

## 이온교환에 의한 유리의 내마모성 향상

조성 재\*, 방건용, 문한규

한국표준연구소, 재료물성연구소

구형의 압자를 유리평판 위에 올려 놓고 미끄럼시험을 할때 하중이 임계치보다 크면 유리평판 표면에 소위 "semi-circular cone-crack(SCCC)"들이 형성된다 [1-3]. 그리고 이 SCCC형성에 필요한 임계하중은 유리의 강도에 의하여 결정된다. 한편 소석회 유리에서 크기가 작은 이온인  $\text{Na}^+$ 를 큰 이온인  $\text{K}^+$ 로 대체시켜주는 경우 시편표면에 잔류압축응력이 생성되어 강도가 크게 증가한다 [4]. 따라서 유리의 내마모성도 이온교환을 하면 크게 향상될 것임을 예측할 수 있다. 본 연구의 목적은 이 예측을 실험적으로 확인하는 것이다.

표면거칠기가 다른 세 그룹의 유리평판시편들을 준비하였다. 한 그룹은 as-received상태였고, 다른 두 그룹은 각각 1200-grit, 320-grit 연마지로 15kPa의 압력하에서 0.6m의 거리를 문지른 것이었다. 각 그룹의 표면거칠기 ( $R_z$ , the fifth largest peak-to-peak length)를 surface profilometry로 측정할 바에 의하면 각각 0.05, 0.2, 6  $\mu\text{m}$ 이었다.

연마지로 문지르는 동안 생성될 수 있는 잔류응력을 제거하기 위하여 모든 시편을 500 °C에서 한 시간 동안 열처리한 후 로냉하였다. 그리고 각 그룹에서 절반의 시편을 400 °C를 유지하고 있는 potassium nitrate용액에 두 시간 동안 담그어 이온교환을 시켰다. 이온교환이 이루어지는 동안 용액에서 Na 이온의 농도가 변화하는 것을 작게하기 위하여 potassium nitrate에 약 0.5%의 sodium nitrate를 첨가하였다. 이온교환이 끝난 후 유리시편표면에 붙어있는 염은 물로 씻어서 제거하였다.

EDX로 분석한 바에 의하면, 이온 교환에 의하여  $\text{Na}^+$  이온의 농도는 16.7 wt.%에서 3.4 wt.%로 감소하였고,  $\text{K}^+$  이온의 농도는 0 wt.%에서 14.7 wt.%로 증가하였다. 이 이온교환에 의하여 생성된 유리표면의 잔류응력을

광탄성방법으로 측정된 바에 의하면 약 650 MPa이었다. Fig. 1은 이온교환 시킨 유리와 이온교환 시키지 않은 유리를 Vickers압자로 압입하였을 때 압입자국의 모서리로부터 형성된 균열을 보여 주고 있다. 이온교환시키지 않은 시편에 비하여, 이온교환시킨 시편에서의 균열이 잔류압축응력으로 인하여 훨씬 작음을 보여 주고 있다.

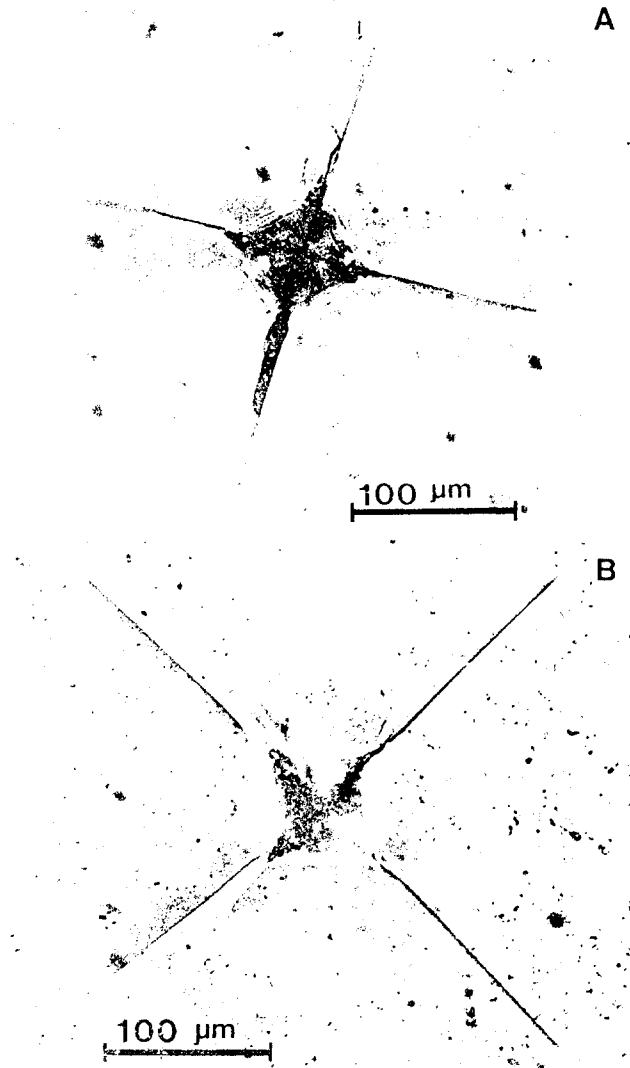


Fig. 1. Micrographs of Vickers indentation damage under 30 N on (a) ion-exchanged and (b) unexchanged glass specimen. Note the difference of the crack length.

A  
 B

마모시험은 Fig. 2에 나타낸 소위 three-balls-on-disk장치를 이용하여 행하였다. Ball로는 직경이 12.7 mm인 AISI 52100강구를 사용하였으며 윤활류로는 paraffin oil을 사용하였다. 세 강구가 이루는 wear track이 원이 될 때까지 chuck에 연결된 pulley를 손으로 회전시킨 다음, 유리시편표면을 광학현미경으로 관찰하였다. 다른 시편을 사용하여 SCCC가 형성될 때까지 하중을 높이면서 시험을 계속하였다. Fig. 3은 유리시편표면 위에 형성된 SCCC를 전형적으로 보여 주고 있다. SCCC는 마찰력이 인장력으로 작용하는, 강구와 유리시편

사이 접촉면의 뒷부분에서 형성된다.

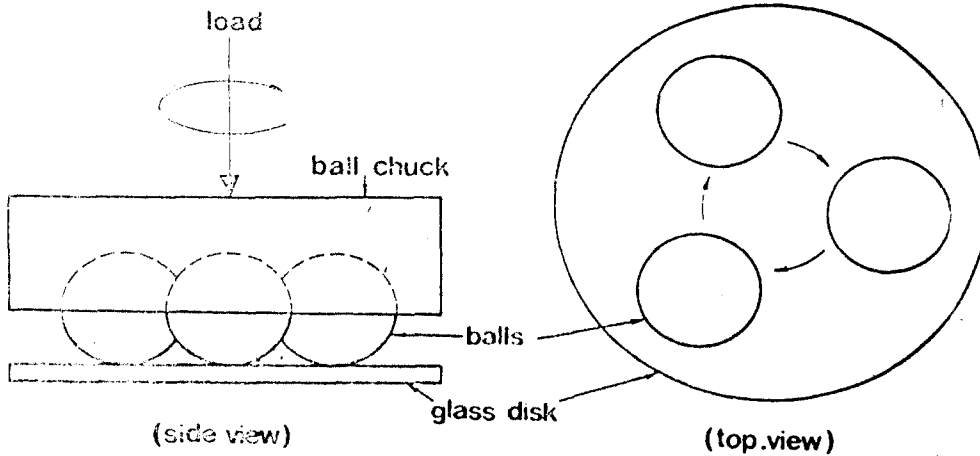


Fig. 2. Schematic illustration of the specimen contact geometry in the three-balls-on-disk configuration.

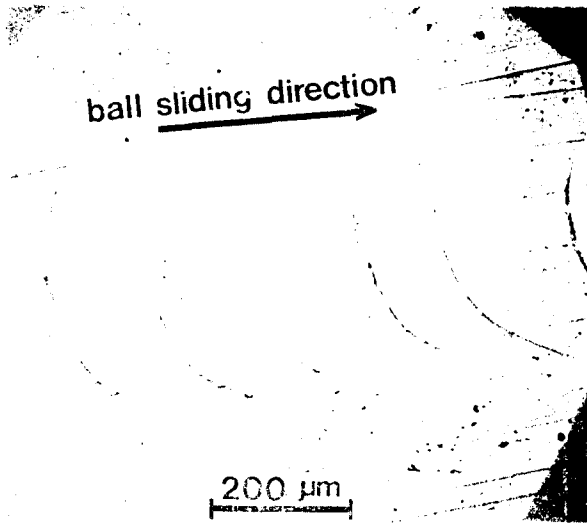


Fig. 3. Typical micrograph of the sliding track showing SCCCs.

Fig. 4는 SCCC형성을 위한 임계하중에 미치는 이온교환과 표면거칠기의 영향을 종합적으로 보여 주고 있다. 표면거칠기가 작을 수록 큰 임계하중은, 이온교환시키지 않은 시편에서보다 이온교환시킨 시편에서 훨씬 크다.

결론적으로, 유리에서 SCCC형성에 대한 저항성은 이온교환에 의하여 크게

향상될 수 있다. 이는 작은  $\text{Na}^+$  이온이 큰  $\text{K}^+$  이온으로 교환됨으로써 생성되는 잔류압축응력으로부터 기인한다.

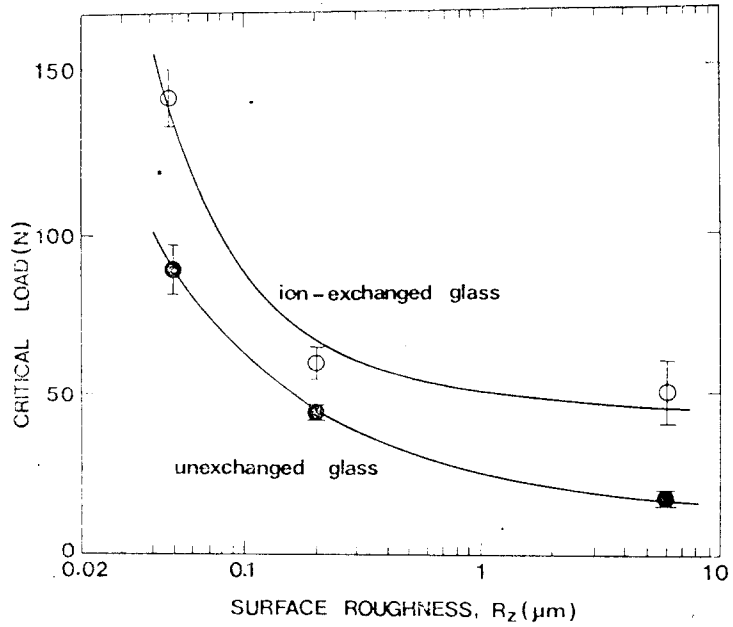


Fig. 4. Effect of the ion-exchange and the surface roughness on the critical load for SCCC formation.

#### References

1. B. R. Lawn, Proc. R. Soc. London, Ser. A, 299 (1967) 307.
2. M. P. Shaw and C. A. Brookes, Wear, 126 (1988) 149.
3. S. J. Cho, J. J. Kim, S. K. Park and H. Moon, Wear, in press.
4. A. Y. Sane and A. R. Cooper, J. Am. Ceram. Soc., 70 (1987) 86.