

## 적외선 열화상 카메라를 이용한 용접부의 온도 측정 방법

### Method for Measuring Weld Temperature Using an Infrared Thermal Imaging Camera

노찬승\*, 김경석\*\*, 장호섭\*\*\*†

Chan-Seung Ro\*, Kyeong-Suk Kim\*\* and Ho-Seob Chang\*\*\*†

**초 록** 본 연구에서는 적외선 열화상 카메라와 열원 사이에 유리를 설치하여 측정기기의 보호 및 온도 보정을 통하여 고온의 용접부 온도를 실시간으로 측정하고자 하였다. 먼저 할로겐램프의 열에 대한 온도 차이를 실시간으로 촬영하고 온도를 측정 한 결과, 카메라와 열원 사이의 거리별 온도는 거의 동일하게 측정되었음을 확인할 수 있었고, 유리 두께와 측정 거리의 상관관계를 통하여 온도 범위를 예측할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 이를 바탕으로 용접열원에 대한 실험을 수행하여 열화상 카메라를 이용한 용접부의 온도 측정의 타당성을 제시하였다.

**주요용어:** 용접부 온도 측정, 열화상 장치, 보호유리

**Abstract** In this paper, a method is tested to measure temperatures in high-temperature welds. Protective glass was installed between an infrared thermal imaging camera and a heat source, and temperature compensation was applied to the measuring instruments. When the temperature of halogen lamps was taken in real-time and measured by the thermal camera, the temperature was found to be almost invariant with the distance between the camera and heat source. The temperature range could be predicted, through correlations with the thickness of the protective glass and the measured distance. This study suggests that the temperature measurement of welds obtained by using an infrared thermal imaging camera is valid, through experimental testing of heat sources.

**Keywords:** Temperature Measurement of Welds, Infrared Thermal Imaging Equipment, Screening Glass

#### 1. 서 론

용접은 급열과 급냉으로 인하여 용접변형, 잔류응력 및 용접부의 열화에 따른 문제점이 필연적으로 발생한다[1,2]. 용접부의 온도분포를 구하기 위해서는 수치해석적인 방법으로 유한차분법이나 유한요소법이 이용되고, 실험적인 방법으로는 열전대에 의한 방법과 적외선을 이용하는 방법이 널리 이용된다[3]. 용접시 발생하는 용접변형 및 잔류응력의 원인을 규명하고 저감하기 위해서는 용접부가 겪는 온도 분포와 열이력을 보다 간편하게 실시간으로 파악하는 것이 중요하

다. 특히, 용접변형은 제품의 치수 정밀도를 떨어뜨리고 변형 교정에 따른 비용을 초래하게 되므로 용접변형을 측정하고 예측할 수 있는 방법의 개발은 매우 중요하다. 적외선 카메라를 이용한 적외선 열화상(infrared thermography)기법은 물체의 표면에서 방사되는 적외선을 이용하여 물체의 표면상태를 온도분포영상으로 볼 수 있게 하는 기술로서 진단 결과가 신속하고 빠른 결과와 함께 바로 눈으로 실제 결과를 볼 수 있는 특징을 가지고 있지만, 용접공정에 필요한 측정기기의 가격이 비싸고, 온도에 따른 기기의 손상이 빈번하게 발생하여 활발하게 사용되지 못하고 있는

[접수일: 2014. 6. 12, 수정일: 2014. 8. 4, 게재확정일: 2014. 8. 7] \*조선이공대학교 선박해양·기계과, \*\*조선대학교 기계설계공학과, \*\*\*조선대학교 레이저응용 국제공동연구센터, †Corresponding Author: International Collaborative Laser Application Research Center, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea (E-mail: hschang@chosun.ac.kr)

실정이기 때문에 적외선 열화상 기법을 용접부의 온도 측정에 적용하기 위해서는 기기를 보호하면서 효과적으로 온도를 측정할 수 있는 기법의 연구가 선행되어야 한다.

본 연구에서는 저렴한 가격의 유리를 이용하여 할로겐램프의 열에 대한 온도 차이를 실시간으로 적외선 열화상 카메라를 이용해 촬영하고 이를 통하여 측정거리 및 유리 두께에 따른 온도 분포의 특성을 구하고 이를 토대로 용접부의 온도 측정에 적외선 열화상카메라의 적용 가능성에 관하여 연구하였다.

## 2. 실험장치 구성 및 방법

적외선 열화상 카메라를 이용한 용접부의 온도 측정의 타당성을 검토하기 위하여 먼저 측정기기의 손상을 초래하지 않는 할로겐램프에 대한 실험을 수행하고 그 결과를 통하여 용접부의 온도 측정 조건을 선정하여 실험을 수행하였다.

### 2.1. 실험장치 구성

Fig. 1은 적외선 열화상 실험 방법의 개략도이며, 실험 장치로는 열화상카메라, 할로겐램프로 구성하였다. Table 1은 실험에 쓰인 열화상카메라의 사양을 나타낸 것으로 본 실험에서는 최고온도 1500℃의 렌즈를 사용하였다. Fig. 2 와 Fig. 3 은 측정 열원인 할로겐램프와 용접열원의 사진이며, Table 1과 Table 2는 열화상카메라와 할로겐램프의 사양을 나타낸 것이다.

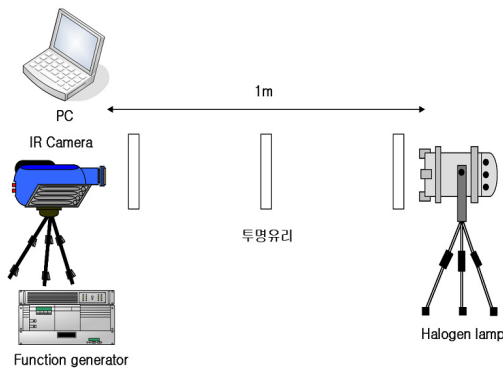


Fig. 1 Picture of infrared thermography system

Table 1 Equipment specifications of IR camera

Model	SC 5000
Optical Interface	27 mm lens (Built in), Socket type
NETD	< 20 mK
Sensor Type	InSb
Camera Calibration Range	-20℃ to 3000℃
Pixel Resolution	320 × 256, 14bits
Digital Full Frame Rate	Max. 380 Hz

Table 2 Equipment specifications of halogen lamp

Model	Par 64 CP61 EXD NSP
Base	GX16D
Power	220V
Standard Life	300 hours
Power Consumption	1000W
Rated Voltage	230V



Fig. 2 Picture of glass painting device

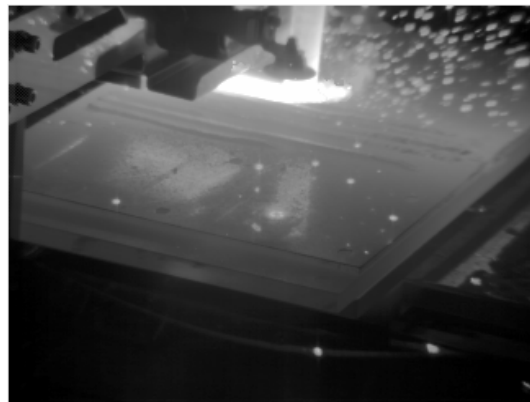


Fig. 3 Picture of the welding

Table 3 Characteristics by the thickness of the glass

Thickness (mm)	Solar Energy			Shading coefficient	Solar factor
	Transmittance (%)	Reflectance (%)			
		Outer side	Inner side		
3	86	8	8	1.01	0.88
5	82	7	7	0.98	0.85
6	80	7	7	0.96	0.84
8	77	7	7	0.94	0.81
10	74	7	7	0.92	0.79

할로겐램프의 온도 측정을 위하여 한글라스사의 맑은 유리를 사용하였다. 이 제품은  $\text{SiO}_2$ 와  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ 를 주성분으로 하고 최대한 투명도를 제공하기 위해 다른 첨가물(Fe, Co, Ni 등)을 최소화 하였다. Table 3에 사용 유리의 두께별 태양 열선의 투과율과 반사율, 차폐계수, 태양열 취득율을 나타냈다.

투명 유리의 규격은 가로 300 mm, 세로 300 mm이며, 두께는 3 mm, 5 mm, 6 mm, 8 mm, 10 mm이다.

## 2.2. 실험 방법

적외선 열화상 시스템은 열화상카메라, 할로겐램프(열원), function generator로 구성하였으며, function generator에 의해 할로겐램프의 주파수를 조절하고 동기화시켰으며 각각의 유리 두께별로 적외선 열화상 카메라로부터 10 cm, 50 cm, 90 cm의 거리를 두고 온도 측정을 하였다. 특히, 용접부의 온도 측정을 카메라의 손상을 막기 위하여 거리 150 cm에서 두께 10 mm 보호유리가 있을 때와 없을 때에 대하여 측정 실험을 진행하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1. 할로겐램프 온도 측정

본 실험은 유리가 없을 때 일정하게  $183^\circ\text{C}$  상태에서 일정하게 측정되었고 그 결과 그래프는 Fig. 4에 나타내었다.

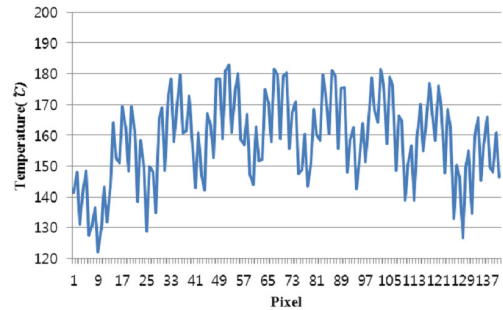


Fig. 4 Measured temperature without glass

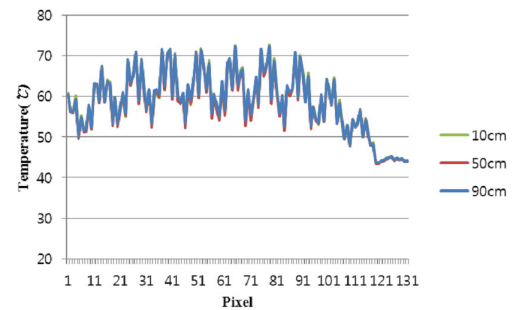


Fig. 5 The temperature value by pixel of the glass 3 mm thick

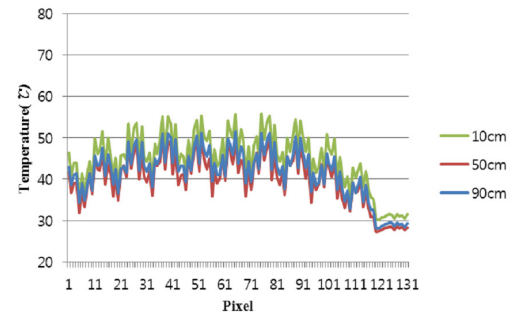


Fig. 6 The temperature value by pixel of the glass 5 mm thick

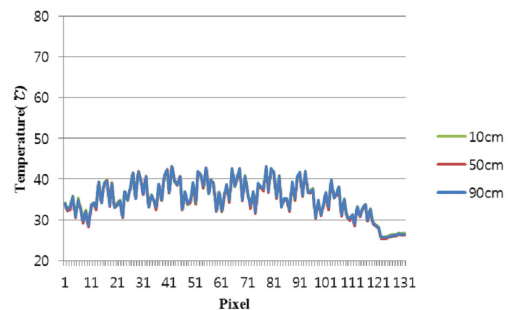


Fig. 7 The temperature value by pixel of the glass 6 mm thick

유리의 각 두께별 pixel의 온도값은 y축 방향으로 프로파일 선도를 획득하여 각 두께에 따른 거리별 온도 변화 그래프를 Fig. 5에서 Fig. 9까지 나타내었다.

각 그림에서 확인할 수 있듯이 측정 거리가 다르더라도 측정 온도가 거의 비슷함을 확인할 수 있었고, 투명유리의 두께가 얇아질수록 pixel별 평균 측정 온도가 높아짐을 알 수 있다.

실험 결과에서 pixel에 따른 온도 분포가 일정하지 않고 높아짐과 낮아짐을 반복하는데 Fig. 3에 보여지는 것처럼 halogen lamp의 철망으로 인해 빛의 투과 조건이 달라지기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 10은 유리 두께 5 mm, 거리 50 cm에서 측정된 온도 분포값을 추세선을 이용하여 2차 다항식으로 표현하고 전체 pixel의 중간 값을 얻은 결과이다.

위와 같은 최소자승법(least square method)을 이용하여 각 조건별로 추세선을 표현하게 되면 Fig. 11 과 같은 결과가 나타난다.

열화상 카메라를 이용하여 각각의 유리 두께 조건에 따라 할로겐램프의 온도를 촬영한 결과 보호유리를 사용하지 않았을 때의 표준온도는 약 183℃로 측정되었는데 보호유리를 사용하였을 때에는 pixel 중심부에서의 온도가 3 mm, 5 mm, 6 mm, 10 mm의 유리 두께에서 각각 63.74℃, 44.79℃, 38.55℃, 24.54℃로 측정되어 두께가 두꺼워 질수록 온도가 낮아짐을 알 수 있다.

Fig. 12는 Fig. 11에서 얻은 각 pixel의 중심값의 결과 분포를 그래프로 나타낸 것으로 유리가 두꺼워질수록 측정되는 온도값이 낮아지는 경향을 잘 보여주고 있다.

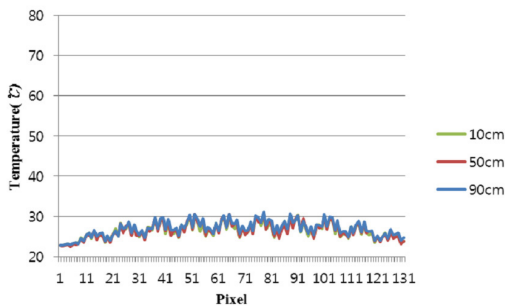


Fig. 8 The temperature value by pixel of the glass 8 mm thick

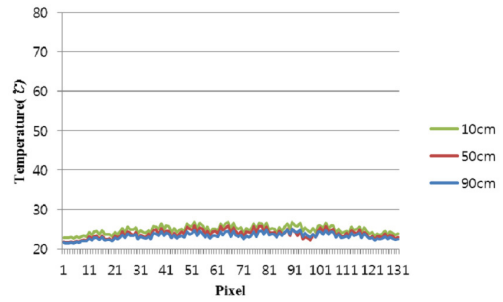


Fig. 9 The temperature value by pixel of the glass 10 mm thick

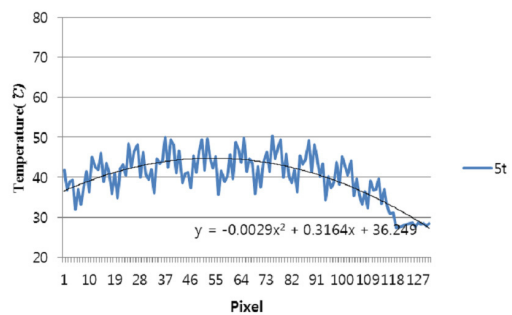


Fig. 10 5T glass 2nd order polynomial expression values at 50 cm

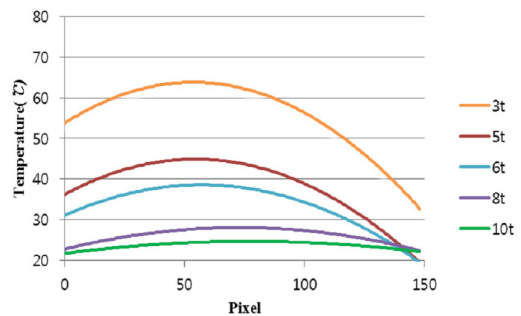


Fig. 11 2nd order polynomial expression values by the glass thickness

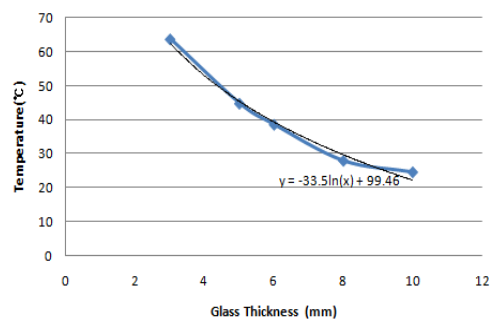


Fig. 12 The temperature by the glass thickness

Table 4 Condition of CO<sub>2</sub> welding

Voltage	Current	Welding speed	GAS flow rate
19 V	220 A	2.5 mm/sec	10 mm/min



Fig. 13 Automatic welding equipment

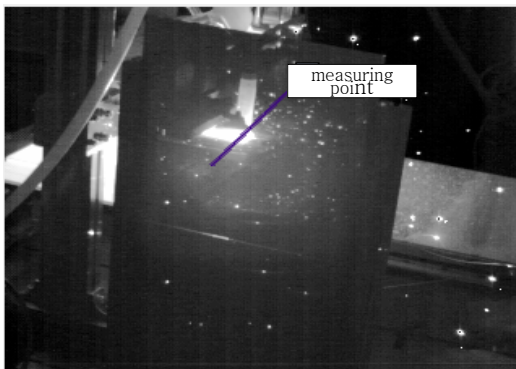


Fig. 14 Picture of the welding with glass

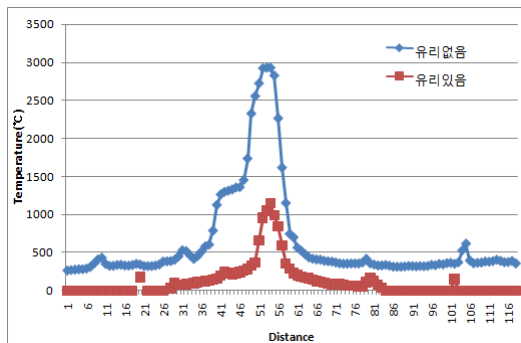


Fig. 15 The temperature value of weld part

### 3.2. 용접부 온도 측정

용접은 CO<sub>2</sub>자동용접을 수행하였으며 온도 측정 위치는 준 정상역의 온도를 나타내는 용접부의 중앙위로 선정하였고 Fig. 13은 용접시편을 제작하는데 사용된 자동용접장치, Table 4는 용접 조건이다.

할로겐램프의 온도 측정 실험으로부터 열화상 카메라를 이용한 열원의 온도 측정은 보호유리 두께의 영향이 지배적인 것으로 나타났기 때문에 그 결과를 토대로 용접부의 온도 측정 실험을 진행하였다.

실험은 Fig. 14와 같이 CO<sub>2</sub> 자동용접으로 맞대기 ( $l=300$  mm,  $B=250$  mm,  $t=8$  mm) 접합을 수행하고 용접선 직각방향에 대하여 온도를 측정하였다.

Fig. 15는 측정된 용접부의 온도 분포를 나타낸 그림으로 고온의 용착금속을 중심으로 대칭적인 전형적인 용접부의 온도 분포 형상을 나타내고 있다. 그림에서 유리를 사용하지 않은 경우에서 다소 대칭이 되지 않는 온도 분포를 보이고 있는데 이것은 열화상카메라가 수평으로 150 cm의 거리에 있어 상대적으로 가까운 부분이 보다 많이 노출되었기 때문으로 생각되며 할로겐램프에 대한 실험 결과와 유사하게 유리 두께 10 mm에서 측정되는 온도는 그 편차가 줄어드는 경향이 있어 카메라의 위치를 용접부에 접근하면 보다 효과적으로 측정될 것으로 생각된다.

측정된 온도값에서 IR카메라 렌즈의 측정 온도 범위인 1500°C 이하에 대하여 고찰하여 보면 유리가 있을 때에는 없을 때보다 약 65%정도 낮게 측정되는 것을 확인할 수 있었다. 금번 실험을 통하여 열화상카메라를 이용하여 용접부의 온도를 측정할 때 상대적으로 온도 측정 범위가 낮은 렌즈를 사용하는 경우에 보호유리 효과를 고려함으로써 고온의 용접부의 온도 측정 가능성을 확인하였다.

### 4. 결론

본 논문에서는 열화상카메라와 할로겐램프를 이용하여 실제 온도와 차단유리 적용 후 측정 온도를 비교하였고 그 결과를 토대로 용접부의 온도 측정 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 열화상카메라를 이용하여 할로겐램프의 온도를 측정할 결과 측정 거리별 온도는 거의 동일하게 측정되었음을 확인할 수 있었고, 유리의 두께가 두꺼울수록 온도가 낮게 측정됨을 확인하였다.
- 2) 열화상카메라를 이용한 용접부의 온도 측정실험을 통하여 보호유리 효과를 고려함으로써 온도 측정 범위가 낮은 렌즈를 사용하여 고온의 용접부의 온도 측정 가능성을 확인하였다.
- 3) 유리 두께와 측정 거리와의 상관관계 실험을 통하여 온도 범위를 예측할 수 있으며, 이는 차후 열화상카메라를 이용한 용접부의 온도 측정에 기초자료로 활용될 것이라 사료 된다.

## 후 기

이 논문은 2011학년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

## 참고문헌

- [1] J. F. Lancaster, "Metallurgy of Welding," 3rd Edition, Woodhead Publishing Limited, (1980)
- [2] "Welding & Joining Handbook," The Korean Welding and Joining Society, Vol. 2, pp. 6-49 (2008)
- [3] H. S. Bang, C. I. Oh, C. S. Ro, C. S. Park and H. S. Bang, "Analysis of thermal and welding residual stress for hybrid welded joint by finite element method," *Journal of KWJS*, Vol. 25, No. 6, pp. 11-16 (2007)
- [4] K. Masubuchi, "Analysis of Welded Structures-Residual Stresses, Distortion, and Their Consequences," Pergamon Press, Oxford, (1980)
- [5] P. Michaleris and A. DeBiccari, "Prediction of welding distortion," *Welding Journal*, Vol. 76, No. 4, pp. 172-179 (1997)
- [6] V. Madjarova, S. Toyooka, R. Widiastuti and H. Kaadono, "Dynamic ESPI with subtraction-addition method for obtaining the phase," *Optics Communications*, Vol. 212, pp. 35-43 (2002)
- [7] K. S. Kim, D. S. Kim, H. C. Jung, K. S. Kim, S. Y. Jeon and D. P. Hong, "Deformation and detection frequency according to nuclear power pipe thickness by ESPI and infrared camera," *J. Korean Soc. Nondestruct. Test.*, pp. 478-483 (2010)
- [8] K. S. Kim, H. M. Kim, H. S. Chang and S. P. Yang, "Thermal deformation measurement spherical glasses lens using ESPI," *J. Korean Soc. Nondestruct. Test.*, Vol. 28, No. 2, pp. 137-143 (2008)