

## 연삭동력을 이용한 스톨수명 판정

이상태\*(창원기능대), 성재경(창원기능대), 정윤교(창원대)

### Determination of decision of wheel life using grinding power

Sangtae Lee\*(Changwon tech. univ.), Jaekyung Sung(Changwon tech. univ.),  
Yoongyo Jung(Changwon univ.)

#### Abstract

The dressing time monitoring in cylindrical grinding is very important with respect to machining efficiency. Therefore, the purpose of this paper is to determine the wheel life by monitoring behavior of grinding power for WA, 19A and GC. For this purpose, we investigated indirectly the attritious wear of grain edge, the loading of grinding wheel and the breakage of grain through the grinding power and the surface roughness under various grinding conditions. From obtained the results, the relationship between the wheel life and the average sectional chip area is examined to guide for the determination of dressing time

#### 1. 서론

연삭가공은 기계가공의 최종 다듬질공정으로서 가공면의 거칠기 및 형상정도가 제품의 품질에 직접적으로 영향을 주게된다. 이러한 연삭가공은 공구의 기하학적 형상이 뚜렷하고 가공중에 공구 형상의 변화가 거의 없는 절삭가공에 비하여, 연삭가공을 속행하게 되면 스톨의 표면은 어떠한 형태로든지 변화하게 되며 변화된 스톨의 표면이 직접 공작물의 표면에 영향을 주게된다. 따라서, 연삭가공시에는 이러한 입자의 변화상태의 한계점, 즉 스톨의 수명이라고 판단되는 시점에서 드레싱을 수행할 필요가 있다. 현장에서는 스톨의 수명판정을 기능인의 경험에 의존하는 경우가 많아서, 드레싱시기가 부적절하게 판단되어짐에 기인하여 비가공시간의 증대뿐만 아니라 제품의 품질 향상 및 경제적 연삭가공에 저해요소가 되어 저온 것이 현실이다.

스톨의 수명을 판정하기 위한 스톨면의 상태를 검출하기 위한 많은 연구가 행하여져 왔었다. 간접적인 방법으로는 AE신호의 에너지값의 변화를 이용한 스톨의 눈막힘량을 추정하거나<sup>(1)</sup>, 연삭가공시 발생하는 불꽃의 색변화를 관찰하는 방법<sup>(2)</sup>, 드레싱시 발생하는 AE신호를 이용하여 스톨의 손상상태를 판정하는 연구<sup>(3)</sup>등이 있고, 직접적인 방법으로는 광반사를 이용하여 스톨입자의 마모 면적이나 입자면의 형상을 관찰하는 방법<sup>(4)</sup>, 자기장치를 통하여 눈막힘량을 직접측정하는 방법<sup>(5)</sup>, 와전류 센서를 스톨주위에 설치하여 스톨면의 눈막힘량을 비접촉으로 직접측정하여 드레싱시기를 결정하는 연구<sup>(6)</sup>등 다수 연구되어져 왔다. 그러나 직접적인 방법은 측정시간과 설치등의 문제가 해결되어야할 과제이며, 간접적인 방법은 연삭기의 구조 및 센서의 설치위치 등 주변환경에서의 탈피등이 난제로 남아있는 실정이다.

본 연구에서는 현장에서 일반적으로 사용되어

지고 있는 SM45C재료에 대하여 WA, GC 및 19A 슷돌로 원통 연삭가공을 수행할시에 슷돌의 수명판정을 하고자 한다. 이를 위하여 Power Meter를 이용하여 각종 연삭조건에서의 연삭가공시 연삭동력의 거동을 관찰하고, 동시에 가공면의 표면조도도 관찰, 비교함으로써 슷돌 입자의 변화과정을 연삭동력의 변화를 이용하여 간접적으로 관찰하고자 하였다. 얻어진 결과로부터 슷돌의 수명과 평균칩단면적과의 관계를 규명하여 현장에서 경제적이고 합리적으로 드레싱시기를 결정할 수 있는 지침을 마련하고자 하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

본 실험에서 사용한 연삭반은 기아중공업 제작 유정압베어링을 채용한 원통연삭반(Model type GUP32×100)으로 주축동력 3.7kW이다. 연삭가공시 발생하는 연삭동력을 측정하기 위하여 Yokogawa사의 Digital power meter(WT130)를 사용하였다. Power meter의 내부구조는 Fig. 1과 같다. 또한, 가공면의 표면조도를 측정하기 위하여 Mitutoyo사의 축침식 표면조도계(SV624)를 사용하였다. 본 실험에서 사용된 실험장치 구성도를

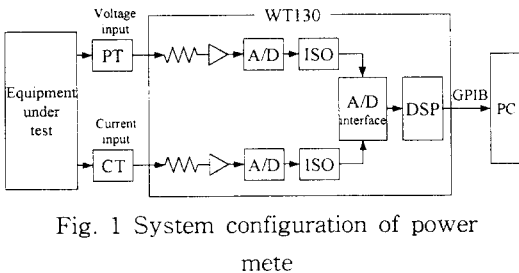


Fig. 1 System configuration of power meter

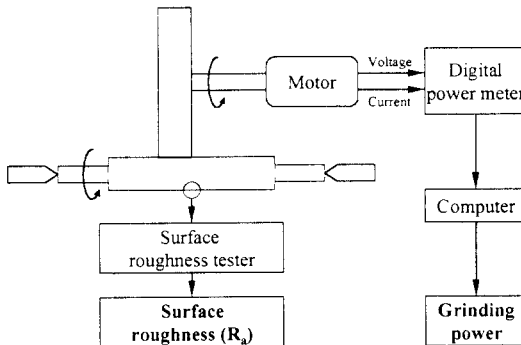


Fig. 2 Experimental setup

Fig. 2에 나타내었다.

연삭스틀은 일반적으로 많이 사용되어지고 있는 산화알루미늄계인 WA와 탄화규소계인 GC 및 A입자와 WA입자의 조성비율이 50:50인 19A 등 3종류를 사용하였으며, 피삭재는 열처리 하지 않은 기계구조용 탄소강 SM45C를 사용하였고 피삭재의 크기는 원통연삭기의 크기를 고려하여  $\phi 60\text{mm}$ , 길이 450mm로 하였다.

연삭스틀 및 공작물의 회전수는 회전속도계(Model DT5350)로 확인하였고, 슷돌의 회전수 1783rpm, 공작물의 속도 40m/min로 일정하게 하였다. 테이블의 이송 및 연삭깊이는 다양하게 변화시켜 연삭가공을 수행하였으며 슷돌의 입도는 80번, 100번, 120번을 사용하여 슷돌수명에 미치는 영향을 검토하였다. 또한 연삭스틀의 표면상태를 일정하게 하기 위하여 연삭조건을 변화시킬 때마다 드레싱을 수행하였다. 드레싱은 단석 다이아몬드 드레서를 이용하여 최종절입깊이 0.2mm ( $0.02\text{mm} \times 9 + 0.01\text{mm} \times 2$ ), 이송량 0.14mm/rev의 조건으로 수행하였다. 드레싱 후에 연삭조건을 설정하여 공작물 양끝단에서 매행정마다 절입을 행하여 Spark-out 연삭없이 연삭가공을 수행하여 연삭동력의 거동이 불안정하여지는 시점까지 연삭가공을 속행하였다. 본 연구에서의 실험조건을 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Experimental conditions

Specification of grinding machine	GUP32×100(KIA Heavy Industry) Wheel speed : 1783rpm Workpiece speed : 40m/min Spindle motor capacity : 3.7kW
Table speed	1.0m/min, 1.5m/min, 2.0 m/min
Depth of cut	5 $\mu\text{m}$ , 10 $\mu\text{m}$ , 15 $\mu\text{m}$ , 20 $\mu\text{m}$
Workpiece	SM45C
Types of grinding wheel	WA80K7V (355×50×127) WA100J8V (355×50×127) WA120J8V (355×50×127) GC100K7V (355×50×127) 19A80K7V (355×50×127)
Dressing conditions	Depth of cut : 0.2mm ( $0.02 \times 9 + 0.01 \times 2$ ) Lead : 0.14mm/rev
Grinding fluid	Solution type( $\times 100$ )

### 3. 슷돌수명의 판정방법

연삭스�돌의 수명판정은 공작물 표면상의 떨림 모양의 발생, 연삭음의 변화, 연삭연소의 발생, 연삭저항의 급증 및 급감, 다듬질면 거칠기의 악화, 가공정밀도의 저하 등으로 판단할 수 있으나 이들 현상들은 각각 독립해서 발생하는 것은 아니고 상호관련이 있다고 알려져 있다.

Fig. 3은 WA80K7V 슷돌로 주속도 1950m/min, 테이블 이송 2.0m/min, 공작물속도 40m/min, 절입깊이 5 $\mu$ m의 조건으로, 연삭동력의 거동에 이상 상태가 감지되어질 때까지 연삭을 속행하여, 연삭시간에 대한 연삭동력의 변화를 나타낸 그림이다. 그림에서는 슷돌수명의 시점에 대한 정확성을 기하기 위하여 공작물의 표면조도의 변화도 동시에 나타내었다. 그림에서 알 수 있는바와 같이 연삭초기의 수분동안은 연삭동력이 슷돌의 초

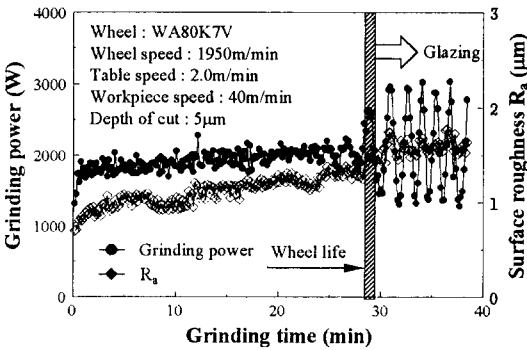


Fig. 3 Determination of wheel life for attritious wear of grain edge

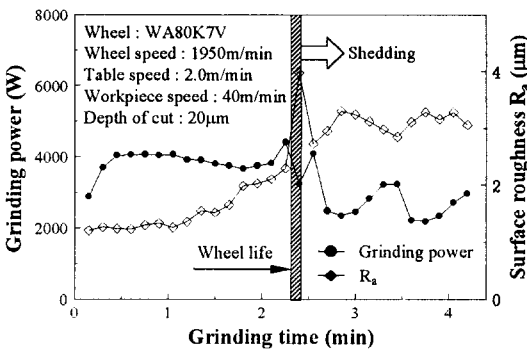


Fig. 4 Determination of wheel life for breakage of grain edge

기마모에 기인하여 급증하는 양상을 보이다가 연삭시간 28분정도까지 안정적으로 연삭이 수행되고 있음을 알 수 있다. 그러나 28분 이후 연삭동력은 급격한 변동상태를 보이고 있으며 이시점에 맞추어 공작물의 표면조도도 악화되어지고 있음을 알 수 있다. 그 이유는, 비교적 작은 절입깊이인 5 $\mu$ m로 연삭을 수행하는 경우는 슷돌입자가 선단의 마멸적마모(Glazing 현상)와 눈막힘현상>Loading 현상)이 진행되어지기 때문에 입자선단 마모면적의 증가에 의한 것으로 사료되며, 28분 이상 연삭을 속행하면 공작물표면이나 슷돌에 오히려 악영향을 초래할 뿐이다.

연삭깊이를 제외한 다른 연삭조건을 동일하게 하고, 연삭깊이를 20 $\mu$ m로 크게 한 경우에 연삭시간에 대한 연삭동력의 변화를 관찰한 그림이 Fig. 4이다. Fig. 3의 결과와는 다르게 연삭시간이 2~3분정도에서 연삭동력의 급격한 감소를 보이며, 이시점에 맞추어 공작물의 표면조도도 악화되어짐을 알 수 있다. 이 경우는 연삭입자가 연삭깊이의 누적량에 대한 하중에 견디지 못하고 대규모파괴 및 탈락(Shedding 현상)에 의해 입자의 급격한 탈락이 원인이라고 사료되며, 엄밀한 의미에서는 이 시점이 슷돌의 수명이라 판단하기 어려운 점은 있으나, 본 연구에서는 이러한 시점도 역시 슷돌의 수명이라 규정하였다.

본 실험에서는 이러한 슷돌수명 판정방법을 기준으로 하여 입자의 종류, 절입깊이의 변화, 입도의 변화, 테이블 이송의 변화 등 광범위한 조건에서 슷돌의 수명을 감시하였다.

### 4. 연삭조건이 슷돌수명에 미치는 영향

Fig. 5는 WA스�돌을 사용하여 입도를 80, 100, 120번으로 변화시켰을 때 연삭시간에 대한 연삭동력의 변화를 관찰한 그림이다. 절입깊이를 5 $\mu$ m, 테이블 속도를 1.0m/min로, 본 실험의 전조건에서 가장 경연삭에 속하는 조건을 설정하였다. 3종류의 입도별로 슷돌수명을 비교하여 보면, 입자의 크기가 작을수록 슷돌수명은 짧아짐을 알 수 있다. 입자의 크기가 작으면 공작물 표면의 조도는 양호한 경향을 보일 수 있으나, 기공의 크기가 작아질뿐만 아니라 다수의 작은 입자들이

동시에 Glazing 현상을 일으키기 때문에, 큰 입자의 경우보다 입자마모에 의한 접촉면적의 증가율이 커질뿐만 아니라 눈막형현상도 현저하기 때문이다. 즉 작은 입자의 경우가 빈번한 드레싱이

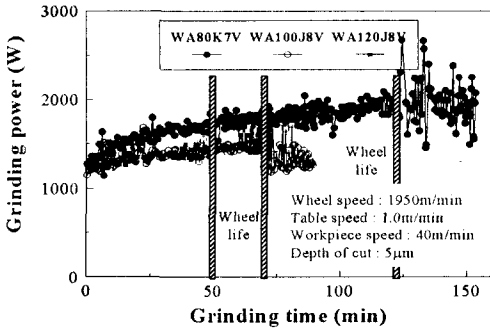


Fig. 5 Behavior of grinding power for various grain sizes

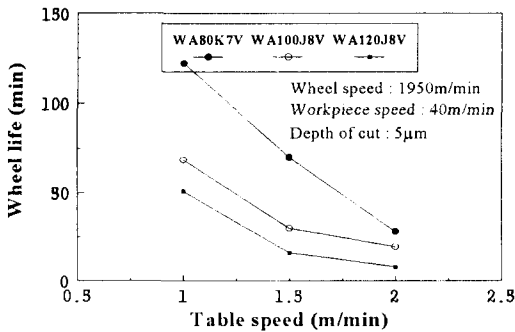


Fig. 6 Relationship between table speed and wheel life

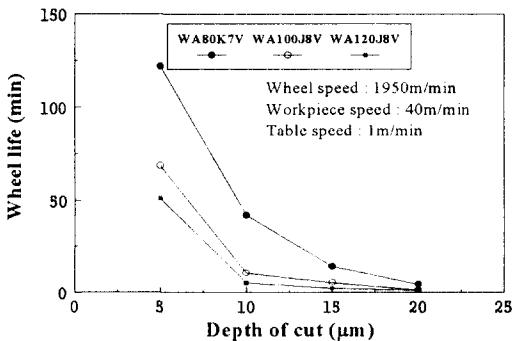


Fig. 7 Relationship between depth of cut and wheel life

요구되어진다.

여기에서, 3종류의 입도로 연삭가공을 수행하였을 때, 테이블 속도의 변화에 대하여 슷돌수명 시점을 Plot한 것이 Fig. 6이다. 그림에서 보는바와 같이, 입자의 크기에 비례하여 슷돌수명이 길어짐은 명확하며, 또한 테이블 속도가 증가함에 따라 슷돌수명은 감소되어짐을 알 수 있다. 주목할 사항은 테이블 속도의 증가에 따라 입도의 변화에 대한 슷돌수명의 변화폭이 대폭 줄어든다는 사실이다. 이는 테이블 속도가 작을 경우의 입자마모기구가 Glazing 현상에서, 테이블 속도가 크지게 되면 입자의 마모기구가 대규모파괴 혹은 입자의 탈락으로 변화하기 때문으로 생각되며, 이러한 입자의 대규모파괴나 탈락현상이 발생하면 입자의 크기에 관계없이 슷돌수명은 일정한 값을 가지는 경향을 가진다고 할 수 있다. 이러한 현상은 Fig. 7에서 더욱 뚜렷이 관찰되어진다.

Fig. 7은 3종류 입도의 슷돌로 연삭가공을 할 때, 연삭깊이의 변화에 대한 슷돌수명의 거동을 나타낸 그림이다. 전술한 바와같이, 연삭깊이가 작을 때에는 입도별로 슷돌수명의 차가 격심하게 나타나지만, 연삭깊이가 점차 증가하면서 사용되어진 입자들간의 슷돌수명의 차는 입자의 마모기구의 변화에 기인하여 점차 감소하고, 동시에 슷돌의 수명도 연삭깊이의 증가에 따라 감소하는 경향을 보인다. 연삭깊이가  $20\mu\text{m}$ 에 도달하면 입자간의 슷돌수명의 차는 완전히 없어지고 일정한 값에 수렴됨을 보여주고 있다.

입자의 종류가 슷돌수명에 미치는 영향을 보여주는 그림이 Fig. 8과 Fig. 9이다. Fig. 8은 테이블 속도  $2\text{m/min}$ 일 경우, 연삭깊이를  $5\mu\text{m}$ 로 비교적 작게 하여 Glazing과 Loading을 유발시킨 경우이고, Fig. 9는 연삭깊이를  $20\mu\text{m}$ 로 하여 입자의 마모기구를 대규모파괴 및 탈락현상을 유발시킨 경우이다. Fig. 8에서 보는바와 같이, WA는 19A 및 GC보다 인성이 있기 때문에 Glazing 마모와 Loading에 대한 저항성이 강하여 슷돌수명이 2배 이상 크게 나타나 있음을 알 수 있다. 마모의 기구가 다른 Fig. 9의 결과도 WA스�돌이 가장 수명이 크게 나타나있었으며, SM45C의 피삭재에 대하여 본 실험의 조건 범위내에서는, 인성이 있는 WA스�돌을 사용하는 것이 드레싱주기를 길게 할 수 있는 방안이라 할 수 있다.

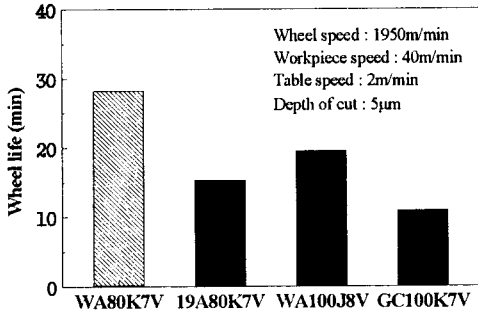


Fig. 8 Comparison of wheel life for grain types (depth of cut : 5μm)

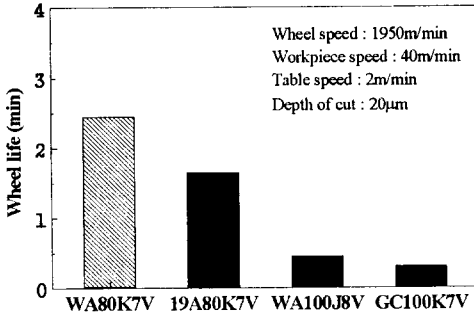


Fig. 9 Comparison of wheel life for grain types (depth of cut : 20μm)

## 5. 평균칩단면적과 슷돌수명과의 관계

이상의 결과로부터 현장에서 합리적으로 드레싱시기를 결정하기 위한 지침을 마련하기 위하여 본절에서는 각종 연삭조건에서의 슷돌수명을 측정하여 이들과 평균칩단면적과의 관계를 규명하였다.

평균칩단면적은 다음식으로 구할 수 있다.<sup>(7)</sup>

$$a_m = \omega^2 \frac{V_w}{V_s} \sqrt{t \left( \frac{1}{D} \pm \frac{1}{d} \right)} \quad (1)$$

여기서,  $\omega$ 는 평균 입자의 간격,  $V_w$ 는 공작물 속도,  $V_s$ 는 슷돌의 주속도,  $D$ 는 슷돌의 직경,  $d$ 는 공작물의 직경이다. 또한, 평균 입자의 간격  $\omega$ 는 竹中에 의해 이론적으로 구하여진다<sup>(8)</sup>.

$$\omega = 0.67 \frac{d_v}{V_g} \quad (2)$$

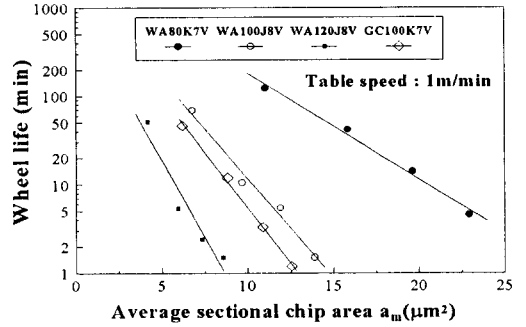


Fig. 10 Relationship between average sectional chip area and wheel life (table speed : 1m/min)

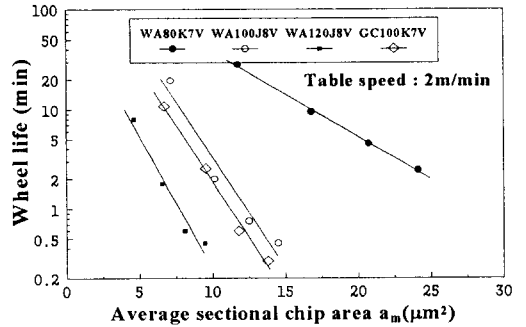


Fig. 11 Relationship between average sectional chip area and wheel life (table speed : 2m/min)

여기서,  $d_v$ 는 입자를 구형으로 가정하였을 때의 평균직경이며,  $V_g$ 는 입자의 체적속이다. 또한 입자번호  $G$ 와 입자의 평균직경과의 관계는 역시 문헌(8)에 의해 고찰되어져 있다.

$$d_v = 45G^{-1.28} \quad (3)$$

본 실험에서 선정되어진 연삭조건들을 사용하여 식(1), (2), (3)에 의해 평균칩단면적을 계산하여, 이들 값과 슷돌수명과의 관계를 나타낸 그림이 Fig. 10과 Fig. 11이다. Fig. 10과 Fig. 11은 각각 테이블 속도 1m/min, 2m/min으로 다른 연삭조건은 모두 동일하게 선정되었다. 또한, 그림의 종축은 Log축으로 설정하였다. 그림에서 알 수 있는바와 같이, 슷돌의 종류 및 입도별로 평균칩단면적의 증가와 더불어 슷돌수명은 선형적으로 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 이는 슷돌마모의 형태가 Glazing에서 대규모 파괴 및 탈

락으로 친이하는 과정을 나타낸다고 볼 수 있다. 또한 이 결과로부터, 설정되어진 연삭조건에서 평균칩단면적을 계산함으로써 슷돌수명을 추정할 수 있어, 현장에서 드레싱시기를 결정하는 지침이 될 수 있으리라 사료된다. 여기서 슷돌수명  $T_w$ 와 평균칩단면적  $a_m$ 과의 관계를 실험적으로 나타내어보면 다음식과 같이 정리할 수 있다.

$$T_w = \alpha e^{-\beta a_m} \quad (4)$$

여기서,  $\alpha$  및  $\beta$ 는 입자의 종류에 따른 상수이다. Fig. 10과 Fig. 11의 데이터를 기초로하여 상수  $\alpha$  및  $\beta$ 를 계산한 결과를 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Values of  $\alpha$  and  $\beta$

Table speed Type of grain	1.0(m/min)		2.0(m/min)	
	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
WA80K7V	2886.97	0.2762	287.04	0.1977
WA100J8V	2059.35	0.5162	582.56	0.5155
WA120J8V	1059.92	0.8056	117.79	0.6155
GC100K7V	1775.61	0.5779	353.44	0.5219

## 6. 결론

본 연구에서는 피삭재로 SM45C를 대상으로 다양한 연삭조건하에서의 연삭가공시 연삭동력의 거동을 관찰하여 슷돌수명을 파악하여 현장에서 경제적으로 드레싱시기를 결정할 수 있는 지침을 마련하고자 하였다. 이하 본 연구에서 얻어진 결과를 요약한다.

- (1) 연삭동력의 거동을 관찰함에 의해 합리적인 슷돌수명 판정방법을 결정할 수 있었다.
- (2) 슷돌수명에 있어서는 입도가 클수록, 입자에 걸리는 부하가 작은 연삭조건이 유리하며, 입자에 걸리는 부하가 증대할수록 마모의 형태가 Glazing에서 대규모파괴 및 탈락으로 친이됨을 알았다.
- (3) 슷돌의 수명과 평균칩단면적사이에는 일정한 관계가 있음을 알 수 있었고, 연삭조건에 따라

합리적인 드레싱시기를 결정할 수 있는 지침이 마련되었다.

## 후 기

본 연구는 한국과학재단지정 창원대학교 공작기계기술연구센터의 지원에 의한 것입니다. 관계자에게 감사드립니다.

## 참고문헌

- (1) Dornfeld D. and Cai H. G., "An Investigation of Grinding and Wheel Loading Using Acoustic Emission", Transactions of the ASME, Vol. 106, 1984
- (2) Eda H. et al., "In-process Detection of Grinding Burn by Means of Utilizing Acoustic Emission", J. of JSPE, Vol. 49, No. 9, 1983
- (3) Inasaki I., "Monitoring and Optimization of Internal Grinding Process", Annals of the CIRP, Vol. 40, 1991
- (4) 三好隆志, 齊藤勝政, "光學的フーリエ變換による砥石作業面の性狀の評価", 精密機械, 48, 8, 1982
- (5) 山本明, 前田良昭, "磁氣ヘッドを用いた研削目づるりのインプロセス測定", 精密機械, 37, 4, 1971
- (6) 김선호, 안중환, 박화영, "스틀면의 직접관찰에 의한 드레싱시기의 최적화", 한국정밀공학회 1996년도 추계학술대회논문집, pp. 51-55, 1996
- (7) 鄭潤教, 稻崎一郎, 松井敏, "ファインセラミックスの高エネルギー研削に関する基礎研究", 日本機械學會論文集, 53巻, 485号, 1987
- (8) 竹中, 笹谷, "研削作業に関する研究(第2報, 研削砥石の砥粒分布密度及び砥粒間隔)", 日本機械學會論文集, 26-163, 1960