

적외선 열화상 카메라를 이용한 용접 비드의 열 해석

김재열*, 심재기*, 양동조**, 유신***

(*조선대학교, **조선대학교 대학원, ***목포과학대학)

Heat Analysis of Welding-bead using Infrared Thermoimage Camera

Kim Jae-Yeol*, Shim Jae Gi*, Yang Dong-Jo**, Yu Sin***

(*Chosun University, ** School Graduate Chosun University, ***Mokpo Science College)

Abstract

Diagnosis or measurements using Infrared thermoimage hasn't been available. A quick diagnosis and thermal analysis can be possible when that kind of system is introduced to the investigation of each part. In this study, Infrared Camera, Thermovision 900 was used in order to investigate. Infrared Camera usually detects only Infrared wave from the light in order to illustrate the temperature distribution. Infrared diagnosis system can be applied to various field. Also, it is more effective to analyze temperature distribution on the welding parts during welding process. Especially, diagnosis using Infrared camera plays an important role on thermal analysis of Axle Casing Nut for Commercial Vehicles.

1. 서론

측정분야에 있어서 적외선 열화상 카메라를 이용한 측정이나 안전진단에 관해서는 아직 그 연구나 실적이 많지는 않은 것이 사실이다. 그러나 외국에서는 적외선 열화상 카메라를 이용한 많은 계측들이 이루어지고 있고 많은 활용도를 보이고 있다. 본 연구에서는 이 적외선 열화상 카메라의 활용도를 용접 비드의 열 해석 쪽에 초점을 맞추었다. 더욱이 상용 자동차 차축 케이싱 너트부를 전용 용접기로서 용접을 할 경우 그에

따르는 용접 열화 부분이 많은 문제점으로 부각되고 있으며 그에 따르는 계측이 이루어져야 할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 상용 자동차 차축 케이싱 너트부의 전용 용접기 사용 시 용접 비드의 열 해석에 중점적으로 연구에 임했다.

2. 열 측정 이론

본 연구에 사용된 적외선 카메라는 AGEMA사에서 제작한 Thermovision 900 SE/TE 기종이며 빛이 물체에 방사되어 나오는 각종 파장중에서 적외선 부분만을 검출해 내어 그 적외선 파장을 검출기에서 검출해 내어 온도분포를 측정하는 것이다. 여기서 어떤 파장이던간에 그것에 부딪히는 모든 복사선을 흡수하는 물체를 흑체라고 정의하는데, 이는 모든 빛을 똑같이 방출시킬 수 있다는 것이며 이 온도 검출은 흑체(Blackbody)를 기준으로 하여 보정된 값으로 나타낸다. 이러한 보정에 관계된 함수는 크게 세 가지로 나누는데 Conduction, Convection, Radiation이며 다음과 같은 식들로 나타내어진다.

Fourier's law

$$Q = \frac{\lambda}{l} A (T_i - T_o) \dots \dots \dots (1)$$

Newton's Cooling law

$$q = \alpha (T_{wall} - T_{air}) \dots \dots \dots (2)$$

Stefan-Boltzmann's law

$$W = \sigma T^4 \dots \dots \dots (3)$$

(where σ : Stefan-Boltzmann's constant)

$$5.67 \times 10^{-8} W/m^2 K^4)$$

$$W = \epsilon \sigma T^4 \quad (W/m^2) \dots \dots \dots (4)$$

식 (1)은 온도를 측정하고자 하는 물체의 온도에 관계되는 식이며, 이는 각각의 물체들이 가지고 있는 고유의 전도율과 함께 안쪽과 바깥쪽의 온도를 알면 열 유동율을 구할 수 있다. 식 (2)는 대류에 관계되는 식이며, 물체 벽면에 유동되는 대류값에 따라서 역시 열 유동율을 구할 수 있다. 대류에 의한 열전달 계수는 Table. 1 에서와 같이 나타난다. 식 (4)는 식 (3)의 Blackbody 에서의 총 복사 에너지식에서 일반 물체의 방사율에 따른 총 복사 에너지에 관계되는 식이다.

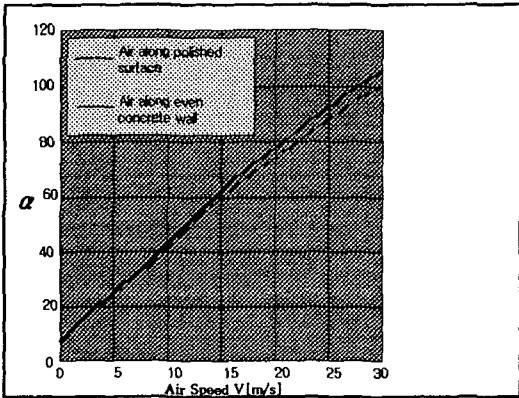


Table 1. 바람의 속도에 따른 열 대류 계수

아래에 나타낸 Fig.1 은 전체적인 열 측정 이론에 관계된 식이다. 이것은 적외선 카메라로 온도 촬영을 할 때 물체의 방사율 대기 온도, 주변 온도, 대기의 투과율등이 온도 검출에 사용되는 변수라는 것을 알 수 있다.

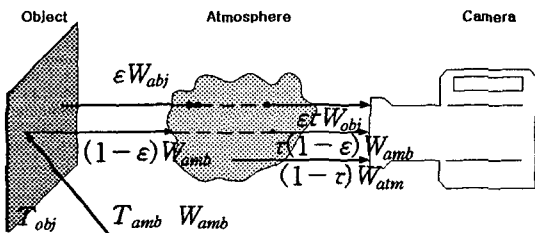


Fig.1 물체에서의 반사와 주위에서의 방사체관계

따라서 총 표준 복사에너지는 식 (5)와 같이 표현 할 수 있다.

$$W_{tot} = \epsilon \cdot \tau \cdot W_{obj} + (1 - \epsilon) \cdot \tau \cdot W_{amb} + (1 - \tau) \cdot W_{atm} \quad (5)$$

Thermovision 900 적외선 스캐너는 일정한 분광 범위에서 적외선 복사선을 측정한다. 이는 일반 적외선 부분만을 추출하여 이 적외선 파장 에너지를 전기 신호로 변환하여 영상을 통한 열상을 보여주는 것이다. 이에 대응하는 측정식은 식 (5)와 같고 시스템 제어기에 대해서는 ERIKA 소프트웨어에 들어가 있다.

이 측정 공식은 Thermovision 900에 의해 자동적으로 계산되나 오퍼레이터는 현재 측정 환경에 대한 방사, 피사체거리, 상대 습도, 대기 온도, 반사된 주위 온도등의 피사체 매개변수를 입력해야 한다. 교정기능은 블랙바디온도와 스캐너의 신호 출력간의 비선형 관계를 표현해 준다. 각 렌즈, 필터와 영역 조합은 그 자신이 교정 기능을 가지고 있다. 이 기능에 대한 상수는 스캐너에 저장되어 있고 시스템은 자동으로 사용된 조합에 대하여 적당한 상수를 선택한다. 교정기능은 플랑크 법칙과 스캐너 및 필터의 분광 응답을 이용하여 계산하지만 더 많은 정확한 결과는 측정에 의해서 얻을 수 있다. 이는 많은 블랙바디 소스가 스캐너로 측정되었을 때 측정 중에 이루어 질 수 있는 것이다.

3. 실험 장치 및 전체 시스템 구성

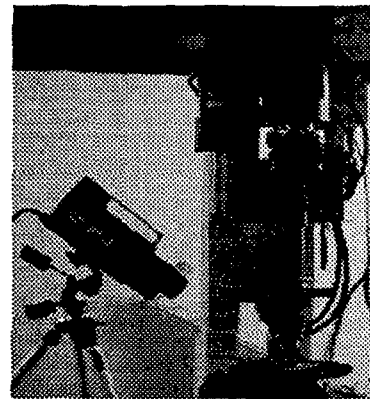


Photo 1. 전체 시스템 구성도

본 연구에 사용한 전용 용접기는 상용 자동차 차축 케이싱 너트부 전용 용접기로서 (주) 효성 중공업에서 개발된 탄산가스 MAG 용접기 모델 'NEW 350'이다. 이 탄산 가스 아크 용접(CO₂

거울과 회전 다각형 거울은 서보 모터 제어 보드로부터 제어된다. 이 거울들 비디오 클램프는 2개의 온도 레퍼런스 110을 유지하는 고온도 레퍼런스, 내부온도에 의한 저온도 레퍼런스에 둘러싸여 있다. 회전 다각형 거울로부터 관련된 빔은 다각형의 반대편에 2개의 멀리 고정된 거울에 의해 초점이 맞추어지고 선택 할 수 있는 구경을 포함하여 교체 시각을 설치함으로써 통과한다. 검출기 출력은 전치 증폭기를 통과되고 아날로그에서 디지털 컨버터로 제어 회로를 얻을 수 있다. 12비트 신호 통과로부터 프로세서 보드까지 시스템 제어기에 전송을 위한 병렬에서 직렬형태로 바뀐다. 스캐너는 3개의 분리된 온도 센서에 알맞고 스캐너의 방사된 것을 위해 보상하기 위한 레퍼런스이다. 2개의 온도를 보상하기 위해 스캐너는 3개의 분리된 온도센서와 스캐너에 의해 복사 방출을 보상하기 위하여 2개의 레퍼런스가 있다. 온도센서는 렌즈, 구경뒤에 검출기, 교체렌즈와 필터 휠안에 위치한다. 검출기에 있는 센서는 온도가 정확한 화상 설명을 위해 올바른 검출기의 온도 상태를 주도도록 사용한다. 2개의 레퍼런스는 스테닝 모듈에 위치한다. 교체 할 수 있는 렌즈에 위치한 멀리 온도 센서 렌즈 장치로부터 복사로 보상하기 위해 스캐너 프로세서에 의해 사용한다.

4. 적외선 열화상 카메라에 의한 용접부 촬영

4-1. 전용 용접기 선행 실험

Thermovision 900기종은 온도 범위가 필터를 장착했을 경우 -10℃~2000℃까지 검출해 낼 수 있지만 각각의 온도 범위를 한정해서 측정할 수 밖에 없다. 이것은 각각의 온도 범위내에서 보정값이 달리 계산되어야 하며 그 보정 값의 범위가 필터에서의 측정 범위와 일치하기 때문이다. 따라서 측정하고자 하는 물체의 온도 범위를 알아내기 위해 각기 다른 온도 범위내에서 촬영을 하여 그 온도 범위가 용접시 온도 범위와 일치하는지를 먼저 파악하는 것은 대단히 중요한 일이다. 용접을 마치고 용접 시편의 열화부분 온도를 촬영하려면 약 300-1000℃ 범위 내에서 촬영에 임해야 하며, 용접중에 용접 비드의 온도 분포를 촬영하기 위해서는 500-2000℃ 범위 내

서 촬영에 임해야 한다는 점이다. 본 연구에서는 용접중 온도 분포를 파악해야 함으로 500-2000℃에 맞추어 촬영에 임했다.

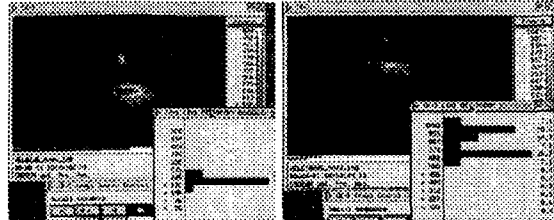


Fig.5 200-500℃에서의 용접완료화면과 히스토그램
fig.6 500-2000℃에서의 용접완료 화면과 히스토그램

4-2. 적외선 카메라 촬영 및 해석

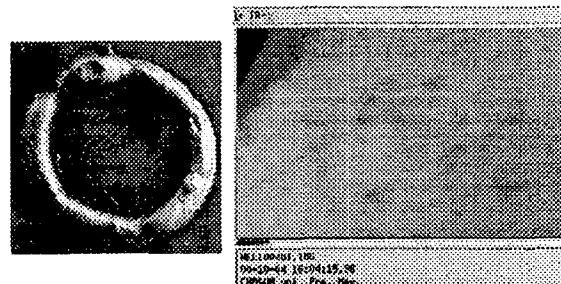


Photo.2 용접 비드

Fig.7 Photo.2의 적외선 열화상 이미지

Photo.2와 Fig.7은 용접 완료 후 일반 카메라 이미지와 적외선 열화상 이미지를 각각 나타내었다. 이 이미지들은 용접 작업이 완료 후 최소 3분 이내에 촬영한 것으로서 결합이 있는 부분에는 약간의 온도 차이가 있지만 대부분 열 전도가 거의 끝난 상태이므로 적외선 이미지 역시 큰 온도 차이가 없다는 것을 알 수가 있다. 그러나 정확한 화상 분석에 의해서는 결합과 온도와의 데이터 베이스를 수치화 한다면 충분히 결합의 종류와 결합의 요인들을 판별해 낼 수 있다는 점이다. 여기에서는 열 전도가 많이 일어나지 않는 용접중에 열화상 분석에 초점을 맞추어 실험에 임했다. 용접 과정 중 적외선 열화상 카메라를 이용한 용접 비드의 열해석을 위해 다음과 같은 화상을 촬영했다.

Fig.8은 Thermovision 900시스템과 연결된 OS9 시스템에서의 이미지이며 이 이미지로 열 분석이 되지 않아 AGEMA Report 5.4 프로그램

으로 열 분석을 하였으며 그에 따르는 이미지는 Fig. 9에 나타냈으며 역시 Fig.10또한 AGEMA Report 5.4에 의한 열화상 그래프이다. Fig.9에 나타난 Line 1에 해당하는 열화상 그래프를 Fig.10에 나타냈으며 이 이미지를 분석해 본 결과 용접 와이어가 지나간 용접 방향의 앞, 뒤에서는 온도가 높았으며 그 뒤로 지날수록 Fig.19과 같은 곡선을 이루는 것을 알 수 있다.

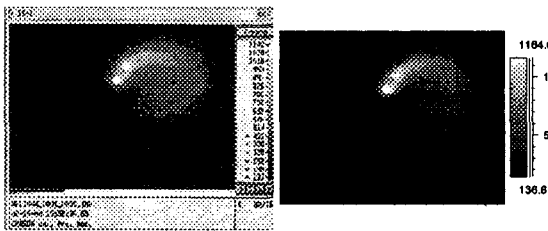


Fig.8 59프레임에서의 IR 이미지

Fig.9 Fig.8의 AGEMA Report Software 이미지

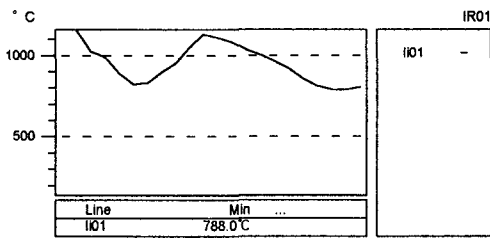


Fig.10 Fig.9의 Line 열 분포도

Fig.8은 59프레임 즉 용접 시작 시간부터 0.5초 간격으로 1프레임씩 촬영을 했으며 용접 과정 중의 59번째 프레임 IR 이미지이며 Fig.9는 Fig.8의 AGEMA Report 5.4 Software에서의 이미지이며 Fig.10은 Fig.9에서의 Line 1에 해당하는 AGEMA Report 5.4 Software에 의한 열해석 그래프이다. Line 1은 용접 방향에 대해 종축으로 용접 비드의 중심에 맞추어 선을 표시했으며 이 line에 대한 온도 분포를 나타냈다.

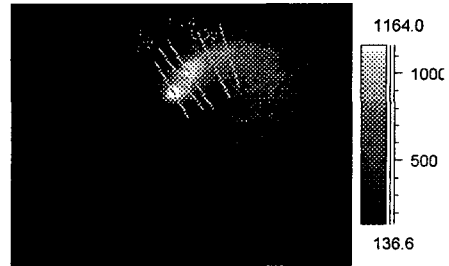


Fig.11 용접 진행방향의 횡축에 대한 분석

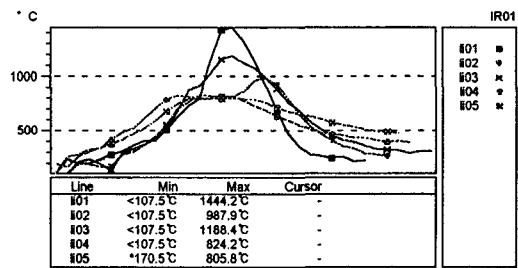


Fig.12 Fig.11에서 각각의 라인에 대한 그래프

위의 Fig.12는 59프레임에서 용접 비드의 횡축에 관해 분석한 그래프이며 Line 3부터는 용접 중심의 온도가 낮고 비드 중심으로부터 양쪽 온도가 차츰 높아졌다가 낮아지는 것을 알 수 있다.

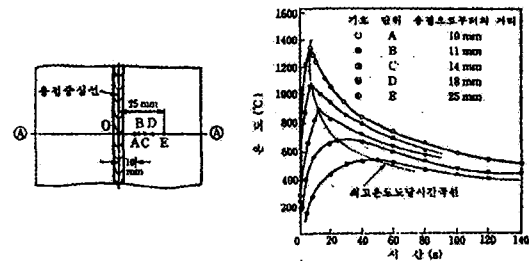


Fig.13 용접부의 전형적인 온도변화

Fig.13은 용접 중심선에서 떨어진 거리에 따른 온도 변화를 보여주는 것으로 용접부의 전형적인 온도 변화를 참고 문헌을 인용하여 나타내었다.⁽³⁾ 이것은 용접 비드의 중심선을 기준으로 하여 초기엔 온도가 낮다가 급 상승하여 차츰 열적 평형 상태로 향하는 곡선이다. 용접 시간과 거리에 관계되는 그래프로서 실험에 의한 용접 비드 중심에서의 종축과 횡축의 온도 변화 추이를 비교하는데 중요한 그래프라고 할 수 있다.

5. 결론

용접 작업 수행중에 용접 비드의 열 분포도 촬영을 실시간으로 측정시스템을 구현하였으며, 그로 인해 열화상과 열 분포도를 그래프화 하였으며 용접부에서의 전형적인 시간과 거리에 따른 온도 변화 그래프에서와 비교해 볼 때 신빙성 있는 결과를 확인하게 되었다. 용접작업 수행중에 용접 진행 방향에 종축으로 열 분포도를 나타낸 부분에서는 용접 와이어가 접촉해 있는 곳의 온도는 상대적으로 낮게 나타났으며 용접 진행 방향의 앞 부분과 뒷 부분에서 온도가 높게 나타나는걸 확인했다. 또한 용접 방향에 횡축으로 대한 열 분포도를 비교해 보면 시간이 흐를수록 열의 확산과 온도의 하향 곡선이 나타났다. 여기에서 주목할 점은 용접 곡선이 용접 비드의 중심부에서는 온도가 상대적으로 낮게 나타난다는 점이다. 용접 비드 중심부 온도는 낮고 그 대칭적으로 쌍곡선을 그리며 온도가 높아져서 다시 낮아지는 경향을 나타내고 있다. 용접 최고 온도는 1440℃정도였으며, 그 온도는 용접 와이어에서 진행방향으로 앞쪽에 나타났으며 용접 와이어 뒷 부분에서는 약 1188℃정도로 나타났다. 용접 과정 중에서 용접 진행방향의 뒤쪽부분에서 점차적으로 열전달이 나타나는 것을 확인 할 수 있었으며 그래프 곡선이 점점 퍼져나가는 것을 확인 할 수가 있었다. 그러나 용접 열화부분이 너무 빨리 열전도가 이루어져 용접 작업중에 용접 결합을 찾는다는 것은 대단히 어려운 일이므로 용접 작업이 끝난 직후 적외선 열화상 카메라를 이용해 온도가 상대적으로 낮은 부분을 찾아 결합을 파악해 낼 수밖에 없다는 점이다. 이 연구로 인해 앞으로 용접 전압과 용접 속도, 용접 전류와 관계해서 어떤 열적 차이점이 나타나는 것인지를 판단해 내야 할 것으로 분석된다.

6. 후기

본 연구에 사용한 적외선 열화상 카메라(Thermovision 900 AGEMA)를 협찬해 주신 산업자원부 부품산업 테크노 센터에 감사를 드립니다.

참고문헌

- (1) 오성민, "상용차의 차축 케이싱 너트부 용접 공정 자동화 시스템의 개발", 조선대학교 석사학위논문, pp. 11, 1996
- (2) Flir System AB, Stockholm "Level I Course Manual" Infrared Training Central
- (3) "용접공학" 문운당, pp. 37, 1999