

## 원자로용급 IG-110 등방성 흑연의 기초물성과 파괴인성

한동윤, 문숙영, 임연수

명지대학교 세라믹공학과, 경기도 용인 남동

yslim@mju.ac.kr

### 1. Introduction

원자력에 의한 수소의 대량생산은 화석연료고갈 및 CO<sub>2</sub> 발생에 따른 지구온난화 문제해결의 한 선택이며 이에 따른 제 4 세대 원자로인 고온가스냉각로(HTGR)개발로 구체화 되고 있다. 흑연을 주로 로내 구조물로 사용하는 고온가스냉각로(HTGR)에서 온도 및 중성자조사에 따른 흑연 구조물 내부응력 발생 및 이에 따른 균열의 발생 및 성장, 파괴 관련 균열의 안정성 문제는 원자로의 안전 및 수명 관련하여 해결해야 할 가장 중요한 기술적 문제의 하나이다. 대표적인 원자로용급 흑연인 일본 토요탄소의 IG-110의 기본물성은 Table 1 과 같다.

Table1. Basic property of IG-110 nuclear graphite

Grade	IG110
Bulk Density (g/cm <sup>3</sup> )	1.77
Electrical Resistivity (μΩ·cm)	1100
Flexural Strength (MPa)	39.2
Compressive Strength (MPa)	78.4
Tensile Strength (MPa)	24.5
Elastic Modulus (GPa)	9.8
C.T.E. (350~450°C) (10 <sup>-6</sup> /°C)	4.6
Porosity (%)	18
Ave. Grain Size (μm)	18

본 연구에서는 고온가스냉각로(HTGR)의 국내건설 및 운전에 대비하여 일본에서 고온가스냉각로의 감속재 및 로심 지지체로서 상용화된 원자로용급 흑연인 ultra high purity isotropic graphite인 IG-110을 four-point bending test를 이용하여 파괴인성을 구하고자 하였다.

### 2. Experiments

#### 2.1. Measurement of Basic Properties

IG-110 등방성 흑연재료에 대해 밀도, 전기저항, CTE 등의 물성을 측정하였다.

#### 2.2 Four-point Bending Test

4 점 굽힘시험은 상온에서 ASTM C651-91을 이용하여 측정하였고 시편의 크기는 20(mm) x 10(mm) x 80(mm)로 하였고 inner span은 20mm로 outer span은 40mm로 하였으며 cross-head speed는 0.5 mm/min로 측정하였다.

#### 2.3 Measurement of Fracture Toughness

IG-110의 fracture toughness는 Fig. 1과 같이 SEVNB method를 사용하여 측정하였다. Notch length는 1mm에서 3mm까지 0.5mm 간격으로 변화를 주었다.

파괴인성 K<sub>IC</sub>는 아래와 같은 식(1)을 이용하여 구한다.

$$K_{IC} = \frac{3P(L-I)}{2WD^2} \sqrt{aY(a/w)} \quad (1)$$

P 는 load, L- l 는 test span, W 는 width, D 는 height 이고 a 는 notch length 이다. Y(a/w)는 shape factor 로서

$$Y\left(\frac{a}{w}\right) = 1.964 - 2.837\frac{a}{w} + 13.711\left(\frac{a}{w}\right)^2 - 23.250\left(\frac{a}{w}\right)^3 + 24.129\left(\frac{a}{w}\right)^4 \quad (2)$$

이다.

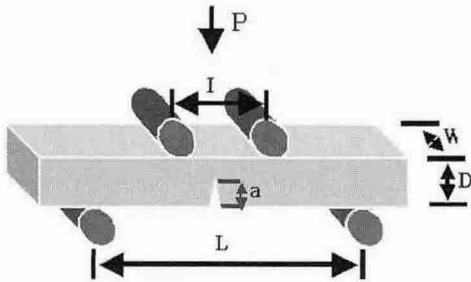


Fig.1 Schematic specimen diagram for measurement of fracture toughness by SEVNB method.

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Measurement of Basic Properties

IG-110 등방성 흑연재료의 기초물성을 측정한 결과를 Table 2 에 나타내었다.

Table2. Measured basic property of IG-110 nuclear graphite

Grade	Measured Value
Bulk Density (g/cm <sup>3</sup> )	1.77
Electrical Resistivity (μΩ·cm)	1143
C.T.E. (350~450℃) (10 <sup>-6</sup> /℃)	4.5

측정결과, 본 연구에서 사용된 IG-110 흑연의 기초물성은 제조사의 측정값과 매우 유사하였다.

#### 3.2. Four-point Bending Test

4 점 굽힘시험용 시편 30 개를 시험한 결과 평균 37.6 MPa 를 나타내었다. 이는 제조사의 데이터 값인 39.2 MPa 와 비교시 1.6 MPa 정도의 차이를 나타내었다. 이는 본 연구에서의 측정값의 신뢰도가 매우 높음을 의미한다

#### 3.3. Measurement of Fracture Toughness

Fig. 2 에 SEVNB 방법에 의해 측정된 IG-110 흑연의 노치 길이에 따른 파괴인성을 나타내었다. IG-110 흑연의 파괴인성은 0.8 MPa/m<sup>2</sup> 의 값을 나타내었으며, 노치의 길이에 대한 영향은 거의 나타내지 않았다.

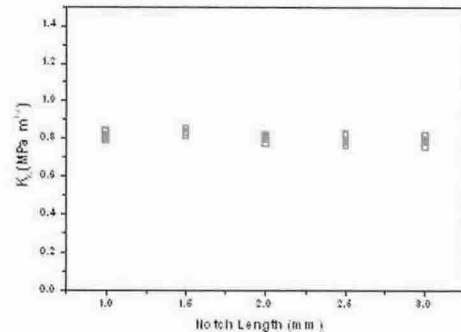


Fig.2 Fracture toughness of IG-110 graphite measured by SEVNB method

### 4. Conclusion

IG-110 흑연에 대한 4 점 굽힘강도 시험 결과 37.6 MPa 을 나타내었고, SEVNB 방법에 의한 파괴인성 K<sub>IC</sub> 는 8 MPa/m<sup>2</sup> 을 나타내었다.

### REFERENCES

- [1] D. Green, An Introduction to the Mechanical Properties of Ceramics, Cambridge University Press, 1998.
- [2] 과학기술부, 세라믹스 역학특성 평가 기술 확립, KRISS/IR-2002-028, 2002