

# 초음파 서모그라피를 이용한 빠른 PCB 결함 검출

## Fast Defect Detection of PCB using Ultrasound Thermography

조재완, 정현규, 서용철, 정승호, 김승호  
(JaiWan Cho, Hyunkyu Jung, Yong Chil Seo, Seung Ho Jung, and Seung Ho Kim)

### Abstract

Active thermography is being used since several years for remote non-destructive testing. It provides thermal images for remote detection and imaging of damages. Also, it is based on propagation and reflection of thermal waves which are launched from the surface into the inspected component by absorption of modulated radiation. For energy deposition, it use external heat sources (e.g., halogen lamp or convective heating) or internal heat generation (e.g., microwaves, eddy current, or elastic wave). Among the external heat sources, the ultrasound is generally used for energy deposition because of defect selective heating up. The heat source generating a thermal wave is provided by the defect itself due to the attenuation of amplitude modulated ultrasound. A defect causes locally enhanced losses and consequently selective heating up. Therefore amplitude modulation of the injected ultrasonic wave turns a defect into a thermal wave transmitter whose signal is detected at the surface by thermal infrared camera. This way ultrasound thermography(UT) allows for selective defect detection which enhances the probability of defect detection in the presence of complicated intact structures.

In this paper the applicability of UT for fast defect detection is described. Examples are presented showing the detection of defects in PCB material. Measurements were performed on various kinds of typical defects in PCB materials (both Cu metal and non-metal epoxy). The obtained thermal image reveals area of defect in row of thick epoxy material and PCB.

**Key Words : Active Thermography, Ultrasound, PCB, Defect Detection, Infrared Camera**

### 1. 서론

능동 서모그라피(active thermography)는 원격 비파괴 진단용으로 오래전부터 사용되어 왔다. [1][2] 이의 간단한 원리는 검사하고자 하는 시편, 구조물에 인공적인 열을 가한다. 검사 시편의 표면에 입사된 열파(thermal wave)는 구조물에 전파되어 결함이 있는 위치에서 반사된다. 계속되는 열파의 전파 및 반사의 반복되는 과정에서 크랙, 박리 등의 결함위치의 열적 특성이 진전 부위와 온도 차이를 이루게 된다. 이러한 온도 차이를 적외선 열영상 카메라로 관측하여 결함위치를 찾아내는 방식이다. 구조물에 인공적인 열을 가하는 열원으로는 할로겐 램프, 마이크로 웨이브, 탄성파 등 다양하게 사용되고 있다. 인공적인 열원으로 초음파를 사용하여 결함 부위에 전달되는 열적 특이성을 적외선 열영상 카메라로 진단하는 방식을 초음파 서모그라피로 정의한다.[3] 초음파 여기 탄성파가 구조물에 전달될 때 결함 부위에서만 선택적으로 발열현상이 야기되므로 결함을 신속 정확하게 측정할 수 있다. 초음파 서모그라피를 이용한 비파괴 결함진단은 주로 항공기, 자동차 등의 복합재료 등의 결함검출에 주로 사용되고 있다. [4][5]

본 논문에서는 초음파 서모그라피를 이용하여 복합 재료인 PCB 기판의 결함 검출에 대해 기술한다. PCB는 에폭시

(epoxy) 기판에 동판을 식각하여 회로를 구성하는 전자부품이다. 절연체인 에폭시와 전도체인 구리의 복합재료이다. 초음파가 PCB에 입사되면 회로를 구성하는 에폭시와 구리선(회로 라인)의 경계면에서 발열현상이 일어난다. 에폭시와 구리의 열물성 특성(전도도, 비열, 방사율)이 다르기 때문에 초음파에너지가 입사된 후 일정 시간이 경과되면, 에폭시기판과 동선의 온도 특성이 명확하게 구분된다. 구리는 빨리 가열되지만 전도성이 좋기 때문에 빨리 식어버린다. 에폭시는 구리에 비해 가열이 늦게 이루어지지만 비열특성이 높아서 초음파 탄성파로부터 흡수한 열을 오래 간직하고 있다. 동선과 에폭시 기판의 명확한 열특성 차이를 열영상 카메라로 관측하면 PCB 설계, 제작상의 에러를 실시간으로 검출할 수 있다. PCB 기판에 임의로 결함을 내어 실험한 결과 초음파 에너지를 PCB 기판에 입사시킴과 동시에 PCB의 결함을 실시간으로 검출할 수 있었다.

### 2. 초음파 서모그라피 시스템

#### 2.1 초음파 서모그라피의 원리

그림 1은 초음파 서모그라피의 원리를 나타내고 있다. 결함이 있는 구조물에 짧은 펄스의 초음파 에너지를 가하면 크

랙, 박리(delamination) 부위에서 미세한 움직임이 야기된다. 이러한 움직임은 마찰 또는 히스테리시스에 의한 것으로 볼 수 있으며 이에 의해 결합부위에서만 국부적으로 열이 발생한다. 결합 부위의 국부적인 발열현상을 적외선 열영상 카메라로 관측하면 전체적으로 어두운 배경에서 밝은(휘도가 높은) 패턴으로 보이게 된다.

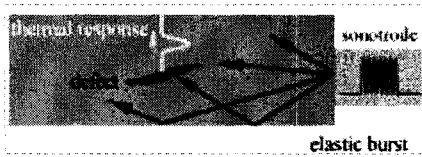


그림 1. 초음파 서모그래피의 원리

따라서 결합만을 선택적으로 관측할 수 있다. [6] 초음파에 의한 탄성파가 결합 부위에 도달함과 동시에 발열현상이 나타나므로 이를 열 영상 카메라로 관측하면 초음파 에너지를 구조물에 인가한 후 수 ms 이내에 밝은 패턴이 관측된다. 30Hz 주사율(frame rate)을 갖는 열영상 카메라로 결합의 국부적인 발열패턴을 검출할 경우 프레임 사이의 간격인 33ms 이내에 결합을 관측하기 위해서는 결합에 인가되는 초음파 에너지의 여기 펄스폭이 33ms 이상이 되어야 함을 의미한다.

### 2.2 초음파 서모그래피를 이용한 결합 검출 시스템

그림 2에 초음파 서모그래피를 이용한 결합 검출 시스템을 보이고 있다.

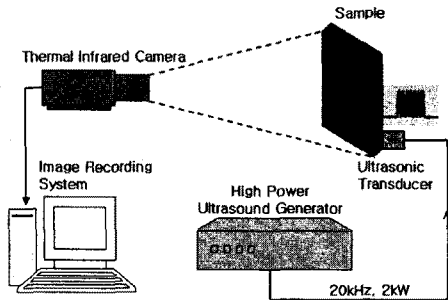


그림 2. 초음파 서모그래피를 이용한 결합검출 시스템 구성도

초음파 서모그래피에 사용되는 초음파 여기 주파수는 15kHz~40kHz 범위에 이르며 일반적으로 20kHz 대역이 널리 사용된다. 본 논문에서 사용한 초음파 트랜스듀서는 ULSSO HIGHTECH 사의 용착기용 진동자 ULW6520B 모델을 사용하였다. [7] 그림 3에 초음파 트랜스듀서에 인가되는 입력파형 및 초음파 트랜스듀서의 진동특성을 laser vibrometer VS-100 으로 측정한 결과를 보이고 있다. 그림 3-(a)는 고출력 초음파 발생장치에서 초음파 트랜스듀서에 인가되는 입력파형을 1000배의 고전압 프로브로 관측한 파형이며, 그림 3-(b),(c),(d)는 초음파 트랜스듀서 및 시편의 진동을 레이저

진동 측정기로 측정한 결과를 보이고 있다.

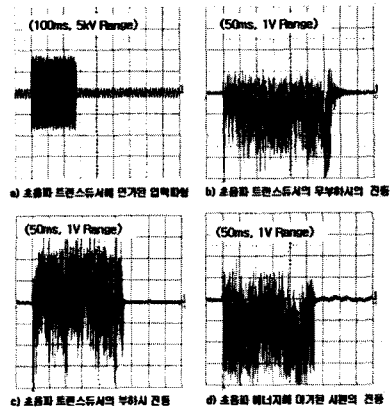


그림 3. 초음파트랜스듀서의 진동 특성

여기서 부하라 함은 초음파 에너지의 결합효율(coupling efficiency)을 높이기 위해 트랜스듀서와 시편 사이에 일정한 압력(또는 힘)이 전달되어야 한다는 것을 의미한다. 그림 3의 (b)와 (c),(d)를 비교하면 부하가 걸렸을때의 트랜스듀서 및 시편의 진동파형의 펄스폭(duration)이 입력파형의 펄스폭과 일치함을 알 수 있다. 초음파 에너지를 효율적으로 시편에 전달하기 위해서는 초음파 트랜스듀서와 시편 사이에 일정한 압력이 걸려 있어야 함을 뜻한다. 트랜스듀서와 시편 사이에 인가되는 압력이 세면 세라믹과 같은 부서지기 쉬운 물질의 경우 파단의 위험성이 뒤따른다.

### 3. 실험 및 결과

그림 4에 실험 장치를 보이고 있다. 시편을 베이스에 놓아두고 초음파 트랜스듀서를 시편과 압착시킨다. 시편과 초음파 트랜스듀서의 결합효율을 높이기 위해 알루미늄 접착 테이프를 시편에 부착하였다.

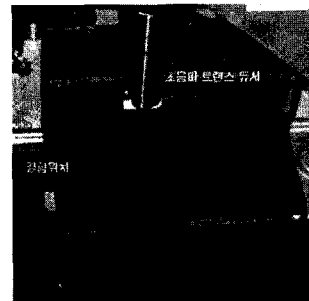


그림 4. 실험 장치

적외선 열영상 카메라는 Stirling Cooling 방식의 미쯔비시 IRM-500을 사용하였다. IRM-500은 3~5 $\mu$ m 파장대의 스펙트럼 특성을 보이고 있으며, 열상 센서는 쇼트키 배리어 방식의 FPA(Focal Plane Array) PtSi(Platinum Silicide) 소자이며

512X512 크기의 픽셀수를 갖고 있다. 센서 어레이의 실제 크기는 0.52"X0.4"이며, 한 픽셀의 공간 분해능은 25.8X19.8 $\mu$ m이다. 열영상 렌즈는 f#1.2의 밝은 50mm 적외선 렌즈를 사용하였다. 실험 시편은 그림 5에 나타낸바와 같이 1.8T 두께의 PCB 기판에 가로X세로X높이로 3X12X1.7mm 크기의 홈을 인위적으로 생성하였다.

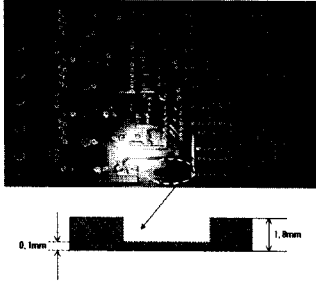


그림 5. PCB 시편의 결합 단면

그림 4에 나타낸 바와 같이 280ms 펄스폭의 초음파 에너지를 PCB 기판에 인가한 직후의 결합을 낸 반대 기판면에서 PCB 결합부위의 열적 특성을 적외선 열상카메라로 관측한 결과를 그림 6에 나타내었다.

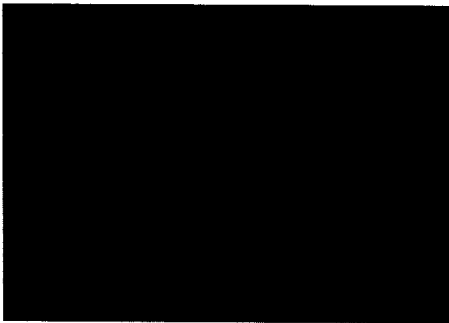


그림 6. 적외선 열 영상 카메라로 관측한 PCB 기판의 결합부위에서 관측된 발열특성

그림 6은 그림5의 결합단면의 반대 면에서 초음파 에너지에 의해 PCB 기판의 결합부위의 발열 특성을 적외선 열상카메라로 관측한 것이다. 그림에서 밝게 빛나는 패턴이 그림 5의 PCB 단면의 결합 부위를 나타내고 있다. 초음파 에너지가 전달된 후의 결합 PCB의 발열 특성은 22 프레임(660ms) 동안 관측되었다. 최초로 결합부위의 발열 특성이 관측된 시점에서 6 번째 프레임(200ms)이 경과한 때에 관측 열영상의 콘트라스트가 가장 우수하였고 시간이 경과하면서 콘트라스트가 미약하여졌다. 이는 6번째 프레임에서 결합부위와 건

전부위와의 온도차이가 가장 큼을 의미한다. 본 실험 결과로부터 PCB 기판의 결합부위에서 발생하는 발열특성을 열영상으로 관측하고, 이를 PCB 설계도면과 비교함으로써 PCB 제작상의 결함을 실시간으로 검출할 수 있음을 확인하였다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 초음파 시모그래피를 이용하여 복합 재료인 PCB 기판의 결합 검출에 대해 기술하였다. PCB는 에폭시(epoxy) 기판에 동관을 식각하여 회로를 구성하는 전자부품이다. 절연체인 에폭시와 전도체인 구리의 복합재료이다. 초음파가 PCB에 입사되면 회로도면을 지지하는 에폭시와 구리선(회로 라인)의 경계면에서 발열현상이 일어난다. 에폭시와 구리의 열물성 특성(전도도, 비열, 방사율)이 다르기 때문에 초음파에너지가 입사된 후 일정 시간이 경과되면, 에폭시 기판과 동선의 온도 특성이 명확하게 구분된다. 동선과 에폭시 기판의 명확한 열특성 차이를 열영상 카메라로 관측하면 PCB 설계, 제작상의 에러를 실시간으로 검출할 수 있다. 실험 결과로부터 초음파 에너지가 전달된 후의 결합 PCB의 발열 특성은 22 프레임(660ms) 동안 관측되었으며, 최초로 결합부위의 발열 특성이 관측된 시점에서 6 번째 프레임(200ms)이 경과한 때에 관측 열영상의 콘트라스트가 가장 우수하였음을 확인하였다.

#### 참 고 문 헌

- [1] A. Dillenz, T. Zweschper, G.Riegert, and G. Busse, Progress in phase angle thermography, Review of Scientific Instruments, Vol.74, No. 1, p. 417, 2003.
- [2] G. Busse, Optoacoustic phase angle measurement for probing a metal, Appl. Phys. Lett. Vol. 35, p. 759, 1979.
- [3] D. Wu, A. Salerno, U. Malter, and G. Busse, Inspection of aircraft structural components using lock-in thermography, Quantitative Infrared Thermography, p. 251, 1997.
- [4] Th. Zweschper, A. Dillenz, and G. Busse, Inspection of aerospace structures with ultrasound lock-in-Thermography, <http://www.ndt.net/article/wcndt00/papers/idn312/>
- [5] G. Lutz, Inspection of copper canisters for spent nuclear fuel by means of ultrasound, Technical Reports TR-04-03, 2004.
- [6] A. Dillenz, G. Busse, and D. Wu, Ultrasound lockin thermography: feasibilities and limitations, Proc. SPIE Vol. 3827, p. 10, 1999.
- [7] <http://ulsso.com/index1.html>

저자 소개

한국 원자력 연구소 원자력 로봇 LAB 책임연구원