

치과용 다이아몬드 버의 연삭가공 특성

이근상*, 임영호**, 권동호***
최만용****, 김교한*****, 최영윤*****

Grinding Characteristics of Diamond Burs in Dentistry

Keun-Sang Lee*, Young-Ho Lim**, Dong-Ho Kwon***,
Man-Yong Choi****, Kyo-Han Kim***** And Young-Yun Choi*****

ABSTRACT

This paper aims at reviewing the possibility application over normal or abnormal , detection used by AE and the wear characteristics of grinding process. In this study, when diamond bur in dentistry with chosen grinding conditions were tuned at grinding. The variation of grinding resistance and AE signal is detected by the use of AE measuring system. The tests are carried out in accordance with diamond burs and workpiece: arcy and bovine. According to the experiment results, the following can be expected: AE has the possibility to detect the state normality and abnormality. However, the grinding resistance measuring can find it difficult to detect it. It can be accurately excerpted from AE occurrence pattern in contact start point of diamond bur and bovine, grinding condition and derailment point. It is known that AERms is well compatible with grinding resistance. According to the increase of the material removal rate, the specific energy of the diamond bur is inclined to decrease and the grinding resistance has a tendency to increase.

Key Words: Diamond bur(다이아몬드 버), AE(음향 방출), Punch cavern(천동형성), Bovine(우치), AERms(실효치 전압), Material removal rate(소재제거율), Specific energy(비에너지)

1. 서론

전착공구로 다이아몬드가 넓게 사용되면서 다이아몬드의 성능을 수량적으로 비교 평가하는 영역이 필요하게 되었다. 전착공구의 용도는 매우 넓으며, 텅스텐 카바이드, 석재, 세라믹, 유리, 그외의 비금속재등 각종 경질 재료의

절삭, 드릴링, 연마 등에 사용되고 있다.⁽¹⁾ 또한, 치과 치료에 있어서도 다이아몬드 공구는 폭 넓게 사용되고 있으며, 사용 빈도도 점차로 증가되고 있는 추세이다. 특히 치과 치료에 있어서 절삭, 연삭작업은 필수적인 요소이며, 그 작업 내용에 따라 임상 분야와 가공 분야로 나눌수 있다.

* 숭실대학교 대학원 기계공학과
** 숭실대학교 기계공학과
*** 명지전문대학 기계설계과
**** 한국표준과학연구원 계측공학연구그룹
***** 경북대학교 치과대학
***** 경북대학교 대학원 치과대학

임상 분야에서는 Fig. 1과 같이 카리에스(Caries)에 의해 침식된 생활균의 필요 부분을 제거하기 위하여 절삭, 연삭 작업을 하는데, 이 때 절삭(연삭)열에 의한 치수(Dental pulp)로의 동통을 피하기 위하여 분무상 주수 상태에서 연삭(절삭) 공구 압력을 50 ~ 100gf 정도의 가벼운 접촉상태(Light touch)로 수행하지 않으면 안된다.⁽²⁾

또한, 결합치가 있는 경우에는 Fig. 2와 같이 크라운 브릿지(Crown bridge)로 보철하며, 치관(Crown)을 장착하기 위하여 그 양측의 건전치를 절삭, 연삭하여야 한다.

이와 같이 임상 분야에서 시술자는 시야도 좁고, 한정된 공간인 구강 내에서 치아를 대상으로 절삭·연삭을 하기 위한 회전장치(Hand-piece)를 프리핸드(Free hand)로 조작하면서 절삭·연삭 작업을 수행하고 있다.

한편, 가공 분야에서는 천동 형성(Punch cavern)한 부분에 채운 물질 및 성형한 위치의 불용 부분을 제거하기 위하여 절삭·연삭 작업을 한다. 치아를 절삭·연삭하기 위한 공구로는 기하학적인 절삭 날 구조를 갖는 텅스텐 카바이드(Tungsten-carbide)와 다이아몬드 슛들입자를 전착한 다이아몬드 포인트(Diamond point)가

있는데 이때, 텅스텐 카바이드를 사용하는 경우에는 절삭, 다이아몬드 포인트를 사용하는 경우에는 연삭으로 분류하고는 있으나, 공학 분야에서와 같이 명확하게 정의되어 있지는 않다.⁽²⁾

치과에서는 전착공구로서 합성 다이아몬드입자가 널리 사용되고 있는데, 아직은 연삭공구로서의 연삭성의 규명도 없을뿐만 아니라 공구성능을 수량적으로 비교, 평가하는 방법도 확립되어있지 않아 이상에서와 같은 여러가지 문제점 해결을 위한 요구의 충족과 또한, 고품질의 국산화 공구 개발등은 당면된 중요한 과제라고 할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 CNC Machining Center에서 아크릴(Acryl)과 우치(Bovine)를 치과용 다이아몬드 버로 연삭 가공할 때 각각의 연삭 조건에 따른 연삭 저항과 AE 신호 특성의 변화를 검토하고, 공구면의 마멸상태를 비교, 관찰하여 치과용 전착공구의 성능을 평가하는데 목적을 두었으며 또한, 국산화 개발의 가능성을 검토하였다.

2. 관련이론

2.1 연삭저항과 비연삭에너지

다양한 작업조건에 의한 일반적인 연삭과정에서 치과용 다이아몬드 버가 어떤 연삭저항을 발생하는가를 비교 검토한 것이다. Fig.3과 같은 연삭시험 장치에 의해 측정된 측정값을 기초로하여 비연삭에너지를 계산할 수 있다. 이 계산에 의해 일정범위의 대표적인 연삭조건에서 각각의 다이아몬드가 어떤 성능을 나타내는가를 직접 비교할 수 있는 것이다. 재료의 연삭성은 식(1)에서 정의되는 비연삭에너지 E로 평가될 수 있다.⁽¹⁾

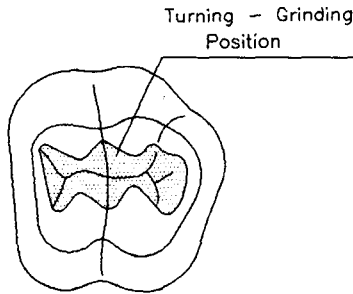


Fig. 1 Punch cavern

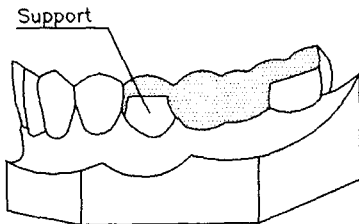


Fig. 2 Crown bridge

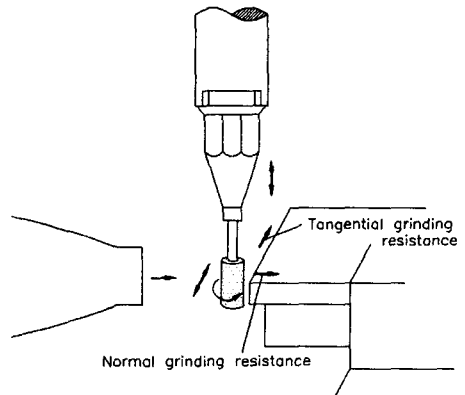


Fig. 3 Three components of grinding resistance

$$E = \frac{F_t \times V}{MRR} \quad (1)$$

여기서 E 는 비연삭에너지(kgm/mm³), F_t 는 접선방향 분력(kg), V 는 다이아몬드 버의 원주속도(m/min), MRR 은 소재제거율(mm³/min)이다.

2.2 실효치전압(AERms)

음향방출신호는 매우 불규칙적이고 비주기성을 띠고 있으므로 이러한 신호를 정량적으로 분석하기는 매우 어렵다. 이 음향방출신호를 정량적으로 나타내는 기본적인 방법중의 하나로 음향방출신호의 에너지를 측정분석하는 방법이 널리 사용되고 있다. 이러한 에너지량의 편리한 측정방법이 신호의 실효치 전압값이다. 실효치 전압값은 RMS(Root Mean Square)값으로 나타내며 이 RMS값을 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$RMS = \left[\frac{1}{\Delta L} \int_0^{\Delta L} Z^2 dx \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

여기서 Z 는 신호함수, ΔL 은 평균시간 이다.

3. 실험

3.1 시험편

본 실험에 사용된 시험편 재료는 예비 실험용으로 아크릴판(Acryl), 본 실험용으로 우치(Bovine)를 선정하였으며 Fig.4는 시험편의 형상치수를 나타낸 것이다.

예비실험용으로 아크릴판을 선정한 이유는 JIS규격 T 5201에 의해 치과용 다이아몬드 버의 성능측정을 위해 인

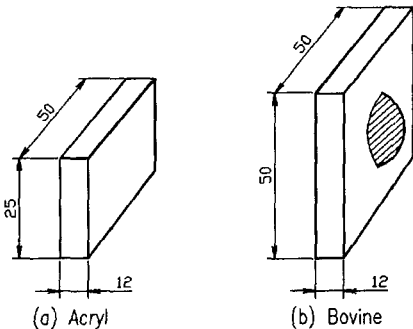


Fig. 4 Dimensions of specimens

치아에 유사한 최적의 재료를 모색하고 있으나 현재는 일반적으로 사용하는 아크릴판이 사용되고 있으며 이는, 인치아의 Knoop경도가 270~380 인것에 비해 아크릴의 경도는 440정도이므로 비교적 근사값을 나타내고 있다.⁽²⁾ 또한 본 실험용으로 우치를 선정한 이유는 사람의 치아를 사용하면 치아마다 조건이 다르기 때문에 안정된 데이터를 얻을 수 없다. 그러므로 우치를 채취후 냉동 보관하였다가 실험에 사용하였다

3.2 다이아몬드 버(Diamond Bur)

다이아몬드 포인트는 절삭날부의 형상 치수에 가공한 스테인레스(Stainless) 강선의 표면에 100~200mesh(149~74 μm)의 다이아몬드 입자를 니켈(Ni)도금에 의해 전착 제조한 것으로서 그 사용 목적에 따라 다양한 형태의 것이 사용되고 있다.^{(3)~(5)} 텅스텐 카바이드는⁽⁶⁾ 절삭날부에 해당하는 크기의 봉상팁(Tip)에 소결한 텅스텐 카바이드를 스테인레스 샹크(Shank) 맨드릴에 용착시켜 제작한 것으로 다이아몬드 포인트와 같이 다양한 종류의 것이 제작되고 있다.⁽⁷⁾ 본 실험에 사용된 다이아몬드 버는 다이아몬드 포인트로서 그 종류는 Table 1과 같다.

Table 1. Kind of Diamond Bur

MAKER	SPEC	NATION
Two Striper	700, 10C	U.S.A
Horico	FG 172	Germany
Mani	TF-12	Japan
Shofu	101R	Japan
Hab-dong	S311	Korea
Diatech	850/014, 10ML	Swiss
Komet	ISO 806 314, C850	Germany

3.3 실험 장치 및 방법

일반적으로 치과치료에서는 연삭공구에 일정한 힘을 가해 단속 또는 연속 연삭작업을 일정한 시간이나 거리만큼 할 수 없기 때문에 연삭성능은 연삭량 또는 소요절삭시간으로 평가하고 있다. 이와같은 간편한 평가방법으로는 연삭성능에 미치는 제인자를 포함한 결과에 대한 평가에 정확도를 기대하기는 어렵다. 특히 형상치수가 각각 다른 연삭공구의 경우에는 측정결과를 직접 비교할 수도 없으며 동일한 종류에 연삭공구를 시험대상으로 하였다 해도 Hand-piece에 회전속도가 다를경우에는 시험결과도 다르게 된다. 그러므로 이와같은 연삭성에 미치는 제영향인

자를 고려한 연삭실험을 목적으로 연삭공구를 장착한 장치가 선정된 이송속도로 일정한 거리만 왕복운동하는 실험방법을 택했다.

Fig.5는 본 실험에 사용된 실험 장치를 나타낸 것이다. 우치 연삭 실험에 앞서 아크릴 판을 별도의 다이아몬드 버에 의하여 예비 연삭실험을 실시한후 Table 1과 같은 다이아몬드 버를 사용하여 연삭깊이를 10 μ m으로 일정하게 선정하고 이송 속도를 100, 200, 300, 400mm/min으로 변화시키고, 주축 회전수를 각각 1500, 3000, 4500, 6000rpm으로 변화시켜 각각의 주축회전수마다 3회씩 반복연삭 실험을 실시하였다. 또한, 본 실험을 실시할때는 AE 신호의 감도변화를 고려하여 센서를 시험편의 중앙에 부착하였다. 이때, AE센서의 접착은 일렉트로닉 왁스(Electronic wax)를 사용하였다.

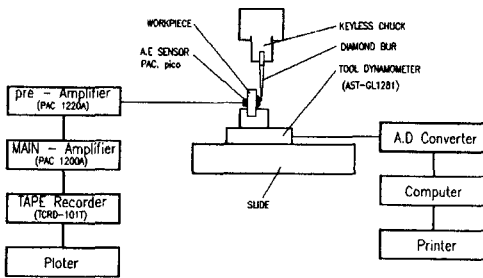


Fig. 5 Block diagram of experimental apparatus

Fig. 5에서와 같이 연삭시험에서 나타난 연삭저항은 공구동력계(AST-GL1281)를 거쳐 A.D Converter를 통하여 컴퓨터 및 프린터에 기록되도록 하였다. AE측정은 고감도 소형(ϕ 5) 센서(PAC.pico)로부터 출력된 것에서 잡음을 제거하고 Pre-amp(PAC 1220A)와 Main-amp(PAC 1200A)를 거쳐 신호로 증폭시켜 AErms와 AEwave를 Tape recorder(TCRD-101T)에 수록하여 플로터(ploter)로 기록하였다. 또한 다이아몬드 버의 마멸상태를 규명하기 위하여 다이아몬드 버를 연삭가공을 실시하기전과 실시하고난 후를 구분하여 Scanning electron microscope(S-2300)로 촬영하여 비교, 검토하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 연삭 속도에 따른 연삭 저항

Fig. 6~Fig. 9는 아크릴과 우치를 Table 1과 같은 각각의 다이아몬드 버로 연삭깊이를 10 μ m로 일정하게하고 선정된 조건에 의해 주축 회전수를 1500, 3000, 4500, 6000rpm으로 변화시키면서 연삭 가공을 실시하였을 때

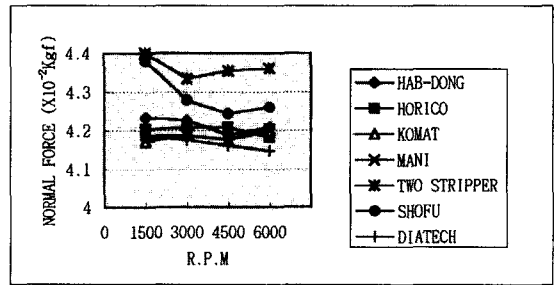


Fig. 6 Normal force versus rpm for acryl by diamond bur

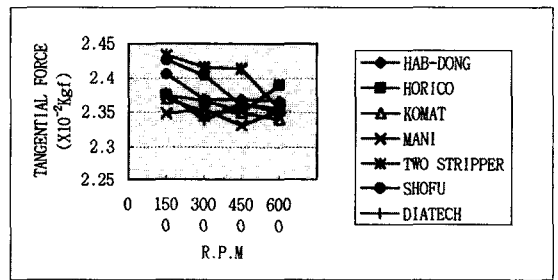


Fig. 7 Tangential force versus rpm for acryl by diamond bur

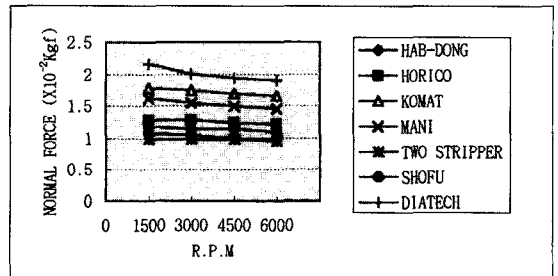


Fig. 8 Normal force versus rpm for bovine by diamond bur

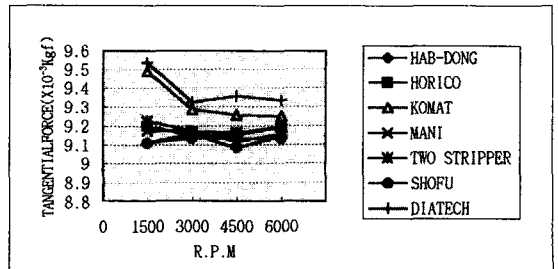


Fig. 9 Tangential force versus rpm for bovine by diamond bur

의 회전수 변화에 따른 연삭저항의 법선 분력 F_n 과 접선 분력 F_t 의 관계를 나타낸 것이다. 주축 회전수를 증가함에 따라 연삭 저항 F_n 과 F_t 는 감소되는 경향이며 아크릴 보다는 우치쪽이 연삭 저항 F_n 과 F_t 모두 작은 값으로 나타났다. 그리고 Table 1과 같은 7종의 다이아몬드 버를 사용하였을 때는 주축 회전수를 증가시키면 연삭저항의 법선분력 F_n 는 감소되고 있다. 또한, Fig6 ~Fig9에서 보는바와 같이 아크릴과 우치의 법선분력 F_n 은 모두 접선분력 F_t 의 약 두배의 크기로 나타나고 있다.

이것은 주축 회전수를 증가시키므로써 Chip의 비산이 보다 원활하게 형성되어 연삭 저항이 감소되는 원인에서 나타나는 현상으로 생각된다. 또한, 아크릴쪽이 우치일 때 보다 연삭저항값이 크게 나타내는 것은 아크릴재가 우치재보다 인성이 커서 연삭 잔여량이 많아지는 현상에서 기인된 결과로 볼 수 있다.

4.2 연삭 속도에 따른 AERms 및 다이아몬드 버의 이상 진단

Fig. 10은 우치를 Table 1과 같은 각각의 다이아몬드 버로 선정된 조건에서 주축 회전수를 1500, 3000, 4500, 6000 rpm으로 변화시켜 연삭 시험을 실시하였을 때의 연삭저항과 AE신호를 나타낸 것인데 (i)(ii)는 연삭저항, (iii)은 AERms, (iv)는 AEwave 이다.

주축의 회전수가 증가함에 따라 AERms 값은 감소되며, 이것은 연삭의 법선분력 F_n 값의 변화와 같은 경향을 나타내고 있다. Fig.10의 (iii)(iv)에서 알 수 있는 바와 같이 다이아몬드 버와 치아의 접촉 상태의 진행을 연삭과정으로 볼 수 있으며 연삭가공이 진행됨에 따라 비정상연삭의 로우딩과 글레이징이 발생하게 되고 치아는 연삭열에 의해 치아 균열이 진전되어 정상연삭 상태를 상실하게 된다. 이와 같은 이상 상태에서 발생하는 AE 신호는 연삭과정중 검출되는 AE 신호와 혼재되어 있기 때문에 적절한 필터링(Filtering)을 하여 이상 상태에 의한 AE 신호만을 검출할 필요가 있다. 그러나 이상 상태에서 발생하는 AE 신호는 불분명하여 판정하기가 어려우므로 여기서는 연삭과정의 진행에 따른 AE 신호의 변동량과 AE 신호 발생의 지속 시간의 변화 관계를 파악하는 것으로서 연삭가공 상태를 검토하였다. 따라서 AE 신호 발생의 초기점은 다이아몬드 버-치아의 접촉 시작점이며 불규칙적인 소진폭의 AE 신호가 검출되는 영역은 연삭가공이 진행되는 상태, 그리고 급속히 큰 AE 신호가 검출되는 부분은 다이아몬드 버 - 치아의 이탈 상태임으로 AE 신호

발생의 지속 시간 및 AE 신호의 진폭을 파악함으로써 연삭가공 상태의 이상 유무를 감지할 수 있다고 본다.

4.3 연삭 저항과 비연삭에너지

Fig. 11은 우치를 Table 1과 같은 각각의 다이아몬드 버로 선정된 조건에 의해 주축 회전수를 1500, 3000,

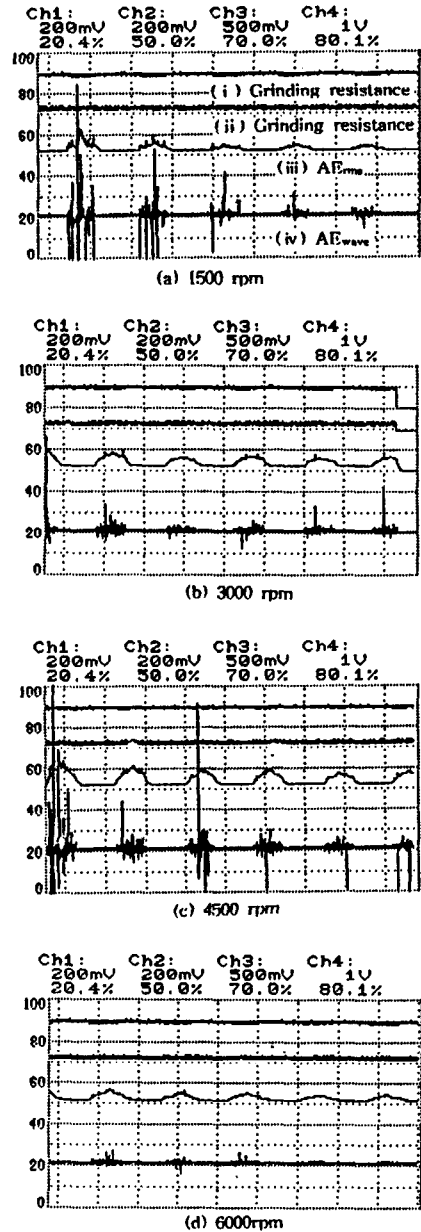


Fig. 10 Grinding resistance and AE signals for rpm

4500, 6000 rpm으로 변화 시키면서 연삭 시험을 실시 하였을때 비연삭에너지에 대한 다이아몬드 버의 영향에 대해서 나타낸 것인데, 연삭저항의 측정값중 접선 분력 값을 기초로 해서 비연삭에너지를 계산한 값이다. 그러므로 이 계산값에 의해 일정 범위의 연삭 조건에서 각각의 다이아몬드 버가 어떤 성능을 나타내는가를 직접 비교할 수 있었다. 이 계산에서 얻어진 비연삭 에너지 값은 동일한 연삭 조건에서 3회의 연삭실험을 반복하여 얻은 각 데이터의 평균값을 치한 것이다. 여기서, 비연삭에너지 계

산에 사용한 연삭 저항의 값은 Fig 12과 Fig 13에 나타난 바와 같다. 비연삭에너지는 7종의 다이아몬드 버 모두 소재제거율이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내고 있고, 소재제거율이 증가함에 따라 연삭저항(법선 및 접선 저항)은 오히려 증가하는 경향을 나타내고 있다. 특히 본실험에서 선정된 조건에서 연삭저항값이 Shofu사의 다이아몬드 버를 사용하였을때가 Diatech사의 다이아몬드 버를 사용하였을때 보다 작은 값으로 나타내고 있으므로 Shofu사의 다이아몬드 버쪽이 연삭 성능이 우수하다고 볼수 있다.

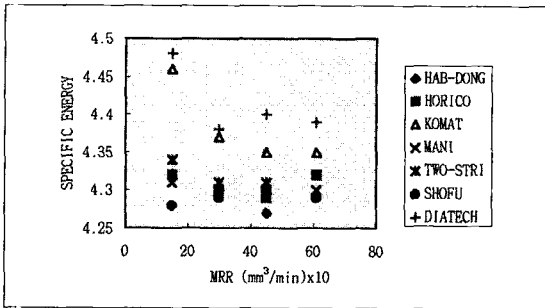


Fig. 11 Specific energy versus MRR for bovine by diamond bur

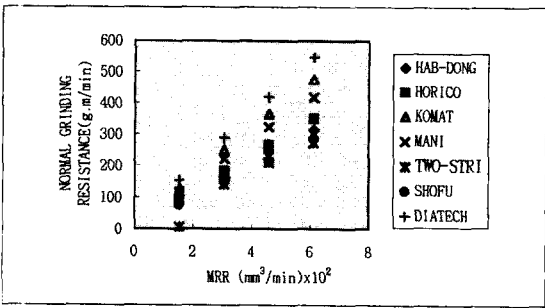


Fig. 12 Normal grinding resistance versus MRR for bovine by diamond bur

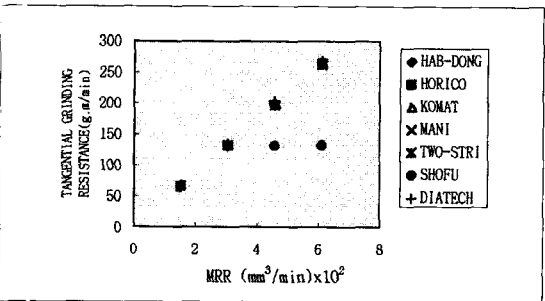
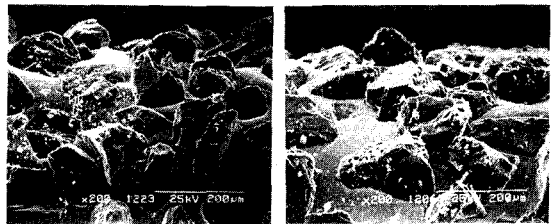


Fig. 13 Tangential grinding resistance versus MRR for bovine by diamond bur

Fig 14와 같은 공구면을 촬영한 SEM 사진에서도 볼 수 있는 것처럼 다이아몬드입자가 니켈 조직에서 벗겨 떨어지는 것을 볼 수 없었다. 다만, 이 사진에서 Shofu사의 다이아몬드 버 공구면은 미세한 마멸이 일어났고, Diatech사의 다이아몬드 버 공구면은 홈의 깊이가 감소하고 폭이 넓어짐을 볼 수가 있다. 이로부터 Shofu사의 공구가 타사의 공구보다 공구의 마멸특성이 우수한 것으로 판단된다. 한편, 치아의 절삭방법으로는 절삭공구의 회전방향과 역방향으로의 절삭(up cut)이 좋다고는 하고 있지만, 공업 절삭과는 달리 가공재의 위치를 자유롭게 이동시킬 수가 없기 때문에 이와는 반대로 회전방향과 같은 방향으로 절삭(down cut)을 해야만 하는 경우가 있다. 양방법을 비교해 보면 같은방향(down cut)에 의해 절삭한 가공재의 균열 발생빈도는 높아진다고 보고되어 있기



Before grinding



After grinding

(a) Shofu

(b) Diatech

Fig. 14 Comparison of tool wear by SEM

때문에 같은방향(down cut)절삭은 과도한 절삭열이 발생하지 않는 정도로 회전장치(Hand-piece)의 발송을 느슨하게 하므로서 절삭저항을 감소할 수 있고 균열의 발생도 꽤 억제될 것이라고 생각할 수 있다.

5. 결 론

치아 연삭가공에서의 연삭공구의 마멸 특성 및 가공 상태의 감시에 대한 AE의 적용 가능성을 규명하기 위하여 아크릴과 우치를 치과용 다이아몬드 버를 사용하여 연삭 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 주축 회전수의 증가에 따라 연삭의 법선분력 F_n 과 AE_{rms} 값은 감소하는 경향이다.

2) AE신호에 의해 다이아몬드 버 입자의 마멸 및 탈락 등으로 인한 이상 상태를 AE 신호에 의해 검출 하는 것이 가능하였다.

3) AE 발생으로부터 다이아몬드 버 - 치아의 접촉 시작점, 가공 상태 및 다이아몬드 버 - 치아의 이탈점 등을 정확히 파악할 수가 있으며, 다이아몬드 버 - 치아의 이탈 점에서 AE_{rms} 와 연삭의 법선분력 F_n 는 잘 대응하고 있다.

4) 소재제거율이 증가함에 따라 다이아몬드 버는 연삭의 비에너지는 감소하나, 연삭 저항은 증가하는 경향을 나타내고 있다.

참 고 문 헌

1. J. Larsen-Basse, "Mechanisms of Wear of Sintered Carbide Dental Burs" Trans ASME, Vol 102, pp560, 1980.
2. 戸倉 和, 中山 卓, 吉川昌範, "ダイヤモンド電着ワイヤ工具の切斷性能" 精密工學會誌, 第58卷, 第12號 pp2013, 1992.
3. 取訪部 仁, 白須秀男, 吉川昌範, 戸倉 和, 石川憲一, "ダイヤモンド電着エンドレスワイヤ工具の試作" 精密工學會誌, 第59卷, 第6號, pp939, 1993.
4. 取訪部 仁, 石川憲一, "ダイヤモンド電着ワイヤ工具の特性" 精密工學會誌, 第60卷, 第2號, pp188, 1994.
5. 官入裕夫, 永井正洋, "齒科における切削.研削" "潤滑", 第33卷, 第3號, pp195, 1988.
6. J. W. Grenier, S.T. Palovchik, "電着工具の製法と性能" America Diamond 工業協會 主催 技術 Symposium, 1974.
7. 富岡 健太郎, 中村悦三, 村松 篤郎, "齒科用高速切削工具 I" 医 齒藥出版(株)