신뢰성응용연구
제5권, 제4호. pp.439-450, 2005

연구논문

ESPI를 이용한 전자제품 패키지 열변형 신뢰성 평가에 관한 연구

조 지 현*, 이 재 혁*, 박 상 영**, 장 중 순**, 김 광 섭**

*삼성전자(주), **아주대학교 산업공학과

A Study on the Reliability Evaluation of Thermal Deformation of Electronic Product Package by ESPI

Ji-hyun Cho*, Jae-hyuk Lee*, Sang-young Park**, Joong-soon Jang**, Gwang-sub Kim**

*Samsung Electronics, **Department of Industrial Engineering, Ajou University

Abstract

Thermal deformation of Digital Television effect friction noise directly. However there was no methods to find and to solve the thermal friction noise which is huge problem in Digital Television. In this study, to figure out occurrence cause of friction noise of the product, we measured thermal deformation of the product to organize a triggering device united with Laser Doppler Vibrometer(LDV) which turned occurrence moment of thermal friction noise into a possibility to measure. In conclusion, we could offer an effective information of design, and ensured ESPI(Electronic Speckle Pattern Interferometry) measure technique which is more detailed than the past way.

Keyword : ESPI, Thermal friction noise, Laser Doppler Vibrometer

1. 서 론

최근 산업기술은 초고온, 극저온과 같은 극한환경과 고분해능을 요구하고 있으며 계측 및 검사기술도 이러한 기술적 요구에 부합해야 한다. 레이저 스페클 간섭법(Laser speckle interferometry)은 레이저를 이용해 광학간섭계의 변화만으로 비접촉고분해능으로 물체의 변형 및 응력해석, 비파괴 검사, 진동해석에 활용 되고 있다. 이 기술은 한번 측정으로 레이저가 조사되는 면적전체 측정이 가능하고, 실시간 계측 및 검사가 가능하다. 기존 홀로그래피(holography)와 같은 맥락으로 이해할 수 있지만 화상처리기술의 발전과 함께 기존 홀로그래피가 같은 복잡한 기록 및 재생과정을 컴퓨터를 이용함으로서 산업적 활용도를 높인 검사 기술이다. 레이저광과 같은 간섭성이 우수한 빛을 물체의 표면에 조사했을 때 물체표면의 거칠기에 의해 레이저는 산란과 간섭이 일어나 반점 같은 무늬를 형성하게 되며, 이를 스페클패턴이라고 한다. 물체 표면의 정보를 지니고 있는 스페클 패턴의 성질을 이용해 물체의 변위나 변형, 속도의 측정, 진동의 해석, 이중성의 관측 등을 할 수 있다.

이 스페클 패턴은 물체의 표면변형 정보를 포함하게 되며, 스페클 패턴을 기록 처리함으로서 물체의 표면변형 정보를 얻을 수 있다. 또한, 물체의 변형이 일어나면, 스페클패턴은 물체의 표면변형과 함께 변화하게 되며, 물체의 변형 후의 스페클패턴이 화상처리장치에 의해 기록이 되어 진다. 이 두 개의 변형 전후의 스페클패턴을 실시간 감산 처리함으로서 프린지패턴(fringe pattern)을 얻을 수 있으며, 이 프린지 패턴의 줄무늬 간격은 물체의 변형과 관련이 있다. 즉, 스페클패턴의 간격을 적절히 처리함으로서 물체의 변형 전후의 변형정보를 얻을 수 있다.

본 연구에서는 이러한 일련의 기술들은 물체의 변형 및 응력해석, 진동해석을 위한 전자처리 스페클 패턴 간섭법(ESPI : Electronic Speckle Pattern Interferometry) 측정시스템을 이용하여 전자제품의 비파괴 신뢰성 평가에 응용하고자 한다. 전자제품의 생산에 있어서 제품자체의 내구성뿐만 아니라 소음, 열변형 등을 고려한 설계는 필수적이다. 특히 부품산업에서는 용접, 기계가공, 압연과 같은 많은 재료 가공 공정이 있다. 이러한 공정에서 만약 변형으로 인하여 부품에 미세한 표면 결함이 존재하는 상태에서 완제품이 되어 사용한다면, 그 제품은 피로 파괴와 부식으로 인하여 갑작스런 파괴가 일어나는 심각한 결과를 초래하게 될 것이다. 이러한 상황을 미연에 방지하고자 현장에서는 이미 많은 비파괴 방법을 활용하고 있다. 현재 일반적인 방법으로 많이 쓰이고 있는 비파괴 변형측정 방법으로 X-선 회절법, 중성자 회절법, 초음파법과 Barkhausen noise등이 있다. 하지만 이러한 방법들은 넓은 영역에 걸쳐 한번에 검출되지 못하고 탐촉자나 필름이 위치하는 부분으로 검사영역이 한정되는 단점이 있으며, 특히 중성자 회절법의 경우에는 원자로와 같이 강한 중성자 원료가 필요하기 때문에 산업현장으로 확대되지 못하고 실험실 수준으로 제한적으로 사용되고 있다.

이에 본 연구는 위 실험기법들의 단점을 보완함과 동시에 관측범위가 넓고 원거리 검사가 가능한 레이저 계측법의 일종인 전자 스펙클 패턴 간섭법(ESPI)을 이용하여 작동상태에서 텔레비전 뒷면 커버의 변형을 실시간으로 측정하였다. 그 결과로 유한요소해석에서는 고유진동수(Peak Natural Frequency)만을 보여주게 되나, 전원공급에서부터 시작하여 실제 사용조건까지는 Rear Cover 부분은 점차 열이 증가하게 되고 이때 넓은 범위에 걸쳐 발생하는 열변형 해석을 ESPI 측정법을 사용함으로서 고유진동수 결정뿐만 아니라 진동모드의 생성과 소멸과정을 실시간(Real-time)으로 관찰함으로써 소재의 열변형 형상을 유추할 수 있었다.

2. ESPI 측정 이론

ESPI 시스템은 사용 목적에 따라 광학계의 구성이 달라지는데 물체가 응력, 진동 또는 열 등에 의한 영향을 받는다면 간섭 줄무늬 패턴은 화상 내에서 관측되며 줄무늬로부터 물체의 변위량을 결정할 수 있다. 본 논문에서 적용한 ESPI 측정법은 면외 변위 측정기법 중 이중 펄스 노광법을 이용하였다. 이중 펄스 노광법은 둘 이상의 다른 상태에 있는 물체의 이미지를 하나의 화면에 기록하는 방법이며 물체의 모든 정보는 줄무늬 패턴으로 기록되며 이 줄무늬는 재형성되어 원래의 화상에 중첩된다.

물체광이 Z축을 따라 이동한다고 하면 홀로그램은 두 개의 완전하면서 서로 구분된 홀로그램을 지니게 된다. 물체광 U_{o1}, U_{o2}는

$$U_{o1} = A_1(x, y)e^{i\Phi_1(x,y)} \quad (1)$$

$$U_{o2} = A_2(x, y)e^{i\Phi_2(x,y)} \quad (2)$$

이며 여기서, A_1, A_2는 각각 물체광 1, 2 의 진폭이며, ϕ_1, ϕ_2는 각 물체광 1, 2의 위상이다.

노광 중에 물체의 이동은 매우 미소하여 다른 것은 변하지 않으므로 물체로부터의 진폭 분포는 크게 변하지 않는다.

따라서 $A_1(x, y) = A_2(x, y) = A(x, y)$이라 할 수 있고 새로운 위상은 변화를 더하여 다음과 같이 표현된다.

$$\phi_2(x, y) = \phi_1(x, y) + \Delta\phi(x, y)$$

물체의 이동은 광의 파장에 비례하여 커지게 되며, 위상의 변화 또한 커지게 된다. 허상에

상당하는 주요 재생 광의 복소진폭 U_1 와 광의 세기 I 를 구하면,

$$U_1 = KA(x, y)e^{i\phi(x, y)} + e^{i[\phi(x, y)+\Delta\phi(x, y)]} \qquad (3)$$

$$I = U_1 U_1^* = K^2 A^2(x, y)[2 + e^{-i\Delta\phi(x, y)} + e^{i\Delta\phi(x, y)}] \qquad (4)$$

위 식으로 부터 물리적 의미를 찾기 위하여 식 (5) 를 삼각함수 형태로 바꿀 수 있다.

$$I = 2K^2A^2(x, y)1 + \cos[\Delta\phi(x, y)] \qquad (5)$$

이것은 물체의 세기 분포에 위상에 관한 항이 곱해졌음을 나타낸다. 즉, 물체의 화상이 변조되거나 원래의 화상에 단순한 Two-Beam 간섭법의 특성을 지니고 있는 밝고 어두운 줄무늬가 겹쳐지게 된다. 어두운 줄무늬는 다음에서 일어난다.

$$\cos\Delta\phi + 1 = 0 \quad \Delta\phi = n\pi, \; n = 1, 3, 5... \qquad (6)$$

밝은 줄무늬는 위상이동이 일어나는 π 의 짝수배인 곳에서 점의 궤적이라 할 수 있다.

3. 실험 장치 구성

본 연구에서는 디지털 텔레비젼 Rear Cover의 변형을 측정하기 위해 면외 변위에 민감한 이중 펄스 EPSI System을 Fig.1 과 같이 구성하여 실험하였다.

이중 펄스 ESPI는 샘플의 열마찰 소음에서 순간적인 변형 이미지를 포착하기 위하여 Laser Doppler Vibrometer (LDV) 로부터 바꾸어 놓는 기폭 장치를 설치하였고, 파장 λ =694nm 로 이루어진 3J Ruby 펄스 레이져는 가(可)간섭성의 광원(coherent light source)이 사용되었다. 면외 변위 간섭 측정을 위해 레이저 빔은 빔 스플리터에 의해 2개 부분 즉, 물체광(Object beam)와 표준광(Reference beam)으로 나누어 시스템을 구성하였다. 물체로부터 산란되어 CCD 카메라로 들어오는 물체광은 CCD로 바로 들어가는 표준광과 합성되어 간섭을 일으키고 물체의 운동에 따라 모니터에 변형모드를 보여 주게 된다.

시스템은 Fig.1 과 같이 레이저 광을 확산 반사면에 조사하고 전방에 스크린을 놓으면 스페클패턴(Objective speckle pattern)이라 불리는 밝고 어두운 작은 입자 모양의 반점으로 이루어진 반사 패턴이 관측된다. 이것은 불규칙한 위상변화를 동반한 각 산란 중심에서 다양한 방향으로 반사광이 관측면상의 각 점에서 겹치며, 서로 간섭하기 때문에 발생하는 것이다. 이와 같이 스페클 현상은 레이저 광의 가(可)간섭성에 의해 생기며, 홀로그래피에서는 배경잡음(background noise)이 되어 이를 경감시키려는 시도도 행해져 왔다. 그러나 한편으로는 그 성질을 잘 이용한 다양한 계측도 행해지고 있다. 면내변형이나 진동의 측정이 용이하며 기록에는 저 해상력의 감광제나 VTR 등도 사용할 수 있으며, 또한 장치의 안정성도 심하게 요구되지 않는 등의 홀로그래피간섭법과는 또 다른 이점이 있다. 스페클 패턴 간섭계에서 사용되는 기록 매체의 해상도는 홀로그래피에서 요구되는 만큼 높을 필요는 없다.

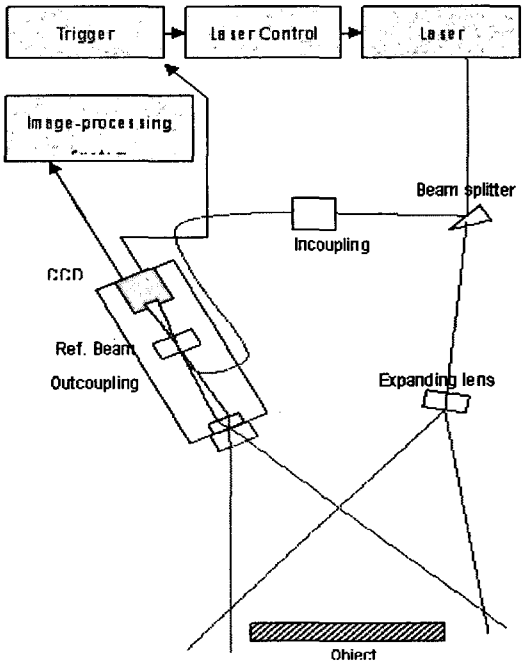


Fig.1 이중펄스(Double Pulse) EPSI System

Speckle의 크기는 실제로 5~50 μm의 영역이내이다. 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 interfer ometry(ESPI)의 주요 특징은 실시간적인 상관 줄무늬가 photography 처리, optical spatial filternig, 건판의 재위치 등 임의의 형태에 구속됨이 없이 TV 모니터 상에 즉시 나타난다는 것이다. 또한 스페클 패턴의 한 frame 을 기록하는데 1/30 초가 필요하기 때문에 진동의 방지를 위한 노력이 조금은 줄어든다. 사진 재료의 처리를 위한 암실도 필요

치 않게 된다. 컴퓨터를 이용하여 전체 처리과정을 조절하고 변위를 계산하며, 그래픽 형태로 결과를 표현한다. 따라서 ESPI는 홀로그래피 간섭법보다 손쉬운 방법임을 알 수 있다. 또한 트리거 시스템은 Fig.2 와 같이 2개의 출력으로 나누어지는 기폭 장치로 구성하였다.

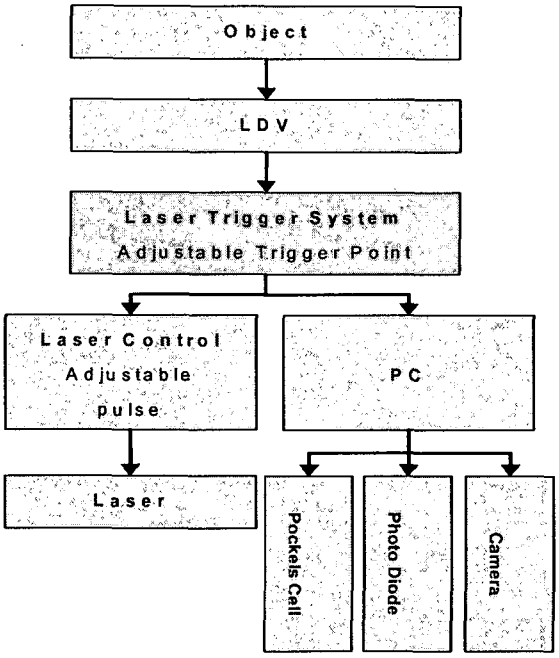


Fig.2 Trigger System Set-up

4. 실험 및 결과

노이즈 측정으로부터 얻어진 실험결과는 Fig.3 와 같다. 노이즈 레벨은 36dBA 이상이며, 열변형 노이즈는 power off 상태보다도 power on 상태에서 발생한다는 것을 발견하였다.

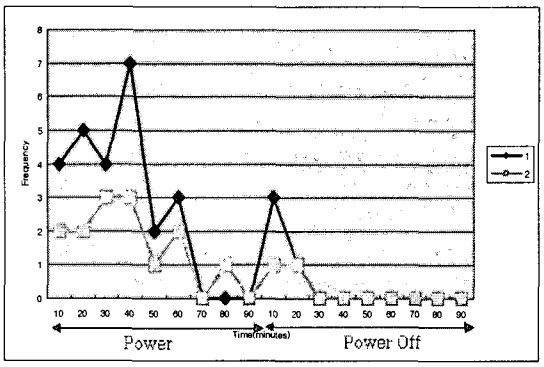


Fig.3 The result of noise measurement

노이즈 발생 원인을 찾아내기 위하여 Fig.4, 5 와 같이 DTV Rear Cover에 8 points를 설정한 후 온도 측정을 통해 분석하였다. 내부 할로겐램프에 의해 발생된 열기는 (1)의 배출구를 통해 강제 송풍 팬에 의해 소모된다.

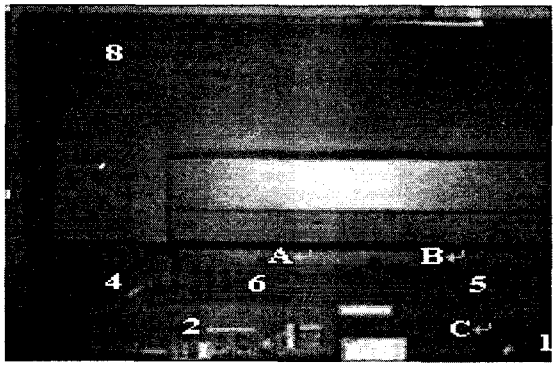


Fig.4 The measurement points of temperature and strain

이것은 모든 8 points에서 power off의 상태에서 최고 온도와 power on 상태에서 최고 온도를 Fig.5 의 (1) point을 보고주고 있다. (1)의 온도는 40분까지 급속하게 증가하고 그 이후에는 완만하게 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 power off 상태에서 (1)의 상태는 10분 동안 매우 급속히 감소하고 10분 후에는 완만하게 감소한다는 것을 알 수가 있다. 반면에 (5), (6)에서는 power off 후 10분 동안 온도가 증가함을 알 수 있다.

그 이유는 냉각팬의 갑작스런 멈춤은 열기를 식혀주는 것을 방해하기 때문이다. 온도 분포의 불균형은 연결 부분에서 변형의 원인이 되며 패널의 연결부분에서 열 마찰 노이즈를 발생시키기 때문이다.

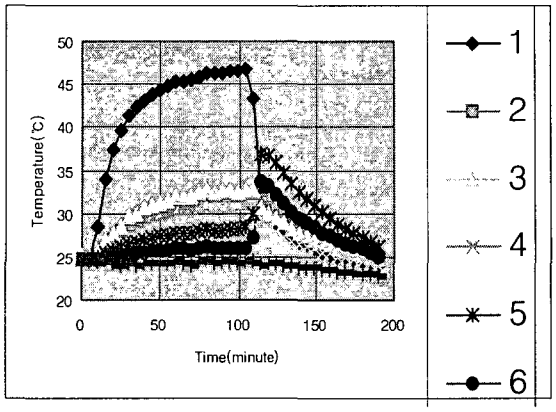
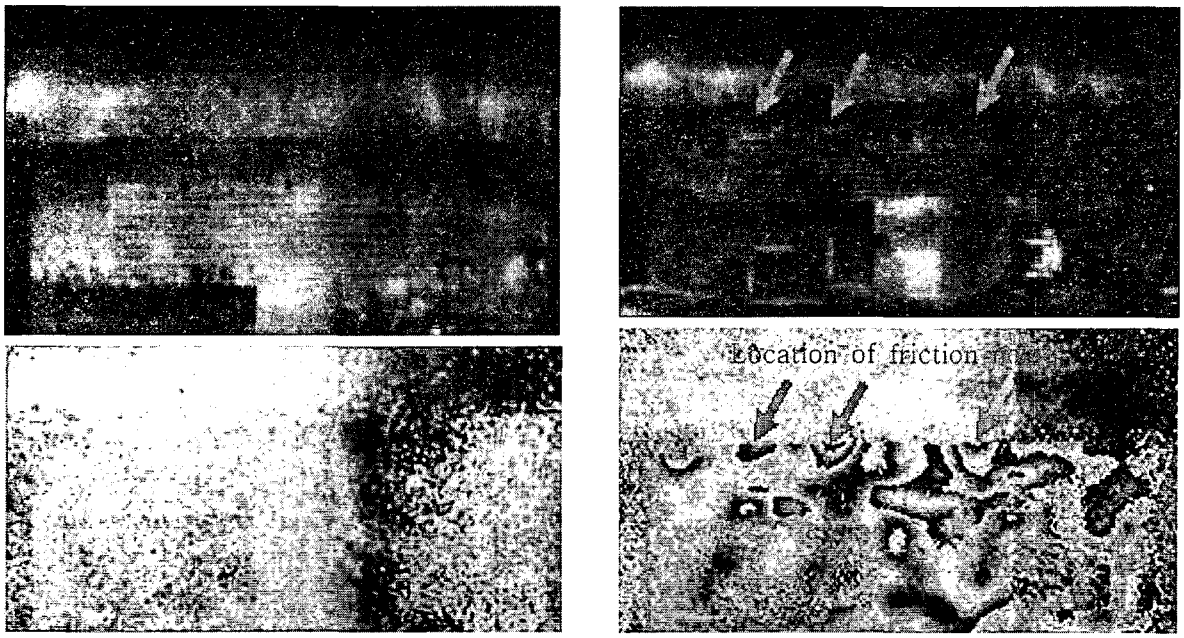


Fig.5 The result of temperature measurement

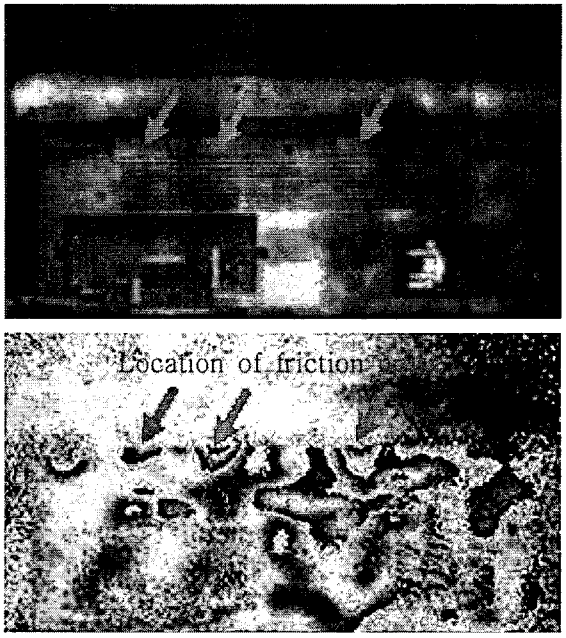
기폭장치로 결합된 이중 펄스 ESPI 측정법을 이용하여 마찰 노이즈 발생 순간에 200μs 동안에 rear cover의 모든 영역에서 변형 현상을 찾았다.

Fig.6 에서 그림 (a)는 마찰 노이즈 없이 지속적인 열변형을 보여준다. 어쨌든 그림 (b), (c)는 아래쪽의 패널의 상위 경계영역에서 국부적인 변형을 나타내며 이는 열 마찰 노이즈의 위치가 아래쪽의 패널의 상위 경계영역에 있다는 증거이다. 이곳은 이중 펄스 ESPI가 상,

하 패널이 결합된 경계의 영역사이에서 열응력 차이는 Slip의 원인이 되며 그 것은 열 마찰 변형과 노이즈를 발생시킨다는 것을 알 수 있다.



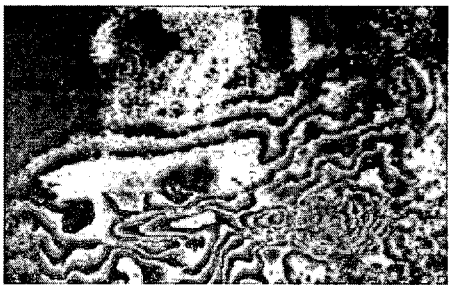
(a) No occurrence of friction noise (b) Location of thermal friction noise



(C) Location of thermal friction noise (Powered off state)

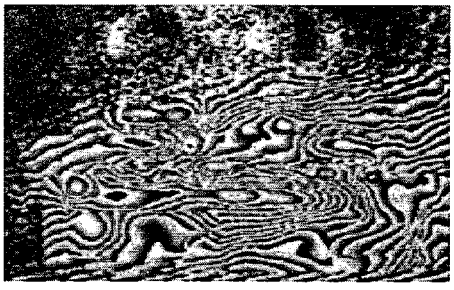
Fig.6 The deformation results from double pulse ESPI

(a) phase in 10 minutes (on)



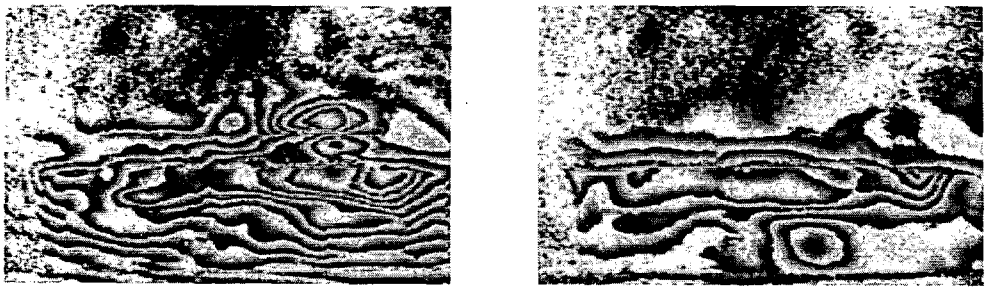
(b) phase in 40 minutes (on)

(c) phase in 90 minutes (on)



(d) phase in 10 minutes (off)

Fig.7 Phase shift images in the state of power on/off



(e) phase in 40 minutes (off)　　(f) phase in 90 minutes (off)

ESPI 결과를 검증하기 위하여 단일 펄스 ESPI와 Strain으로부터 위상 이동 이미지들을 분석하였다. Fig.7 과 같이 위상 이동 이미지들은 분리시간 15초 동안에 변형 상태를 촬영한 것이다. 이중 펄스 ESPI와 단일 펄스 ESPI를 비교해서 긴 시간 동안 측정했기 때문에 열형의 전반적인 패턴을 관찰 할 수 있다. 위상 이동 간격은 변형의 정보를 가지고 있으며 더 조밀한 가장자리의 간격은 더 큰 변형을 가지고 있다는 것을 (a) 에서 보여 주고 있으며, 하부 패널의 오른 쪽이 다른 쪽 보다 더 많이 변형된 것을 관찰할 수 있다. 또한 (a), (b), (c)는 따뜻하게 열을 가한 상태에서 하위 패널이 상위 패널과 비교해서 많은 열팽창을 가지고 있다고 설명할 수 있다. 그리고 하위 패널의 조밀한 가장자리 간격들이 큰 변형을 의미하기 때문에 40분 후에 최대 확장이 있음을 알 수 있다. 냉각 상태에서 (d), (e), (f)는 power off 후 10분경에 큰 축소를 나타냈으며 10분 후에는 작은 축소를 보였다. 이 같은 결과는 노이즈, 온도 및 ESPI 분석을 통해 확인할 수가 있었다. 디지털 텔레비전 Rear Cover에 대하여 열변형의 영향을 시험분석을 통해 하위 패널은 상위 패널 보다 변형이 크다는 것을 알아 낼 수가 있었다. 상, 하부 패널의 변형의 차이에 따라 슬립은 상, 하부 패널이 접합되는 경계부분에서 발생할 수 있다. 스트레인 결과는 Fig.4 의 B점이 갑작스런 온도와 스트레인 변화 때문에 rear cover 의 열변형이 가장 취약한 지점이라는 것을 보여주고 있다.

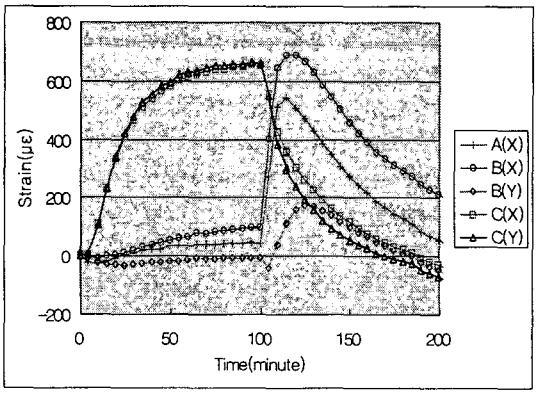


Fig.10 The result of strain measurement

5. 결 론

ESPI 는 주로 물체의 표면변위를 측정해 변형 및 응력해석, 진동해석 분야에 많이 활용되며 특히 물체로 조사된 레이저는 면적을 동시에 측정이 가능하다는 장점이 있고, 최근에는 레이저 스페클 간섭법의 고분해능의 장점을 이용하여 MEMS 분야에서 micro-engine 변형해석, 열변형해석, 박막재료 물성평가 등의 적용사례가 많이 보고되고 있다. 본 연구에서도 이러한 ESPI 의 장점을 살려 실험 장치를 구성하였으며, 기폭장치로 결합된 이중 펄스 ESPI 측정법을 이용하여 마찰 노이즈 발생 순간에 200μs 동안에 rear cover의 모든 영역에서 변형 현상을 찾아보았다. 본 연구의 목적은 예측할 수 없는 열 마찰 노이즈의 판별을 위해 이중 펄스 ESPI 기술을 적용하여 열변형 원인을 찾아내는 것이었다. 이 방법은 디지털 텔레비전의 rear cover 부분을 측정하기 위하여 열 마찰 노이즈에 의해 순간적인 미세 변형 형상을 기폭장치로 구성된 이중 펄스 ESPI 측정 시스템을 적용하여 보여줬다. 또한 하부 패널과 상부 패널의 경계 지점에서 열 마찰 노이즈가 발생한다는 사실을 찾아냈으며 노이즈의 측정과 온도, 스트레인 변화 및 위상 측정은 이중 펄스 ESPI 측정기술의 정확성을 검증하기 위하여 확인하였다. 이러한 사실로부터 이중 펄스 ESPI 측정기술은 순간적으로 발생하는 열 마찰 노이즈, 즉 10 μm 이하의 매우 작은 미소 변형의 전 부분을 측정할 수 있는 아주 유용한 도구임이 틀림없다는 것을 입증하였다.

참고문헌

[1] 김동원 외 5, 2005, "ESPI를 이용한 MEMS용 소재의 열팽창 계수 온도 의존성 평가"

[2] 정승택 외 4, 2005, "ESPI를 이용한 반도체 패키지 내부결함 검사에 관한 연구"

[3] R. Jones and C. Wykes, 1983, "Holograpics and Speckle Interferometry" , Cambridge University Press. London

[4] K. Rastogi, 1994, "Holograpics interferometry" , Berlin, Germany

[5] A. Brozeit, J. Burke, H. Helmers, H. Sagehorn and R. Schuh, 1998, Noise reduction in electronic speckle pattern interferometry fringes by merging orthogonally polarised speckle fields

[6] Steinbichler Optotechnik GmbH, 2003, "Double ESPI operation manual"

[7] Katia Genovese, Luciano Lamberti and Carmine Pappalettere, 2004, A comprehensive ESPI based system for combined measurement of shape and

deformation of electronic components

[8] Basanta Bhaduri, N. Krishna Mohan and M.P. Kothiyal, 2005, A dual-function ESPI system for the measurement of out-of-plane displacement and slope,

[9] M.J. Huang and Bo-Son Yun, 2005, Self-marking phase-stepping electronic speckle pattern interferometry (ESPI) for determining a phase map with least residues