

ESPI를 이용한 에어컨용 시로코펜의 신뢰성평가

김경석¹⁾, 강기수²⁾, 양승필³⁾

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. However, it is difficult to apply previous method, accelerometer to the devices with lightweight and complex geometry. ESPI, non-contact measurement technique is applied for vibration analysis of a sirocco fan inside air conditioner. 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 is able to supply effective design information.

1. 서론

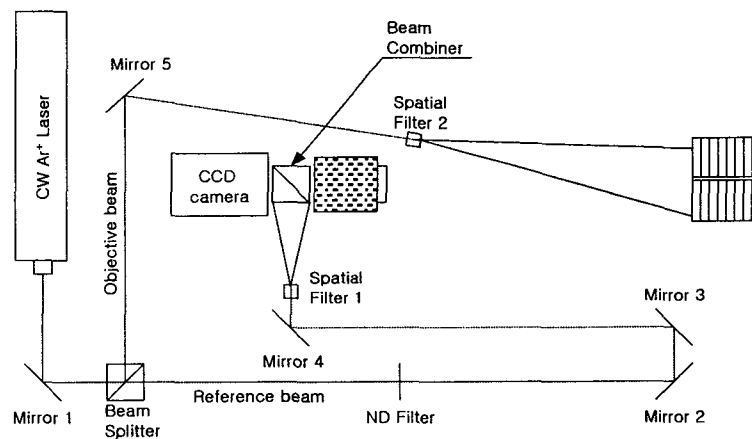
본 연구에서는 Electronic Speckle Pattern Interferometry(ESPI)를 이용하여 전자제품의 신뢰성평가에 응용하고자 한다. 에어컨, 세탁기, 냉장고 등의 전자제품 생산에 있어서 제품자체의 내구성뿐만 아니라 소음 등을 고려한 설계는 필수적이다. 그러나, 많은 진동해석 실험이 가속도계를 이용한 Point by Point 방식으로 에어컨용 송풍팬과 같이 형상이 복잡하고 경량의 경우에는 고유주파수 해석은 가능하나, 센서의 부착의 어려움으로 진동모드 해석에는 무리가 따른다. 또한, 품질개선을 위한 제품의 재질 또는 형상의 변화는 새로운 설계기준을 마련하여야 하며, 유한요소해석뿐만 아니라 실험해석이 필요한 사항이다. 이를 위해 유한요소해석 기법을 많이 사용하고 있으나, 실험결과는 완전한 경계조건을 만족할 수 없을 뿐만 아니라, 최대 공진주파수(Peak natural frequency)만을 보여주며, 실제적으로는 특정 모드에서 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 것

-
- 1) 조선대학교 기계공학부
 - 2) 조선대학교 대학원
 - 3) 동아인재대학 안경광학과

으로 이해할 수 있다. 진동해석을 위해 ESPI를 사용함으로써 고유주파수의 결정뿐만 아니라 진동모드의 생성 및 소멸과정을 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(1500 rpm)에서 안전한가를 검증하였다.

2. ESPI

광학적으로 거친표면을 가진 대상체에 레이저빔을 조사하고 렌즈에 의해 결상하면 결상면에 작은 입자모양의 스페클이 발생하는데 이 스페클에 의해 만들어진 불규칙한 반점 모양을 스페클패턴이라 한다. 이러한 특성과 컴퓨터 영상처리 기술을 접목하여 대상물의 거동에 대한 변위를 해석할 수 있으며, 이 기술을 ESPI라고 한다. ESPI는 간섭계와 신호처리부로 나누어질 수 있다. [Fig. 1]은 진동해석을 위한 간섭계를 나타내었다. [Fig. 1]에서 레이저에서 발생된 빔이 광 분할기(Beam splitter)를 통해 두 빔으로 나누어져, 하나는 CCD카메라에 연속적으로 입사되는 기준광(Reference Beam)이 되고, 다른 하나는 대상체에 조사되어 반사된 빔이 CCD카메라에 입사되는 물체광(Object Beam)이 된다. 이 두 빔이 광 합성기(Beam combiner)에서 간섭을 일으키게 되고 이때의 이미지가 CCD카메라의 수광소자에 입사된다. 신호처리부에서는 측정체의 변형 전후 상태의 이미지를 저장시켜 감산처리(Subtraction)함으로써 진동모드를 가시화하게 된다[1,2].



[Fig. 1] ESPI Interferometer for out-of-plane displacement measurement

즉, CCD카메라가 감지하는 변형전의 광의 세기는 물체광과 기준광의 간섭 형태로 식 (1)과 같은 강도 I_{before} 으로 나타낼 수 있다. 또한, 진동에 의해 변형이 발생하였을 때 CCD 카메라에 의해 나타내지는 광의 세기 또한 물체광과 기준광의 간섭으로 식(2)와 같은 강도 I_{after} 로 나타낼 수 있다[3,4].

$$I_{before} = I_R + I_O + 2\sqrt{I_R I_O} \cos \phi \quad (1)$$

$$I_{after} = I_R + I_O + 2\sqrt{I_R I_O} \cos(\phi + \Delta\phi) \quad (2)$$

여기서, I_O 와 I_R 은 물체빔과 기준빔의 강도이며, ϕ 와 $\Delta\phi$ 는 스페클의 위상과 변형된 위상이다.

TV System은 물체에 변위가 일어나기 전 이미지의 세기 분포에 해당되는 전자적인 비디오 신호를 CCD의 수광소자를 통하여 화상처리장치의 메모리에 기록하고, 변위가 발생하면, 그에 상응하는 이미지의 강도 분포를 비디오 신호로 전환하여 변형전의 이미지 신호와 전자적으로 감산 처리한다. 출력 카메라의 신호 I_{before} 와 I_{after} 가 입력 화상의 강도에 비례하므로, 감산된 광의 강도는 식(3)와 같다.

$$\begin{aligned} I &= I_{before} - I_{after} \\ &= 2\sqrt{I_R I_O} [\cos \phi - \cos(\phi + \Delta\phi)] \end{aligned} \quad (3)$$

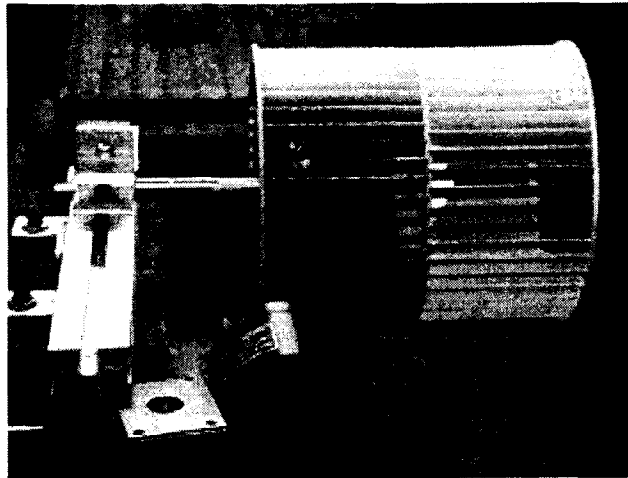
이때, 빛의 휘도(Brightness) 분포식은 식(4)으로 정의되며 밝고 어두운 줄무늬 패턴이 나타나게 된다[5].

$$B = K \left| \sqrt{I_R I_O} \sin\left(\phi + \frac{1}{2} \Delta\phi\right) \sin\left(\frac{1}{2} \Delta\phi\right) \right| \quad (4)$$

3. 실험

ESPI에서 간섭계 구성은 측정하고자 하는 변위방향에 따라 면내변위 간섭계와 면외변위 간섭계로 나뉘어진다. 본 연구에서는 면외 진동해석을 측정하여 진동모드를 가시화하기 위해 면외변위 간섭계를 구성하였다. 실험에 사용된 에어컨용 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. 2]는 실험에 사용된 에어컨용 송풍팬은 시로코팬(Sirocco fan) 사진으로 경계조건과 가진장치의 사진을 보여주고 있다. 실제 팬은 에어컨 내부에서 1500 rpm(25 Hz) 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.

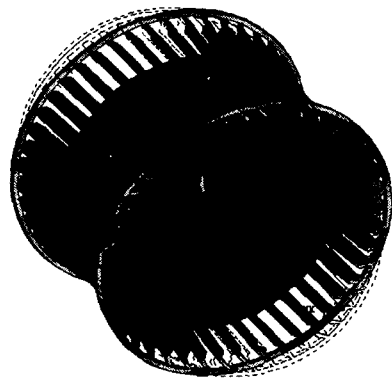


[Fig. 2] Boundary condition of a sirocco fan

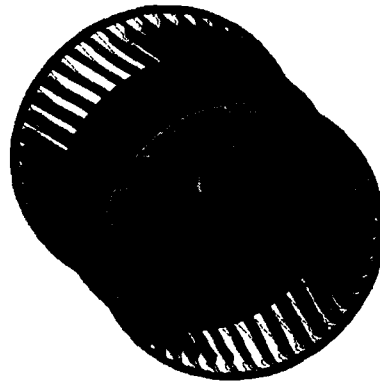
4. 실험결과

4.1 진동해석 실험

실험에서는 팬의 블레이드가 보이는 면과 중앙의 지지원판에 대해 ESPI를 이용하여 진동분석을 하고, 유한요소해석 결과와 비교하였다. 제 1 모드는 중앙 원판을 기준으로 팬이 숨쉬는 형태의 모드를 형성하였으며, 제 2 모드는 뒤틀리는 형태의 진동을 보여 주었다. [Fig. 3]는 유한요소해석 결과를 보여주고 있으며, [Fig. 4]는 ESPI 실험결과로서 중앙의 흰색이 노달라인(Nodal line)를 나타내고 있다. 1모드와 2모드의 운동이 유한요소해석과 일치하며, 4모드는 원판의 운동으로 파악되었다. 실제 팬은 약 25 Hz에서 사용이 되며, 실험결과에서 1모드는 65 Hz에서 공진주파수를 나타내었으며, 1 모드의 주파수 대역은 33-79 Hz로 나타났다.



(a) 1st mode(71 Hz)



(b) 2nd mode(86 Hz)

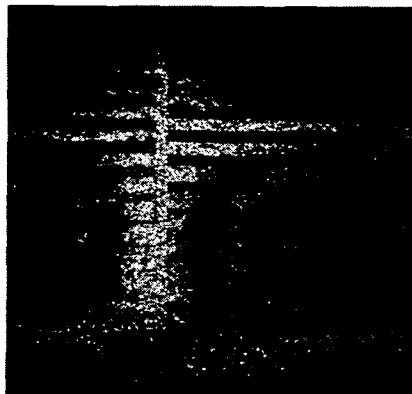
[Fig. 3] Vibration Analysis by Finite Element Method



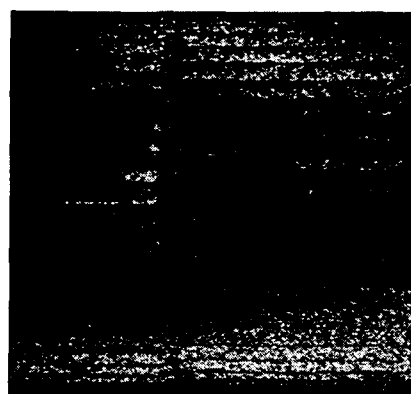
(a) 1st mode (65 Hz)



(b) 2nd mode (81 Hz)



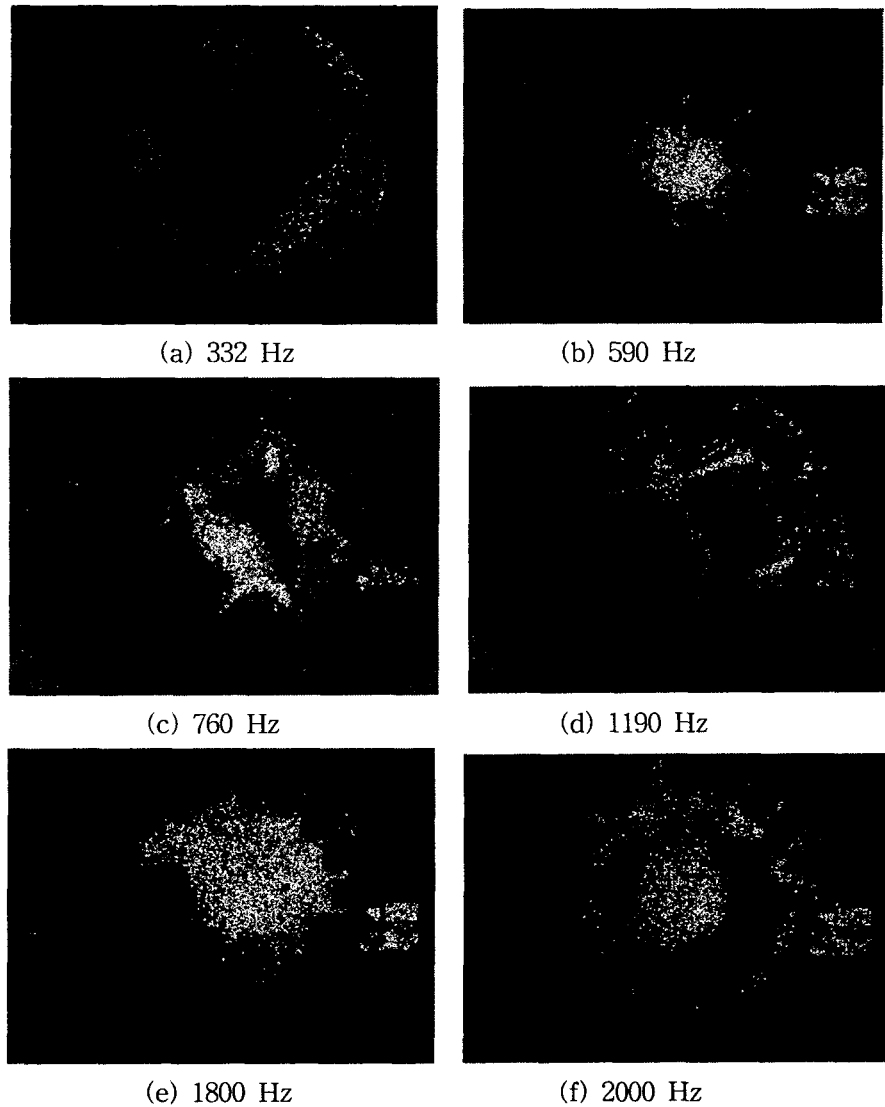
(c) 3rd mode(110 Hz)



(d) 4th mode(320 Hz)

[Fig. 4] Vibration Analysis by ESPI

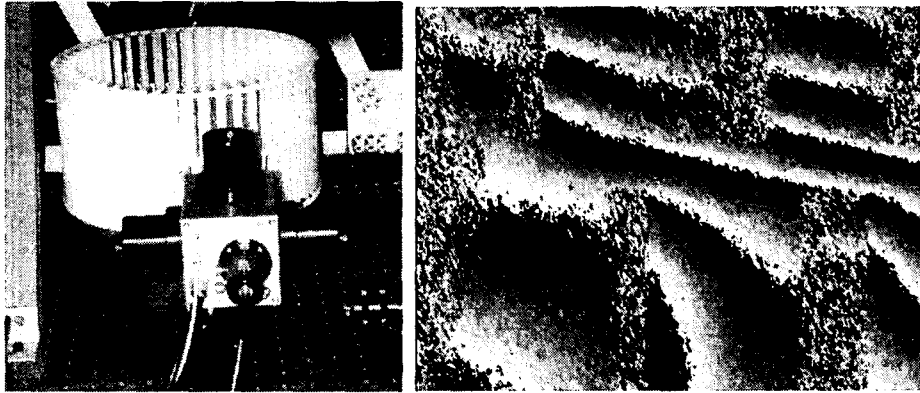
[Fig. 5]은 내부 원판의 진동해석 실험결과이다. [Fig. 4](d)는 팬 중앙의 원판의 진동의 영향으로 나타나는 모드형상으로 이 주파수에서 원판의 진동을 [Fig. 5](a)에 나타내었다. 또한 원판의 진동결과에서 [Fig. 5](a)와 (b)는 대칭적 진동 분포를 나타낸 반면에 760 Hz이상에서는 비대칭 진동모드를 보여 주고 있는데, 이는 각 팬블레이드가 진동함으로서 원판에 영향을 주는 것으로 사료된다.



[Fig. 5] Vibration Analysis by ESPI

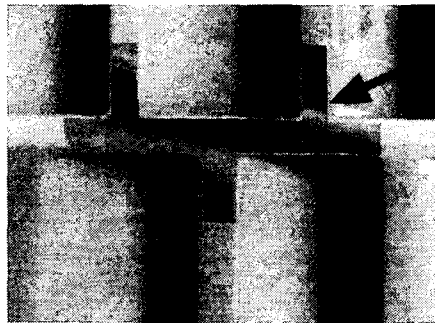
4.2 변형해석

시로코 팬의 신뢰성평가 관점에서 공기압에 대한 적절한 강성을 유지하여야 한다. 장기간 사용시 팬의 블레이드가 파손이 되는 경우가 있으며, 변형해석을 위해 ESPI를 사용하여 팬에 균등하게 공기압 작용한다는 가정으로 팬의 균일 분포 하중을 가하고 각 블레이드에서 변형해석을 하였다. [Fig. 6](c)의 실험결과에서 급격히 변형량이 바뀌게 되며 취약점으로 지적된다.

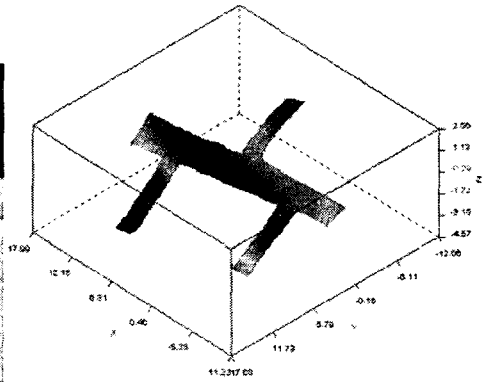


(a) 실험장치 구성

(b) ESPI 프린지 패턴



(c) 해석부의 변형분포



(d) 3D 변형 분포

[Fig. 6] 시로코 팬의 변형해석

5. 결론

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 유한요소 해석등에 의존하여 설계를 하고 있다. 그러나, 실험적 해석기술은 실제 제품

생산 전에 반드시 필요한 부분으로 본 연구에서는 ESPI를 사용하여 실험적 검증을 하였다. 실험결과로부터 제품의 사용조건인 1500 rpm에서 공진 주파수는 존재하지 않았으며, 설계에 문제점이 없는 것으로 파악되었다. ESPI는 전자제품에 사용되는 세탁기 모터 및 냉장고용 압축기 등의 진동 해석에 유용한 기법으로 이용될 수 있으리라 사료된다.

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, NewYork, 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)