

# 초음파 공진 피로시험시 적외선 열화상 카메라를 이용한 구조재료의 온도분포평가

## Temperature Distribution of Structural Materials under Ultrasonic Fatigue Testing by Infrared Thermography

\*최만웅<sup>1</sup>, #박희상<sup>1</sup>, 조인식<sup>2</sup>, 박인규<sup>2</sup>

\*M. Y. Choi<sup>1</sup>, #H. S. Park(m55nring@naver.com)<sup>1</sup>, I. S. Cho<sup>2</sup>, I. G. Park<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국표준과학연구원, <sup>2</sup>선문대학교

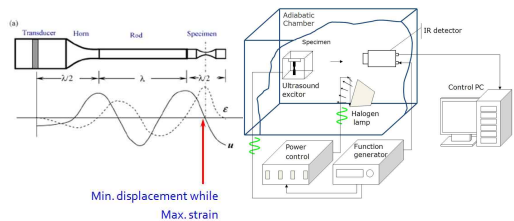
Key words : Ultrasonic Fatigue Test, Infrared Thermography, Temperature Distribution

### 1. 서론

산업이 고도화되고 급성장함에 따라 기계 핵심 부품에 대한 정밀도와 더불어 내구성이나 신뢰성에 대한 수요가 급증하며, 그 한도 또한 매우 장시간을 요구하고 있다. 일례로 자동차 내연기관 부품이나 고속철 차륜 그리고 발전 및 항공기용 블레이드 등은 초가속수명시험법(Highly Accelerated Life Testing)이란 내용으로 부품 시스템의 내구신뢰성 확보를 위해서 선진국에서는 자동차분야, 우주분야, 핵분야, 항공분야 등 사용 조건 자체가 열악하거나 접근하기가 어려운 경우 수억~수십억 cycle의 내구성을 요구하는 다양한 분야를 대기업과 국가연구기관에서 주도적으로 구축하고 있으며, 각 분야마다 신뢰성 관련 규격 제정을 선도하여 배타적인 기득권을 획득하고 있는 상황이다. 이에 맞추어 선진 학계에서는 ASTM이나 전문 학회(Very High Cycle Fatigue)를 통해 활발하게 많은 응용 연구를 진행하고 있을 뿐 아니라 새로운 시험법을 표준으로 제안하고 있다.<sup>1)</sup> 하지만 현재 실용화 되고 있는 고주기 내구성 피로 시험기로는 Linear motor 방식과 Electroforce 방식으로 약 50~200 Hz의 속도가 최고 속도이므로 수십억 cycle 시험을 하기에는 너무 장시간이 소요되고 있는 실정이다. 이에 가속피로시험평가(Accelerated Fatigue Testing)기술로써, 새로운 공정, 새로운 재료의 응용 주기를 획기적으로 줄일 수 있는 수십㎍의 초음파 피로시험기술(Ultrasonic Fatigue Test)이 그 대안으로 각광받고 있다. 따라서 본 논문에서는 초음파 피로시험에 따른 열적특성평가를 위해서 적외선열화상 카메라를 이용하여 초기크랙과 전파, 파괴까지의 온도분포분석을 결정구조와 미세조직이 다른 두 재료에 대해 열용량과 열전도도로 평가하고자 하였다.

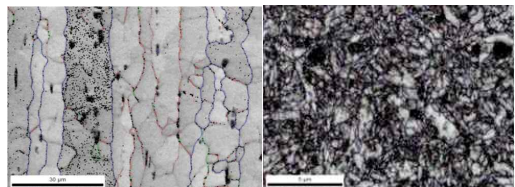
### 2. 시험장치 및 방법

초음파피로시험장치 주 구성부는 자동 튜닝 발전부(generator)로 2,500W이며, 그림 1의 (a)와 같이 전기적인 에너지를 기계적 탄성진동에너지로 변환하는 20 kHz 압전세라믹(piezoelectric) 진동부와 탄성진동 전달 및 증폭시키는 혼(horn)과 최대 응력(Strain) 해석을 통해 정밀 제작된 전용 시편부로 구성되어 있고, 정밀변위 및 공진 주파수 측정을 위한 센싱 & 모니터링 시스템 제어부가 시스템으로 구성되어 있으며, 초음파 피로시험시 적외선 열화상 카메라를 분석하기위한 장치구성은 그림 1의 (b)와 같이 구축되어 있다.<sup>2)</sup>



(a) ultrasonic fatigue test (b) Infrared Thermography  
Fig. 1 System for test equipment

### 3. 적용재료



(a) Al6061-T6 (b) SAE 52100 steel  
Fig. 2 A cross-sectional EBSD observations

그림 2는 본 실험에서 사용된 A6061-T6재료와 SAE52100 bearing steel의 단면부 EBSD(Electron Back-Scattered Diffraction) 결정조직 분석 결과이며, 표 1은 변위제어 0.05 mm/sec로 인장시험결과 각각 두시편의 기계적 특성값을 보여주고 있다.

Table 1 Mechanical properties of A6061-T6 and SAE 52100 bearing steel

Specimen	Yield Strength (MPa)	Ultimate tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	Young's Modulus (GPa)	Micro hardness (Hv)
A6061-T6	276	310	20	68.9	125
SAE 52100	410	700	7	210.0	520

Table 2 Conditions of ultrasonic fatigue test

Specimen	Displacement ( $\mu\text{m}$ )	Loading frequency (kHz)	Stress ratio	loading time (sec)
A6061-T6	34~45	20	R=-1	80
SAE 52100	24~34			

표 2는 각 소재에 대한 초음파피로시험을 위한 조건으로 공진주파수는 20 kHz, 피로 응력비는 R=-1로 인장 및 압축이며, Strain과 관련된 변위조절은 발전기의 출력을 조절하여 단계별로 20초씩 상승시키고 상온에서 시험하였으며, 시험편이 파단날 때까지 적외선 열화상카메라를 이용한 연속촬영을 시도하여 온도분포를 분석하였다.

#### 4. 시험결과 및 고찰

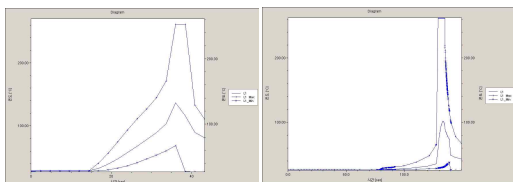


Fig. 3 Temperature distribution of ultrasonic fatigue test

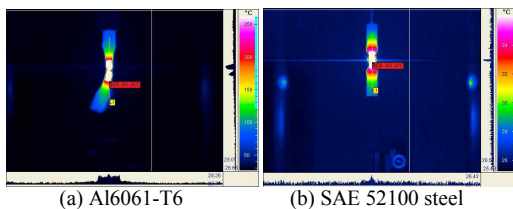


Fig. 4 Infrared thermography result

그림 3은 시간에 따른 온도분포로써 두 시편모두 25°C

에서 시작하여 최종 파단시 262°C로 확인되었다. 여기서 260°C로 급격히 상승한 원인은 크랙이 발생하고 Effective Volume 및 탄성공진의 응력집중에 의한 것으로 판단된다. 하지만 A6061-T6의 경우 온도상승시작과 최고온도까지 중간온도 분포를 보면 SAE52100 bearing steel과는 다르게 점진적인 온도상승의 차이점을 확인 할 수 있었다. 이는 두 재료의 결정 및 미세구조와 열적특성인 비열과 열전도도 그리고 피로과정으로 설명되어 질 수 있다.

첫째, Al합금은 FCC결정구조이고, 조대한 미세조직이면서, 낮은 적층결합에너지를 갖는 재료이다. 이에 반해 Steel 합금은 BCC결정구조이며, 치밀한 미세조직으로 높은 적층결합에너지를 갖는다.

둘째, 표 3과 같이 Al합금은 비열과 열전달계수가 Steel 합금에 비해 2배 이상 높은 것을 알 수 있다. 비열(specific heat)은 단위질량의 재료온도를 1°C 올리는 데 필요한 에너지로 시편의 온도증가는 대상재료의 비열과 가해진 일의 함수이므로 비열이 작을수록 온도가 높아진다.

이와같이 피로과정과 연계하여 판단해보면 Al합금은 연성재료로써 크랙의 전파수명동안의 온도상승분포를 명확히 확인할 수 있었고, 대신 Steel 합금의 경우는 크랙 시작과 함께 급격한 파단현상을 확인할 수 있었다.

Table 3 Physical properties of A6061-T6 and SAE 52100 bearing steel<sup>3)</sup>

Specimen	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Melting Point (°C)	Specific heat (J/kg K)	Thermal conductivity (W/m K)
A6061-T6	2630-2820	476-654	880-920	121-239
SAE 52100	6920-9130	1371-1532	448-502	15-52

#### 5. 결론

결정구조가 다른 두가지 시편에 대한 초음파피로시험 시 적외선 열화상 카메라로 온도분포를 분석한 결과 연성 재료이면서, 비열이 높은 Al 합금의 경우 Steel과는 달리 피로전파과정동안의 온도분포를 확인할 수 있었으며, 급격한 온도상승은크랙에 의한 탄성공진의 응력집중에 따른 Effective Volume에 의한 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. "Ultrasonic fatigue testing" ASM, Vol. 8, p.718.
2. 박희상, 최만용, 박정학의 "초음파적외선 열화상을 이용한 이종배관 용접부의 결함검출" 한국정밀공학회, 99, 149-150, 2010.
3. 김낙수, 임용택, 진종태 "공업재료가공학" 제2판, 116-117, 1993