

스테인레스 스틸의 방사율 측정실험

Experimental Study on the Emissivity of Stainless Steel

남호윤, 이길용, 김종만, 최석기, 박진호, 최일곤

한국원자력연구소
대전시 유성구 덕진동 150

요약

복사열전달에서 방사율은 중요한 관련 계수이다. 적외선 온도계를 이용한 간접적인 방법으로 스테인레스 스틸 316L과 304의 방사율을 표면온도와 시편에 따라 가열시간의 함수로 측정하였다. 실험오차는 3~10% 범위였고, 대부분의 오차가 열전대로 표면온도를 측정하는데서 발생하였다. 실험의 온도범위는 50~540°C 정도이며, 표면온도가 증가함에 따라 스테인레스 스틸 316L과 SUS 304의 방사율이 증가하였고, 증가율은 두 재질이 거의 같이 $1.31 \times 10^{-4} (1/^\circ\text{C})$ 정도 이었다. 중심선 표면조도가 $4.1\mu\text{m}$ 정도인 스테인레스 스틸 316L의 방사율은 이 온도범위에서 대략 0.44에서 0.51이며, 중심선 표면조도가 $2.0\mu\text{m}$ 정도인 스테인레스 스틸 304의 방사율은 대략 0.32에서 0.38 이었다. 스테인레스 스틸 304을 395°C에서 266시간 동안 방사율을 측정한 결과 0.03 정도 서서히 방사율이 증가하였다.

Abstract

The emissivity of material is a very important parameter for thermal radiative heat transfer. The emissivities of stainless steel 316L and 304 were measured as a function of surface temperature and heating time of test section by indirect method using the infrared thermometer. The error range of experiment is within 3~10% and most of errors were occurred in measuring the surface temperature by thermocouple. The range of temperature for the experiment was 50~540°C and the emissivities of stainless steel 316L and 304 were increased along with the increase of surface temperature, and the increase rates for two materials were approximately the same and the value was about $1.31 \times 10^{-4} (1/^\circ\text{C})$. The emissivity of stainless steel 316L with surface roughness $4.1\mu\text{m}$ was between 0.44 and 0.51, and the emissivity of stainless steel 304 with surface roughness $2.0\mu\text{m}$ was between 0.32 and 0.38 in this temperature range. The emissivity of stainless steel 304 was gradually increased by a value of 0.03 at 395°C for 266 hours.

1. 서론

방사율(thermal emissivity : ϵ)은 복사열전달 해석에서 사용되는 기본적인 계수이므로 스테인레스 스틸의 방사율에 관련된 참고자료가 많을 것으로 예상하였으나 참고자료[1,2]가 극히 제한되어 있었고, 표.1에서와 같이 방사율이 온도와 표면조도에 따라 0.17~0.73 정도의 값으로 넓은 범위에 걸쳐 나타나 있다. 방사율은 재질의 성질뿐만 아니라, 표면상태(거칠기, 산화정도, 온도)에 따라서 달라지므로 실제 적용하는데는 많은 어려움이 따른다.

재질의 방사율을 정밀하게 측정하는 방법[3,4,5]으로는 방사측정법(Radiometric Emissivity Method), 반사측정법(Reflectivity Method) 및 열량측정법(Calorimetric Method) 등이 있다. 방사측정법은 시편 자체가 방사하는 열복사를 방사검출기에 의하여 검출하고, 그것을 같은 온도의 흑체 방사와 비교하는 방법이다. 측정원리는 반구면경의 곡률중심에 시편을 설치하여 흑체에 가까운 방사율을 측정할 수 있고, 반구면경의 초점을 시편 외부로 편향시키기 위하여 반구면경의 회전 중심을 축으로 하여 좌우로 일정 각도를 편향시켜 시편 자체의 radiation flux를 얻어 측정할 수 있다. 이 방법에 사용되는 실험장치로는 시편과 무한 반사를 발생시키는 반구면경, 반구면경을 왕복회전운동 시키는 조향장치, 측정조건을 일정하게 유지시키는 수냉식 진공조, 시편표면의 radiation flux의 변화를 측정하고 흡수율 및 방사율을 측정하기 위한 적외선 방사 측정시스템 등으로 구성된다. 반사측정법은 다른 방사원으로부터의 열복사를 시편의 표면에 입사시켜, 시편에 의하여 반사된 방사플럭스를 방사검출기로 검출하고 시편의 방사율로부터 방사율을 구하는 방식이다. 열량측정법은 시편표면으로부터 주위로 손실된 열량을 계측한 후 관계식을 이용하여 방사율을 구하는 방식이다. 이와 같이 정밀히 방사율을 측정하는 방법을 사용하여 측정하면 3% 이하의 오차를 가질 것으로 예상되나 고가의 장비들과 정밀한 계측방법이 요구된다.

근사적으로 방사율을 측정하는 방법의 하나로 비교적 낮은 온도(260℃)를 가지는 물체에 대하여, 적외선 온도계의 측정면적을 충분히 포함하도록 물체 위에 적기 혹은 마스크테이프를 붙이고, 0.95로 설정된 방사율 값을 사용하여 테잎의 온도를 측정하는 방법이 있다. 물체표면의 일부분에 코팅이 가능하다면, 방사율 0.98을 갖는 무딘 검은색 페인트를 도포한 후에 방사율이 0.98로 설정된 적외선 온도계로 온도를 측정하고 다시 물체의 근접지역을 측정하여 같은 온도에 도달할 때까지 방사율을 조절하여 물체의 방사율을 찾는다. 또 한 방법으로는 열전대로 물체의 실제온도를 결정하고, 적외선 온도계를 이용하여 물체의 온도를 측정한 다음 열전대에서 측정한 온도와 같아지도록 적외선 온도계의 방사율 값을 조절하여 얻는다. 이 방식은 간접적인 방사율 측정방식으로 이동이 용이하고, 장시간 측정이 가능하며, 시편의 온도가 적외선온도계의 범위까지 측정이 가능하다는 장점이 있다. 그러나 오차가 높은 단점이 있다.

액체금속류에서는 공기의 자연순환에 의해 원자로의 벽면을 냉각하여 잔열을 제거하는 방법을 채용하고 있다. 이 열전달 기구에서 중요한 요소가 복사열에 의한 열전달이므로 방사율이 주요한 계수가 되어 여러가지 조건과 다양한 재질에 대한 방사율 자료가 필요하다. 이 논문에서는 시중에서 일반적으로 사용되는 강판인 스테인레스 스틸(SUS) 316L과 304를 시편으로 사용하여 표면온도에 따른 방사율의 변화와 표면의 산화도에 따른 방사율의 변화를 측정하여 분석하였다. 시료 표면의 산화도를 실험 도중에 측정할 수 없으므로 이 실험에서는 시간을 함수로 방사율을 측정하였다. 방사율을 측정하는 방법으로는 실험비를 절약하고 오차는 높으나 용이하게 방사율을 측정할 수 있는 방법인 적외선 온도계를 사용하여 간접적으로 방사율을 측정하는 방법을 채택하여 실험하였다. 이 측정방법의 타당성과 측정오차의 범위를 분석하였고, 측정된 방사율을 다른 참고자료들과 비교하였다. 실험에서는 3종류의 재질을 시편으로 사용하여 50~540℃ 온도범위에서 표면온도에 따른 방사율을 측정하였고, 또한 시편을 395℃ 정도로 장시간 유지하면서 표면의 산화도에 따른 방사율의 변화를 측정하였다.

2. 실험

2.1 실험장치 및 측정장비

실험장치는 그림.1과 같이 구성되며, 형상은 시편 지지대에 강판, 가열기, 동판, 시편 순으로 부착이 되어있다. 시편의 온도분포가 균일하도록 가열기와 시편 사이에 동판을 두었고, 외부는 단열재로 보온하고, 시편이 부착되는 전면에는 방사율이 적은 단열재로 5cm 정도 시편보다 나오게 만들어 외부의 영향과 대기의 자연순환에 의한 냉각을 최대한 방지하였다. 시편은 실험장치에 실제 사용되는 3종류의 스테인레스 스틸 강판의 일부를 채취하여 사용하였다. 시편들의 표면조도와 시편의 규격 및 용도는 표.2에 기술하였다. 시편의 규격은 $100 \times 100\text{mm}$ 로 적외선 온도계의 시편 요구치수보다 크게 제작하였다. 주요한 변수인 표면의 조도는 본 실험에서 각각의 시편에 대해서 측정하였다. 이 시편들은 시중에 일반적으로 사용되는 스테인레스 스틸의 표면세척제의 한 종류인 CHEMTEC 사의 SUS Cleaner (모델: SUS725)로 세척한 후에 물로 다시 세척하였다.

비접촉식 적외선 온도계는 Raytek사의 모델명 MX4+U로 이동이 용이하고 정확도가 $\pm 1\%$ 이고, 분해능은 0.01이다. 이 적외선 온도계에는 내장되어 있는 레이저에 의해 측정위치를 감식할 수 있는 기능이 있다. 적외선 온도계를 시편과 수직이 되도록 설치하였고 시편과의 거리는 750mm 정도를 유지하였다. 이 적외선 온도계는 적외선에 의한 온도측정 뿐만 아니라 열전대에 의한 온도도 동시에 측정할 수 있고, 자체에서 측정조건의 설정, RS232 포트로 PC에서 원격조정 및 측정할 수 있는 기능이 있다.

측정에서 가장 민감한 인자는 열전대에 의한 표면온도를 측정하는 방법이다. 본 연구에서는 표면온도 측정용인 OMEGA사 제품(model: 88013-K)을 사용하였다. 이 열전대의 측정면은 $\varnothing 5\text{mm}$ 인 원판형 집열판 형태이고, 센서 자체의 오차는 0.75%이다. 이와 같은 모델(button junction type)을 사용하면 표면에서 자연대류에 의한 열전달이 일어날 경우에 오차가 2~3% 정도[6]로 나타나므로 오차분석에서는 열전대의 편향오차를 2.5%로 계산하였다. 또한 측정오차를 최소화하기 위하여 열전대를 스프링으로 약간의 힘을 가해 시편의 표면과 열전대의 측정면을 완전히 접촉시켜 측정하였다.

적외선 온도계에서 측정한 실험치는 serial port로 전송되어 PC용 소프트웨어에 의해 control 및 측정 분석이 가능하다. 그러나 본 실험에서는 주위환경의 변화에 따라 표면온도가 변하므로 짧은 시간동안에 측정하기 위하여 소프트웨어에서 방사율을 변화시키면서 적외선 온도계와 열전대에 의해 나타나는 소프트웨어 상의 온도를 기록하는 방법을 채택하였다.

2.2 측정방법

시편을 2kW 용량의 가열기에 고정시킨 후 출력전력과 온도를 선택적으로 제어할 수 있는 전력의 출력제어기를 설치하였으나 본 실험에서는 표면온도의 요동을 극소화하기 위하여 온도제어 대신 출력전력을 일정하게 유지시키면서 표면온도를 제어하였다.

표면온도가 일정하게 유지되면 열전대로 표면온도를 측정한 후, 열전대를 제거하고 같은 위치에서 적외선 온도계로 온도를 측정한다. 이 적외선 온도계의 방사율을 조절하여 적외선 온도계에 나타나는 온도가 열전대에서 측정한 온도(기준온도)와 같아지게 만들고, 이 때의 방사율을 시편의 방사율로 간주하였다. 그림.2는 스테인레스 스틸 316L인 시편 RV-2를 사용하여 열전대로 측정한 3종류의 기준온도(47.3°C , 282.2°C , 476.1°C)에 대해 각각 방사율을 0.2에서 1.0까지 변화시키면서 적외선 온도계에 나타난 온도를 표시한 것이다. 이 그림에서 보는바와 같이 적외선 온도계의 방사율이 달라지면 적외선 온도계에서 나타나는 온도의 값이 상당히 변화한다. 기준온도가 282.2°C 인 경우의 그래프에서 y-좌표가 282.2°C 근방에서 온도에 대한 적외선 온도계의 방사율의 변화율은 $d\epsilon/dT = -0.00236$ 이다. 그러므로 적외선 온도계가 4°C 이하의 온도 분해능을 가지면 이 측정방법은 0.01 보다 좋은 분해능을 갖고 방사율을 측정할 수 있다.

기준온도 282.2℃에서 방사율과 적외선 온도계가 나타내는 그래프에서 y-좌표 282.2℃가 그래프와 만나는 점의 x-좌표인 방사율이 282.2℃에서의 시편의 방사율이고 이 값은 0.47 정도이다. 이 그림에서는 경향을 보이기 위하여 방사율을 0.1 씩 증가시키면서 측정하였으나 실제 측정에서는 표면온도 282.2℃에서의 방사율을 기준으로 상하로 0.01 씩 방사율을 증가 또는 감소시키면서 측정하였다.

그림.2에서와 같이 시편의 표면온도가 낮아질수록 적외선 온도계의 de/dT 의 절대값이 증가한다. 즉, 낮은 온도에서는 적은 온도의 변화에도 방사율이 많이 변하므로 낮은 온도에서 이 방법으로 방사율을 측정하면 본 실험에서 가장 높은 측정오차인 열전대에 의한 표면온도 측정오차가 방사율의 측정오차에 전파되어 실험오차가 증가한다. 그러므로 50℃ 이하에서는 본 실험에서 사용한 방법으로 방사율을 측정하는 것은 적합하지 않다.

시편의 온도변화에 따른 방사율을 측정하는 실험에 사용한 시편은 1주일 이상 시편을 상온에서 500℃ 정도까지 수차례 가열과 냉각을 거듭한 후 측정에 사용하였다. 표면 산화도에 따른 방사율 측정실험에서는 시편의 초기상태에서부터 가열을 시작한 2시간 후부터 전력제어에 의해 시편의 표면온도를 380~400℃ 정도로 유지하면서 시간에 따라 방사율을 측정하였다. 실험에서 시간의 기준점은 가열을 시작한 시점이다. 시간에 따라 동일한 표면온도를 유지하면서 방사율을 측정하여야 하지만 실내온도 및 외부전력의 조건에 따라 측정할 때마다 표면온도가 변화하였다. 대표적인 한 표면온도에서의 방사율 값을 비교하기 위하여 실제 온도에서 방사율을 측정한 후에 본 실험의 전 단계에서 측정한 온도변화에 따른 방사율 값의 변화율을 사용하여 보정하였다. 대표 표면온도는 각 실험에서의 표면온도를 평균한 값을 사용하였다.

실험절차는 시편의 온도를 설정온도로 유지시킨 후에 열전대를 측정하고자 하는 표면에 부착하여 온도(표준온도)를 측정한다. 다시 열전대를 제거하고 같은 위치에 적외선 온도계를 맞추어 적외선 온도계가 열전대 온도계와 유사한 온도를 나타내도록 적외선 온도계의 기준이 되는 방사율을 조절한다. 기준이 되는 방사율을 중심으로 방사율을 0.01 만큼 증가 또는 감소시켜 가면서 각각 2~3 번씩 방사율을 조절하고, 이때의 방사율과 온도를 측정한다. 위와 같은 절차를 5번 반복하였다.

3. 실험결과

3.1 온도에 따른 방사율 측정 실험결과

온도에 따른 방사율 측정실험은 표.2에서와 같이 시편 RV1(SUS316L), RV2(SUS316L) 및 CV2(SUS304)을 사용하여 실험하였다. 참고문헌에서 조사한 기존의 방사율 값은 넓은 온도범위에서 양단 두 값으로 주어져 있고 또한 표면조건이 유사하지만 참고문헌에 따라 SUS316인 경우 거울표면과 같이 연마한 표면(Polished on buffing wheel to mirror surface)에서는 방사율이 0.17에서 0.33 정도이고, 표면의 조도상태는 나타나 있지 않으나 표면을 연마하지 않고 단순히 표면을 세척한 경우에는 0.23에서 0.66로 방사율이 넓은 범위에 분포하여 있다.

그림.3은 SUS 316L인 시편 RV1과 RV2에서의 온도에 따른 방사율을 측정한 것으로 참고문헌에서 조사한 SUS 316의 방사율값과 비교한 것이다. SUS 316L에 대한 방사율을 기술한 문헌은 극히 제한되어 주로 SUS 316의 방사율 자료와 비교하였고, 참고한 자료의 표면상태는 표.1에서 자세히 기술하였다. 이 그림에서는 RV1과 RV2의 방사율이 미세한 차이로 RV2가 높게 보이나 오차범위 내에 있으며, 이 경향을 두 시편의 중심선평균조도가 RV1이 $4.044\mu\text{m}$, RV2가 $4.244\mu\text{m}$ 이므로 RV2의 방사율이 미세하게 높을 것으로 설명할 수 있으나 이 경향은 두 시편의 방사율 차이가 실험의 오차범위에 비해 매우 적으므로 조도의 차이에 의한 방사율의 차이라고는 설명할 수 없다. 본 실험의 측정조건에서는 SUS316L의 방사율은 시편이 달라도 유사한 것으로 간주된다.

SUS316L 실험에서 시편표면의 온도가 증가하면 표면조도도 직선적으로 증가하는 것으로 나타

나지만 그 증가율은 매우 완만하여 44℃에서 540℃까지 증가하는 동안 방사율은 대략 0.44에서 0.51 정도로 증가하였다. 측정된 SUS 316L 시편의 방사율을 온도에 대해 1차 식으로 최적 관련 식을 구하면 다음과 같다.

$$\varepsilon = 0.437 + 1.313 \times 10^{-4} T \quad (1)$$

여기에서 ε 은 시편의 방사율을, T 는 온도(℃)를 나타낸다.

실험에서 측정된 SUS 304의 방사율과 참고문헌에 기술된 방사율을 그림.4에 도시하였다. 본 실험치를 세밀히 분석하면 100℃ 미만에서는 온도에 따라 방사율이 증가하는 율이 높지만 100℃ 이상이 되면 증가율이 적어지면서 SUS 316L의 방사율과 거의 같은 기울기를 보이면서 증가한다. 그러나 전체적인 관점에서 볼 때에는 온도에 따라 거의 1차 식으로 변하고 있으며, 100℃에서 537℃까지 증가하는 동안 방사율이 대략 0.32에서 0.40까지 증가하였다.

SUS 316L 실험치와 비교하여 보면 SUS 304의 방사율이 SUS 316L의 방사율보다 같은 온도에서 대략 0.13 정도 즉, 약 30% 정도 낮다. 표.1의 조도 측정에서 SUS 304(CV2)의 중심선 평균조도가 대략 2.0 μ m 이고, SUS 316L(RV2)의 중심선 평균조도가 대략 4.0 μ m 정도이므로 SUS 304의 표면조도가 SUS 316L의 1/2 정도이다. SUS 304의 방사율이 낮은 이유가 표면조도의 영향인지 또는 재질 자체의 특성에 더 기인하는지는 본 실험자료 만으로는 분명하지 않다.

이 그림에서 100℃보다 낮은 적은 방사율값의 3개의 실험치를 제외한 SUS 304 시편의 방사율을 온도에 대해 1차 식으로 기술하면 다음과 같다.

$$\varepsilon = 0.306 + 1.310 \times 10^{-4} T \quad (2)$$

3.3.2 표면 산화도에 따른 방사율 측정 실험결과

표면산화도에 따른 방사율 측정실험은 SUS 304인 시편 CV1을 사용하여 수행하였다. 실험에서는 대기중에서 시편의 표면온도를 395℃ 정도에서 장시간 연속적으로 유지하면서 시간에 따라 방사율을 측정하였다. 본 실험에서는 가열시간에 따른 표면 산화도의 변화는 측정할 수 없었기 때문에 가열한 시간을 기준으로 삼아 방사율을 측정하였다. 기준시간은 시편을 가열하기 시작한 시간으로 하였고, 2시간 후에 400℃ 근방으로 온도를 상승시켰다.

11일간 측정하는 동안 주위의 대기온도와 전력의 변동 등이 발생하였다. 그 기간동안 각각의 시간대에서 측정된 기준온도의 평균값 즉, 평균온도는 395℃이고 표준편차는 ± 6.5 ℃ 정도이었다. 이 기준온도의 요동에 따라 방사율에 미세한 변동이 발생하므로 같은 기준온도에서의 시간에 따른 방사율을 보이기 위하여 SUS 304의 방사율과 온도와의 관계식 식(8)에서 온도에 대한 방사율의 변화량을 고려하여 보간하였다. 이 값을 사용하여 시간에 따른 방사율값을 나타낸 것이 그림.5와 같다. 266 시간동안 방사율이 서서히 증가하고 있으며 초기보다 0.03 정도 즉 약 10% 정도 증가하였다.

측정 오차분석은 ASME 규격에 따라 수행하였다. 본 실험에서 가장 많은 오차를 발생시키는 것은 열전대에 의한 표면온도의 측정하는데 있었다. 이 평가방법으로 분석한 오차는 각 실험치마다 다르나 대략 3.5%~10% 정도의 측정오차를 보였다.

4. 결 론

(1) 열전대로 시편 표면온도를 측정된 기준온도와 적외선 온도계의 방사율을 조절하여 시편표면의 온도를 비교하여 방사율을 측정하는 방법으로 방사율을 측정하였다. 실험오차는 3~10% 범위

였고, 대부분의 오차가 열전대로 표면온도를 측정하는 데서 발생하였다.

(2) 실험의 온도범위는 50~540°C 정도이며, 표면온도가 증가함에 따라 SUS 316L과 SUS 304 재질의 방사율이 증가하는 비율은 두 재질이 거의 같고 증가율은 $1.31 \times 10^{-4} (1/^\circ\text{C})$ 정도이다.

(3) 중심선 표면조도가 $4.1 \mu\text{m}$ 정도인 PSDRS 실험장치용 재질인 SUS 316L의 방사율은 50~540°C 표면온도 범위에서 대략 0.44에서 0.51로 온도($^\circ\text{C}$)에 따라 증가하였고 실험식은 다음과 같다.

$$\varepsilon = 0.437 + 1.313 \times 10^{-4} T$$

(4) 중심선 표면조도가 $2.0 \mu\text{m}$ 정도인 PSDRS 실험장치용 재질인 SUS 304의 방사율은 100~540°C 표면온도 범위에서 대략 0.32에서 0.38로 온도($^\circ\text{C}$)에 따라 증가하였고 실험식은 다음과 같다.

$$\varepsilon = 0.306 + 1.310 \times 10^{-4} T$$

(5) 시편으로 사용한 SUS 304의 방사율은 SUS 316L의 방사율 보다 대략 0.13 즉, 30% 정도 낮다. 이 차이는 표면조도가 낮기 때문에 발생하는지 재질의 특성으로 인하여 기인하는지 본 실험치 만으로는 분명하지 않다.

(6) 395°C에서 266시간 동안 가열하면서 측정한 결과 방사율은 서서히 증가하고 있으며 초기에 비해 0.03 정도 증가하였다. 시간에 따라 방사율이 증가하는 경향을 분석하기 위하여 이 실험은 계속 수행하고 있으며, 추후 발표할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력 중장기 연구개발 사업의 지원에 의하여 수행되었다.

참고문헌

1. William H. McAdams, Heat Transmission, McGraw-Hill book Co., 1954.
2. Siegel-Howell, Thermal Radiation Heat Transfer, McGraw-Hill book Co., 1972.
3. 이준상, 반사경 흑체법을 이용한 스펙트럼 방사율 측정, 숭실대학교, 석사학위논문, 1993.
4. 이종복, 동에 방사되는 적외선 방사율에 미치는 표면상태의 영향, 충남대학교, 석사학위논문, 2000.
5. 최진, 알루미늄의 표면 상태와 열방사율에 관한 연구, 충남대학교, 석사학위논문, 2000.
6. A.J. Otter, "Thermocouples and Surface Temperature Measurement", AECL-3062, 1968

표.1 다양한 표면에 따른 총 방사율 [William, 1954]

재질	Surface	deg (°C)	Emissivity	Ref.
Sus316	1. Cleaned with toluene, then methanol	10	0.28	1-1
	2. Cleaned with soap and water, toluene, and methanol in succession		0.28	
	3. Polished on buffing wheel to mirror surface, cleaned with soap and water, toluene, and methanol		0.17	
Sus316	Cleaned with toluene, then methanol results after repeated heating and cooling	219-857	0.57-0.66	1-2
Sus316	Cleaned with soap and water, toluene, and methanol in succession results after repeated heating and cooling	219-1035	0.52-0.50	1-3
Sus316	Polished on buffing wheel to mirror surface, cleaned with soap and water, toluene, and methanol	219-1035	0.26-0.31	1-4
Sus316	Polished	204-1038	0.24-0.31	2-1
Sus304	Light silvery, rough, brown, after heating results after repeated heating and cooling	202-476	0.44-0.36	1-5
Sus304	After 42 hr heating at 513°C	202-513	0.62-0.73	1-6

표.2 실험시편의 규격 및 표면조도

조도 측정 조건					비 고
총계측길이(LT) : 5.600mm 실계측길이(LM) : 4.000mm VB : 25.00 μ m 구간길이(LC) : 0.800mm					
시편명	재질	규격(mm)	중심선평균조도 (Ra, unit : μ m)	10점평균조도 (Rz, unit : μ m)	
RV1	SUS316L	100×100×6	4.044	18.64	온도에 따른 방사율
RV2	SUS316L	100×100×6	4.228	22.61	온도에 따른 방사율
CV1	SUS304	100×100×5	2.811	14.36	표면산화도에 따른 방사율
CV2	SUS304	100×100×5	1.996	11.29	온도에 따른 방사율
AC1	SUS304	100×100×3	3.925	18.82	온도에 따른 방사율
AC2	SUS304	100×100×3	3.629	19.07	예비시험

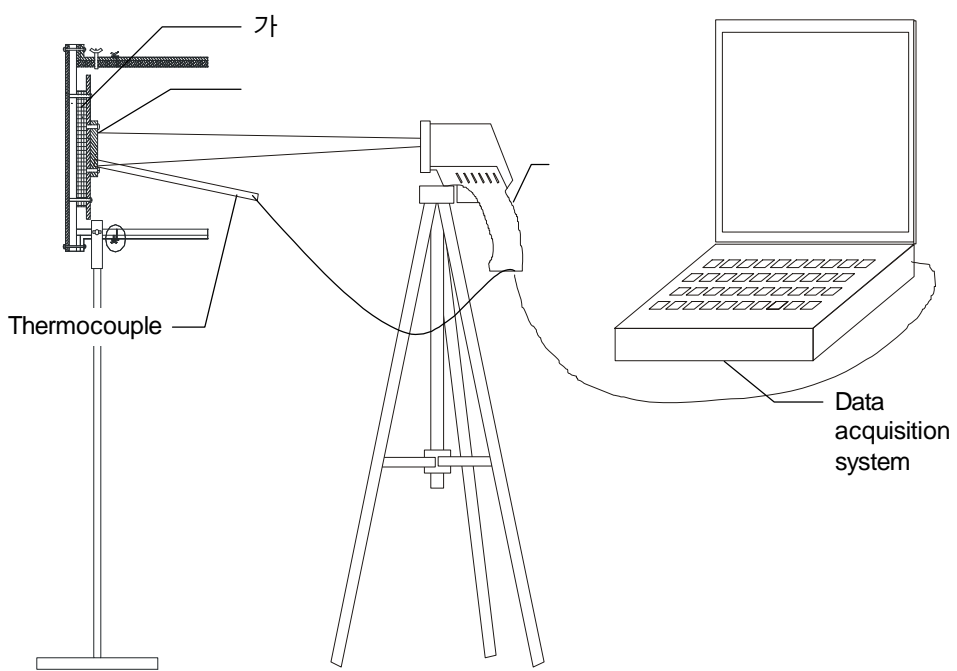


그림.1 방사율 측정용 실험장치

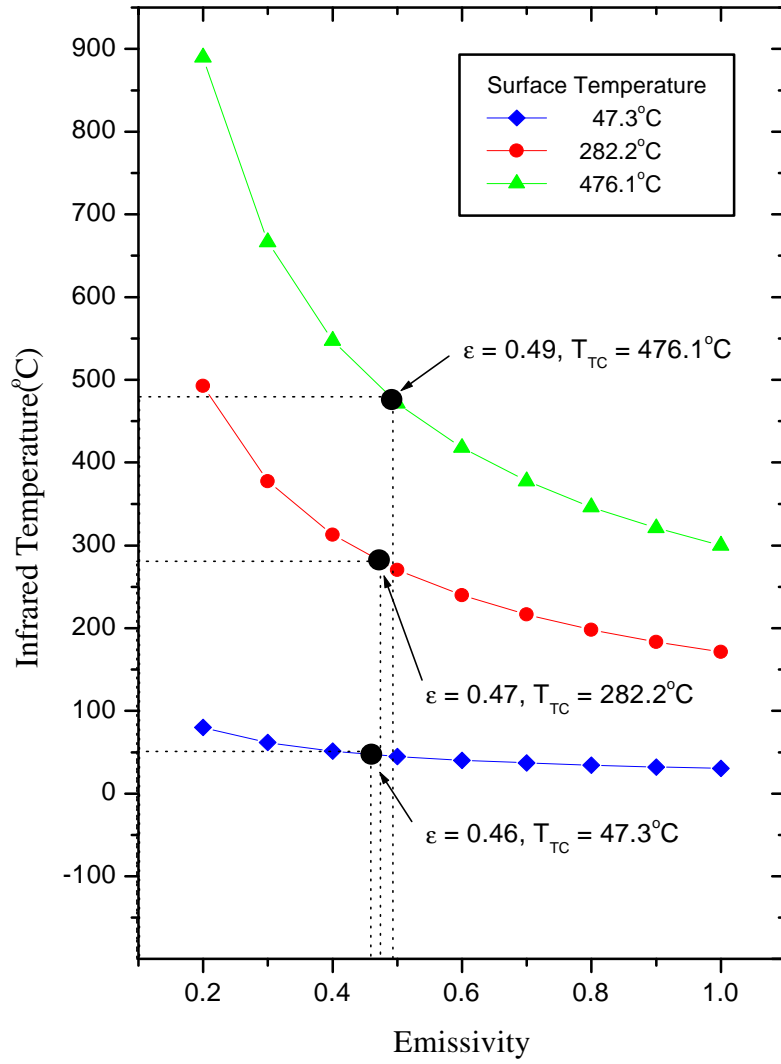


그림.2 일정한 온도에서 적외선 온도계의 민감도 및 방사율 측정방법
(시편: RV2 SUS316L)

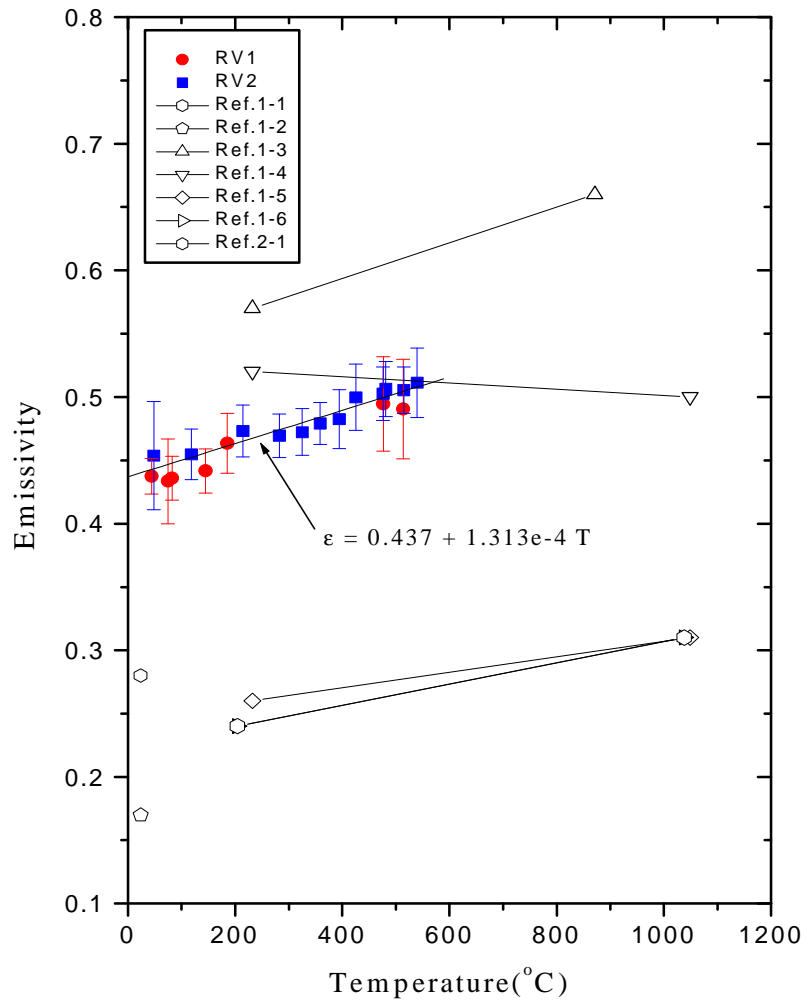


그림.3 SUS 316L의 표면온도에 따른 방사율 (시편 RV1, RV2)과
참고문헌(표.1)에서의 SUS 316의 방사율

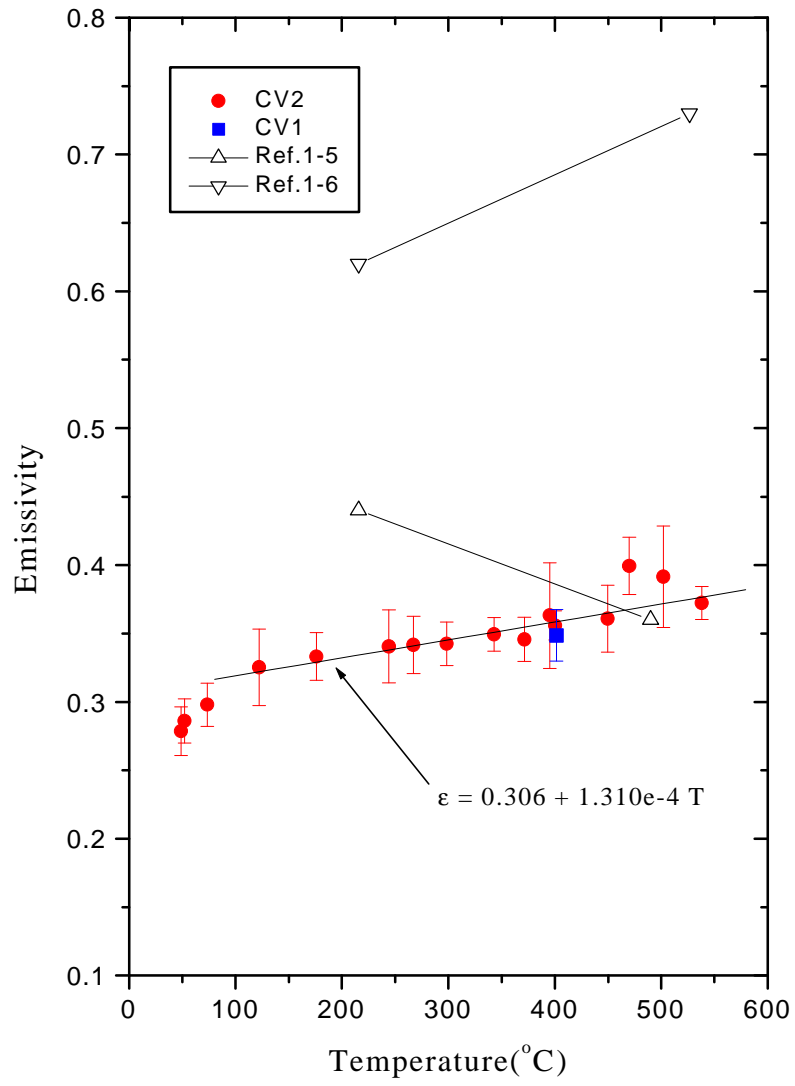


그림.4 스테인레스 강 304(시편 CV1, CV2)의 표면온도에 따른 방사율과 참고문헌(표.1)에서의 방사율과 비교

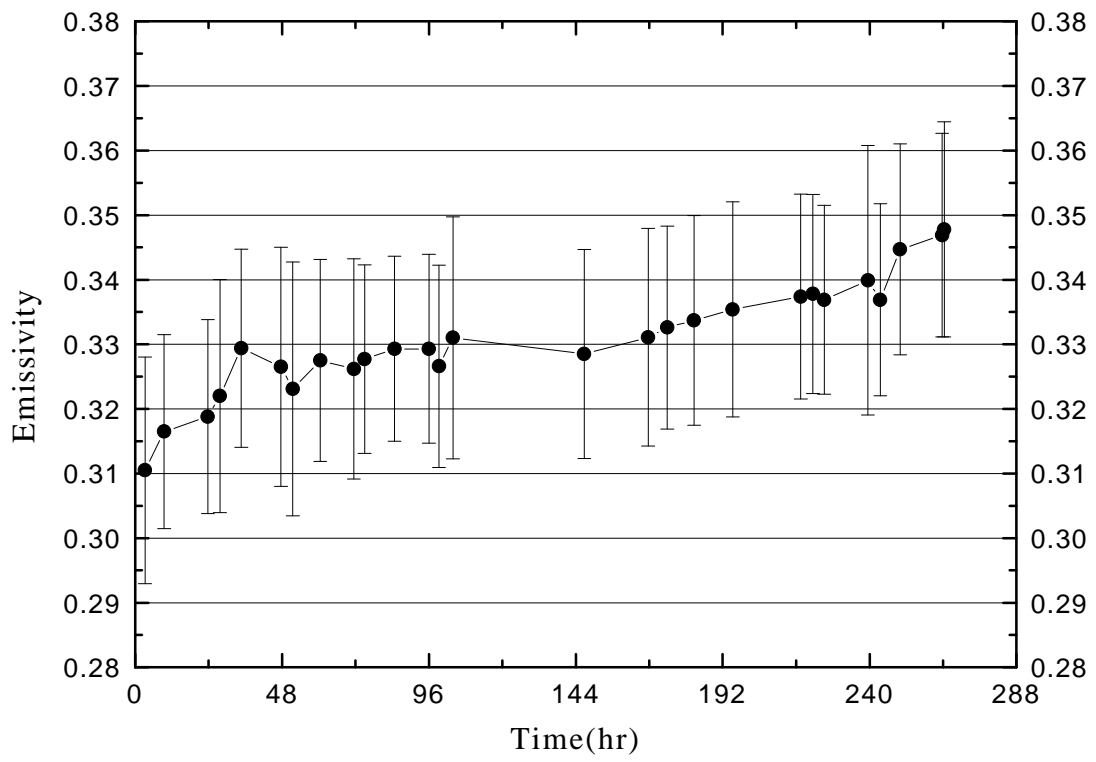


그림.5 스테인레스 스틸 304 시편(CV1)의 표면온도 395°C에서의 시간에 따른 방사율 변화