

## 고온에서 ESPI에 의한 특수강의 열팽창계수 측정에 관한 연구

김 경 석,\* 양 승 필,\*\* 김 형 수\*\*

\* : 조선대학교 기계설계공학과

\*\* : 조선대학교 대학원

(1993. 3. 7 접수)

**요 약** CW레이저, 비디오장치, 화상처리장치를 이용한 ESPI를 고온에서 자유 열팽창하는 열팽창계수 측정에 적용하였다. ESPI는 이미 선정된 방향의 면내 변위분포를 나타내 준다. ESPI는 간섭 줄무늬를 실시간으로 나타내 주며 면에 비접촉이고 표면의 준비가 필요없다는 장점이 있다. ESPI를 고온에 적용함에 있어서 줄무늬의 가시도를 저하시키는 여러가지 문제점에 당면하게 된다. 고온 물체 주위의 뜨거운 공기로 인한 요란의 문제는 진공용기를 사용함으로 해결될 수 있을 것이다. 물체의 배경방사는 간섭 필터에 의해 매우 감소되었다. 물체의 표면 산화의 문제는 해결될 수 없었다. Human-Error를 방지하기 위해 FFT에 의해 계산된 간섭 줄무늬 간격은 800°C까지 관찰되었다. ESPI에 의해 측정된 결과는 800°C까지 이미 발표된 데이터와 거의 일치했다.

### 1. 서 론

공학에서 사용되는 많은 재료들에 대한 열 방지 system과 내열 구조기능이 하나가 되는 초경량 구조의 개발이 행해지고 있고, 이들의 연구가 급선무가 되고 있다. 그러나 모두 실험적 연구에 그치고 있고, 커다란 장애가 되고 있는 것은 초고온 하에서의 변형과 변형의 측정방법이 확립되어 있지 않다는 것이다. 1,000°C가 넘는 초고온 하에서의 측정은 종래의 고온 strain gauge나 모아레법<sup>1)</sup> 등의 방법으로는 해결 곤란한 문제점이 많고, 새로운 측정법의 개발이 강하게 요구되어지고 있다.

본 연구에서 사용한 laser speckle은 laser

광을 물체의 확산면에 조사할 때, 그 반사광의 중앙에 혹은 조사면의 결상 중앙에 발생하는 작은 불규칙한 입자모양의 반점으로서, 물체 표면에 있는 불규칙한 격자라고 간주할 수 있다. 이 speckle 보다 널리 알려진 입자모양을 speckle-pattern<sup>2), 3)</sup>이라 한다. Speckle은 물체의 변형에 따라 이동하고, 그 pattern은 변화한다. Speckle-pattern의 이와같은 성질을 이용하여 물체의 변형을 측정하는 연구가 행해지고 있지만 이런 것들은 주로 상온 하에서의 측정에 관한 것이고 종래의 방법에서는 측정 곤란한 초고온 하에서의 적용이나, 변형 측정방법으로 확립하려고 하는 연구는 거의 보이지 않았다. 그러나 이 측정법은 비접촉의 이점이 있기 때문에 고온하의



$$L_1 = u \cos\theta - u \sin\alpha - w \sin\theta - w \cos\alpha \dots\dots\dots (1)$$

로 생각할 수 있다. 같은 그림에서 광속 2에 의한 변화량  $L_2$ 는

$$L_2 = -u \cos\theta - u \sin\alpha - w \sin\theta - w \cos\alpha \dots\dots\dots (2)$$

가 된다. 일반적인 조사광속은 또 하나의 일반적인 광속에 대해서 참조광이라고 간주할 수 있으므로 검출되어지는 변형 전후의 실질적인 길이변화  $\Delta L$ 은 다음 식에서 나타내지는 것처럼 각 광로길이 변화의 차가 된다.

$$\Delta L = L_1 - L_2 = 2u \cos\theta \dots\dots\dots (3)$$

이 차에 의해 줄무늬의 명암이 결정된다. 즉, 변형 전후의 광로길이 변화  $\Delta L$ 이 laser 파장의 정수배가 되며 표면부에서 speckle의 휘도는 변형 전후의 pattern과 같아지므로 그 차를 빼면 0이 되고 그러한 부분은 검은 줄무늬가 된다. 그외의 부분에서는  $\Delta L$ 값에 대응하는 밝은 줄무늬가 된다. 따라서 물체 상 위에 형성되는 줄무늬는 식 (3)에 의해 일정한 변위  $u$ 를 나타낸다. 줄무늬 차수를  $n$ , laser의 파장을  $\lambda$ 라 하면, 변위  $u$ 의 크기는 다음 식으로 나타내진다.

$$u = n \lambda / (2 \cos\theta) \dots\dots\dots (4)$$

Speckle-pattern의 간섭을 TV camera에 의해 촬영하고, 화상처리에 의한 변형 측정법을 특별히 ESPI라고 한다. Speckle-pattern간섭법에는 다른 사진에 의한 방법이 있지만 고온에서는 공기 요란에 의해 노광중에 speckle-pattern이 변할 때 줄무늬의 변화를 관찰하기 곤란하다. 고온에서 줄무늬를 얻기 위해서는 pulse-laser의 사용을 생각할 수 있지만 고가이기 때문에 일반적으로 사용하지 않는다. 그래서 본 연구에서는 고온 상태에서도 실시간(real-time)으로 비교적 가시도가 좋은 줄무늬의 관찰, 기록 및 처리가 가능한

ESPI를 고온에서 면내 변형 측정에 적용했다. TV camera의 조리개는 speckle-pattern의 상이 고해상도가 될 수 있는 조리개로 하고 변형 전후의 speckle-pattern을 촬영하고 화상처리장치에 digital data를 기억시킨다. 그 상의 data를 감산함으로써 간섭 줄무늬를 얻는다. 대부분 실시간에서 간섭 줄무늬의 관찰이 가능하고 contrast가 나쁜 줄무늬에 대해서는 강조 처리를 할 수 있다.

### 3. 고온 물체의 면내 변형 측정

고온 물체가 자유 열팽창할 때의 면내 변형을 ESPI로 측정하고 그때 발생하는 문제점을 밝히고 동시에 그 해결책을 실험해 보았다.

#### 3.1. 실험장치와 방법

시험편의 재질에는 고온까지 선팽창계수의 data가 얻어질 수 있고 통전가열을 하기 위해 비교적 전기저항이 큰 Nicrome, Tantalum, Inconel 601<sup>5), 6), 7), 8), 9)</sup> 금속을 사용했다. 본 실험에서는 시험편의 산화방지와 반사효율을 높이기 위해 세라믹 코팅은 하지 않았다. 시험편에 코팅을 하면 측정 정밀도에 커다란 영향이 발생할 것으로 생각되어 상온에서 고온까지 넓은 범위에 걸쳐 열팽창계수가 시험편 재료와 일치하도록 코팅은 하지 않았다.

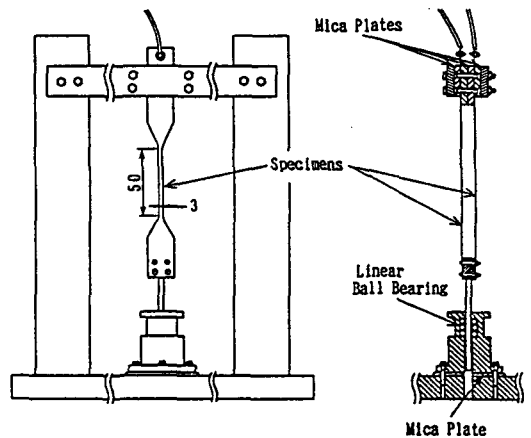


Fig. 3. The fixing and heating device of specimens

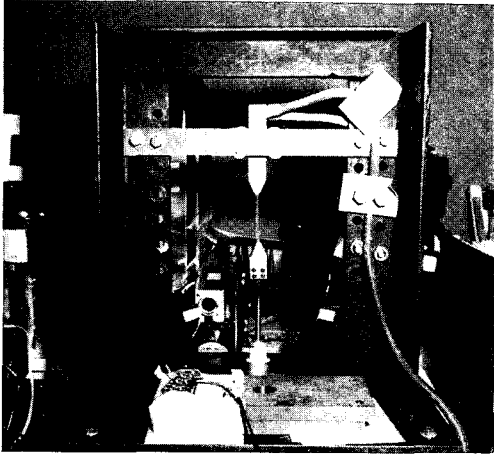


Photo. 1. The fixing and heating device of specimens

시험편은 Fig. 3과 Photo. 1과 같이 2장을 1쌍으로 하고 시험편 상부를 고정하여 연직방향으로는 자유롭게 열팽창할 수 있도록 했다. 시험편의 하부에서는 축방향 회전을 구속하는 선형 볼 베어링(linear-ball bearing)을 붙여 휨과 비틀림의 변형을 방지했다. 시험편 중앙의 좁게 되어 있는 부분이 측정부이다. 실험에 사용된 각 재료의 형상을 Fig. 4에, 두께를 Table 1에, 각각의 특성치를 Table 2, 3, 4에 나타냈다.

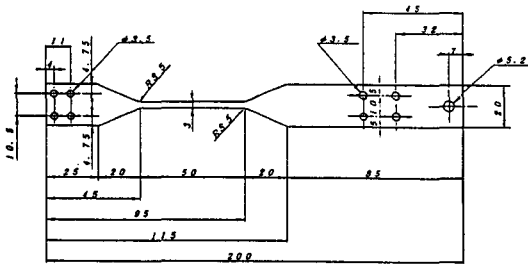


Fig.4. The specimen configuration for measurement of thermal expansion coefficient

Table 1. The thickness of specimens

Material	Tantalum	Inconel 601	Nicrome
Thickness	0.3mm	0.787mm	0.25mm

Table 2. The characteristic chart of Tantalum

Density	16.64g/cm <sup>3</sup>
Melting Point	2,996°C
Boiling Point	5,429°C
Electrical Resistivity	12.5×10 <sup>-6</sup> Ω-cm

Table 3. The characteristic chart of Inconel 601

Specific Heat	0.106cal/°C
Density	8.42g/cm <sup>3</sup>
Melting Point	1,301-1,368°C
Electrical Resistivity	118.0×10 <sup>-6</sup> Ω-cm
Yong's Modulus	21,000kg/mm <sup>2</sup>

Table 4. The characteristic chart of Nicrome

Specific Heat	0.106cal/°C
Density	8.41g/cm <sup>3</sup>
Melting Point	1,400°C
Electrical Resistivity	108.0×10 <sup>-6</sup> Ω-cm
Yong's Modulus	21,000kg/mm <sup>2</sup>
Tensile Strength	70kg/mm <sup>2</sup>

시험편을 상당한 온도까지 가열하기 위해서는 큰 전류를 흘려 보내야만 한다. 또한 열변형을 일으키기 위한 온도차는 ESPI의 감도가 높기 때문에 수°C에서 수십°C 정도도 적다. 따라서 전류용량이 크므로 전압이 미세조종되도록 전류용량 100A짜리 전압 가변변압기를 2대 직렬로 연결하여 사용했다. 시험편의 온도는 측정부 중앙 안쪽면에 용접한 chromel-alumel 열전대에 의한 분해능 0.1°C의 온도계로 측정하고 온도분포의 동일함은 적외선 방사 온도계로 확인했다.

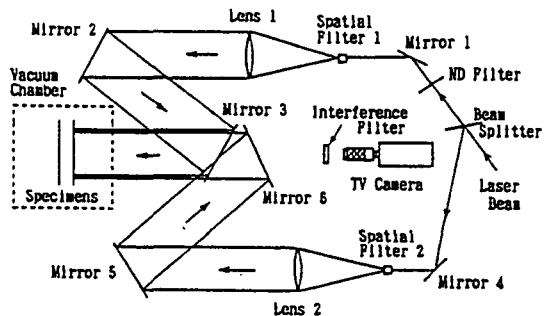


Fig. 5. The optical system

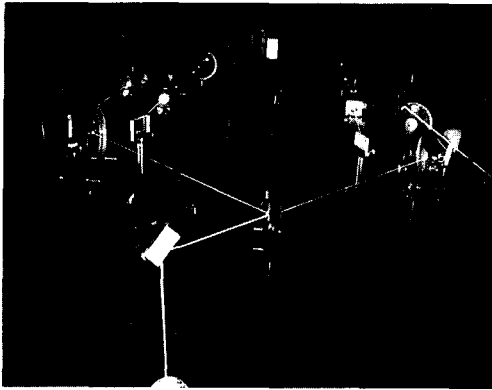


Photo. 2. The path of laser beam and the optical system

ESPI 광학계의 평면 배치도를 Fig. 5에, laser beam이 조사되는 사진을 Photo. 2에 나타냈다. 상하에 배치된 Mirror 3과 6으로 반사시켜 측정면을 조사하는 2개의 광속은 각각 지면에 수직(측정 변위 방향)인 면에 대해서  $+θ$  및  $-θ$  각도를 이루고 있다. 시험편에서의 방사광을 제거하기 위해 간섭 filter를 camera lens앞에 삽입했다. 화상처리 장치로서는 Photo. 3의 화상해석 Processor Nexus Qube(Nexus社 제조)를 사용하고 제어와 data의 기록은 16bit personal computer PC 9801VX(NEC社 제작)를 사용했다.

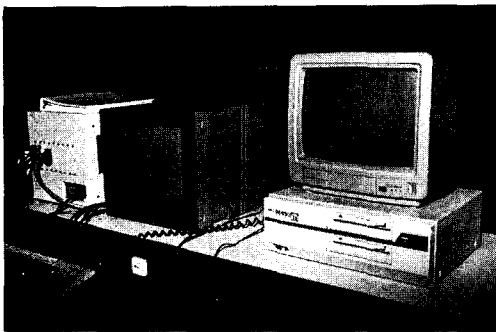


Photo. 3. The image processing system

기록되는 화상 data는 화소수  $521 \times 480$ 이고, 각 화소에 대해서 256계조의 휘도를 갖는 digital data이며 양면을 받아들여 처리하

는 속도는 약 1/5초이다. 실험에서는 시험편에 전류를 흘려 순차적으로 온도를 올리면서 어떤 정상온도에 있어서의 speckle pattern과 그보다 조금 높은 온도에서의 speckle pattern을 화상처리장치의 memory에 받아들여 감산한 후 그 절대치를 취함으로써 간섭 줄무늬를 얻는다. 그 다음에 얻어진 열변형과 온도차로 부터 열팽창계수를 구한다. 여기에서 간섭 줄무늬의 줄무늬 간격 측정은 대형 계산기를 사용한 FFT해석에 의해 행해진다. Personal computer에 기록한 화상 data를 대형 계산기에 입력한 후 시험편의 길이 방향 줄무늬와 직각방향의 휘도 분포를 시험편의 폭 방향에 더해서 시험편 길이 방향의 1차원(평면) 휘도 분포를 만든다. 그 분포를 고속 fourier 변환하여 power-spectrum을 구한다. 구해진 power-spectrum에 의해서 그 값이 최대가 되는 공간 주파수로부터 줄무늬 간격을 구한다.

### 3.2. 고온 물체의 면내 변형 측정에 있어서의 문제점

고온 물체의 면내 변형 측정에 ESPI를 적용할 때 다음과 같은 문제점이 발생한다. 첫 번째로 피측정물 주위의 가열된 공기가 어떤 원인에 의해 산란한다면 laser광로중의 공기의 밀도 분포가 변동하기 때문에 줄무늬의 일그러짐과 가시도의 저하를 가져오고 심하면 줄무늬가 소실되어 버리는 등의 문제가 발생한다. 다음으로는 피측정물 표면에서의 산화의 문제이다. 화상을 받아들이는 동안에 산화가 진행된다면 미세한 구조가 변화하고 speckle상관이 소멸되어 줄무늬의 가시도는 떨어진다.

이런 문제에 대해서는 불활성 가스를 주입시킨 감압용기나 높은 진공중에서 측정하면 개선될 수 있을 것이다. 산화를 방지하기 위해서는 세라믹 코팅등이 효과가 있다고 생각되지만 본 실험에서는 3.1에서 서술한 이유 때문에 코팅은 하지 않았다. 그 다음으로 다음과 같은 문제가 있다. 피측정물이 고온 상태가 되면 적열이 시작되고 laser 반사광에 피측정물에서의 방사광이 중첩된다. 그런 이

유로 laser의 광량이 상대적으로 저하되고 speckle이 잘 보이지 않아 간섭 줄무늬의 가시도가 떨어진다. 이런 문제는 camera lens 앞에 laser의 파장 영역만을 투과시키는 간섭 filter를 넣음으로 개선되었다.

이상의 원인에 의해 고온에서는 줄무늬의 가시도가 저하되며 변위성분을 관찰할 경우 화상의 contrast를 강조하여 가시도를 높일 수 있다. 줄무늬 간격은 그 간섭 줄무늬의 monitor화상이나 사진으로 보면서 측정이 가능하지만 고온에서 가시도가 상당히 저하될 경우 측정자의 주관에 의해 측정치의 차가 생기기도 하고 부정확하게 되기도 한다. 여

기에서는 열팽창에 의해 대부분 평행하고 등간격의 줄무늬이므로 목적에 의한 human-error를 방지하고 보다 정확한 측정을 하기 위해 FFT해석에 의해 줄무늬 간격을 측정했다. 그러나 이 방법은 일반적인 2차원 변위성분에 관한 줄무늬에 대해서는 적용되지 않았다.

#### 4.3. 결과와 고찰

본 보고서에 제시된 간섭 줄무늬는 모두 contrast가 강조되어 있다. 1000°C를 넘으면 줄무늬가 인식될 수 없고 FFT해석에 의해서도 측정할 수 없었다. 이전에 실험했던 진공

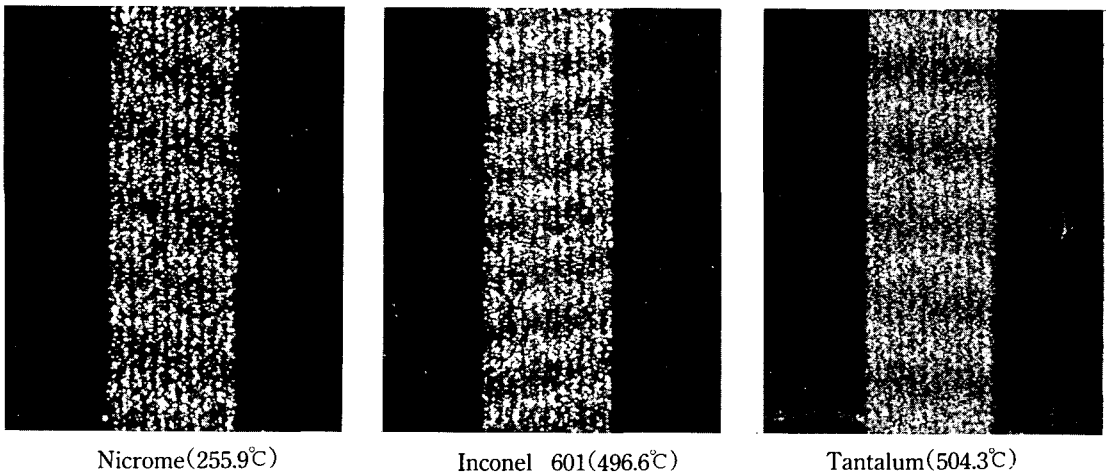


Photo. 4. The image process fringe pattern obtained from ESPI

Table 5. The measuring result of nicrome

Temperature1 (°C)	Temperature2 (°C)	Temperature Difference (°C)	Average of Temperature (°C)	Coef. of Thermal Expansion (×10 <sup>-6</sup> /°C)
140.0	163.7	23.7	157.8	15.159
248.5	263.3	14.8	255.9	15.851
346.2	360.0	13.8	353.1	16.444
391.8	412.4	20.6	402.1	16.828
443.1	458.9	15.8	451.0	16.807
491.2	509.2	18.0	500.2	17.888
541.0	560.0	19.0	550.5	19.343
593.3	607.4	14.1	600.4	19.818
694.8	706.5	11.7	700.7	20.810

중에서의 speckle 사진법과 감압하에서의 ESPI에 의한 결과와 비교하면 ESPI에 의한 결과는 상 변태점을 넘는 곳에서 변화가 컸었다. 이것은 speckle 사진법의 경우 speckle을 사진 건판에 노광하는 동안 평균적인 값이 얻어지는 것에 비해 ESPI의 경우에는는 순간순간의 speckle화상에서 변형을 측정하는 것이기 때문에 그 결과와 온도 변동이나 표면의 미세 변화등을 자세히 나타내고 있다고 생각할 수 있다.

Nicrome, Inconel 601, Tantalum의 3가지 재료의 대표적인 사진을 Photo. 4에 나타냈으며 실험 결과 다음과 같은 것을 알 수 있었다.

1) Nicrome

Nicrome의 측정 결과를 Table 5와 Fig. 6에 나타냈다.

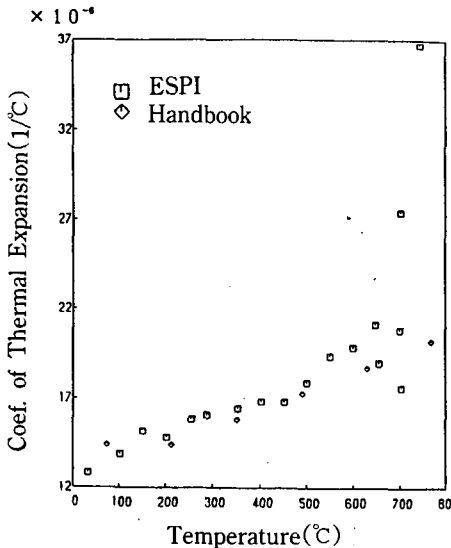


Fig. 6. The measuring result of nicrome

Nicrome에 있어서는 약 700°C까지 밖에 측정할 수 없었으며 다른 재료에 비해 간섭 줄무늬의 가시도가 상당히 나빴다. 실온 상태에서는 깨끗한 줄무늬가 나타났지만 500°C를 넘으면 급격히 줄무늬의 가시도가 저하되고 700°C를 넘으면 줄무늬의 관찰이 거의 불가

능했다. 450°C정도에서 시험편 표면의 산화가 시작되었으므로 충분히 산화가 진행된 후 측정된 결과이므로 약 800°C에서 1시간 이상 산화시키고 다시 측정했지만 결과는 마찬가지였다.

줄무늬가 관찰되지 않았던 것은 Nicrome이 다른 재료에 비해 판두께가 얇은 것을 사용했기 때문에 측정부의 강성이 낮고 외부 진동등의 외란의 영향을 받기 때문이라 생각된다. 판두께가 얇기 때문에 시험편 표면의 온도 변동이 심해져 안정된 상태에서 간섭 줄무늬를 얻을 수 없었던 것도 커다란 원인이라 생각된다. 외부 진동등의 외란이 없는 곳에서 실험하려 했지만 해석계 장치나 통전 가열에 교류를 사용하므로 발생하는 눈에 보이지 않을 정도의 진동등을 제거할 수 없었으므로 이러한 영향을 받은 것이라 생각된다.

본 실험에서는 700°C이상의 온도에서 간섭 줄무늬를 얻을 수 없었지만 좀더 두꺼운 시험편을 사용하면 좀더 높은 온도까지 측정이 가능하리라 생각된다.

2) Inconel 601

Inconel 601의 측정 결과를 Table 6과 Fig. 7에 나타냈다.

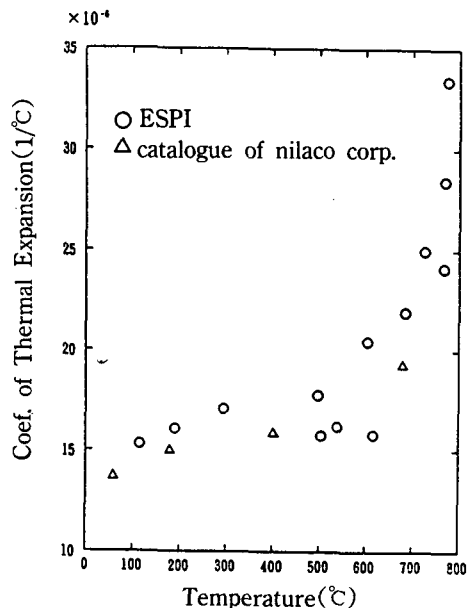


Fig. 7. The measuring result of Inconel 601

Inconel 601은 내산화성이 높은 재료로써 상온에서 용점까지 성질이 안정되므로 상전이를 일으키지 않는다. 판두께도 0.787mm로 다른 재료에 비해 두꺼웠고 온도 변동의 폭도 적었다. 그 때문에 700°C 이상의 고온이 되면 다른 재료는 간섭 줄무늬가 발생하는 시간이 줄었지만 Inconel 601에서는 비교적 연속적으로 발생했다. Inconel 601은 판두께가 다른 재료의 2배 이상이므로 시험편의 열용량이 커서 공기의 요란에 의한 시험편의 온도 변동이 적었던 것으로 생각된다. 700°C 이상에서는 시험편의 적열이 심해지므로 간섭 filter를 사용했으며 그로 인한 급격한 data의 흐트러짐이 나타났다. 간섭 filter를 사용하면 camera에 찍히는 광량이 적어지므로

간섭 줄무늬 전체의 휘도가 저하하고 줄무늬의 contrast도 저하되었다.

또한 공기 요란에 의해 contrast가 나빠진 줄무늬는 관찰하기 어렵게 되므로 contrast가 좋은 줄무늬를 얻기 위해서는 변형 전후의 온도차를 적게해서 줄무늬 간격을 크게 할 필요가 있다. Inconel 601에서는 10~15°C 전후가 좋지만 온도차가 적어지므로 측정오차에 의한 측정치의 오차는 상대적으로 커진다. 이런 이유 때문에 data의 흐트러짐이 커진 것으로 생각된다.

이상의 원인에 의한 측정치가 어느 정도의 오차를 발생시키는지는 알 수 없지만 진공용기를 사용하면 어느정도 평가할 수 있을 것으로 사료된다.

Table 6. The measuring result of inconel 601

Temperature1 (°C)	Temperature2 (°C)	Temperature Difference (°C)	Average of Temperature (°C)	Coef. of Thermal Expansion ( $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )
106.3	124.3	18.0	115.3	15.318
181.9	198.0	16.1	189.6	16.088
283.2	305.1	21.9	294.2	17.092
488.5	500.7	12.2	496.6	17.814
499.4	508.3	8.9	503.9	15.772
531.6	545.5	13.9	538.6	16.230
600.3	608.3	8.0	604.3	20.470
607.1	618.3	11.2	612.7	15.815
680.4	688.4	8.0	684.4	21.932
720.1	733.4	13.3	726.8	25.000
763.1	770.3	7.2	766.7	24.137
765.5	771.6	6.1	768.6	28.494
770.6	776.0	5.4	773.3	33.421

3) Tantalum

Tantalum의 측정 결과를 Table 7과 Fig. 8에 나타냈다.

Tantalum은 용점이 높기 때문에 2,000°C 이상의 고온까지 상변화가 일어나지 않으며 열팽창계수가 급격히 커지는 것도 없었다. 그러므로 초고온에서도 안정된 열팽창계수를 측정할 수 있다고 생각되었다.

그러나 Tantalum은 공기중에서 500°C 이상이 되면 심한 산화가 일어나고 측정 표면에 두꺼운 산화물의 층을 형성해 버렸다. 그 상태에서 온도를 낮추면 산화물의 층이 박리되어 떨어져 나가 버렸으므로 그 이상의 온도에서는 측정할 수가 없었다.

Tantalum은 불활성 가스나 진공용기등을 사용하여 표면 산화의 진행을 완전히 멈추게



Table 7. The measuring result of Tantalum

Temperature1 (°C)	Temperature2 (°C)	Temperature Difference (°C)	Average of Temperature (°C)	Coef. of Thermal Expansion ( $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )
24.3	62.5	38.0	43.3	6.895
76.9	136.1	59.2	106.5	6.998
134.4	213.1	78.7	173.8	7.004
264.1	325.3	61.2	294.7	6.966
388.5	433.7	45.2	411.1	7.022
480.9	527.7	46.8	504.3	7.235

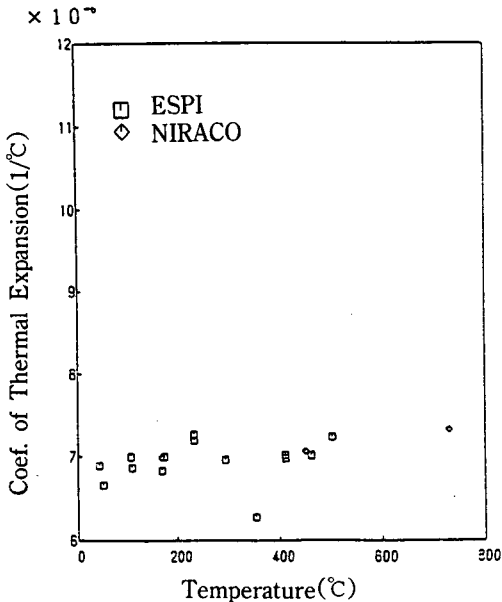


Fig. 8. The measuring result of Tantalum

할 수만 있다면 초고온 하에서의 열팽창계수 측정 실험에 매우 적합한 재료일 것이라고 사료된다.

### 5. 결 론

ESPI법을 이용해 Nicrome, Inconel 601, Tantalum재료의 열팽창계수를 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) ESPI법에 의한 열팽창계수의 측정 결과는 공기요란이 없을 때, 이미 공표된 800°C

까지의 data와 잘 일치함을 알 수 있었다.

2) 본 실험에서의 자유 열팽창과 1축 인장 등의 변형 측정의 경우, 간섭 줄무늬의 가시도가 상당히 떨어질 경우에도 화상처리 장치와 FFT 해석을 이용함으로써 줄무늬 간격을 측정할 수 있었으며 목측에 의한 human-error를 방지할 수 있었다.

3) ESPI법을 이용해 3가지 재료의 열팽창계수를 측정할 때 시험편의 적열에 의한 배경방사의 문제, 공기요란으로 인한 줄무늬의 가시도 저하, 시험편의 산화에 의한 문제등이 나타났다.

이들중 시험편의 적열에 의한 배경방사의 문제는 간섭 filter를 사용함으로써 그 영향을 상당히 감소시킬 수 있었으며, 공기 요란의 문제에 있어서는 시험편을 진공용기에 넣어 실험한다면 보다 안정된 줄무늬를 얻을 수 있을 것으로 생각되며, 감압하에서 측정할 수 없었으므로 비교적 안정된 줄무늬 2개를 수록하고 이들의 평균을 선정해 적절한 결과가 얻어졌다. 시험편 산화의 문제는 laser speckle을 이용한 측정에 있어서 치명적인 문제점이며, 공기중에서의 실험에서는 피할 수 없는 문제점이었다. 이에 대한 대책으로는 고온하에서 내산화성이 좋은 재료(초내열 합금, 세라믹 등)나 충분히 산화되어 산화의 속도가 떨어진 재료를 사용하든지, 재료와 반응을 일으키지 않는 상황(진공중도 포함)에서 실험한다면 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

## References

- 1) O. J. Lokberg and J. T. Malmo, Deformation Measurements at Very High Temperatures by ESPI and Moire Methods. Applied Optics. Vol. 1, No. 2, (1986), pp. 62-68.
- 2) 角誠之助, 金 庚錫, 山崎正秀, 韓 應教: CW 레이저·스펙큘寫眞法による高温下の面内變位測定に關する研究, 非破壊検査, 第37卷, 第2號, (1988), pp. 64-70.
- 3) 角誠之助, 金 庚錫, 山崎正秀, 志自岐雄介: 레이저·스펙큘寫眞法による高温下の面内變形測定, 日本航空宇宙學會西部支部講演會講演集(1987), pp. 17-20.
- 4) Dendy, D., Leendertz, J. A.: Plane-Surface Strain Examination by Speckle-Pattern Interferometry Using Electronic Processing, Journal of Strain Analysis, Vol. 9, No. 1(1974), pp. 17-25.
- 5) ASME: Boiler and Pressure Vessel Code, Sec. VIII, Div.2, Part AM(1986), pp. 60-61.
- 6) SISI: STainless and Heat Resisting Steels(1974), p. 72.
- 7) 増本 量, 澤谷昭八, 菊地紀雄: Fe-Cr系合金の熱膨脹ならびにヤング率の溫度變化について, 日本金屬學會誌, 第34卷, 第8號(1970), pp. 847-850.
- 8) ニラコ(株): 研究用基礎材料カタログ, No. 22(1990-1991).
- 9) Richter, F.: Thermophysikalische Eigenschaften des hochwarmfesten Werkstoffes NiCr22Co12Mo(INCONEL 617), Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, Vol. 19, No. 2(1988), pp. 55-61.

## A Study on the Thermal Coefficient Measurements of Special Steel by ESPI at High Temperature

K. S. Kim,\* S. P. Yang\*\* and H. S. Kim\*\*

\* Chosun University, Dept. of Mechanical Design Engineering

\*\* Chosun University

(Received March 7, 1993)

**Abstract** Electric Speckle Pattern Interferometry (ESPI) using a CW-laser, a video system and an image processor was applied to the thermal coefficient measurements on free thermal expansions at high temperatures : ESPI provides the distribution of in-plane displacement resolved in a preselected direction. ESPI retains the merits of little or no surface preparation, no contact with the surface and the real-time presentation of interference fringes. Applying ESPI at high temperatures, several problem which caused the reduction of fringe visibility were encountered. The problem on the turbulence in the hot air surrounding high temperature objects will be solved by using a vacuum chamber.

The background radiations from the objects were suppressed considerably by an interference filter. The problem on the oxidation of the object surface could't be solved. The interference fringe, whose spacings were calculated by FFT to avoid human error, were observable up to 800°C. The results measured by ESPI were nearly equal to the data which have already been published, up to about 800°C.