

# Epoxy 종류에 따른 다공성 지르코니아 열차단 코팅 시편의 인장강도 특성변화

## Characteristic Changing of Tensile Strength for Thermal Barrier Coating Specimens with Various Porosity according to Applied Epoxy

\*\*김문영<sup>1</sup>, 양성호<sup>2</sup>, 김상훈<sup>3</sup>, 박혜숙<sup>4</sup>

\*\*Moon-Young Kim(mykim@kps.co.kr)<sup>1</sup>, Sung-Ho Yang<sup>2</sup>, Sang-Hoon Kim<sup>3</sup> and Hye-Sook Park<sup>4</sup>  
한진KPS(주) GT 정비기술센터

Key words : Thermal Barrier Coating, YSZ(Yttrium Stabilized Zirconia), Degradation, Thermally Grown Oxide, Bond Test

### 1. 서론

고온에서 사용되는 재료의 운전 중 표면 온도를 감소시켜 열화를 방지하는 열차폐 코팅은 MCrAlY의 본드 코팅(Bond Coating)과 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 이용하여 안정화시킨 ZrO<sub>2</sub>의 탑 코팅(Top Coating)으로 구성되어 있다. 열차단 효과를 나타내는 부분은 YSZ(Yttrium Stabilized Zirconia)의 탑 코팅층이며, 탑 코팅층의 기공도(Porosity)가 열차단 특성에 많은 영향을 주게 된다. 그러나, 이러한 탑 코팅층의 기공은 코팅층의 인장강도(Tensile Test) 실험을 위하여 사용되는 액상형 에폭시(Liquid Epoxy)의 침투로 인해 실제 코팅층의 인장강도 보다 높은 인장강도가 나타나게 된다. 따라서, 주입된 에폭시 액으로 인하여 실제 탑 코팅 강도보다 높은 인장강도를 보여주게 되며, 신뢰성에도 문제가 야기된다. 현재까지 이러한 코팅층의 인장시험이 ASTM C633에 따라 일반적으로 수행되어져 왔다. 따라서 현재까지 사용하고 있는 코팅층 인장강도 평가방법의 문제점에 대하여 검토해 보고자 하였다.

본 논문의 실험 데이터 비교·검토 실험을 위하여 다공성 탑 코팅층을 갖고 있는 열차단 코팅에서 액상형 에폭시를 사용한 인장강도(Tensile Test) 결과와 필름 에폭시(Film Epoxy)를 사용한 Tensile Test 결과 값을 비교하고, 두 종류의 에폭시에서 발생하는 차이의 원인을 조사하였다. 또한 코팅의 기공도와 에폭시의 종류 변화에 따른 코팅 접착력의 변화를 관찰하였다. 실험에 사용한 코팅 시험편은 탑 코팅층의 기공도가 5~15%의 것과 10~25%인 것을 사용하였으며, 에폭시는 액상형(3M Scotch weld 2214)과 필름형(3M Scotch Weld AF42) 두 종류를 사용하였다.

### 2. 시편형상 및 치수

실험에 사용된 코팅시험편의 지름은 25mm, 두께 5mm의 Hastelloy X 재질을 사용하였다. Fig. 1은 시험편의 치수 및 형상을 보여주고 있다.

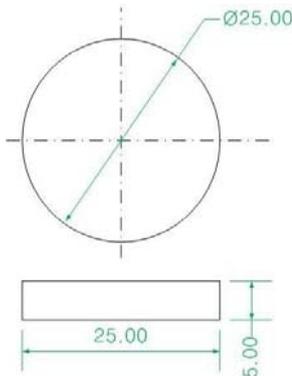


Fig. 1 Specification and dimension for coin specimen

### 3. 실험절차

Fig. 2는 시험제작을 위한 코팅 절차를 보여주고 있다. 코팅 순서로서는 APS(Atmosphere Plasma Spray)에 의한 본드 코팅을 수행한 후 탑 코팅을 수행하였다. Table 1은 코팅재질과 두께를 보여주고 있다. 코팅 후에 액상형과 필름형 에폭시를 사용하여 Curing 실시 후 ASTM C633의 절차에 따라 실험을 실시하였다. 실험에 사용된 코팅은 기공도가 10~25%의 코팅시험편을 사용하였으며, 액상형 Epoxy인 3M Scotch Weld 2214와 필름 에폭시인 3M Scotch Weld AF42를 사용하였다. Table 2는 두 Epoxy의 Curing 조건을 보여주고 있다.



Fig. 2 Coating procedure

Table 1 Coating conditions for specimen of tensile test

	Method	Coating Material		Thickness (μm)	Porosity (%)
		Bond	Top		
A	APS	Amdry 962	204C-NS	500	25

Table 2 Conditions for isothermal ageing

	Type	Epoxy Product Name	Thickness (μm)	Curing Condition
1	Liquid	3M Scotch Weld 2214	-	117°C, 6Hr
2	Film	3M Scotch Weld AF 42	50	204°C, 3Hr

실험절차는 우선적으로 에폭시 자체 인장강도를 확인하기 위한 시험제작을 위하여 지그(Jig)에 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Grit # 24를 60Psi의 압력으로 45°~60°의 각도로 블라스팅 건(Blasting Gun)과 시험편의 각도를 유지하며 5~6회 왕복후 표면조도가 164μm Ra 이상이 되도록 블라스팅한다. 블라스팅을 실시하여 일정한 표면 거칠기를 만든 후 액상형 에폭시와 필름형 에폭시를 이용하여 자체강도 검사용 시험편을 제작하였다.

Fig. 3은 자체 에폭시의 인장강도를 시험하기 위한 시험편의 모양을 보여주고 있다. 여기서는 두 종류의 에폭시를 이용하여 (a) 자체강도를 측정하는 지그의 모양이며, (b)는 코팅시험편에 코팅을 실시한후 지그에 직접 코팅을 수행한 시험편을 부착하여 인장강도 실험을 실시하였다.

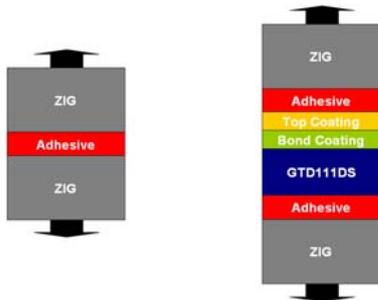


Fig. 3 Schematic configuration of jig and coating specimen for tensile strength test



Fig. 4 Tensile strength test procedure for coating specimen

Fig. 4는 코팅시험편의 시편제작 후 인장시험하는 절차를 사진으로 보여주고 있다.

#### 4. 실험결과

##### 4.1 접착제 강도

코팅층 인장강도 실험은 MTS 810 인장시험기를 이용하여 실시하였다. 에폭시 자체강도를 측정은 두 종류의 Epoxy에 대하여 실시하였다. 액상형 에폭시에 접합하여 측정한 인장강도의 평균 값은 72.59Mpa이고, 필름형 에폭시 에 의하여 접합된 시편의 인장강도 값은 71.46Mpa이다. Table 3은 그것에 대한 실험결과 값을 보여주고 있다. 일반적으로 코팅 접착제의 기준강도 값은 ASTM F 1147에 규정하고 있으며, 그 값은 34.5Mpa(5,000psi) 이상으로 규정하고 있다.

Table 3 Tensile strength result of two epoxy

Epoxy	Tensile Strength (Mpa)			
	1	2	3	Average
3M Scotch Weld 2214	70.05	76.41	71.30	72.59
3M Scotch Weld AF42	70.62	72.59	71.19	71.46

##### 4.2 코팅층의 인장강도

Table 2와 같이 두 종류의 에폭시를 각각 이용하여 Curing 처리 후 MTS 810 만능인장시험기를 이용하여 인장강도 시험을 수행하였다. Table 4는 인장시험의 결과 값을 보여주고 있다. 결과 값에서 액체형 에폭시를 이용한 시험편의 코팅층 인장강도의 값은 51.37Mpa을 나타내었고, 필름형 에폭시를 이용한 코팅층의 인장강도 값은 7.97Mpa로서 낮게 나타났다.

Table 4 Tensile strength result of coating layer

Epoxy	Tensile Strength (psi)				Failure Area
	1	2	3	Average	
3M Scotch Weld 2214	44.60	56.02	53.48	51.37	Epoxy
3M Scotch Weld AF42	7.65	7.65	8.62	7.97	Coating

##### 4.3 미세조직

코팅층 내부로 액상형 에폭시가 침투된 현상을 확인하기 위하여 광학 현미경(Buehler, Versamet 3)과 SEM(Hitach, S04300)을 이용하여 미세조직을 검사하였다. 액체형 에폭시를 사용한 시편에서는 Epoxy가 코팅의 기공으로 침투된 것을 Fig. 5에서 확인할 수 있다.

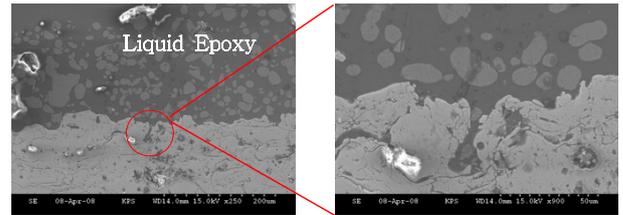


Fig. 5 Epoxy within coating layer inside during curing

#### 5. 검토 및 고찰

##### 5.1 접착제 강도

두 종류의 에폭시 자체의 접착력 인장강도 시험에서 액상형의 것이 72.6Mpa이고, 필름형의 것이 71.5Mpa로서 거의 유사한 값을 나타내고 있으며, ASTM F 1147-99의 규정에서 정한 최소값 [34.5Mpa(5,000psi)] 이상으로 품질상의 문제가 없는 것으로 판단되어 본 연구과제 실험에 사용하였다.

##### 5.2 코팅의 인장강도 실험

Table 4에서와 같이 액상형 에폭시의 인장강도 값은 51.37Mpa 이고, 필름형 에폭시를 사용한 인장실험 결과 값은 7.97로서 43.4의 차이를 보이고 있다. 이것은 액상형 에폭시를 사용한 것은 접착 후 Table 2에서 보여주는 것 같이 접착층의 안정화를 위한 Curing 과정에서 에폭시가 탑 코팅층의 기공으로 스며들어가 굳어져 순수한 코팅층의 강도가 아닌 에폭시와 코팅층 재질이 복합적으로 작용하는 강도로서 높게 나타나고 있다.

##### 5.3 코팅층의 미세조직

Fig. 5에서와 같이 인장시험 시 파단된 부분은 Epoxy가 Curing 된 부분이고, 코팅내부로 Epoxy가 침투된 것을 확인할 수 있다.

#### 6. 결론

코팅 시험편의 인장강도 시험을 위하여 에폭시 자체의 인장강도 시험과 코팅시험편에 두 종류의 에폭시를 사용하여 실험한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 사용된 두 에폭시 접착제의 강도는 ASTM에서 규정하는 최소값 이상으로서 코팅층 인장강도 접착제로서 문제가 없다는 것을 알 수 있었다.
2. 액상형 에폭시를 사용하여 접착 후 코팅층의 인장강도시험 시 코팅층의 기공으로 흘러들어가 에폭시의 영향으로 필름형 에폭시를 사용한 값보다 크게 나타난다. 따라서 측정절차상의 신뢰성에 문제가 있다고 본다.
3. 인장시험 시 파단된 코팅층의 미세조직을 분석한 결과 대부분의 기공이 에폭시로 채워져 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 코팅층의 접착력 인장강도는 복합재질의 강도를 가지고 있다고 여겨진다.

#### 후기

본 논문은 산업자원부의 전력연구개발사업의 지원을 받아 이루어졌습니다.

#### 참고문헌

1. 김대진, 이동훈, 김형익, 김문영, 양성호, 박상열, 구재민, 석창성, 2007, "가스터빈 블레이드 열차폐 코팅의 접착강도 평가",
2. "Standard Test Method for Tension Testing of Calcium Phosphate and Metallic Coating", ASTM F 1147-99
3. John P. Sauer, Steve Ruoff, 2003, "Epoxyes Used in Tensile Testing : Film VS. Liquid-Why is There a difference?", Thermal Spray 2003, PP 1447 - 1453