition, Cambridge University Press, New York, pp. 291-310, (1994)
 [5] 김경석 외, "ESPI기법에 의한 하중을 받는 균열 박판의 진동 특성에 관한 연구", 한국비파괴검사학회, 비파괴검사학회지, Vol. 21, No. 2, pp. 182-188, (2001)