

# 반타원형 균열과 기공이 있는 세라믹 원판에 대한 파괴 해석

## Fracture Analysis for Ceramic Disk with Semi-Elliptical Crack and Pore

\*최윤종<sup>1</sup>, #이준성<sup>2</sup>, 유이준<sup>2</sup>

\*Y. J. Choi<sup>1</sup>, #J. S. Lee(jslee1@kyonggi.ac.kr)<sup>2</sup>, Y. J. Yoo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(주)청한 ETN, <sup>2</sup>경기대학교 기계시스템공학과

Key words : Basalt Ceramic, Crack, Semi-Elliptical, Fracture

### 1. 서론

균열 저항은 극단적인 기계적 부하 및 열 부하에 있는 ceramic 제품들뿐만 아니라 정 하중 및 변동 하중 하에서 파괴될 수 있는 구조물 요소들에게도 중요하다. 공업재료로서 pin hole과 기공이 있는 단결정, 다결정, 유리 등의 광범위한 ceramic과 ceramic 복합재료는 낮은 밀도와 그에 반해 높은 비강도, 열전도도를 가지고 있어 절삭공구, 기계부품, 내열기관의 구성요소인 구조용과 전자부품 소자 등의 기능용으로 적용되어 왔다. 하지만 금속성 재료와는 별도로 ceramic과 ceramic 복합재료는 기계적 충격 또는 열 충격에 대한 저항성이 낮아 부서지기 쉬운 취성이 문제점으로 지적되어 왔다. 오랜 시간 동안 이 문제점을 해결하기 위하여 많은 전문가들은 다양한 방법으로 가공기술 증진과 복합재료 개발에 참여해 왔다[1].

공업재료로서 ceramic이 실용화되고 우수한 물성의 재질개발을 위해서는 구조적, 기능적으로 파괴특성에 관한 정확한 분석방법이 제시되어야 하며, 신뢰성 있는 평가방법을 위하여 많은 연구가 진행되어야 한다. 따라서 본 연구는 경량이면서 강도가 높은 재료설계 변수를 얻기 위해서 유한요소해석 프로그램과 해석용 시험편을 이용하여 기공과 반-타원형 균열이 있는 ceramic 재료의 탄성계수를 유도하고 시험 데이터와 비교하기 위하여 유도한 탄성계수와 MSST 해석기법을 적용하여 파괴거동평가를 실시하고자 한다.

### 2. 해석

Ceramic 재료처럼 다공성 물질인 경우, 탄성계수 및 응력-변형률 곡선이 기공을 나타내는 계수  $n$  (0.1-0.45)에 의하여 다양하게 변화한다[2]. 실험적 계수  $b$ 는 ceramic의 경우 3.5를 사용했으며 이 때,

시험을 통해 얻어진 각 탄성계수는 식 (1)과 같이 다공질 및 취성재료에 사용되는 방법을 적용하였다. 포화송의 비는 취성재료이므로 0.2를 적용하였다[3].

$$E = E_{(\eta=0)} e^{-b\eta} \quad (1)$$

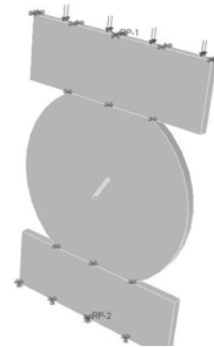


Fig. 1 Boundary condition for REM

Fig. 1은 경계조건을 나타낸 것으로, anvil과 disk의 접촉면적의 경계조건은 구조해석 및 정하중 결과에 기초하여 한쪽 방향 거동만 일어나도록 구속하였다. disk를 누르는 anvil에 가해진 하중은 20kgf, 40kgf 그리고 60kgf을 적용시켰다. 해석에 사용된 요소는 8절점 brick 요소이다. anvil과 disk의 접촉면적의 경계조건은 구조해석 및 정하중 결과에 기초하여 한쪽 방향 거동만 일어나도록 구속하였다. Fig. 2, 3은 동일한 경계조건에서 60kgf의 하중이 작용했을 때, y축 방향으로 발생된 응력 성분 분포를 나타내었다. y축 방향에서는 disk 중심에 위치한 semi-elliptical crack에서 16.6MPa의 압축 응력이 발생되었고 anvil과 disk의 접촉영역에서는 64.3MPa의 압축응력이 집중되었다.

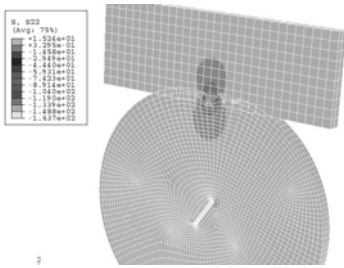


Fig. 2 Distribution of stress components on S22 under 60kgf

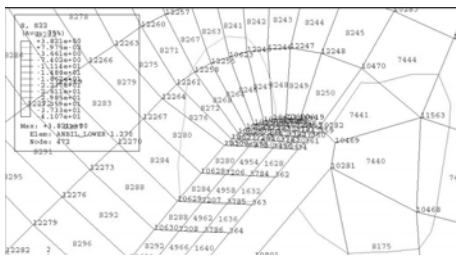


Fig. 3 Nodes and elements of crack on S22 under 60kgf

	Crack area[MPa]	Contact area[MPa]
S11	-1.4	-34.6
S22	-16.6	-64.3
S33	0.1	-8.6
S12	0.01	-3.3
S23	-0.01	1.3
S13	0.6	0.1

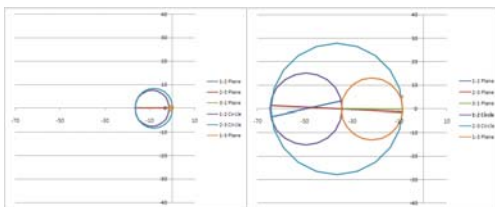


Fig. 4 Stress status using Mohr Circle

### 3. Disk의 파괴거동 평가 결과

응력 성분들을 분석해 본 결과, S11(X-Axis), S22(Y-Axis)방향으로의 응력 값이 가장 영향을 많이 미칠 수 있는 요인이 되고, 나머지 방향에서 발생된 응력 값들의 크기는 미세하게 나타났다. S22방향에서는 응력 성분이 크게 나타났으며, 모든 응력성분들은 Mohr Circle을 생성하여 응력상태

를 확인할 수 있었다. 또한, 744element(Crack area), 7665element(Contact area)에서 응력이 가장 크게 집중되었으므로 최대응력 지점에서의 파손여부를 평가하기 위하여 MSST (Maximum Shear Stress Theory) fracture 이론을 적용하여 파손상태를 확인하였다[4].

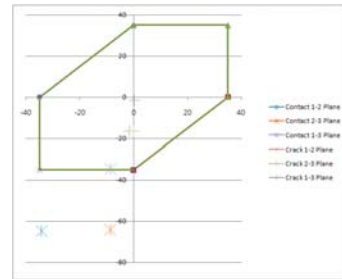


Fig. 5 The maximum principle stress by MSST

### 4. 결론

재료에 가해진 하중이 20kgf일 경우, Contact 영역에서도 파손이 발생하지 않았음을 알 수 있었다. 또한, 재료의 파단 강성이 35MPa이므로, 이 값을 넘는 경우 MSST 이론에 의하여 전단 파손이 발생할 확률이 높음을 알 수 있었다. 따라서 ceramic 취성 규격 시편의 파괴인성에 대한 simulation 결과와 시험 결과를 비교해 본 결과, Basalt ceramic 재료의 경우, 하중이 40kgf와 60kgf일 때 파손이 발생되며, 시뮬레이션에서도 40kgf와 60kgf에서 파손이 발생하는 것으로 나타났다.

### 5. 참고문헌

1. B. Jiang, G. J. Weng, "A Theory of Compressive Yield Strength of Nano-grained Ceramics," International Journal of Plasticity, Volume 20, Issue 11, 2007-2026, 2004
2. C. Berre, S. L. Fork, "Numerical Modelling of the Effects of Porosity Changes on the Mechanical Properties of Nuclear Graphite," Journal of Nuclear Materials, Volume 352, 1-5, 2006.
3. S. P. Timoshenko and J. N. Goodier, Theory of Elasticity, 3Ed., McGraw-Hill, New York, USA, 1970.
4. R. A. Queeney and A. E. Segall, Mechanical Response of Engineering Materials, Second Ed. Springer-Verlag, New York, USA, 1983.