한국정밀공학회지 제16권 제4호 (1999년 4월)
Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 16, No. 4, April 1999.

치과의술용 다이아몬드 전착공구의 마멸

이근상*, 임영호*, 권동호**, 소의열***

Wear of Diamond Dental Burs

Keun-Sang Lee*, Young-Ho Lim*, Dong-Ho Kwon** and Eui-Yeorl So***

ABSTRACT

This study was carried out to verify grinding performance of dental diamond bur and investigate the possibility of AE application in dentistry field. Workpieces were made of acryl and bovine respectively for the experiments in this study. Grinding test was conducted to get the data of grinding resistance and specific grinding energy of four different types of diamond bur by using tool dynamometer. AE signal was acquired to verify grinding process in the AE measuring system. Tool wear was observed to find parameters about grinding characteristics of diamond bur by means of SEM picture. It was found that the wear of dental diamond bur could be detected with polishing of grinding material, removal of adhesive parts, wear of particles neighboring cutting nose, loss of material and elevation of temperature. The wear of B, C, D type diamond bur is due to wear and fracture of grain size. Abnormal state can be found through the behavior of AE signal in the grinding working. As a result, it is expected that forecast of abnormal state is possible using AE equipments under real time process.

Key Words : Diamond dental burs(치과용 다이아몬드 버), Acoustic emission(음향 방출), Punch cavern(천동 형성), Bovine(우치), Wear mechanism(마멸기구)

1. 서론

일반적으로 사용되고 있는 치과의술용 버(dental burs)는 스테인리스 강재의 원표면에 무기질 다이아몬드를 전기도금 또는 금도금에 의해 제조한다. 이와같은 제조법은 50년 이상 발전을 거듭해 왔지만 입자의 불규칙한 형상과 버의 짧은 수명때문에 생산자동화를 이루는 데는 많은 어려움을 갖고 있다. 최근에는 전착공구로 다이아몬드가 넓게 사용하게 되여 다이아몬드의 성능을 수량적으로 비교평가하여 데이터베이스화할 필요가 있게 되었다. 전착공구의 용도는 매우 넓으며, 텅스텐카바이드, 석재, 세라믹, 유리, 그외의 비금속재등 각종 경질재료의 절삭, 드릴링, 연마 등에 사용되고 있다[(1)-(2)]. 치과 치료에 있어서도 다이아몬드 공구는 폭 넓게 사용되고 있으며, 사용 빈도도 점차 증가되고 있는 추세이다.

치과 치료에서는 핸드피스(rotary dental engine = dentist's drill)의 정상적인 운전상태 중에도 입자의 조기 마멸로 인하여 입자가 연속적으로 탈락되고, 환자의 치아는 금속접합재로 오염되어 건강에 나쁜 영향을 미치게 된다. 치과용 버(dental burs)에

* 숭실대학교 대학원 기계공학과
** 명지전문대학 기계설계과
*** 중정대학 기계설계과

대한 지금까지의 연구들은 치과용 버를 입자상태에서 사용했을 때의 마멸기구를 결정하는 것이 대부분인데, 입자가 합금보다 20%이상 더 경화된 상대경질(relatively hard)일 때 변화를 일으키는 것과 입자가 상대연질(relatively soft)일 때 변화를 일으키는 전혀 다른 2가지 마멸기구가 있다고 밝히고 있다[3]. 치과용 핸드피스에 사용되는 버는 다양한 형태로 되어 있는데, 그것은 약 5%의 접착재를 갖는 접착카바이드 혹은 다이아몬드가 전착된 공구강으로 만들어 진다[4]-[6]. 본 연구에서는 CNC 머시닝센터에서 아크릴과 우치(bovine)를 치과임상용 다이아몬드 버로 가공할 때, 각각의 연삭조건에 따른 연삭저항과 AE신호 특성의 변화를 검토하고, 공구면의 마멸상태를 비교 · 관찰하고, 이를 고찰한 데이터를 특성화하여 치과용 전착공구의 국산화 개발을 위한 자료를 제공하고자 하였다.

2. 치과용 절삭 · 연삭공구의 평가방법

치과에 있어서 연삭성능은 연삭공구에 일정한 압부력을 가하여 단속연삭 또는 연속연삭으로 일정한 시간동안 일정거리를 가공했을 때의 가공수명시간으로 평가하고 있다. 그러나 이와같은 평가방법은 간편하지만 연삭성능에 영향을 미치는 다양한 인자를 포함한 결과를 보다 정확하게 평가하기는 여러 가지 문제점을 가지고 있다.[7]

예를 들어 연삭공구의 형상치수가 다른 경우, 각각의 측정결과는 직접 비교할 수 없다. 또한 동일한 종류의 연삭공구를 실험대상으로 한다 하여도 핸드피스(hand-piece)의 속도가 다른 경우는 실험결과도 다르게 된다. 이제까지 다이아몬드 버와 같은 공구의 연삭성능에 관하여 이와 같은 영향인자를 고려한 연삭실험 방법을 적용한 예는 발견할 수 없다. 그러므로, 본 연구에서는 핸드피스(hand - piece)의 회전성능에 따른 영향을 규명코자 CNC 머시닝센터에 연삭공구(diamond burs)를 장착하고 선정한 이송속도로 일정한 거리(최대절삭거리: 15mm)만큼 왕복운동하는 일정이송방식을 선정하고, 시험재는 아크릴판과 우치(bovine)를 선정하였다. 우치 연삭에 앞서 아크릴을 다이아몬드 버에 의해 예비 연삭실험을 실시한 후, 현재 치과치료에서 널리 사용되고 있는 선진 각국(4개국)의 다이아몬드 버를 선정하여, CNC 머시닝센터의 주축 회전수를 변화시켜 Fig. 1과 같이 실험을 실시하였다. 이때 변화시킨 각각의 주축 회전수에 대하여 3회씩 반복가공 실험을 실시하였다.

본 실험을 실시할 때, 온라인상태에서 가공상태를 모니터링(monitoring)하기 위하여 AE계측 시스템을 공구동력계에 연결시켜 병행하여 실험하고, 연삭저항과 AE신호 특성의 변화 관계를 검토

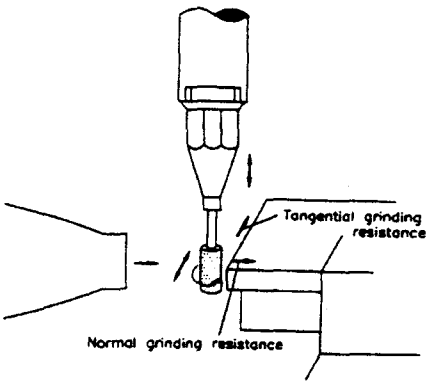


Fig. 1 The components of grinding resistance

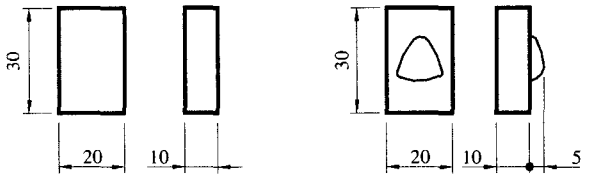
하였다. 또한, 선정한 각종의 다이아몬드 버에 대하여 시험전과 연삭가공을 실시하고 난 후를 구분하여 주사 전자 현미경(scanning electron microscope)으로 공구면의 마멸상태를 관찰하여 다이아몬드 전착공구의 성능을 평가하고자 하였다.

3. 실 험

3.1 시험편

본 실험에 사용된 시험편 재료는 예비 실험용으로 아크릴판(acryl), 본 실험용으로 우치(bovine)를 선정하였으며 Fig. 2는 시험편의 형상치수를 나타낸 것이다. 예비 실험용으로 아크릴판을 선정한 이유는 JIS규격 T 5201에 의해 치과용 다이아몬드 버의 성능측정을 위해 사람치아에 유사한 최적의 재료를 모색하고 있으나 현재로서는 아크릴판이 가장 일반적으로 사용되고 있는데, 그 이유는 사람치아의 누프(knoop)경도가 270~380 인것에 비해 아크릴의 경도는 440정도이므로 비교적 사람치아와 흡사함을 나타내고 있기 때문이다. 본 실험용으로는 사람의 치아는 사용할 수도 없고, 또한 치아마다 조건이 다르므로 치과의학에서 보편적으로 사용되고 있는 우치를 선정하였다.

그러므로 우치를 채취후 즉시 냉동 보관하였다가 실험 때마다 채취하여 사용하였다.



(a) Acryl (b) Bovine

Fig. 2 Dimensions of specimen

3.2 치과용 다이아몬드 버(diamond dental burs)

다이아몬드 포인터는 절삭인선부의 형상치수로 가공한 스테인리스(stainless)강선의 표면에 100~200mesh(149~74㎛)의 다이아몬드 입자를 니켈(Ni)도금에 의해 전착 제조한 것으로서 그 사용목적에 따라 다양한 형태의 것이 사용되고 있다[4]-[5]. 텅스텐 카바이드는 절삭날부에 해당하는 크기의 봉상팁(tip)에 소결한 텅스텐 카바이드를 스테인리스 생크(shank) 맨드럴에 용착시켜 제작한 것인데 다이아몬드 포인터와 같이 다양한 종류의 것이 제작되고 있다.[8] 본 실험에 사용된 치과용 버는 다이아몬드 포인터로서 그 종류는 Table 1과 같고 형상치수는 Fig. 3과 같다.

Table 1 Kinds of dental diamond burs

Type	Dimensions(㎜)				Remark
	d_1	d_2	ℓ_1	ℓ_2	
A	1.35	1.5	10	21.5	Foreign-produced
B	1.3	1.5	10	24	Foreign-produced
C	1.35	1.5	10	21.5	Foreign-produced
D	1.25	1.5	8	21.5	Home-produced

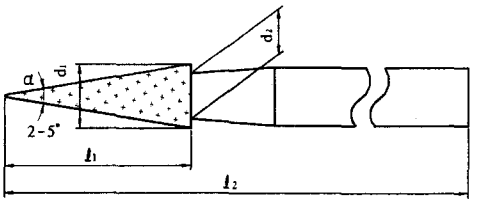


Fig. 3 Shape and dimensions of dental diamond bur.

3.3 실험 장치 및 방법

Fig. 4은 본 실험에 사용된 실험장치의 블록다이아그램을 나타낸 것이다. 우치 연삭실험에 앞서 아크릴판을 별도의 다이아몬드 버에 의하여 예비연삭실험을 실시한 후, Table 1과 같은 다이아몬드 버를 사용하여 연삭깊이를 10㎛으로 일정하게 하고 이송속도를 100, 200, 300, 400㎜/min으로 선정하였고, 각각의 이송속도에서 주축회전수를 각각 1500, 3000, 4500, 6000rpm으로 변화시켜 각각의 주축회전수마다 3회씩 반복 연삭실험을 실시하였다. 본 실험을 실시할 때는 AE 신호의 감도변화를 고려하여 센서를 시험편의 중앙에 부착하였다. 이때 AE센서의 접착은 일렉트로닉 왁스(electronic wax)를 사용하였다.

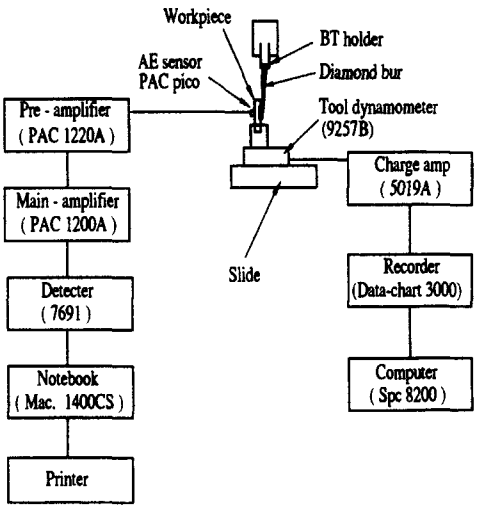


Fig. 4 Block diagram of experimental apparatus

Fig. 4에서와 같이 선정된 연삭조건에 의해 연삭실험을 실시할 때 버(다이아몬드 포인트)에 발생된 연삭저항은 공구동력계를 거쳐 챠지 엠프리파이어(charge amplifier)를 통하여 레코더 및 컴퓨터에 기록하도록 하였다. AE측정은 시험편에 부착시킨 고감도 소형(ϕ5) 센서(PAC. pico)로부터 출력된 값에서 잡음을 제거하고 프리 엠프리파이어(pre-amplifier)와 메인 엠프리파이어(main-amplifier)를 거쳐 신호를 증폭시켜 디텍터(detecter)를 통하여 노트북에 AE_{rms}값을 수록한 다음 프린터로 출력시켜 기록토록 하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 연삭 조건에 따른 및 다이아몬드 버의 이상진단

Fig. 5는 우치를 Table 1과 같은 각각의 다이아몬드 버로 선정된 조건에서 주축 회전수를 1500, 3000, 4500, 6000 rpm으로 변화시켜 연삭실험을 실시하였을 때의 연삭저항과 AE신호를 나타낸 것인데 (ⅰ)(ⅱ)는 연삭저항, (ⅲ)은 AE_{rms}, (ⅳ)는 AE_{wave} 이다.

Fig. 5의 (ⅲ) (ⅳ)에서 알 수 있는 바와 같이 연삭가공이 진행됨에 따라 이상상태로 인한 AE신호는 연삭과정중 검출되는 AE신호에 혼재되어 있기 때문에 적절한 필터링을 하여 이상상태에 의한 AE신호만을 검출할 필요가 있으며, 다이아몬드 버-치아의 과다한 접촉으로 인하여 연삭균열이 발생되고, 치아표면에서 열적 팽창을 일으키게 되면 AE신호발생의 지속시간이 길어지게 되어, AE신호의 불규칙적인 변동이 일어나고 있음을 알 수 있다. 따라서 다이아몬드 버 입자의 마멸 및 탈락으로 인한 이상상태를 AE신호에 의해 연삭가공 상태의 이상유무를 감지 할 수 있다고 본다.

4.2 치과용 버의 마멸기구

다양한 형태의 치과용 버에 대하여 연삭가공전과 연삭가공을 실시한 후를 구분하여 주사전자현미경으로 공구면을 관찰하였다.[1] Fig. 6는 언더컷(undercuts)과 평면(flat floors)을 가공하는 데 사용하는 인버티드콘버(inverted cone bur)에 의한 초기 마멸상태를 나타낸 것이며, Fig. 7은 장시간 사용한 후의 마멸형태를 보인 것이다. 초기마멸은 약간 라운딩(rounding)된 모양으로 나타난 후, 절삭날이

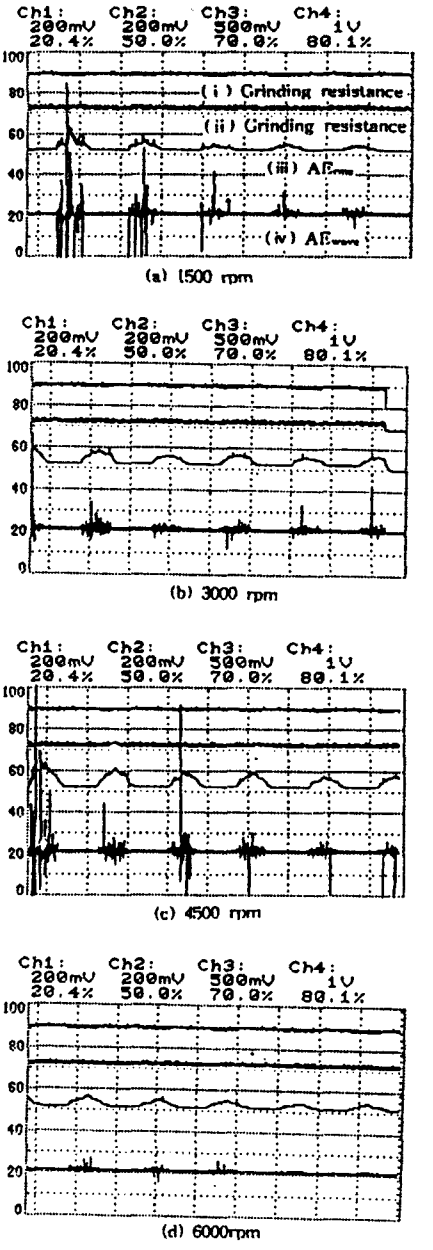


Fig. 5 Grinding resistance and AE signals for spindle rpm

무뎌지기 시작하며, 장시간 사용한 후에는 공구 코너의 라운딩값이 크게 되고 입자의 파편조각을 관

찰하게 된다. Fig. 8는 가공에 사용된 버의 내부각도가 완만하게 라운딩된 공구면을 나타낸 것이며, Fig. 9는 사용하지 않은 인버티드콘버를 고배율로 관찰한 것이다. 연삭작업은 공구인선이 소재를 제거하는 것이므로 공구의 손상은 절삭인선과 교차되는 경사면과 여유면에서 현저하게 나타나고 있다. Fig. 10은 마멸된 인버티드콘버의 절삭인선을 나타낸 것인데, 그 마멸영역(wear land)은 (1)폴리싱 작업에 의한 완벽한 평면을 갖는 입자영역 (2)작은 조각으로 손상된 입자 (3)입자가 보이지 않는 영역 (4)공정중 절멸된 것으로 보이는 입자 (5)접착제의 손실 등임을 알 수 있다. 마멸과정은 폴리싱과 입자의 제거라는 2개의 근원적인 성분을 갖는 것이 확실하다. 입자의 제거는 충격손상에 의한 것이라고 볼 수 있으며, 처음에는 마멸영역과 여유면의 교차부분에서 나타나고 있다. 다음으로 충격손상은 마멸영역을 가로질러 경사면 방향으로 퍼져나가는 것을 볼 수 있는데, 이것은 충격손상을 받은 입자가 다른 입자와 같이 지지되지 못하고 마찰력이 점차 커지게 되어 입자가 절멸된 결과라고 생각된다. Fig. 11은 가혹한 조건하에서의 절삭인선이 마멸된 후의 단계를 관찰한 것이다. 이 경우 마멸영역은 폴리싱된 입자와 다른 것을 볼 수 있는데, 입자의 예리한 코너들은 심한 요철을 형성하거나 치과재료(dental metal)상에 얇은 도포층을 형성하고 있다. 마멸영역의 가장자리에서 입자는 균열이 일어나기 시작하고, 파편조각이 되어 접착제의 셋팅내에서 다소 이동되기도 하며 부분적으로 제거됨을 알 수 있다. Fig. 12은 인버티드콘버의 전방면 중심부분을 보인 것인데, 대부분 버의 전방면 중심부분은 냉각작용과 윤활작용이 원활하게 이루어지도록 제작되어 있다. 치과치료에 있어서 치과재료의 파편조각들은 버의 전방면 중심부분에 부착되기 시작하며 점점 크게 용착되어 입내크랙의 원인이 된다. 공구의 표면에는 입자에 의한 연삭흔적이 남아있다. 일부 입자들은 부분적으로 혹은 완전히 제거되기도 하고, 약간의 파편조각들은 공구표면에 도포되어 회수되기도 하나, 접착재는 대부분 우선적으로 제거된다고 본다. Fig. 13는 인버티드콘버의 마멸된 코너를 나타낸 것인데, 이부분에서는 치과재료가 약간 도포되어 있는 것을 볼 수 있다. 또한 이 표면에서 입자크기를 갖는 연삭흔적을 볼 수 있는데, 이는 입자의 완전 제거 혹은 입자 파편조각의 제거에 기인된 것이라고 생각된다. 이와 같은 제거는 접착제 제거보다 선행되어 나타나며, 도포층은 입자의 파편조각을 포함하고 있다는 데 주목해야 한다. 이상으로부터 치과용 버의 마멸은 핸드피스의 작용하중을 매우 작은 상태로부터 가혹한 상태로 증가시킴에 따라 (ⅰ)치과용 버의 폴리싱 (ⅱ)접착제 제거 (ⅲ)절삭날 부근의 입자마멸 (ⅳ)입자의 분쇄와 파편조각의 제거 (ⅴ)재료손실 및 온도상승으로 인한 치과재료의 점막형성 등의 다양한 메카니즘을 갖는다는 것을 알 수 있다. Fig. 14는 본 실험에서 사용한 국내에서 제작된 다이아몬드 버와 시판되고 있는 외국산의 다이아몬드 버를 주축회전수 4500rpm으로 연삭가공을 실시한 후의 공구면을 촬영한 주사전자현미경 사진을 나타내고 있다. 연삭가공 후 4종류 버의 표면을 살펴보면 A형 제품은 폴리싱 작업에 의한 입자의 마멸 현상을 볼 수 있었고 B, C형 제품은 연삭날 부근의 입자의 마멸, 탈락으로 인한 공구면의 홈 깊이가 감소하고 폭이 넓어 보였으며 D형 제품은 입자의 분쇄 및 파편 조각이 공구표면에 도포된 현상으로 나타나고 있다.

한편, 치아의 절삭방법으로는 절삭공구의 회전방향과 역방향으로의 절삭(up cut)이 좋다고는 하고 있지만, 일반 절삭과는 달리 가공재의 위치를 자유롭게 이동시킬 수가 없기 때문에 이와는 반대로 회전방향과 같은 방향으로 절삭을 해야만 하는 경우가 있다. 양방법을 비교해 보면 같은방향에 의해 절삭한 가공재의 균열 발생빈도는 높아진다고 보고되어 있기 때문에 같은방향(down cut)절삭은 과도한 절삭열이 발생하지 않는 정도로 회전장치(hand-piece)의 이송을 느슨하게 함으로서 절삭저항을 감소시킬 수 있고 균열의 발생도 상당히 억제될 것으로 생각된다.

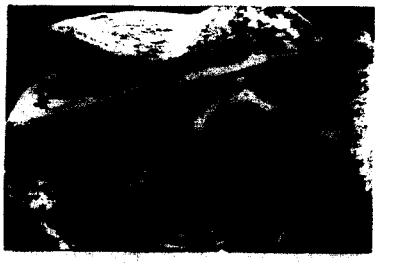


Fig. 6 Inverted cone bur showing early stages of wear

Fig. 7 Inverted cone bur after prolonged of wear

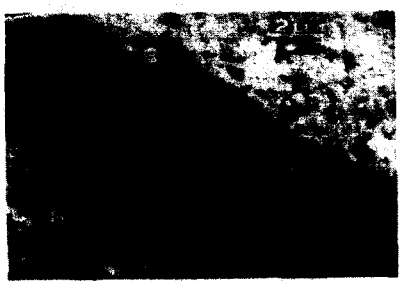


Fig. 10 Cutting edge of inverted cone bur shown in Fig. 7
A-polished grains B-loosened grains
C-clearance face R-rake face

Fig. 8 Pear-shaped bur showing spalling in the early stage of life

Fig. 11 Cutting edge of heavily worn inverted cone bur
A-grain fragments B-film of dental metal
C-clearance face R-rake face

Fig. 9 Cutting edge on front face of unused inverted cone bur

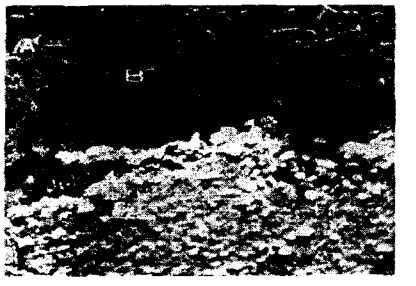


Fig. 12 Central portion of front face of same bur as shown in Fig. 11
A-grain fragments B-area of remaining binder

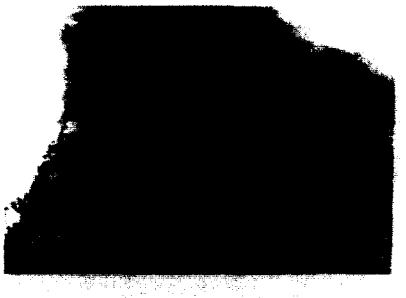
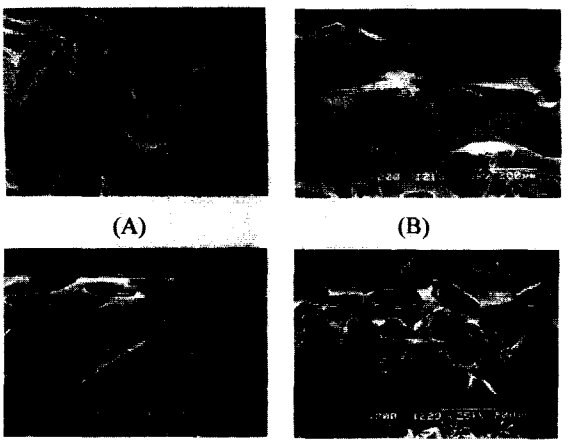


Fig. 13 Corners of inverted cone bur after dry cutting of extracted teeth.



(A) (B)

(C) (D)

Fig. 14 Scanning electron micrographs of the surface of the diamond burs after grinding test (rpm : 4500)

5. 결 론

치아 연삭가공에서 치과용 버의 마멸특성 및 가공상태의 감시에 대한 AE의 적용 가능성을 규명하기 위하여 아크릴과 우치를 선정하고 다양한 종류의 치과용 다이아몬드 버를 사용하여 연삭실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 연삭속도와 연삭깊이를 증가시키면 AE_{rms} 값은 증가하는 경향이나 이송속도를 증가시키면 오히려 감소하는 경향을 나타내고 있다. 그러나 D형 다이아몬드 버에서 AE신호 값이 작게 나타나는 경우는 정상적인 연삭이 이루어지지 않는 결과에서 온 현상이다. 또한, AE_{rms} 값의 변화관계를 분석하여 연삭의 시작, 종료, 정상연삭 및 연삭의 이상상태를 판정할 수가 있다.
2) 치과용 버의 마멸은 입자의 폴리싱, 접착제 제거, 절삭인선 부근의 입자의 절멸, 입자의 분자와 파편조각의 탈락, 재료손실 및 온도상승으로 인한 치과 재료의 점막 형성 등의 메카니즘 으로 관찰되며, B, C, D형의 다이아몬드 버에서 버의 마멸은 연삭입자의 마멸 및 탈락 현상임을 알 수가 있다.
3) AE신호값의 변화거동에서 연삭의 비정상상태를 찾을 수 있으므로 치과시술 임상에서 AE계측장치를 병행시켜 활용한다면 연삭 가공의 인프로세스에서 온라인으로 연삭상태와 이상상태의 검출을 기대 할 수 있다.

참고문헌

1. J. Larsen-Basse, "Mechanisms of Wear of Sintered Carbide Dental Burs," Trans. ASME, Vol 102, pp.560, 1980.
2. 戶倉 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, pp.2013, 1992.
3. Blombery, R.I., Perrot, C.M.,and Robinson, P.M., "Abrasive Wear of Tungsten Carbide-Cobalt Composites II. Wear Mechanisms," Materials Science and Engineering, Vol.13, pp.93-100, 1974.
4. 取訪部 仁, 白須秀男, 吉川昌範, 戶倉 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, pp.939, 1993.
5. 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, pp.188, 1994.
6. 宮入裕夫, 永井正洋, "歯科における切削·研削," 潤滑, 第33卷, 第3號, pp.95, 1988.
7. 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.
8. 富岡 健太郎, 中村悅三, 村松馬郎, "歯科用高速切削工具," 医歯藥出版(株), 1989.
9. 이근상, 임영호, 권동호, 최만용, 김교한, 최영윤,"치과용 다이아몬드 버의 연삭가공 특성," 한국정밀공학회 제14권, 제12호, pp.66~72, 1997.