

인조보석 절단기술에 관한 연구

(A Study on the Cutting-off Technology for Synthetic Jewelry)

서 영 인*, 최 환**, 이 종 환**, 이 재 건***

* 남오공과대학교 기계설계공학과 대학원

** 남오공과대학교 기계설계공학과

*** 주식회사 보령

ABSTRACT

In sawing operation of synthetic jewelry, the performance of diamond cutter blade is very dependent on the blade variables. This investigation presents experimental results which show the effects of the blade variables such as types of diamond abrasives, grain size of diamond, concentration, and bond materials on the behavior of the blades. Based on the experimental results an optimum blade condition for the sawing of cubic zirconia was recommended.

Key words : Diamond blade sawing, Diamond cutter blade, Cubic zirconia

1. 서론

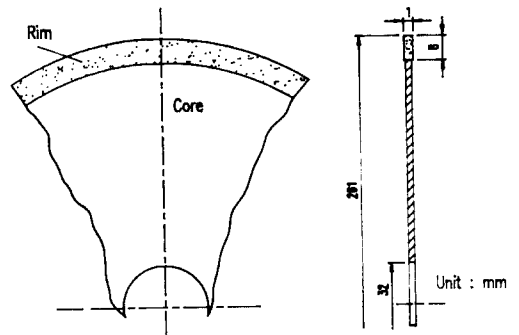
인조보석의 일종인 큐빅 질코니아(Cubic zirconia)는 높은 경도, 내마모성 및 고굴절률의 우수한 보석적 가치를 지니고 있기 때문에 보석이나 약제사리 산업에서 많이 사용되고 있는 재료이다. 이러한 큐빅 질코니아의 생산성 향상에 중요한 문제중의 하나는 절정제로 되어있는 큐빅 덩어리를 상품화할 수 있도록 절단가공하는 것이다. 일반적으로 큐빅 질코니아와 같이 경도가 높고 취성이 큰 보석류의 절단가공에는 다이아몬드 컷터 블레이드를 사용한 가공방법이 널리 사용되고 있다. 컷터 블레이드를 사용한 절단가공에 있어서 효율적인 절단작업을 위해서는 블레이드 조건이 상당히 중요하다. 그러나 실제 대다수의 작업현장에서 이에 대한 전문적인 지식이 부족하여 거의 경험에 의존하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 이러한 인조보석의 절단가공에 있어서 적절한 다이아몬드 컷터 블레이드의 조건을 선정하기 위하여 다이아몬드 입자의 종류, 입도, 집중도, 결합제 등을 변화시켜 다이아몬드 컷터 블레이드를 제작한 후 이를 사용하여 큐빅 질코니아의 절단실험을 행하였다. 그리고 실험을 통해 얻은 절단지향 및 절단비를 이용하여 컷터 블레이드 조건이 절단가공에 미치는 영향을 비교, 검토하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 컷터 블레이드의 제작

컷터 블레이드는 다이아몬드 입자와 메탈계 분말분드를 혼합하여 만든 재료를 고온 고압에서 소결하여 철판으로 만든 원형판 외주부에 부착한 것으로 직경 261 mm, 두께 1 mm로 제작하였다. Fig. 1은 블레이드 형상 및 블레이드 표면의 다이아몬드 입자분포를 나타낸다.



(a) Shape of diamond cutter blade



(b) Distribution of diamond abrasives on the cutter blade surface (SD=1150, G=60/80, C=30)

Fig. 1 Shape of diamond cutter blade and distribution of diamond abrasives

블레이드의 조건에 따른 절단성능을 살펴보기 위하여 다이아몬드 입자의 종류, 입도, 집중도, 결합제 등을 변화시켜서 여러종류의 블레이드를 제작하였다. 각각의 조건에 따른 다이아몬드 컷터 블레이드의 사양에 관해서는 Table 1에 나타나 있었다.

Table 1 Diamond cutter blade conditions

Diamond abrasives	SD-1150, ID-550, GD-70C
Concentration (C)	30, 40, 50
Grain size (G)	50/60, 60/80
Bond (wt %)	<ul style="list-style-type: none"> • Cu(65), Co(20), 기타(15) • Cu(70), Co(15), 기타(15)

2.2 절단지향력의 측정

실험은 수평형 인조보석 절단기계(주축동력 1.5 kW)를 이용하였으며, Fig. 2와 같이 고정된 테이블 위에 공작물을 장착하고 주축이 이송되면서 습식 하향절단방법으로 행하였다. 공작물의 전단시 발생하는 법선방향의 저항력(F_n), 접선방향의 저항력(F_t), 이송방향의 저항력(F_f)의 측정을 위해서는 테이블 위에 설치된 압전형 공구동력계(Kistler, 9257B)를 사용하였으며 공구동력계로부터 얻어진 신호는 나채널 증폭기(Kistler, 5019A)를 통하여 증폭되었고 이 증폭된 신호는 아나로그-디지털변환기(Metrabyte DAS-16G 모델)를 거쳐서 디지털화 되어 개인용 컴퓨터로 전송되었다. 개인용 컴퓨터에서는 Kistler Cutting Force Software를 이용하여 데이터를 분

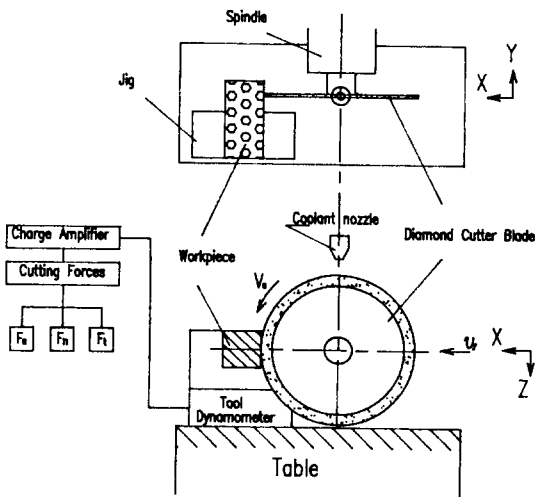


Fig. 2 Experimental system

석하였다. Fig. 2는 절단지향력 측정 시스템의 개략도를 나타낸다.

2.3 절단비(Cutting ratio)의 측정

절단가공후 블레이드의 절단성능을 평가하는 척도로서 절단비를 사용했다. 여기서 절단비는 공작물의 총제거량(ΔV_{Work})에 대한 블레이드의 마모량(ΔV_{Blade})의 비율 나타낸다. 절단 가공후 블레이드의 반경 마모량 측정은 실험전과 실험후 탄소막대를 신단하여 절단후의 높이 차이를 공구현미경(Topcon TMM 130Z)을 사용해 1/1000 mm 까지 정밀하게 측정하였다.

2.4 입자의 관찰

블레이드의 표면에 분포해 있는 입자의 상태를 관찰하기 위해서는 입체현미경(Meiji EHZ-5TE-PB)과 CCD 카메라 및 주변장치를 사용하였으며, 전자주사현미경(SEM, S-2400)을 사용하여 입자의 형상을 관찰하였다.

2.5 실험조건

실험조건은 Table 2에 나타내었으며, 매 실험마다 Table 2에 있는 조건으로 컷터 블레이드에 트루잉과 드레싱을 행하였다.

Table 2 Experimental conditions

Cutting machine	Horizontal type (1.5 kW, 3600 r.p.m)
Workpiece	Cubic zirconia (20 × 20 × 120 mm)
Cutting type	Wet, Down cutting
Cutting speeds (V_c)	2952 m/min.
Table speeds (v_t)	0.1, 0.15, 0.2 0.25 m/min.
Coolant	Water, 6 ℓ/min.
Cutting speeds : 2952 m/min. Feed speeds : 0.1 m/min.	
Truing and dressing	Truing stick : C 46 J stick (50W×25T×150L) Dresser : WA 180 K stick (50W×25T×150L) Total removed volume of dresser for each cutter blade : 5000 mm ³

3. 실험결과 및 고찰

3.1 입자의 영향

Fig. 3은 실험에 사용된 다이아몬드 입자들(SD-1150, ID-550, GD-70C)에 관한 전자주사현미경 사진을 나타낸다.

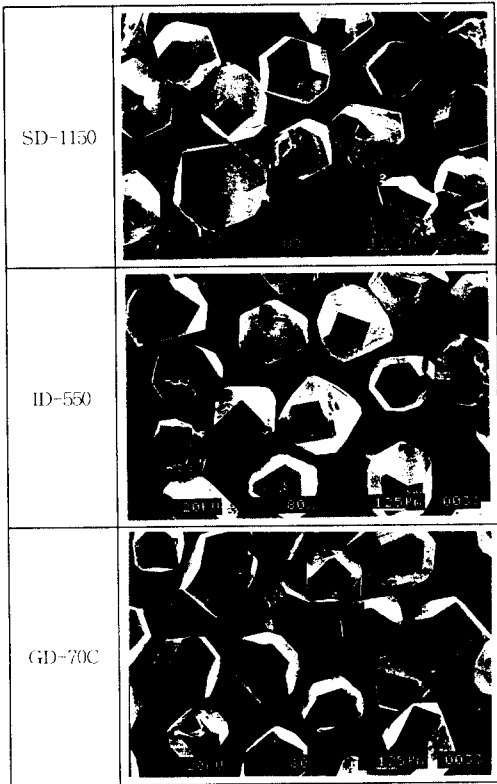


Fig. 3 SEM photographs of diamond abrasives

그림에서와 같이 다이아몬드 입자들의 형상과 벽계면 면을 살펴보면 SD-1150과 ID-550의 경우에는 입자의 형상이 불규칙적이고, 벽계면이 미소하게 파괴되어 있는 입자가 많은데 비해 GD-70C의 경우에는 입자의 형상이 균일하고, 벽계면이 깨끗함을 알 수 있다.

Fig. 4는 다이아몬드 입자의 종류에 따른 공작물의 제거면적과 전단저항력(F_n , F_t)과의 관계를 나타낸다. 여기서 전단저항력 F_n 은 칩터 블레이드의 반경방향으로의 저항력, F_t 은 칩전방향으로의 저항력을 나타낸다. 그림에서 전단저항력 F_n 과 F_t 은 공작물의 제거면적이 증가함에 따라 점차적으로 증가하는 경향을 나타냈다. 이것은 공작물의 제거면적이 증가함에 따라 블레이드 표면에 분포해 있는 입자들이 파쇄 및 탈락을 했기 때문이다. 다이아몬드 종류에 따라서는 GD-70C가 SD-1150과 ID-550에 비해 전단저항력 F_n 과 F_t 가 가장 낮은 값을 나타냈다. 또한 공작물의 제거면적이 증가함에 따라 전단저항력이 GD-70C의 경우에는 소폭증가에 그친 반면 SD-1150과 ID-550의 경우에는 큰 폭으로 증가하였다.

Fig. 5는 다이아몬드 입자의 종류에 따른 블레이드의 전단

비(C-ratio)를 나타낸다. GD-70C의 입자를 사용했을 경우가 SD-1150과 ID-550 보다 약 17 % 정도 높게 나타났다.

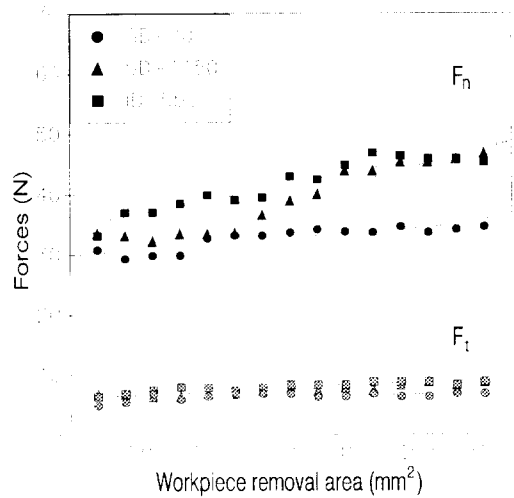


Fig. 4 Cutting forces versus workpiece removal areas
($C=30$, $G=60/80$, $V_c=2952$ m/min., $v_f=0.2$ m/min.)

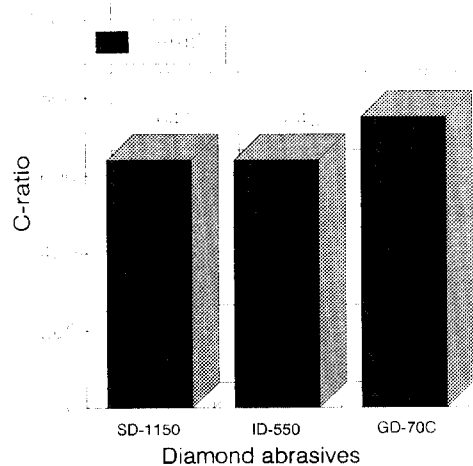


Fig. 5 C-ratio versus diamond abrasives
($C=40$, $G=60/80$, $V_c=2952$ m/min., $v_f=0.2$ m/min.)

Fig. 6는 절단가공 후 입체현미경을 통하여 블레이드 표면을 관찰한 후 입자형태를 온전한 입자, 파쇄한 입자, 탈락한 입자별로 구분하여 백분율로 나타낸 것이다. 그림에서 절단가공 후 입자의 형태에 따른 각각의 비율을 살펴보면 입자의 탈락에 있어서는 세 경우 모두 비슷한 값을 나타내었지만 파쇄한 입자의 경우에는 GD-70C가 SD-1150과 ID-550에 비하여 상당히 낮은 값을 나타냈다.

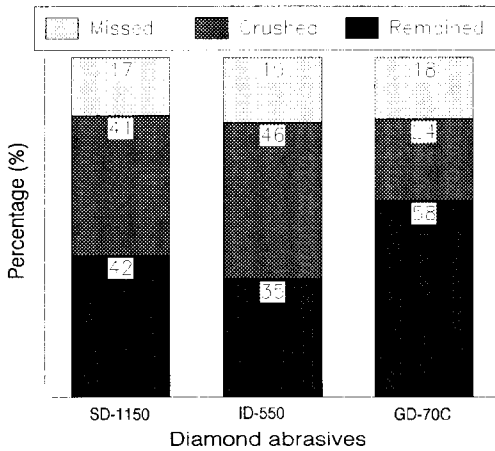


Fig. 6 Percentage of missed, crushed, and remained abrasives after sawing

이상의 결과로 볼 때 GD-70C의 경우에는 입자의 형상이 균일하고 입자의 파쇄강도가 높아 절단저항력이 작게 그리고 절단비는 크게 나타난 것으로 생각되어진다. 따라서 본 실험의 다이아몬드 입자의 조건으로는 큐빅 질코니아를 절단가공하는데 GD-70C의 경우가 적절하다고 할 수 있다.

3.2 입도의 영향

절단시 컷터 블레이드의 입도에 따른 절단저항력(F_n , F_t)의 변화 및 절단비와의 관계를 Fig. 7에 나타내었다. 그림에서와 같이 절단저항력 F_n 과 F_t 는 입자의 큰 것이 약간 작게 나타났으나 절단비는 입자가 작은 것이 더 크게 나타났다. 이러한

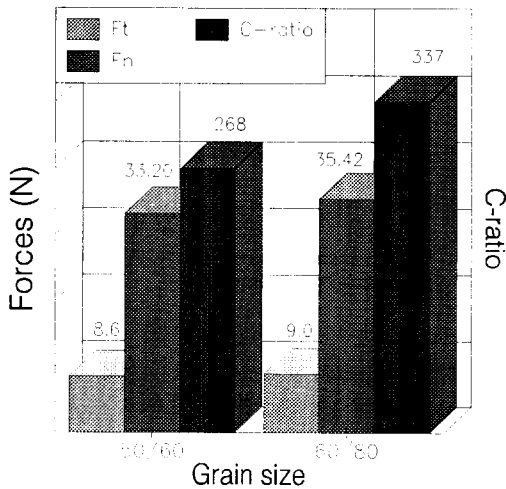


Fig. 7 Cutting forces and C-ratio versus grain sizes (SD-1150, C=30, $V_c=2952$ m/min., $v_f=0.2$ m/min.)

경향은 입도가 높을수록 단위 면적당 평균입자수가 증가하므로 입자의 절입깊이가 작게 되어 하나의 입자에 작용하는 절단저항력이 감소하기 때문이다.^{1) 2)}

3.3 집중도의 영향

Fig. 8은 집중도에 따른 이송속도(v_f)와 절단저항력(F_n , F_t)과의 관계를 나타낸다. 그림에서와 같이 절단저항력 F_n 과 F_t 는 이송속도가 증가함에 따라 선형적으로 증가하였으며 집중도에 따라서는 소폭 증가하는 경향을 나타내었다.

Fig.9는 집중도 변화에 대한 절단비를 나타내었다. 그림에서와 같이 절단비는 집중도가 증가함에 따라 큰 폭으로 증가하는 경향을 나타냈다. 이것은 집중도가 증가함에 따라 블레이드 단위면적당 평균입자수가 증가하여 입자의 연속절삭상의 간격이 작아졌기 때문이다.^{1) 3)}

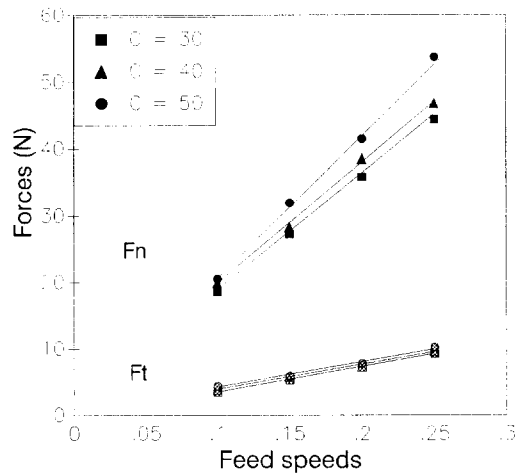


Fig. 8 Cutting forces versus concentration (SD-1150, G=60/80, $V_c=2952$ m/min.)

3.4 결합제의 영향

인조보석류의 절단가공에는 본드의 결합력이 강하고 강성이 큰 메탄 본드가 많이 사용된다. 이러한 메탄 본드에 있어서 결합제의 조성은 블레이드의 절단성능에 큰 영향을 미친다.³⁾ 본 실험에서는 결합제의 주성분인 Cu와 Co의 성분을 다음과 같이 변화하여 블레이드를 제작 후 절단실험을 행하였다.

- Blade A : Cu(65), Co(20), 기타(15)
- Blade B : Cu(70), Co(15), 기타(15)

Fig.10은 결합제의 성분에 따른 절단저항력(F_n , F_t) 및 절단비와의 관계를 나타내었다. 그림에서 Blade A와 Blade B의

비교에 있어서 절단저항력은 큰 차이는 나타나지 않았지만 절단비에 있어서는 Blade A의 경우가 약 37% 높게 나타났다. 따라서 결합제의 결합력이 감소하면 블레이드의 마모량이 증가하여 오히려 절단성능이 나빠짐을 알 수 있다.

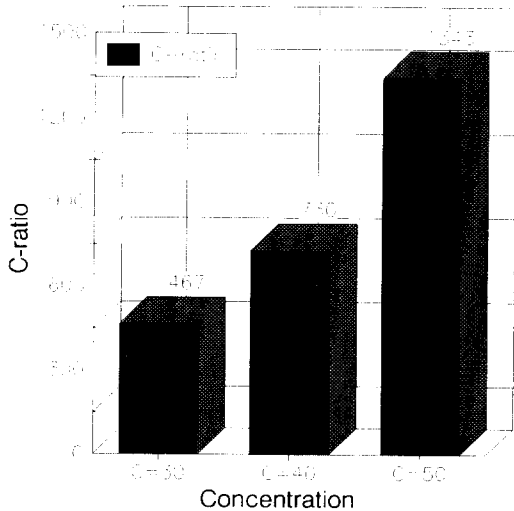


Fig. 9 C-ratio versus concentration
(GD-70C, G=60/80, $V_c=2952$ m/min., $v_f=0.2$ m/min.)

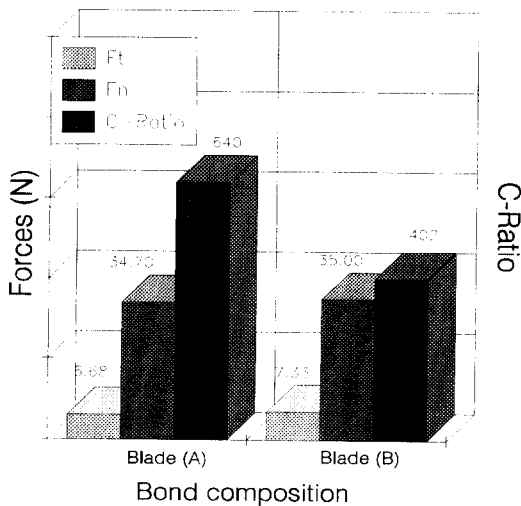


Fig. 10 Cutting forces and C-ratio versus bond composition
(SD-1150, C=30, G=60/80 $V_c=2952$ m/min., $v_f=0.2$ m/min.)

4. 결론

인조보석의 절단가공에 있어서 다이아몬드 컷터 블레이드의 조건 (입자 종류, 입도, 집중도, 결합제)이 절단가공 성능에 미치는 영향을 실험적으로 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 다이아몬드 입자의 종류에 따라서는 GD-70C의 경우가 SD-1150, ID-550에 비해 절단저항력이 낮고, 공작물의 제거면적이 증가함에 따라 절단저항력의 변화가 크지 않았으며 또한 높은 절단비를 나타내었다.
- (2) 절단저항력과 절단비는 입도가 높을수록, 집중도가 클수록 증가하였다.
- (3) 실험에 사용된 결합제의 주성분인 Cu와 Co의 조성을 변화시켜 검토해 본 결과 절단저항력은 큰 차이를 나타내지 않았지만 절단비에 있어서는 Cu(65), Co(20), 기타(15)의 경우가 훨씬 높게 나타났다.
- (4) 이상의 결과로부터 인조보석의 절단가공에 있어서 본 연구의 실험 범위안에서는 아래의 다이아몬드 컷터 블레이드의 조건이 가장 적절함을 확인하였다.

- ① 다이아몬드 종류 : GD-70C
- ② 집 중 도 : 50%
- ③ 입 도 : 50/60
- ④ 결 합 제 : Cu(65), Co(20), 기타(15)

후기

본 연구는 금오공과대학교 산학연 친소시업 사업으로 수행되었습니다. 관계자 여러분과 참여업체인 주식회사 모광에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) 喜田義宏, 川口格, 崔 桓, 遠藤晃生, 컵형메타보이드砥石によるセラミックスのMC平面研削, 砥粒加工學會誌, vol. 35, no. 1, 1991, p. 22
- 2) 海野 邦昭, CBN·다이아몬드ホイールの使い方[5], 機械と工具, 3 (1990), p. 71
- 3) 海野 邦昭, CBN·다이아몬드ホイールの使い方[6], 機械と工具, 4 (1990), p. 65
- 4) 河端 則次, 다이아몬드ホイール(砥石)의特性, 機械と工具, vol. 29, no. 12, 1985, p. 47