

# 4점 굽힘시험에서 코디어라이트 세라믹 담체의 고온설계기준

백석흠\* · 박재성\*\* · 최현진\*\* · 조석수\*\*\* · 주원식†

## High Temperature Design Criteria of Cordierite Ceramic Substrate in Four-point Bending

Seok-Heum Baek, Jea-Sung Park, Hyun-Jin Choi, Seok-Swoo Cho and Won-Sik Joo

**Key Words:** Modulus of Rupture(파단계수), Weibull Distribution(와이블분포), Dynamic Fatigue Constant(동적피로상수), Four-point Bending Test(4점굽힘시험)

### Abstract

The four-point bending test is a widely used method to determine material parameters. The aim of the present study was to evaluate the flexural strength (or modulus of rupture) and the Weibull modulus of cordierite ceramic substrate by means of four-point bending tests. The strength data from experiments followed Weibull statistics. These data indicate that the fatigue effects are more severe when the substrate temperature in the peripheral region is near 200°C. At temperatures well above 200°C the available design strength can be as high as 65% as substrate's initial strength.

### 1. 서 론

세라믹은 다양한 고온에의 응용에서 구조적인 물성이 그 사용온도에서 만족하더라도 취성과파괴 거동이 나타난다. 이를 위해 고온용 구조 세라믹은 강도와 내열성간의 균형의 최적화가 중요하며 관련된 매개변수들의 절충이 요구된다. 예를 들면 기계적 강도, 탄성계수, 열팽창계수이다.

본 논문은 코제라이트 세라믹 담체가 엔진의 작동 중에 강도저하와 관련된 파단계수(modulus of rupture)의 응용을 설명한다. 파단계수의 온도 의존성을 평가하고 기준이 되는 강도를 정의하기 위해 동적 강도와 응력 속도간의 동적피로상수(dynamic fatigue constant)를 제안한다.



Fig. 1 Close-up view of four-point bend fixture inside the electric furnace

### 2. 강도의 시간 의존성

응력 속도의 함수로 강도를 측정하는 것을 동적 피로(dynamic fatigue)라고 한다. 세라믹 부품에 대한 가장 일반적인 강도 측정은 Fig. 1의 굽힘 시험(또는 flexure test)이다. 동적피로 식은 Power-

† 회원, 동아대학교 기계공학과

E-mail : wsjoo@daunet.donga.ac.kr

TEL : (051)200-7641 FAX : (051)200-7656

\* 회원, 동아대학교 대학원 기계공학과

\*\* 회원, 강원대학교 대학원 자동차공학과

\*\*\* 회원, 강원대학교 기계자동차공학부

**Table 1** Axial MOR for stress rate at 25°C

Stress rate (MPa/sec)	Mean	Standard deviation	Failure stress
0.9986	3.195	0.36945	4.10207
12.172	3.113	0.66547	4.55368
185.922	4.755	2.1619	4.77321

**Table 2** Axial MOR for stress rate at 150°C

Stress rate (MPa/sec)	Mean	Standard deviation	Failure stress
0.6281	1.57216	0.58723	3.9599
11.047	2.54544	0.77431	5.19345
195.466	2.49953	1.57753	4.93629

law 모델로 아래와 같이 전개된다.<sup>(1)</sup>

$$\frac{S_1}{S_2} = \left( \frac{\dot{S}_1}{\dot{S}_2} \right)^{1/(n+1)} \quad (1)$$

$$F = 1 - \exp \left[ \left( \frac{S}{S_0} \right)^{nm/(n-2)} x \left( \frac{t}{t_0} \right)^{m/(n-2)} x \left( \frac{1}{n+1} \right)^{m/(n-2)} \right] \quad (2)$$

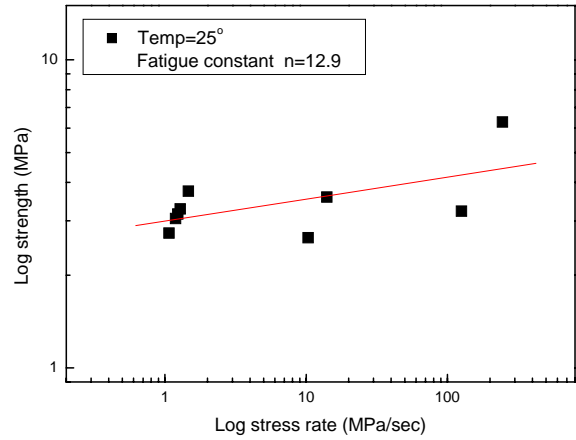
여기서  $S$ 는 강도(또는 파단계수),  $\dot{S}$ 는 응력 속도 비,  $t$ 는 시간,  $m$ 은 와이블 계수,  $n$ 은 동적피로상수,  $F$ 는 파손확률을 나타낸다. 동적 강도와 응력 속도간의 ln-ln 그림으로부터 동적피로상수  $n$ 값은 기울기( $1/n+1$ )에서 구한다. 이 방법의 장점은 적용되는 온도범위에 대해 초기 강도분포와 비교하면 하한계 응력확대계수를 어렵할 수 있다.

### 3. 요약 및 결론

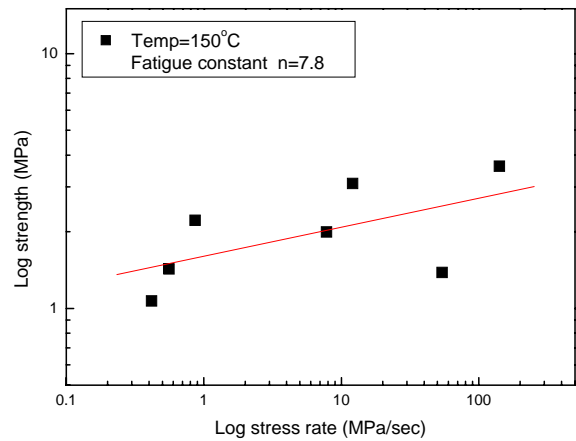
Table 1과 2는 각각 25°C와 150°C에서 응력속도비에 대한 축방향 파단계수를 나타낸다.

Fig. 2와 3은 동적강도가 응력 속도가 증가함에 따라 같이 증가하는 것을 나타낸다. 이는 응력 속도가 높아지면 균열 성장이 빨리 일어나는 것을 반영한다. 엔진의 작동 중에 요구되는 피로수명에 대한 최대허용응력(또는 내구성)은  $n$ 값이 포함된 식 (3)을 이용해서 평가할 수 있다.<sup>(2)</sup>

$$S_{long}/S_{short} = \left[ \frac{t_s}{t_{life}(n+1)} \right]^{(1/n)} \quad (3)$$



**Fig. 2** Axial MOR of stress rate at 25°C (400/6.5 substrate)



**Fig. 3** Axial MOR of stress rate at 150°C (400/6.5 substrate)

식 (3)은 강도의 시간 의존성에 대해 고정 응력 속도가 재료에 작용할 때 강도의 순간 감소와 점진적 감소를 합리적으로 평가할 수 있다.

### 참고문헌

- (1) Gulati, S. T., and Sherwood, D. L., 1991, "Dynamic Fatigue Data for Cordierite Ceramic Wall-Flow Diesel Filters," *SAE Paper No. 910135*.
- (2) Baek, S. H., Kim, S. Y., Seung, S. S., Yang, H., Joo, W. S., and Cho, S. S., 2007, "Experimental Estimation of Thermal Durability in Ceramic Catalyst Support for Passenger Car," *Trans. of the KSME(A)*, Vol. 31, No. 12, pp. 1157-1164.