

세라믹 열차폐코팅의 열차폐성능평가 기법 개발

Development of Thermal Barrier Performance Test Method for Ceramic Thermal Barrier Coating

*김용석¹, #석창성¹, 이시영¹, 구재민¹, 김상훈², 양성호²

*Y.S.Kim¹, #C.S.Seok(seok@skku.eduemail.com)¹, S.Y.Lee¹, J.M.Koo¹, S.H.Kim², S.H.Yang²

¹성균관대학교 기계공학과

²한진 KPS GT 정비기술센터

Key words : Thermal barrier performance test method, Thermal barrier coating, Convective heat transfer

1. 서론

가스터빈에 적용되는 열차폐코팅은 부품의 표면온도를 낮추어 모재를 고온의 극한환경으로부터 보호해 주는 역할을 한다. 따라서 열차폐코팅에 의한 온도하강 효과 측정은 부품수명을 정확히 예측하기 위해 반드시 선행되어야 하는 연구이다.[1,2]

실제 가스터빈에 적용되는 열차폐코팅의 경우, 두께가 200~700 μm 정도로 매우 얇은 코팅층을 형성하는데 반해, 세라믹 코팅층의 열전도도 평가에 사용되는 시험편의 경우, 최소 요구 두께가 3mm 정도로 비교적 두꺼운 시험편을 사용하게 된다. 이러한 벌크재의 경우, 제작방법의 차이 등으로 인하여 실제 얇은 코팅층과 다른 물성을 가지게 되며, 실제 사용되는 모재와 본드코팅이 아닌 열전도도가 높은 구리 등에 용사·적층하여 시험편을 제작하므로 실제 코팅의 계면과는 다른 계면을 가지게 되어 실제 열차폐코팅의 열전도 현상을 정확히 모사하기 힘든 한계가 있다.

따라서, 실제 가스터빈에 적용되는 모재와 본드코팅, 탑코팅으로 이루어진 시험편을 사용하여 열차폐성능을 평가하는 시험법 개발이 필요하다. 본 연구에서는 실제 가스터빈에 적용되는 코팅을 적용한 시험편을 이용한 열차폐성능평가 기법을 제시하였으며, 그 신뢰성을 평가하였다.

2. 시험장치

Fig 1과 같이 가스터빈 내부의 고온환경을 모사 가능한 고온전기로(최고온도=1300 ℃)와 내부 냉각 시스템 모사가 가능한 냉각유량 공급 시스템(최대유량=100 SLM)을 갖춘 열차폐성능 평가시스템을 사용하여 시험을 진행하였다.

시험편의 한쪽 면은 고온전기로의 내부에 노출시킨 채로 가열하면서 동시에 반대쪽은 냉각유량

에 노출시킨 채로 시험편 내부에 가스터빈 고온 부품과 같은 온도구배가 형성되도록 시험조건을 설정하였다.

시험편과 지그 사이의 모든 공간은 열전도율이 매우 낮은 Ceramic paste로 채웠으며, 이를 통해 시험편과 지그의 직접 접촉을 방지하여 열전도에 의한 오차를 최소화 하였다.

시험에 사용된 시험편들은 시험편 중앙까지 홀이 공이 되어있어 써모커플을 이용하여 시험편 중앙부의 온도를 측정할 수 있도록 제작되었다.

3. 퍼니스 내부 환경변수 측정

위에서 소개한 시험장치와 Fig. 2 (a)와 같이 제작된 금속모재(In738LC) 시험편을 이용하여 시험을 수행하였다. 시험편 내부 온도는 중앙에 가공된 두 개의 홀에 써모커플을 삽입하여 측정하였으며, 이 결과를 열전달 해석결과와 비교하여 퍼니스 내부의 환경변수를 도출하였다($T_f=1573$ K, $h_f=0.000604$ W/mm²K, $T_c=298$ K, $h_c=0.00036$ W/mm²K). 이때, 모든 열전달은 퍼니스와 냉각공기의 대류현상에 의해 일어난다고 가정하였다.

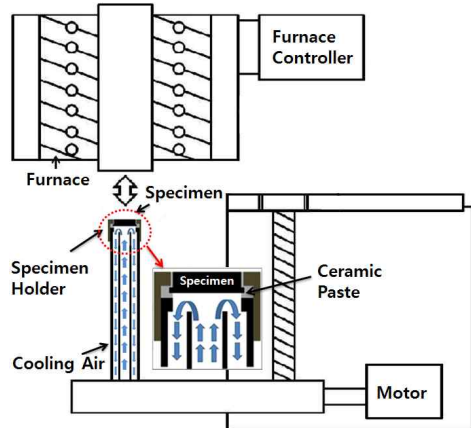


Fig. 1 Thermal barrier performance tester

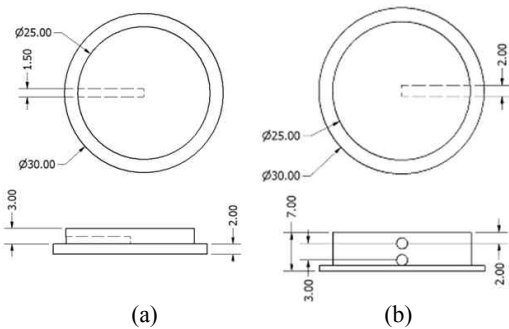


Fig. 2 Specimen geometry, (a) the specimen for environmental factor measurement for furnace, (b) the specimen for thermal barrier performance test

Table 1 The results of thermal barrier performance test and heat transfer analysis

Top Coat	204NS-G	Praxair	AMS-2
Temp. at Center Hole (°C)	695	698	705
Conductive Heat Transfer Coefficient (°C)	2.48	2.71	3.99
△T(gas turbine)	89.1	82.1	65.7

4. 열차폐성능평가

시험편 내부 중앙의 온도를 측정할 수 있도록 Fig. 2와 같은 형상으로 열차폐성능평가 시험편을 제작하였다. 모재는 In738LC를 사용하였으며, MCrAlY 분말을 사용하여 LVPS 방식으로 본드코팅을 0.3mm두께로 실시하였고, 가스터빈 블레이드 코팅재료 널리 사용되고 있는 상용 파우더인 204NS-G, Praxair, AMS-2를 탑코팅 재료로 사용하여 APS방식으로 코팅을 0.4mm두께로 실시하였다.

Table 1은 시험을 통해 획득된 각 시험편 중앙의 온도를 보여준다. 이 결과 204NS-G파우더를 사용한 결과의 열차폐성능이 가장 좋은 것으로 평가되었다.

5. 열전달 해석

획득된 시험장치의 환경변수와 열차폐성능평가에 사용된 시험편의 형상(Fig. 2)을 적용하여 열전달해석을 수행하였다. 시험결과와의 비교를 통해 각 코팅층의 열전달계수를 획득하였다.

또한, 계산된 세라믹 탑코팅층의 열전달계수를

활용하여 동일 코팅이 실제 가스터빈에 적용되었을 경우, 발생하게 될 온도하강 효과를 2D 열전달 해석을 통하여 획득하였다[2] 본 연구를 통해 획득된 온도하강 효과는 Kumar 등[3]이 선행연구를 통해 밝힌 탑코팅층의 온도하강률(240K/mm)와 유사한 경향(164~223K/mm)을 보임을 알 수 있다.

Table 1은 시험결과 및 열전달 해석결과를 보여준다.

6. 결론

1. 벌크재를 통해 시험할 경우 발생하는 오차를 최소화시키기 위하여 실제와 동일한 열차폐코팅을 적용한 시험편을 활용한 열차폐성능평가 시험법을 제시하였다.

2. 열차폐성능평가 결과, 204NS-G 파우더가 가장 우수한 열차폐성능을 가지는 것으로 평가되었다.

3. 열전달해석을 통해 각 코팅이 실제 가스터빈 가동환경에 적용되었을 경우 발생하는 온도하강 효과를 도출하였다. 이는 Kumar 등[3]이 선행연구를 통해 밝힌 탑코팅층의 온도하강률(240K/mm)와 유사한 경향(164~223K/mm)을 보임을 알 수 있다.

후기

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아수행된 연구임 (No.2011-0020024)

참고문헌

1. 신인환, 길일환, 구재민, 석창성, 이택운, 김범수, "가스터빈 블레이드 열차폐 코팅의 등온산화 및 열피로 특성 평가," 2010년도 대한기계학회 재표 및 파괴 부문 춘계학술대회 논문집, 149-150, 1999.
2. 신인환, 김대진, 구재민, 석창성, 이택운, "열차폐 코팅의 등온 및 주기 산화 특성 평가에 관한 연구," 한국정밀공학회 2009년도 춘계학술대회논문집, 725-726, 2009.
2. Mohammad H. Albeirutty, Abdullah S." Heat transfer analysis for a multistage gas turbine using different blade-cooling schemes," Applied Thermal Engineering 24 563-577, 2004.
2. N. Asok Kumar, S.R. Kale, "Numerical simulation of steady state heat transfer in a ceramic-coated gas turbine blade," International Journal of Heat and Mass Transfer, 45, 2002, 4831-4845.