

AE에 의한 WA계 비트리파이드 및 레지노이드 결합제 연삭숫돌의 결합도 평가

정 인 근,* 임 영 호,** 권 동 호***

Evaluation of Grade of WA-Vitrified and Resinoid Bond Grinding Wheels by Acoustic Emission

In-Kuen Joung,* Young-Ho Lim** and Dong-Ho Kwon***

ABSTRACT

The purpose of this paper is to evaluate the grade of WA vitrified and resinoid bond grinding wheels by the use of AE measuring system. When the manufactured 48 kinds of specimens were scratched by the method of OKOSHI'S grade test, the relationship between the amount of bit scratch depth of grinding wheel specimens and the characteristics of AE signals, and the relationship of AE counts and grade were considered as follows; (1) The higher the grades are AE cumulative event counts N and AE event count rate n, the smaller the values tend to be. But AE_{rms} is in reverse. (2) In the case of same grade, the smaller the grain size is, the higher the value of AE cumulative event counts N and AE_{rms} is results of comparison and observation. The grinding wheel with lower elasticity and with higher percentage of pore detected higher value of AE cumulative event counts N than with higher elasticity and lower percentage of pore. But AE_{rms} is in reverse. (3) AE cumulative event counts N and bit scratch depth h have normally one to one correspondence. (4) It can be expected that quantitative evaluations of grade by using AE have been carried out by the wave observation of AE signal in line with the relationship between load speed of bit and AE cumulative event counts N & AE event count rate n.

Key words : Acoustic Emission(음향방출), AE cumulative event counts(AE 사상총수), AE event count rate (AE 사상률), Bit scratch depth(비트 물림 깊이), Grade test(결합도 시험), Quantity of bond(결합제의 양)

* 숭실대학교 대학원

** 숭실대학교

*** 명지전문대학

1. 서 론

연삭작업에 있어서 요구되는 가공능률과 가공정밀도를 얻기 위해서는 적절한 결합도를 갖는 연삭숫돌을 선택하는 것이 중요한 요건이 된다. 연삭숫돌 표면에 3차원적으로 분포되고 있는 숫돌입자는 결합제(bond)에 의해 탄성적으로 지지되어 있어 연삭력을 받으면 본래의 위치에서 후퇴하게 되므로 가공능률, 가공물의 치수, 형상정밀도, 가공면의 표면상태 및 절삭날의 밀도 변화 등에 직접 또는 간접적으로 영향을 미친다.⁽¹⁾⁻⁽⁹⁾ 연삭숫돌의 입자를 지지하는 강도의 척도로서 결합도가 있는 데, 이는 연삭저항에 대한 연삭숫돌의 대파쇄성의 정도를 나타내는 것이다.⁽⁴⁾

결합도측정에 대한 연구는 오래전부터 진행되어 다수의 측정법이 제안되어 있다.^{(9),(10)} 현재 KS규격에서는 결합도 시험방법으로서 품질관리에 중점을 두고 대월식 시험방법, 로크웰식 시험방법 및 소닉식 시험방법 등을 KS L 6503에 규정하고 있지만, 연삭과정을 고려했을 때 이러한 결합도 측정방법이 최적이라고는 할 수 없다.

대월식결합도시험방법은 부하조건이 연삭가공상태와 다를 뿐만 아니라 다수의 숫돌입자를 순간적으로 탈락시켜 연삭숫돌에 손상을 일으키며, 소닉식시험방법은 연삭숫돌 전체의 탄성평균값을 고려한 것으로 연삭숫돌 표면의 성질보다 내부의 영향을 받기 쉽다. 이러한 평균적인 탄성적성질과 국부적인 마모의 성질과는 물리적으로 다른 성질이므로 이것을 결합도와 관련시키는 것은 다소 무리가 있다고 생각된다. 또한 미세한 입자를 갖는 연삭숫돌에는 로크웰식시험방법이 권장되고 있는데, 이 방법은 대월식이나 소닉법에 비하여 역학적조건은 적절하다고 할 수 있지만, 거친입자를 갖는 연삭숫돌에는 적용할 수 없는 것이 문제이다.

한편 연삭숫돌의 결합도와 관련한 최근의 연구로는 TOSHIKATSU NAKAJIMA⁽⁷⁾의 연삭숫돌의 결합도와 입도에 따른 숫돌입자의 지지강성의 변화해석, MIZUTANI와 NAKO⁽⁸⁾의 미소압축시험에 의한 숫돌입자 지지강성측정 등이 있는데, 이러한 방법들은 bond bridge에 묻혀 있는 숫돌입자의 지지강성을 측정하는 것이므로 기공을 갖는 bond bridge로 연결되어 있는 비트리파이드 및 레지노이드결합제연삭숫돌의 결합도와는 차이가 있다고 생각된다.

연삭숫돌의 결합도측정에 AE를 이용한 연구로는 ISHIDA⁽⁹⁾와 HOMMA⁽¹⁰⁾ 등이 연삭숫돌 표면을 정적

인 상태에서 국부적으로 파괴하고, 이 때 발생하는 AE 신호의 기본특성을 파악함으로써 AE를 이용한 결합도 판정의 가능성을 검토하였다.

그러나 이제까지 제안된 정적측정방법의 대부분은 현장에서 경험적인 방법을 제외하면, 연삭숫돌의 표면이나 숫돌전체를 거시적으로 파괴시키고 그 파괴량을 측정하여 결합도를 판정하는 것으로 숫돌에 상처가 뚜렷하게 남게 되어 상품가치를 떨어뜨리고 측정방법이 복잡하여 신속하게 판정할 수 없기 때문에 제조라인에서 채택하기에는 어려움이 있다.

한편 적당한 입자를 사용하여 연삭숫돌의 표면을 미소량 파괴시켰을 때의 파괴량에 대응하는 값에 의하여 연삭숫돌의 결합도가 판정될 수 있다면, 연삭과정에 가까운 역학적조건을 만족시키는 것이 되므로 결합도 자체를 재평가하는 것이 된다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 결합도를 평가하기 위한 일정한 기준을 설정할 목적으로 AE계측시스템을 이용하여 대월식결합도시험방법에 따라 연삭숫돌표면의 일부를 파괴시켰을 때 발생하는 AE신호를 검출하고, 연삭숫돌의 파괴량과 AE 신호특성과의 관계 및 AE계수량과 결합도와 대응관계를 규명하여 AE를 이용한 결합도평가의 가능성을 검토하였다.

2. 실험

2.1 시험편 및 재료

본 실험에 사용한 시험편재료는 백색알루미나질의 인조연삭재이며, 결합제는 비트리파이드와 레지노이드를 선정하였고, 입도는 #46, #90, #120, #220, 결합도는 J, K, L, M, N, O, 시험편의 치수는 바깥지름×두께×안지름=180×13×31.75mm로 하여 Table 1과 같이 입자율($V_v=46\%$)을 일정하게 하고 결합제율을 변화시킨 48종류의 시험편을 제작하였으며, 숫돌입자의 화학성분은 Table 2와 같다.

비트리파이드시험편은 숫돌입자 WA, 물, 맥분, 전분 및 결합제인 비트리파이드(장석, 백토, 활석, 석회석)의 순으로, 또한 레지노이드시험편은 숫돌입자 WA, 결합제인 분말석탄산수지(phenol resin; KING100), 액상석탄산수지(KRG700), Fe_2O_3 의 순으로 혼합하여 입자율 46%, 결합제율 11%를 기준으로 금형에서 성형하였다. 비트리파이드시험편은 소성로(Bell kiln)에서 Fig. 1에 나타낸 바와 같은 조건으로

Table 1 The percentage of grain and bond of grinding wheel specimens

Grade	Grain size								Bond
	#46		#90		#120		#220		
	V _g (%)	V _b (%)	V _g (%)	V _b (%)	V _g (%)	V _b (%)	V _g (%)	V _b (%)	
J	46	12.8	46	12.8	46	12.8	46	12.8	V. B
K	46	14.9	46	14.9	46	14.9	46	14.9	
L	46	16.7	46	16.7	46	16.7	46	16.7	
M	46	19.5	46	19.5	46	19.5	46	19.5	
N	46	22.4	46	22.4	46	22.4	46	22.4	
O	46	25.4	46	25.4	46	25.4	46	25.4	

V_g : percentage of grain V_b : percentage of bond

Table 2 Chemical composition of abrasive grain (Wt. %)

Abrasive grain	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂
WA	99.6	0.01	0.03	0.01

소성하였고, 레지노이드시멘트는 Fig. 2와 같은 열처리 과정에 따라 전기로(solo Industrial Furnace Co.)에서 열경화시켰다.

이와 같이 소성된 시멘트는 트루잉(truing) 및 파일링(filing)하여 Table 1과 같이 각 종류별로 제작하였다.

2.2 실험장치 및 실험방법

Fig. 3은 본 실험에 사용한 실험장치를 나타낸 것이며, Fig. 4는 AE측정시스템을 이용한 대일식결합도측정장치의 계통도이다.

결합도측정시험에 앞서 연삭숫돌 내부를 전파하는 AE신호의 검출특성을 알아보기 위하여 Fig. 5와 같은 비트로 연삭숫돌을 파괴시켰을 때의 AE신호원과 AE센서와의 상대위치를 변화시켜 가면서 AE신호의 검출패턴을 검토한 다음 AE센서의 검출위치 및 비트의 측정 위치를 Fig. 6과 같이 결정하였다.

Fig. 3 및 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 연삭숫돌시험편을 비트에 직각이 되도록 대일식결합도시험기의 받침

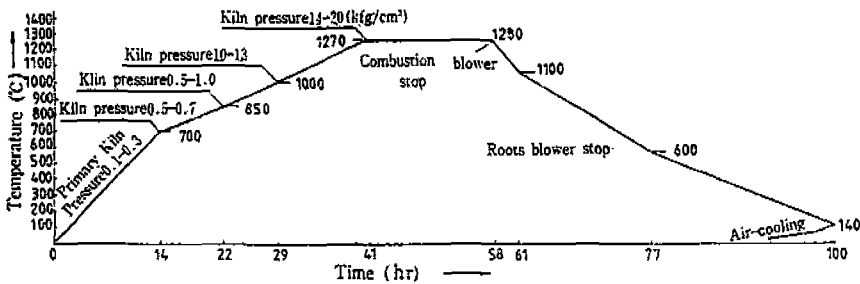


Fig. 1 Heat treatment curve of vitrified bond grinding wheel specimens

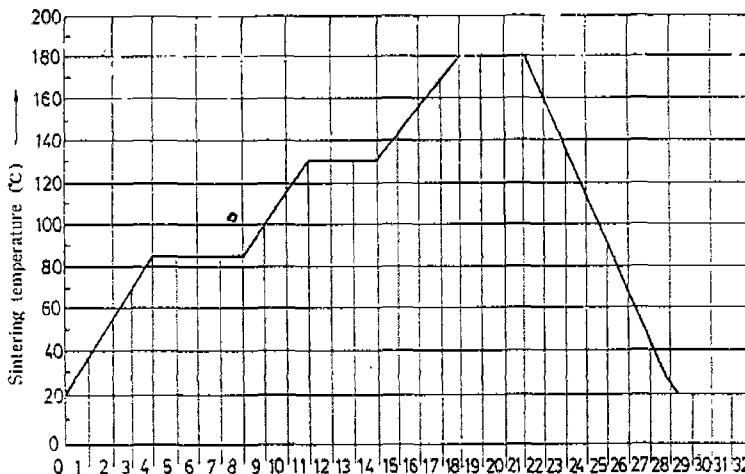


Fig. 2 Sintering temperature and time of resinoid bond grinding wheel specimens

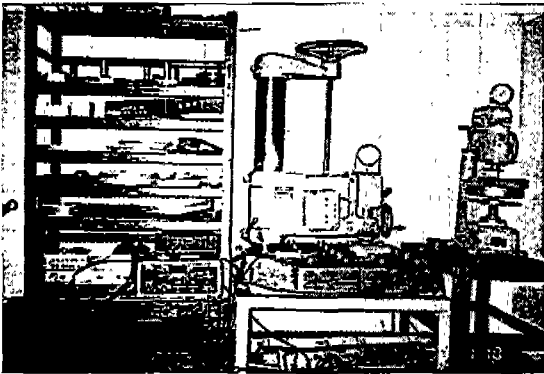


Fig. 3 Experimental apparatus of grade of grinding wheel by acoustic emission

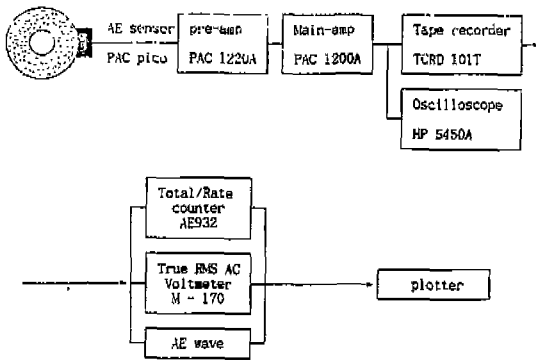


Fig. 4 Block diagram of AE measuring system

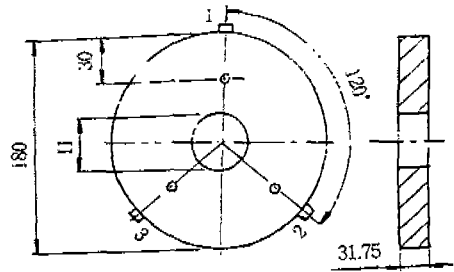


Fig. 6 Measurement and detection position

대 위에 고정하고 비트의 축방향으로 비트리파이드시험편의 경우는 50kg_f , 레지노이드시험편의 경우에는 80kg_f 의 하중을 가한 후 비트의 물림깊이를 지시하는 게이지의 지침을 Zero점에 맞춘 다음 10초 경과 후, 4~5초동안 비트를 120° 회전시키고 다시 5초 경과되었을 때까지의 AE신호를 검출하였으며, 게이지의 지침을 읽어 비트의 물림깊이를 측정하였다. 그리고 동일시험편에 대하여 Fig. 6과 같이 3개소의 측정위치에서 3회 이상 측정을 반복하였으며, 비트는 입도 #46, #90에서는 $\phi 12\text{mm}$, 입도 #120, #220의 시험편에 대해서는 $\phi 8\text{mm}$ 를 사용하였다.

AE측정은 Fig. 4와 같이 고감도 소형($\phi 5\text{mm}$)센서(PAC. pico)로부터 출력된 신호를 잡음제거 및 신호 증폭을 위하여 pre-amp.(PAC. 1220A)와 main-amp.(PAC. 1200A)로 증폭시킨 후, $100\text{kHz} \sim 1\text{MHz}$ 의

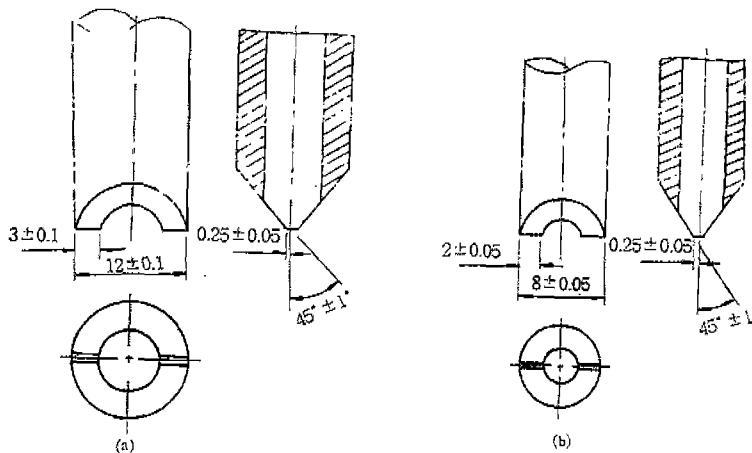


Fig. 5 Dimensions and shape of bit

BPF를 통하여 전과정류한 다음, 출력된 AE_{rms} 와 AE_{wave} , AE사상율(AE event count rate) n 및 AE사상총수(AE cumulative event counts) N 을 tape recorder (TCRD-101T)에 수록하고 Oscilloscope (HP54503A)를 통하여 관찰할 수 있도록 하였다.

본 실험에 사용된 연삭숫돌시험편은 세라믹과 플라스틱이 복합된 취성체이므로 모든 정보처리는 사상을 단위로 하고 있으며, AE신호처리 파라미터로서 AE사상률, AE사상총수, AE파형관찰 및 실효치전압 AE_{rms} 를 주파수 성분(rise time, duration)과 관련시켜 측정하였다. 또한 AE계수량을 정량적으로 비교하기 위하여 의사AE파(artificial AE wave)의 ring-down계수량이 일정치로 되는 전기계의 gain을 조절하는 방법으로 감도를 교정하였다.

AE센서의 접착은 electronic wax를 사용하였고, AE신호의 선택은 threshold level 스위치를 이용하였

으며, main-amp.부분의 증폭도가 크므로 신호구별에는 주의를 필요로 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 결합도에 따른 AE 사상총수 N 및 AE_{rms}

Fig. 7 및 Fig. 8은 연삭숫돌의 조직을 일정($m=8$)하게 하고, 입도 및 결합도를 변화시킨 비트리파이드 및 레지노이드결합제연삭숫돌시험편에 대하여 대월식결합도측정시험을 실시하고 이 때 검출되는 실효치전압 AE_{rms} 와 AE사상총수 N 을 결합도(J, K, L, M, N, O)와의 관계를 나타낸 것이다. AE사상총수 N 은 결합제의 양이 많은 즉, 결합도가 높은 시험편일수록(J→K→L→M→N→O의 순) 거의 직선적으로 감소하는 경향이 있지만, AE_{rms} 값은 결합도가 높을수록 큰 값을 나타내고 있다. 이와 같은 경향은 비트리파이드와 레지노이드

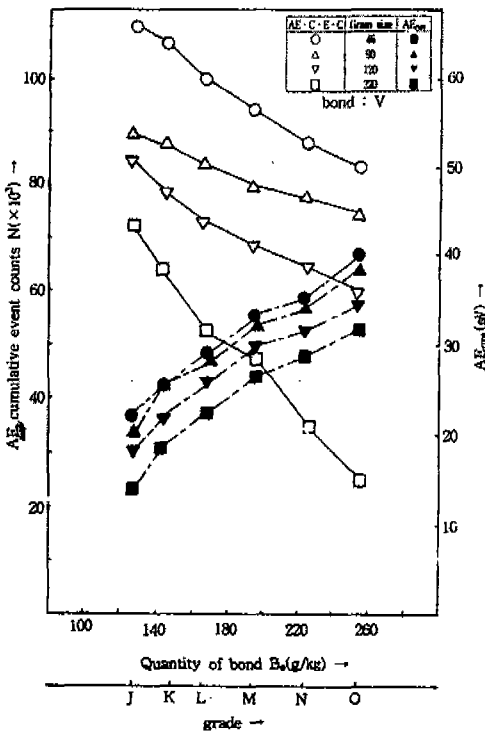


Fig. 7 AE cumulative event counts and AE_{rms} versus grade for four kinds of grain size vitrified bond grinding wheel specimens by OKOSHI's grade test

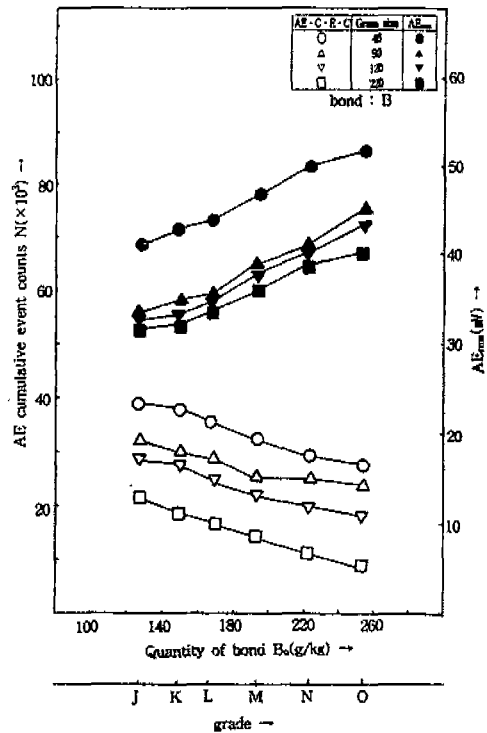


Fig. 8 AE cumulative event counts and AE_{rms} versus grade for four kinds of grain size resinoid bond grinding wheel specimens by OKOSHI's grade test

드 결합제를 사용한 시험편 모두 같게 나타났다. 또한 동일 결합도인 경우, 입도가 작은 시험편이 입도가 큰 시험편보다 #46>#90>#120>#220의 순으로 AE사상총수 N 및 AE_{rms} 값이 크게 검출되었으며, Fig. 7의 비트리파이드시험편과 Fig. 8의 레지노이드시험편을 비교해 보면, 동일입도·동일결합도의 시험편일 경우라도 AE사상총수 N은 비트리파이드시험편이 레지노이드시험편보다 약 3.05배 정도 높게 검출되었지만, AE_{rms} 값은 레지노이드시험편이 비트리파이드시험편보다 약 1.45배 높은 값으로 검출되었다.

이 결과로부터 AE사상총수 N 및 AE_{rms} 는 연삭숫돌의 입도와 결합도를 지배하는 결합제의 양에 의존함을 알 수 있다.

비트를 이용한 본 실험의 경우에 있어서 연삭숫돌의 파괴기구는 숫돌입자의 파쇄에 의한 입내파괴와 bond bridge에서의 입계파괴로 대별할 수 있다.

비트를 회전시킬 때, 입내파괴영역에서는 파괴균열의 성장이 일단 입계에 의해 저지되고 숫돌입자지름의 크기를 갖는 균열이 형성된다고 할 수 있으며, 입계파괴영역에서는 결합제가 숫돌입자를 피복한 상태로 결합하고 있다고 볼 수 있으므로 입계에 발생한 균열의 크기도 숫돌입자지름의 크기에 근사한 것으로 생각된다.

그런데 인프로세스 중의 대부분의 파괴균열은 숫돌입자와 결합제의 경계면에서 발생하고, 숫돌입자와 결합제의 경계면에는 숫돌입자와 거의 같은 크기를 갖는 기공부가 존재하며, 비트를 회전시킬 때(일정한 하중을 가하고 토오크를 작용시킬 때) 기공부의 선단에는 강한 응력집중현상이 일어나 균열의 진전과 더불어 AE신호가 생성됨을 알 수 있다.

따라서 숫돌입자의 지름이 크고 결합제의 양이 많은 즉, 입도가 작고 결합도가 높은 시험편일수록 숫돌입자 사이에는 결합제가 더욱 함침되어 결합제율이 높아져

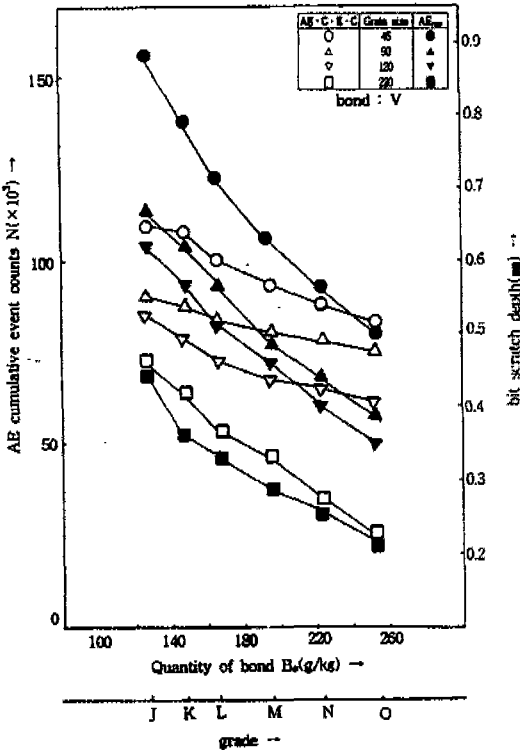


Fig. 9 AE cumulative event counts and bit scratch depth grade for four kinds of grain size vitrified bond grinding wheel specimens by OKOSHI's grade test

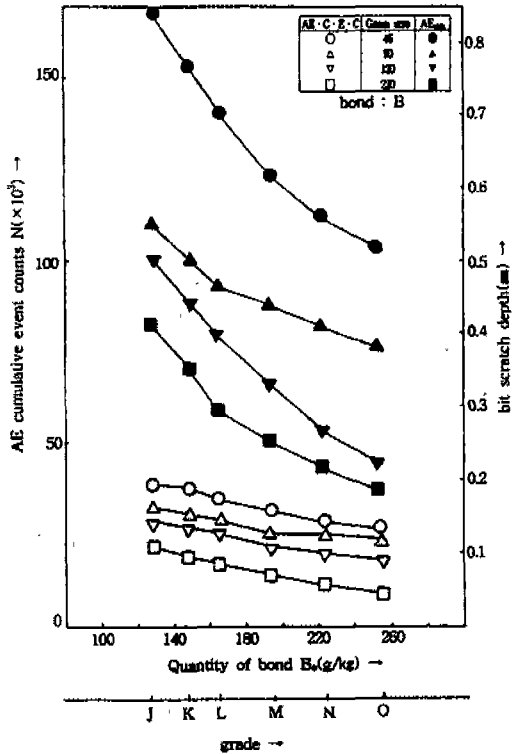


Fig. 10 AE cumulative event counts and bit scratch depth grade for four kinds of grain size resinoid bond grinding wheel specimens by OKOSHI's grade test

파괴강도가 큰 값을 갖게 되고, bond bridge의 변형역도 커지므로 AE_{rms} 는 큰 값으로 나타난다. 그러나 AE사상총수 N 은 입도가 큰 시험편일수록 입자율이 높아져 기공률도 높아지므로 시험편 내부에서 발생하는 균열의 진전이 입계에 의해 저지되는 횟수가 많아지게 되어 N 이 작은 값을 갖게 되는 것으로 생각되며, 또한 결합도가 높은 시험편(결합제의 양이 많은 시험편)일수록 스틱입자를 피복하고 있는 결합제의 유효단면적이 증가하므로 AE신호의 전파특성을 둔화시켜 N 값이 작게 나타난 것으로 볼 수 있다. 동일입도·동일결합도를 갖는 시험편일지라도 레지노이드결합제연삭스틱들이 비트리파이드결합제연삭스틱들보다 AE_{rms} 값은 크나 AE사상총수 N 의 값이 작게 나타나는 데, 이는 석탄산계의 결합제가 자기질결합제보다 결합제의 함침율이 우수하므로 bond bridge의 변형역이 커져 AE_{rms} 는 큰 값을 나타내지만, AE신호의 전파특성이 낮기 때문에 AE사상총수 N 은 작은 값을 나타낸 것으로 판단된다.

3.2 비트물림깊이와 AE 사상총수 N 및 AE_{rms}

Fig. 9~Fig. 12는 입도 및 결합도가 비트물림깊이와 AE사상총수 N 및 AE_{rms} 에 미치는 영향을 알아보기 위하여 입도 #46, #90, #120, #220, 결합도 J, K, L, M, N, O인 비트리파이드 및 레지노이드 시험편에 대하여 대월식결합도측정시험을 실시하고, 이 때 검출된 AE신호와 비트물림깊이를 결합도와와의 관계로 나타낸 것이며, Fig. 13~Fig. 16은 입도를 일정하게 하고 결합도를 변화시킨 시험편의 경우, 비트물림깊이에 따른 AE사상총수 N 및 AE_{rms} 의 관계를 나타낸 것이다.

Fig. 9 및 Fig. 10에서 결합도가 높아짐에 따라 AE사상총수 N 및 비트물림깊이는 감소하며, Fig. 11 및 Fig. 12에서 결합제의 양이 증가함에 따라 비트물림깊이는 감소하지만 AE_{rms} 값은 증가하고 있음을 볼 수 있다. 그리고 동일입도·동일결합도의 시험편일지라도 입도가 작은 시험편이 입도가 큰 시험편보다 비트물림깊이, AE사상총수 N 및 AE_{rms} 값은 큰 값으로 나타났다.

비트리파이드시험편과 레지노이드시험편을 비교한 Fig. 13~Fig. 16에서 동일입도·동일결합도의 시험편일 경우라도 비트리파이드시험편이 레지노이드시험편보다 AE 사상총수 N 및 비트물림깊이 h 는 큰 값으로 나타났으나 AE_{rms} 는 작은 값으로 검출되었음을 볼 수 있다. 이와 같은 경향은 비트의 축방향에 하중을 일정

(비트리파이드 시험편 50kgf, 레지노이드 시험편 80kg)하게 가한 데 기인한 것으로, 연삭스틱들의 결합제율이 증가하면 bond bridge의 강도가 증가하므로 스틱입자와 결합제와의 사이에 작용하는 결합력이 커져서 비트물림깊이 h 및 AE사상총수 N 은 결합제의 양과 입도가 큰 시험편일수록 작은 값을 나타내며, AE_{rms} 는 결합제율이 높을수록 bond bridge의 변형역도 커지므로 큰 값을 나타낸 것으로 생각된다.

비트에 의한 파괴량을 연삭과정의 역학적 해석과 관련시켜 생각해 보면, 연삭스틱들의 마멸현상은 스틱입자에 작용하는 외력과 bond bridge의 강도 사이의 관계 즉, 결합도에 의하여 결정된다고 할 수 있다. 연삭저항이 급증하여 스틱입자에 작용하는 외력이 bond bridge의 강도 또는 스틱입자의 파괴강도에 일치하게 되면, 연삭스틱들의 마멸량은 급증하기 시작하며 연삭저항은 최대값을 나타내고, 결합제율 및 입자율이 증가하면 bond bridge의 강도도 증가하므로 연삭의 형태는 탈락(spilling) 형에서 광택(glazing)형으로 이행됨을 유추할 수 있다.

따라서 비트에 의한 물림깊이와 비트에 의한 하중부하시의 연삭스틱들의 파괴량에 해당하는 AE신호를 인포로세스 중에 검출함으로써 연삭스틱들의 마멸현상을 연삭스틱들의 제인자와 관련하여 파악할 수 있으며, 비교적 정밀하게 연삭스틱들의 결합도를 판정할 수 있을 것이다. 또한 Fig. 17 및 Fig. 18은 입도 #46, #90, #120, #220, 결합도 J~O인 비트리파이드 및 레지노이드시험편에 대한 비트물림깊이와 AE사상총수 N 및 AE_{rms} 를 나타낸 것인 데, 비트물림깊이가 증가함에 따라 AE_{rms} 는 감소하지만, AE사상총수와 비트물림깊이와는 비교적 잘 대응하고 있음을 볼 수 있다. 이와 같은 비트물림깊이와 AE사상총수와의 1:1 대응관계는 연삭스틱들의 결합도에 대한 AE의 정량적 평가의 가능성을 예시하고 있다.

3.3 결합도에 따른 AE파형특성 및 AE 사상률 n

연삭스틱과 같은 취성재료의 경우에는 극심한 조직의 불균질성으로 인하여 결합도를 정확하게 평가하는 데는 여러가지 어려움이 있다고 생각되므로 연삭스틱들의 입도 및 결합도가 AE진폭분포 및 AE사상률에 미치는 영향을 파악하여 검토하였다.

Fig. 19는 결합도가 AE진폭분포에 미치는 영향을 알아 보기 위하여 입도 #90, 결합도 L 및 O인 비트리

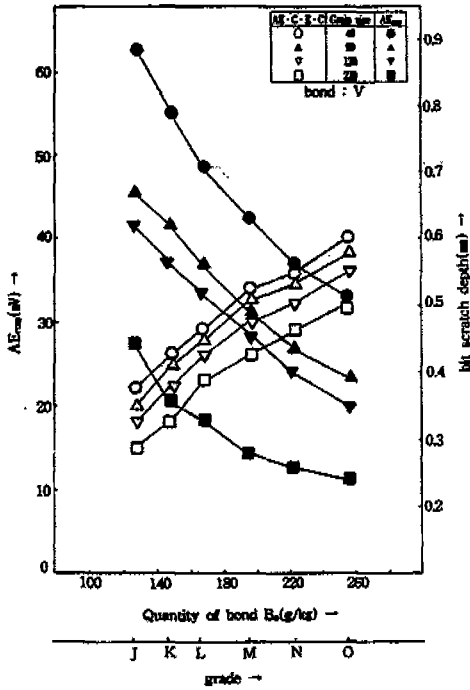


Fig. 11 AE_{rms} and bit scratch depth grade for four kinds of grain size vitrified bond grinding wheel specimens by OKOSHI's grade test

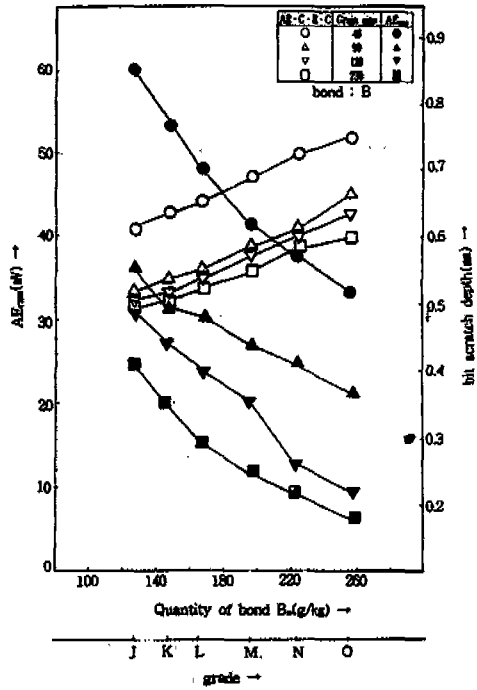


Fig. 12 AE_{rms} and bit scratch depth grade for four kinds of grain size resinoid bond grinding wheel specimens by OKOSHI's grade test

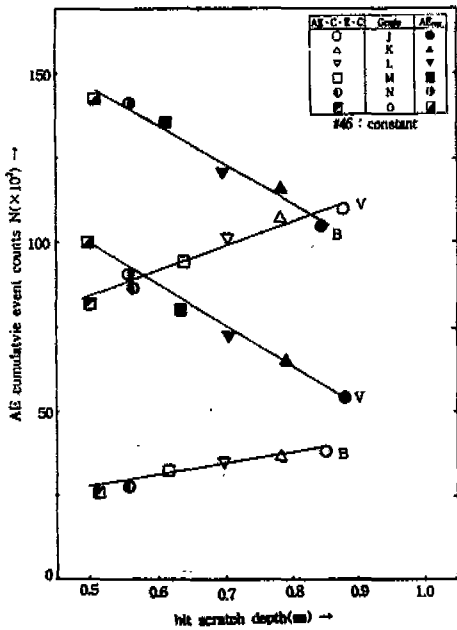


Fig. 13 Correspondence of AE cumulative event counts, AE_{rms} and bit scratch depth for resinoid and vitrified bond (#46)

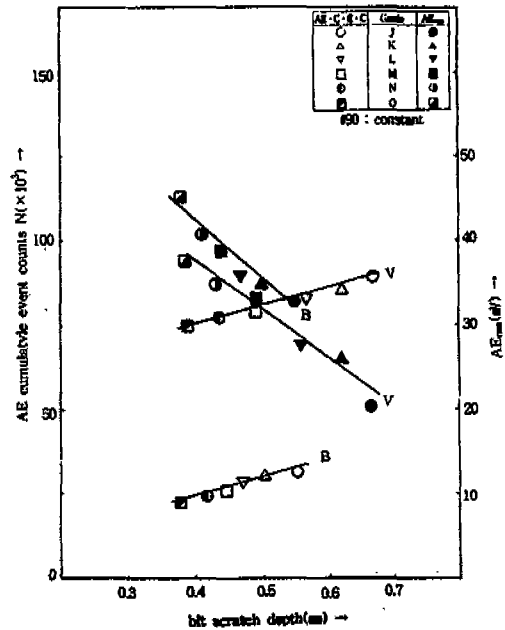


Fig. 14 Correspondence of AE cumulative event counts, AE_{rms} and bit scratch depth for resinoid and vitrified bond (#90)

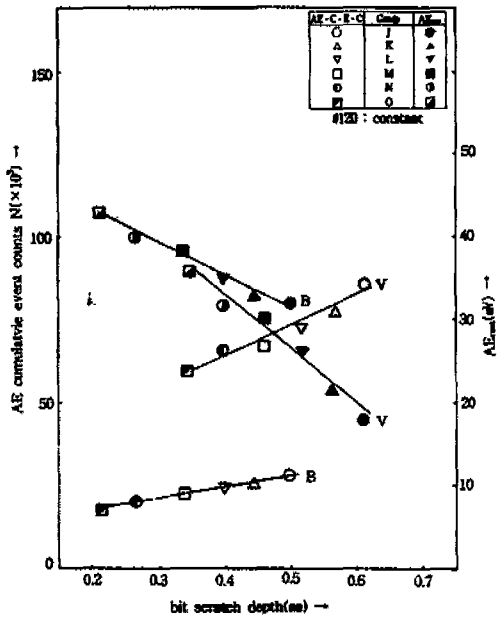


Fig. 15 Correspondence of AE cumulative event counts, AE_{rms} and bit scratch depth for resinoid and vitrified bond(#120)

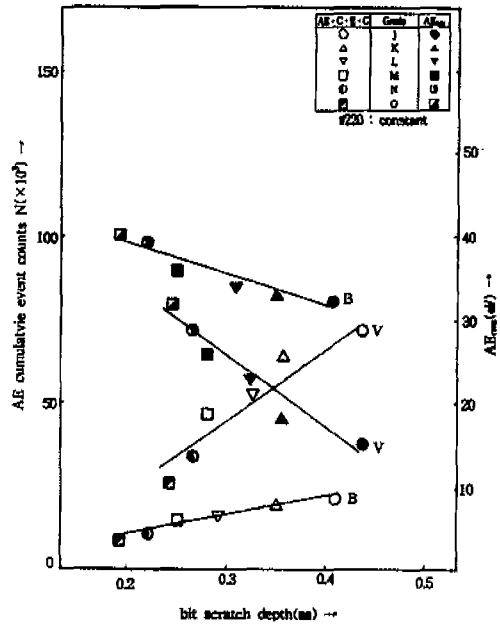


Fig. 16 Correspondence of AE cumulative event counts, AE_{rms} and bit scratch depth for resinoid and vitrified bond(#220)

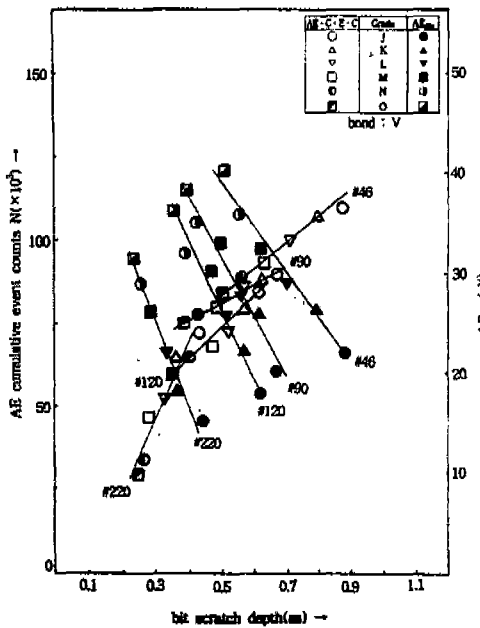


Fig. 17 Correspondence of AE cumulative event counts, AE_{rms} versus bit scratch depth for size(vitrified bond)

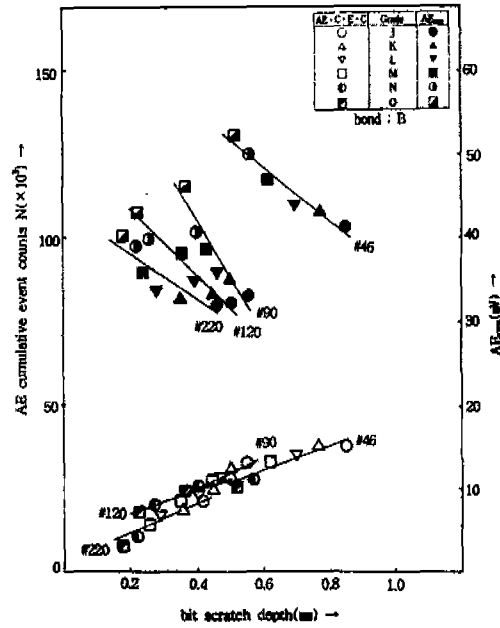


Fig. 18 Correspondence of AE cumulative event counts, AE_{rms} versus bit scratch depth for grain size(resinoid bond)

파이드 및 레지노이드시험편에 대하여 대월식결합도측정실험을 실시했을 때의 AE신호파형을 오실로스코프에 관찰한 것이며, Fig. 20 및 Fig. 21은 입도 #46, #220, 결합도 J, K, L, M, N, O인 비트리파이드 및 레지노이드결합도연삭수들 시험편에 대한 결합도측정시험결과를 나타낸 것이다. Fig. 19 및 Fig. 20(a)와 Fig. 21(b)에 나타난 AE 진폭분포로부터 동일입도의 경우에는 결합도가 낮은 시험편보다 결합도가 높은 시험편이, 동일결합도의 경우에는 입도가 큰 시험편보다 입도가 작은 시험편이, 그리고 동일입도·동일결합도의 경우에는 비트리파이드시험편이 레지노이드시험편보다 AE신호의 파형특성이 크게 나타남을 볼 수 있다. 이와 같은 경향은 입도가 작고 결합도가 높은 시험편이 입도가 크고 결합도가 낮은 시험편보다 결합체의 유효단면적율이 높아져 스톨입자사이의 결합력이 강화되므로 비트물림깊이는 작아지지만, 결합력이 강화되므로 비트의 회전과파시에 방출되는 표면에너지가 큰 값으로 나타난 결과로 보인다. 또한 비트리파이드시험편은 스톨입자에 무기질접착제를 혼합하여 고온에서 유리화시켜 제조하므로 탄성이 있는 레지노이드 시험편보다 기공률이 높아지게 되어 비트물림깊이가 커져 AE파의 발생이 높게 나타난 것으로 생각된다.

Fig. 20(b) 및 Fig. 21(b)는 비트를 일정한 속도(= 0.15 rps)로 120° 회전시키는 데 걸리는 시간 t와 AE

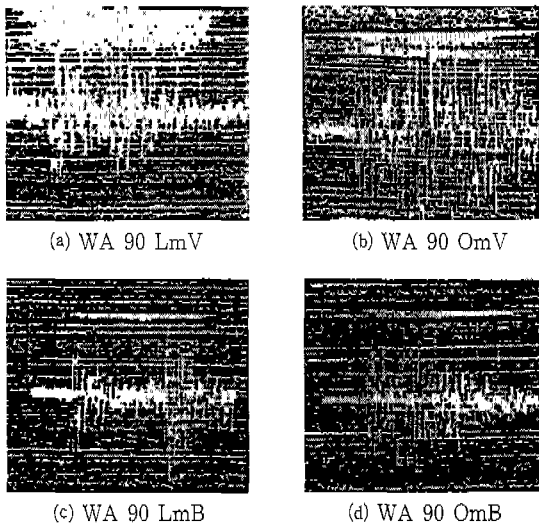


Fig. 19 AE waveform detected Vitrified (a,b) and resinoid bond (c,d) grinding wheel specimens by oscilloscope

사상물 n과의 관계를 나타낸 것인데, 동일입도의 경우 결합도가 높은 시험편일수록 작은 값을 나타내며, 동일결합도의 경우 입도가 작은 시험편일수록, 동일입도·동일결합도의 경우라도 비트리파이드시험편이 레지노이드시험편보다 큰 값을 나타냈다. 그러나 Fig. 20(c) 및 Fig. 21(c)에 나타난 바와 같이 AE_{rms}는 결합도가 높은 시험편이 결합도가 낮은 시험편보다 큰 값을 갖는 경향은 AE파형특성과 같지만(J<K< L<M<N<O), AE사상물 n의 경향과는 반대로 나타났으며, 동일입도·동일결

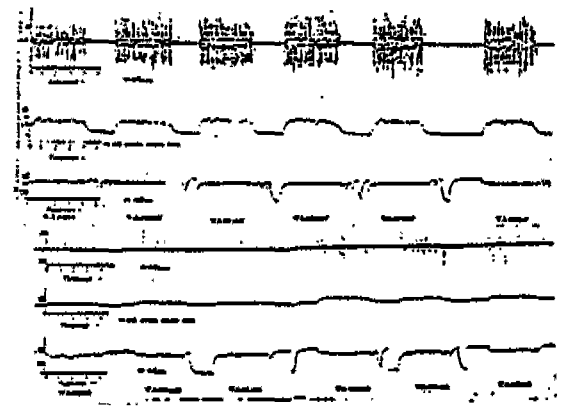


Fig. 20 AE_{wave} AE event count rate and AE_{rms} versus bit scratch time for WA vitrified and resinoid bond grinding wheel specimens (#46)

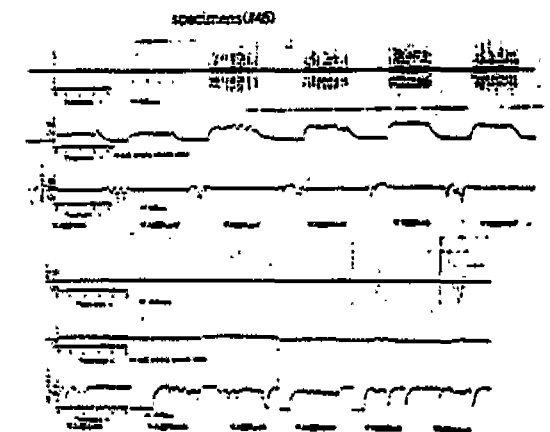


Fig. 21 AE_{wave} AE event count rate and AE_{rms} versus bit scratch time for WA vitrified and resinoid bond grinding wheel specimens (#220)

합도의 경우에도 레지노이드시험편이 비트리파이드시험편보다, 동일결합도의 경우 입도가 작은 시험편이 입도가 큰 시험편보다 다소 큰 값으로 검출되었다.

일정한 부하속도에서 비트물림깊이 h 가 작다는 것은 결합도가 높은 것을 의미하며, 비트물림깊이 h 가 일정하다면 비트의 부하속도 ω 가 결합도에 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다. 그러므로 결합도가 높다는 것은 비트의 부하속도 ω 가 작다는 것을 의미하므로 비트의 단위 물림량마다의 AE사상총수 N 은 부하속도 ω 의 영향을 받는다고 할 수 있다.

AE 사상을 k 가 스트레인 속도(여기서는 비트의 회전 속도 ω)에 비례한다고 가정하면 다음과 같은 관계가 성립된다.⁽¹¹⁾

$$k \propto \omega \quad (1)$$

이때 AE event count 범에서 단위시간마다의 count 수 n 은 k 와 일치한다.

한편 ring-down 계수법에서 1사상마다의 count 수 n 은 다음식으로 주어진다.⁽¹²⁾

$$n = \frac{f_o}{\beta} \log \frac{V_p}{V_{th}} \quad (2)$$

여기서 f_o : 공진주파수

β : 감쇠상수

V_p : AE 최대전압

V_{th} : threshold level전압

또한 개개의 AE사상이 독립적으로 발생하고, 사상간격이 ringing의 길이에 비하여 길다고 생각하면, AE 사상이 k 일 때 단위시간마다의 count 수 N_k 는 다음과 같아 된다.

$$N_k = \sum_{i=1}^k n_i = \sum_{i=1}^k \left(\frac{f_o}{\beta} \log \frac{V_p}{V_{th}} \right) = \frac{f_o}{\beta} \sum_{i=1}^k \log \frac{V_p}{V_{th}} \quad (3)$$

(3)식에서 f_o , β , V_{th} 가 일정하다면 N_k 는 k 와 V_p 와의 함수로 된다. 즉 AE count수의 누계(=AE사상총수) N 은 비트의 회전속도 ω 와 각각의 사상에 대한 파괴 에너지의 크기에 의존하는 것이 된다.

그러므로 본 실험에서와 같이 부하속도를 일정하게 하였을 경우, 비트를 120° 회전시켰을 때의 AE사상률 n 을 나타낸 Fig. 19(a) 및 Fig. 19(b)에서 결합도가 변화

함에 따라 동일한 부하를 가해도 파괴량이 다르게 되고, 더욱이 입도에 따라 파괴입자의 크기도 다르게 됨을 알 수 있으므로 비트에 의한 회전파괴시에 발생하는 AE신호, 즉 AE 사상률 n , AE_{wave} 및 방출에너지의 크기 AE_{rms} 로부터 결합도 평가가 가능할 것이다. 또한 비트의 회전속도 ω 가 크게 되면 AE신호의 ringing시간에 비하여 비트에 의한 파괴의 사상간격이 짧게 되므로 AE파가 중첩되어 AE사상총수 N 이 증대하게 된다.

따라서 AE신호의 진폭분포 및 AE_{rms} 값은 입도가 크고 결합도가 높은 시험편일수록 크게 나타나고, 탄성이 낮고 기공률이 높은 연삭숫돌일수록 AE신호특성에 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있다. 또한 결합도측정을 위한 표준시험편을 제작하고, 짧은 시간간격에서 시험편의 일부를 흡집이 나지 않을 정도의 미소량만큼 파괴시켰을 때의 AE신호를 검출하고, AE사상률 n 과 AE신호의 파형관찰을 병행함으로써 AE를 이용한 결합도 평가가 가능할 것으로 판단된다.

4. 결 론

WA계 비트리파이드 및 레지노이드결합제연삭숫돌에 대한 결합도평가를 목적으로 48종의 시험편을 제작하고, AE계측시스템을 이용하여 대월식결합도측정시험방법에 따라 연삭숫돌시험편의 일부를 파괴시켰을 때의 AE신호를 검출하고, 연삭숫돌의 파괴량과 AE신호특성과의 관계 및 AE 계수량과 결합도와와의 대응관계를 비교·고찰한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) AE사상총수 N 및 AE사상률 n 은 결합도가 높을수록 작은 값을 나타냈으나 AE_{rms} 값은 반대의 경향으로 나타났다.

(2) 동일결합도의 경우, 입도가 작을수록 AE사상총수 N 및 AE_{rms} 값이 크게 나타났다. 그리고 탄성이 낮고 기공률이 높은 연삭숫돌이 탄성이 높고 기공률이 낮은 연삭숫돌보다 AE사상총수 N 은 큰 값으로 검출되었지만 AE_{rms} 는 작은 값을 나타냈다.

(3) 숫돌입자의 지름이 작고 결합도가 높은 연삭숫돌일수록 AE신호파형의 진폭분포가 높게 나타나고, 탄성이 낮고 기공률이 높은 연삭숫돌이 탄성이 높고 기공률이 낮은 연삭숫돌보다 비트물림깊이가 크고 AE신호특성에 미치는 영향이 크다.

(4) AE사상총수 N 과 비트물림깊이와는 정성적으로 1대 1 대응한다.

(5) 비트의 부하속도와 AE사상총수 N 및 AE사상률 n과의 관계 및 AE신호의 파형관찰을 병행하므로써 AE를 이용한 결합도의 정량적 평가를 기대할 수 있다.

후 기

본 연구는 95년도 숭실대학교 교내 학술 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 숭실대학교 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. R. S. Hahn, "The Effect of Wheel-Work Conformity in Precision Grinding", Trans. ASME, Vol. 77, No. 8, pp. 1325, 1955.
2. K. Okamura and T. Nakajima, "Elastic Properties of Grinding Wheel", Memories of the Faculty of Engineering, Kyoto Univ., Vol. 31, No. 4, pp. 490, 1969.
3. 江田 弘, "ファインセラミックスの研削き裂の軽減に関する研究", 精密工學會誌, 第 56 卷, 第 10 號, pp. 1865, 1990.
4. 河村末久, 矢野章成, 木通口誠宏, 杉田忠彰, "研削加工と砥粒加工", 共立出版, pp. 12, 1984.
5. 한국공업규격, "연삭숫들의 시험방법", KS L 6503, pp. 4-7, 1988.
6. 渡邊半十, "結合度 試驗", 精密機械, 第 27 卷, 第 6 號, pp. 359, 1961.
7. 中島利勝, 塚本眞也, 吉川滿雄, 竹原健一, 横溝精一, "ビトリファイド砥石における砥粒支技剛性の分布と砥粒變位形態に関する研究", 精密工學會誌, 第 60 卷, 第 10 號, pp. 1490-1494, 1994.
8. 水谷勝己, 中尾 博, "ダイヤモンド砥石の砥粒支技剛性", 精密工學會誌, 第 60 卷, 第 3 號, pp. 412-416, 1994.
9. Shinke and Y. Ishida, "Evaluation of Grade in the Grinding Wheel by Acoustic Emission", The Japanese Society for Non-Destructive Inspection, Proceedings of The 11th International Acoustic Emission symposium, pp. 545-550, 1992.
10. 本間恭二, 木村 敬, "AE法を利用した研削砥石の結合度の測定", 精密工學會誌, 第 52 卷, 第 1 號, pp. 100-106, 1986.
11. H. Iadea et al, "Acoustic Emission Characteristics during Tensile Test of Various Metals with Several Types of Crystal Structure", Proc. 3rd AE symp., Tokyo, pp. 492, 1976.
12. J. Eisenbr tte^t et al, "A survey of Acoustic Emission Research in Europe and Investigations Conducted at Battlle Frankfurt", Proc. 2nd AE symp., Tokyo, session 7.1, 1974.