

# 적층연삭숫돌의 드레싱과 연삭물 표면거칠기에 관한 연구

김 강<sup>#</sup>

## A Study on the Dressing of Laminated Grinding Wheel and the Surface Roughness of Ground Parts

Kang Kim<sup>#</sup>

### ABSTRACT

Through the previous works, it was found that the laminated grinding wheel is more efficient to generate smoother surface in short time than general grinding wheels. But, if the laminated grinding wheel is easily worn-out, it is impossible to apply this wheel in the real grinding process, because the periodic time for dressing is closely linked to the productivity of the process. So, it is required to investigate the wear of the laminated grinding wheel for studying the periodic time for dressing. But it is difficult to analyze the dressing period quantitatively. Therefore, in this study, periodic times for dressing of the laminated grinding wheel and general grinding wheel are deduced from the relationship between the wear of grinding wheels and the surface roughness changes according to the number of traverse in cylindrical traverse grinding through experiments. This study shows that there are some differences in the wheel wear mechanisms between the general and laminated grinding wheels. As a result, it is also found that the periodic time for dressing of the laminated grinding wheel is longer than that of the general grinding wheel.

**Key Words** : Cylindrical Grinding(원통연삭), Laminated Grinding Wheel(적층연삭숫돌), Wear(마멸), Surface Roughness(표면거칠기), Dressing(드레싱)

### 1. 서론

정밀연삭공정은 일반적으로 황삭숫돌로 황삭을 한 후, 정삭숫돌로 정삭을 하여야 하며, 이 때 수반되는 숫돌 교체 시 항상 밸런싱 및 드레싱과 같은 비부가치 선행작업이 요청 된다. 이러한 공정의 비효율성과 단점을 보완하기 위하여 적층연삭숫돌이 고안되었다. 적층연삭숫돌이란 연삭공정 시 황삭 후, 정삭을 해야하는 2회에 걸친 작업을 한번에 수행할 수 있도록, 양 측면은 황삭지립, 가

운데에는 정삭지립을 적층시킨 숫돌이다. 이미 적층연삭숫돌의 특성에 대한 선행연구<sup>1,2</sup>를 통하여, 적층연삭숫돌을 이용한 연삭 시 공작물의 표면거칠기를 유지 혹은 향상시키며 공정을 단축할 수 있는 가능성이 확인되었다. 그러나, 실제 연삭을 수행하는데 있어서 발생하는 비능률적인, 비부가치 작업시간은 숫돌 교체뿐만 아니라 숫돌의 마멸에 따른 공작물의 표면정도 저하를 방지하기 위한 드레싱주기와의 관련이 있다. 따라서 적층연삭숫돌의 활용이 실제적인 생산성 향상에 기여하기

<sup>#</sup> 접수일: 2003년 2월 11일; 게재승인일: 2003년 4월 30일  
교신저자: 국민대학교 기계자동차공학부  
Email: kangkim@kookmin.ac.kr, Tel: (02) 910-4676

위해서는 일반 슷돌에 비하여 드레싱주기가 긴 특성을 나타내야 할 것으로 판단된다.

드레싱주기는 직접 연삭스�돌의 표면상태를 관찰하여 확인하는 것이 효과적이나, 이 경우 정량적이고 객관적인 분석이 다소 어려운 문제점을 내포하고 있다. 따라서, 연삭스�돌의 마멸에 관련된 연구에서는 대부분 마멸되어지는 슷돌 표면의 관찰 방법과 슷돌 마멸 거동에 대한 시뮬레이션을 주로 다루고 있다.<sup>3-5</sup> 일반연삭스�돌의 드레싱시기는 연삭동력의 거동을 관찰하여 결정할 수 있으며, 일반적으로 슷돌의 입자가 크고 입자에 걸리는 부하가 적은 (연삭깊이의 감소, 저속의 테이블 이송 속도) 연삭조건인 경우가 슷돌수명에 유리한 것으로 알려져있다.<sup>6</sup> 아울러, 크로스피드 평면연삭 (crossfeed surface grinding)에서의 공작물의 표면거칠기는 가로이송의 증분치에 대한 슷돌 폭의 비율과 종속적인 관계를 갖으며, 가로이송에 의한 연삭력이 슷돌의 양측면에 작용되어, 슷돌의 가운데 부분에서는 초기단계에 상대적으로 느린 마멸이 진행되는 것으로 확인되었다.<sup>7</sup>

따라서, 본 연구에서는 원통연삭의 트래버스 연삭시, 가로이송 횟수의 증가에 따른 공작물의 표면거칠기 변화를 관찰하여 간접적으로 드레싱시점을 추정하고자 한다. 동일한 실험을 적층연삭 슷돌 및 일반연삭스�돌을 대상으로하여 수행함으로써 상대적인 특성을 비교하여 알아보고, 아울러 절입깊이의 변화가 공작물 표면거칠기에 미치는 영향을 관찰하여 적층연삭스�돌의 마멸 특성 또한 알아보고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 시편 및 실험장치

본 실험에서 사용된 시편재료는 기계구조용 합금강인 SM45C와 금형용 합금강인 NAK80이다. 기계구조용 합금강인 SM45C는 금형용 합금강인 NAK80과는 달리, 고주파 열처리 후 실험에 사용토록 하였으며, 각각의 기계적인 물성치는 Table 1에 나타나있다. 연삭 가공 시, 양 센터지 방법을 사용하므로, 시편의 양 단에는 센터 가공을 하였으며, 드웰 시 연삭스�돌이 시편과 접촉하는 것을 방지하기 위하여 단이 진 원통형상으로 가공하였다. 특히 고주파 열처리 된 SM45C의 경우에는 열처리 후 다시 센터가공을 실시하였다. 선삭 작업

과 열처리 후 생기는 비틀림을 고려하여 입도가 #46인 일반연삭스�돌로 예비 연삭 작업을 실행하였으며, 균일한 실험 결과를 얻기 위해 각 재료마다 입의로 5개씩 시편을 선택하여 경도시험을 하였으며, 이 값의 분산이 평균값의 5%이내에 있는 것을 확인하였다. Fig. 1은 시편의 치수를 나타낸다.

Table 1 Mechanical properties of specimens

|                             | SM45C  | NAK80 |
|-----------------------------|--------|-------|
| Modulus of elasticity (Gpa) | 200    | 205   |
| Yield strength (Mpa)        | 500    | 1010  |
| Tensile strength (Mpa)      | 700    | 1250  |
| Elongation in 50mm (%)      | 17.0   | 16.1  |
| Hardness (HRC)              | 59-60* | 40    |

\* after induction hardening

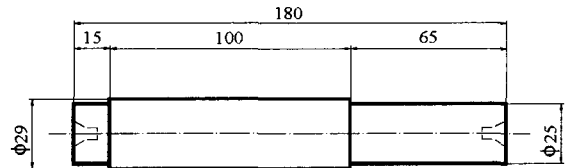


Fig. 1 Workpiece shape (unit = mm)

연삭스�돌은 일반연삭스�돌 2개, 적층연삭스�돌 2개, 총 4개를 사용하였다. 편의상 일반연삭스�돌은 GW, 적층연삭스�돌은 LW로 표시하고, 이어서 바로 입도를 숫자로 표시하되, 적층연삭스�돌인 경우만 황삭입도/정삭입도/황삭입도로 구분하여 표시한다. Table 2는 실험을 위하여 사용된 연삭스�돌의 종류 및 특성을 나타낸다.

일반연삭스�돌을 선택함에 있어서, 적층연삭스�돌의 특성에 대한 선행연구<sup>1</sup>에서 이미 확인된 바와 같이, 적층연삭스�돌로 가공된 면의 표면거칠기는 황삭지립 일반연삭스�돌에 의한 표면거칠기와 정삭지립 일반연삭스�돌에 의한 표면거칠기의 중간 정도 값을 나타내므로 #46/100/46, #36/100/36인 적층연삭스�돌과 비슷한 표면거칠기 값을 얻을 수 있는 #80이나 #70인 것과 비교함이 좋겠으나, 같은 절입깊이를 준 연삭에서는 입자가 작은 것 보다 입자가 큰 것이 슷돌수명에 유리하다는 관련 연구 결과<sup>7</sup>에 따라 적층연삭스�돌의 황삭지립 입도인 #46과 #36을 일반연삭스�돌의 입자로 선택하였다.

Table 2 Grain size and properties of grinding wheel

| Wheel                    | Grain size |      | Code        |
|--------------------------|------------|------|-------------|
| General grinding wheel   | 36         |      | GW36        |
|                          | 46         |      | GW46        |
| Laminated grinding wheel | Coarse     | Fine |             |
|                          | 36         | 100  | LW36/100/36 |
|                          | 46         | 100  | LW46/100/46 |
| Properties               |            |      |             |
| Abrasive type            | WA         |      |             |
| Grade                    | K          |      |             |
| Structure                | 7          |      |             |
| Bond type                | Vitrified  |      |             |

이는 일반연삭숫돌의 드레싱주기상의 이점을 최대한 부여하기 위함이다. 모든 연삭숫돌의 외형 치수는 동일하며, 적층연삭숫돌을 구성하는 3개 층의 각각의 두께도 동일하도록 제작하였다. 따라서, 적층연삭숫돌을 구성하는 각 층의 두께는 일반연삭숫돌 두께의 1/3에 해당된다. Fig. 2는 적층연삭숫돌의 치수를 나타낸다.

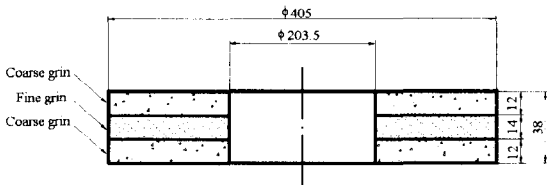


Fig. 2 Dimension of laminated grinding wheel (unit =mm)

단이 진 원주형의 시편을 연삭하기 위해, 본 실험에서 사용한 원통연삭기는 MIYAMOTO 사의 GAU25-50L 기종이다. Table 3 은 원통연삭기의 대략적인 사양을 나타낸다. 연삭액은 한국 셀석유(주)의 셀루브리콜 그린 수용성 W2 중 1 호를 물과 0.4wt%로 섞어 사용했다.

정확한 실험을 위하여 실험 전 숫돌의 표면 상태를 일정하게 유지하는 것이 필수적으로 요청된다. 따라서, 각 실험 수행 전에 드레싱을 충분한 깊이로 실시하였다. 드레싱은 우선 0.371m/min의 가로이송속도로 25.00μm 씩 31 회 절입하여 실시한 후, 다시 0.173m/min의 가로이송속도로 12.5μm 씩 2 회 실시하였다. 따라서 총 드레싱 깊이는 0.8mm 가 되도록 하였다. 드레서는 NAGOYA 사의

Table 3 Cylindrical grinding machine specification

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| Maximum distance between centers | 500 mm                                    |
| Maximum workpiece diameter       | 150 mm                                    |
| Maximum workpiece weight         | 120 kg                                    |
| Table movement formula           | Manual, hydraulic                         |
| Spindle speed                    | 65, 130, 155, 260, 310, 355, 520, 710 rpm |
| Wheel speed                      | 1500 rpm                                  |

1/2 캐럿 다이아몬드 드레서를 총 12 개 사용하였으며, 1 개의 드레서 당 드레싱작업을 4 회만 수행하고, 새 드레서로 교체하여 항상 드레서의 날이 예리한 상태를 유지할 수 있도록 하였다.

측정장치는 Rank Taylor Hobson 사의 Form Talysurf Series 2 를 사용하였다. 표면거칠기의 측정 위치는 시편 원주 상에 120° 간격으로 3 위치를 선정하고, 각 위치에 대해서 축 방향으로 3 지점씩 총 9 지점을 선정하여, 각 지점에서의 중심선평균 거칠기( $R_a$ )와 최대높이거칠기( $R_{max}$ )를 측정하였다. 이 때 동일한 실험조건의 측정결과는 평균값 및 표준편차를 계산하여 실험결과로 사용하고자 한다. 측정기의 설정값은 Table 4 와 같다.

Table 4 Surface roughness measurement condition

| Mode                         | Value     |
|------------------------------|-----------|
| Assessment mode              | Roughness |
| Cutoff length                | 0.08 mm   |
| Data length                  | 12 mm     |
| Number of cutoff             | 150       |
| Filter type                  | Gaussian  |
| Lowpass cutoff and bandwidth | 1.25 μm   |

## 2.2 가로이송 실험

가로이송 실험에서는 입도가 #46, #36인 일반연삭숫돌과 #46/100/46, #36/100/36인 적층연삭숫돌을 사용하여, 가로이송 횟수의 증가에 따른 공작물의 표면거칠기 변화를 측정한다. 이 실험을 통하여 적층연삭숫돌의 드레싱이 요청되는 시점을 추정해 보고자 한다.

본 실험은 심입대와 주축대 부근에서의 드웰 중에 총 15회, 12.5μm씩 절입하고, 마지막에 스파크아웃을 총 3회 실시한다. 동일한 조건 하에 시

편을 각 3개씩 가공하며, 측정은 연삭숫돌의 가로이송 횟수가 각각 15, 30, 45, 60, 75, 90회 일 때마다 실시한다. 이때, 재료가 SM45C 시편인 경우는 열처리한 표면이 90회 가공하는 동안 모두 제거되어 균일한 경도 유지가 불가능하므로, 매 측정하는 횟수마다, 시편을 교체하여 가공한다. Table 5는 본 실험의 연삭 조건을 나타낸다. 특기할 점은 스파크아웃은 절입깊이 없이 행하여지므로 가로이송 횟수에서 제외되며, 또한 총 가로이송 횟수가 90회 될 때까지 연삭숫돌은 드레싱을 하지 않는다는 것이다.

Table 5 Experimental condition

| Fixed condition      |  |   |
|----------------------|--|---|
| Grinding wheel speed | 1500 rpm                                     |   |
| Work surface speed   | 260 rpm                                      |   |
| Traverse speed       | 1.214 m/min                                  |   |
| Spark out times      | 3  |   |
| Dwell time           | 2 sec  |   |
| Variable condition   |  |   |
|                      | Cross-feed experiment                        | Depth of cut experiment   |
| Depth of cut         | 12.5 $\mu\text{m}$ × 15                      | 6.25 $\mu\text{m}$ × 15<br>18.75 $\mu\text{m}$ × 15<br>25.00 $\mu\text{m}$ × 15 |
| Grinding wheel       | GW36<br>GW46<br>LW 36/100/36<br>LW 46/100/46 | LW 36/100/36<br>LW 46/100/46  |

### 2.3 절입깊이 실험

절입깊이 실험에서는 입도가 #46/100/46, #36/100/36인 적층연삭숫돌 2개를 사용한다. 이 실험을 통하여, 절입깊이가 변화함에 따라 적층연삭숫돌의 마멸상태 및 공작물의 표면거칠기에 미치는 영향에 대하여 알아보려고 한다.

본 실험은 절입깊이를 6.25 $\mu\text{m}$ , 18.75 $\mu\text{m}$ , 25.0 $\mu\text{m}$ 로 하여 수행하며, 절입깊이 이외의 실험조건은 가로이송 실험과 동일하다. 같은 조건 당 시편을 2개씩 가공하며, 열처리를 한 SM45C 시편인 경우, 매 측정 횟수마다 교체하며 가공한다. 본 실험의 연삭조건은 Table 5에서 보여주고 있다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 가로이송 실험

Fig. 3과 4는 적층연삭숫돌과 일반연삭숫돌로 가공한 시편의 가로이송횟수에 따른 표면거칠기의 변화를 나타내고 있다. Fig. 3은 시편재료가 SM45C인 경우를 나타내며 Fig. 4는 NAK 80인 경우를 각각 나타내고 있다.

그림에서 볼 수 있듯이 GW46 또는 GW36으로 가공되어진 경우, 가로이송횟수에 따른 표면거칠기는 계속 증가하다가 가로이송횟수가 75회에서

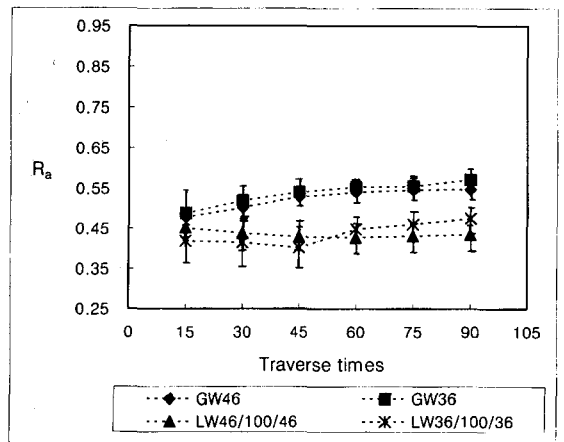


Fig. 3 Relationship between traverse times and surface roughness (SM45C, cross-feed experiment,  $R_a$ )

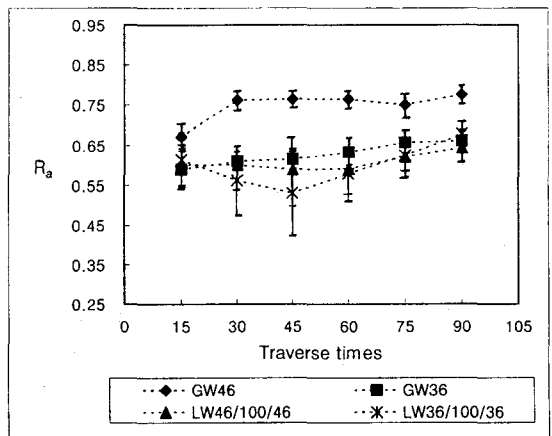


Fig. 4 Relationship between traverse times and surface roughness (NAK80, cross-feed experiment,  $R_a$ )

90회 사이에서 일정해 진다. 이와는 다르게 LW46/100 /46 또는 LW36/100/36으로 가공한 경우의 가로이송횟수에 따른 표면거칠기의 변화는 가로이송횟수가 15회에서 45회 사이에서는 계속 감소하다가, 45회 이후 90회 사이에는 증가된다. 시편 재료의 경도가 SM45C보다 상대적으로 낮은 NAK80인 경우, 가로이송횟수에 따른 표면거칠기 값의 변화 폭이 훨씬 크게 나타나지만, 변화 경향은 SM45C와 유사하다.

이 결과에서 볼 수 있듯이, 적층연삭숫돌의 경우에는 가로이송 횟수가 증가함에 따라 시편의 표면 거칠기가 드레싱 직후에 가공된 면보다도 더 좋아지다가 나빠지는 특징을 나타낸다. 즉 적층연삭숫돌의 경우, 연삭숫돌의 마멸이 공작물의 표면 거칠기에 미치는 영향이 일반연삭숫돌과는 다른 특징을 나타내고 있음을 알 수 있다.

이 결과를 가지고 적층연삭숫돌의 드레싱주기를 정확히 단정할 수는 없으나, 절입깊이가 12.5 $\mu$ m 인 조건에서 표면거칠기가 계속 감소하는, 총 가로이송횟수가 45회 이내의 구간에서 드레싱을 하는 것은 적층연삭숫돌의 효율을 저하시키는 것으로 추정된다. 일반연삭숫돌의 실험에서 보여지는 바와 같이 가로이송 횟수의 증가에 따라 연속적으로 표면거칠기가 증가되는 경향과 비교하여 볼 때, 적층연삭숫돌은 최소한 가로이송 횟수로 45회 정도의 드레싱 시점 연장효과를 나타냄을 알 수 있다.

### 3.2 절입깊이 실험

가로이송 실험 결과에서, 적층연삭숫돌의 가로이송횟수에 따른 표면거칠기의 변화는 절입깊이가 12.5 $\mu$ m 일 때 감소하다가 증가되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 적층연삭숫돌의 표면이 마멸되면서 일정 구간 내의 마멸 범위 내에서는, 일반연삭숫돌과는 달리, 공작물의 표면거칠기를 개선시켜 주는 효과가 있는 것으로 유추할 수 있다. 따라서 적층연삭숫돌의 마멸상태에 따른 공작물의 표면거칠기의 변화를 알아보기 위하여, LW46/100/46 과 LW36/100/36 적층연삭숫돌 2 개를 사용하여, 절입 깊이를 각 6.25 $\mu$ m, 18.75 $\mu$ m , 25.00 $\mu$ m 로 변화시키며 실험을 수행하였다. 이때, 나머지 조건은 가로이송 실험과 동일하게 하였다. 시편이 SM45C 인 경우의 실험결과는 Fig. 5 및 Fig. 6 에, 시편이

NAK 80 인 경우는 Fig. 7 및 Fig. 8 에 각각 보여지고 있다.

실험결과, 절입깊이가 6.25 $\mu$ m, 12.50 $\mu$ m 일 때 가로이송횟수 45 회 이전에는 표면거칠기가 감소되며 45 회 이 후에는 표면거칠기가 증가한다. 전체적인 표면거칠기의 변화량은 절입깊이가 12.50 $\mu$ m 일 때가 절입깊이 6.25 $\mu$ m 일 때 보다 크다. 절입 깊이가 18.75 $\mu$ m 일 때, 표면거칠기는 가로이송횟수 15 회에서 30 회일 사이의 구간에서 감소되나, 이후에는 증가된다. 즉 절입깊이가 6.25 $\mu$ m 나 12.50 $\mu$ m 일 때 보다 표면거칠기 값이 감소되는 가로이송횟수가 줄었음을 알 수 있다.

절입깊이가 25.00 $\mu$ m 일 때는 표면거칠기 값이 감소됨이 없이 계속 증가됨을 알 수 있다. 이 경우, 실험에서는 확인이 불가능하나 가로이송횟수가 15 회 이하인 구간에서 위의 경우와 마찬가지로 공작물 표면거칠기가 향상되다가 저하되는 점이 존재할 것으로 추정된다.

위의 결과를 토대로 적층연삭숫돌의 표면의 마멸과정을 다음과 같이 설명할 수 있다. 실험결과에서 유추하여 볼 때, 적층연삭숫돌은 드레싱 이후, 가로이송횟수가 증가됨에 따라 숫돌표면이 Fig. 9 에서 보여지는 형상과 같이 마멸되는 특성이 있다고 판단된다.

연삭숫돌은 트레이버스 연삭의 특성상 공작물 1 회전 당 접촉하는 숫돌의 폭  $S_t$  만큼의 점진적인

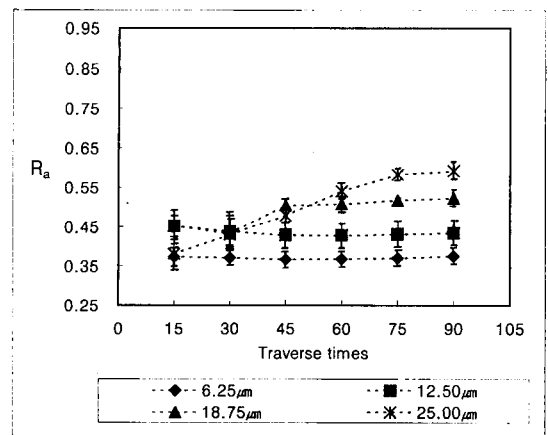


Fig. 5 Relationship between traverse times and surface Roughness (SM45C, depth of cut experiment, LW46/100/46,  $R_a$ )

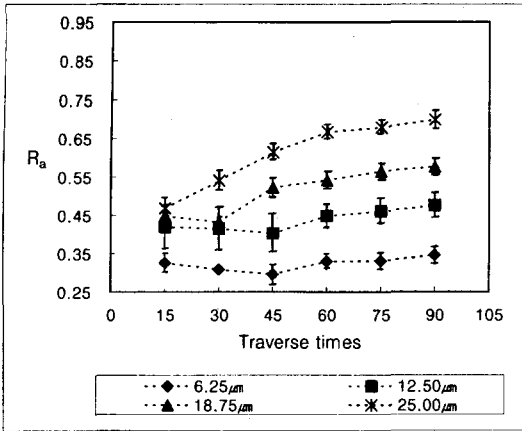


Fig. 6 Relationship between traverse times and surface roughness (SM45C, depth of cut experiment, LW36/100/36,  $R_a$ )

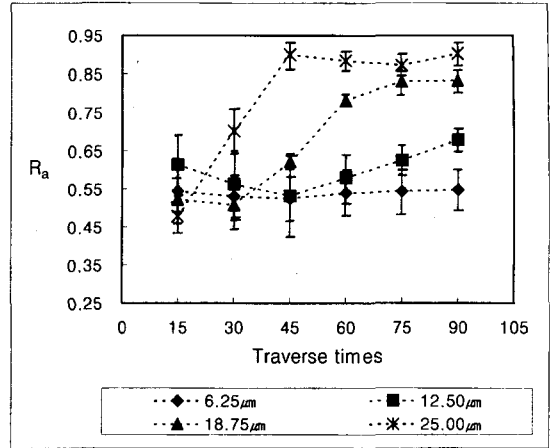


Fig. 8 Relationship between traverse times and surface roughness (NAK80, depth of cut experiment, LW36/100/36,  $R_a$ )

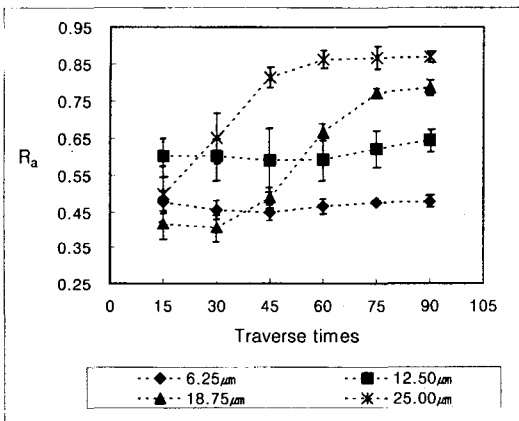


Fig. 7 Relationship between traverse times and surface roughness (NAK80, depth of cut experiment, LW46/100/46,  $R_a$ )

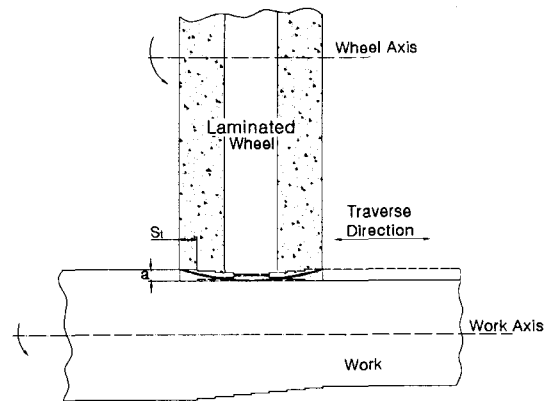


Fig. 9 Illustration of traverse grinding using laminated grinding wheel

연삭이 일어난다.<sup>8</sup> 실험 시 드웰 시간마다 항상 같은 양의 절입깊이를 주었고, 일정한 가로이송속도를 유지하였으므로, 슷들의 양 측면에서 발생하는 마멸은 유사한 양상을 나타낸다. 아울러 슷들 양 측면은 항상 가운데 부분보다 더 큰 기하학적 절입깊이를 가지게 된다. 그러므로 가운데 부분의 마멸속도는 상대적으로 양 측면보다 작게 된다.

여기서 적층연삭스틀들의 경우 일반연삭스틀과는 달리 가운데 부분은 정삭지립으로 되어 있어, 가로이송 횟수가 45 회 이전에는 양끝의 마멸된 황삭지립에 의해 거칠어진 공작물의 표면이 아직

덜 마멸된 정삭지립에 의해 재 연삭이 되었으며, 양 측면의 마멸이 진행되어감에 따라 정삭지립의 연삭량이 상대적으로 증가되어 공작물의 표면거칠기 더욱 향상시키는 것으로 볼 수 있다. 그러나 가로이송 횟수가 45 회를 넘으면 가운데 부분의 정삭지립이 마멸되어 더 이상 공작물의 표면거칠기 향상에 영향을 주지 못하고 일반스틀의 경우처럼 공작물의 표면거칠기를 저하시키는 것으로 추론할 수 있다. 절입깊이 또한 마멸의 중요한 인자로, 절입깊이가 증가될수록 슷들의 지립마다 법선 방향 연삭력이 증가되어, 마멸이 가속화된다. 그러

므로 절입깊이 실험에서 절입깊이가 6.25 $\mu\text{m}$  인 경우 슷들의 마멸량은 상대적으로 작을 것이라 예상되며, 따라서 가로이송 횟수에 따른 표면거칠기의 변화량이 작음을 확인 할 수 있었다. 그러나 절입깊이가 25.00 $\mu\text{m}$  이상이 될 때는 가로이송 횟수에 따른 표면거칠기의 변화상태가 일반연삭스�들에 의한 표면거칠기의 변화상태와 유사하다는 점을 유의하여 볼 때, 가운데의 정삭지립의 마멸이 가속화되어, 양 측면 황삭지립과 같은 속도로 마멸됨에 따라, 정삭지립이 정삭기능을 수행하지 못하여, 공작물의 표면거칠기를 저하시킨다고 추론할 수 있다.

#### 4. 결론

적층연삭스�들의 마멸이 공작물에 미치는 영향 및 드레싱 주기 특성을 알아보기 위하여, 원통 트래버스 연삭 시 가로이송 횟수에 따른 공작물의 표면거칠기 변화를 실험하였다. 연구 결과 다음과 같은 내용이 확인되었다.

- 일반연삭스� 사용 시 가로이송횟수가 증가되면 공작물의 표면거칠기는 점진적으로 저하되는 특성을 보여준다. 그러나 적층연삭스�를 사용 시에는 드레싱 직후 가로이송 횟수가 증가함에 따라 공작물의 표면거칠기는 향상되다가 저하된다.
- 적층연삭스�를 사용 시 절입깊이가 증가하면 슷들 양 측면을 구성하는 황삭지립 부분의 마멸이 가속화되어 가운데를 구성하는 정삭지립의 영향이 빨리 나타난다. 그러므로, 절입깊이가 증가함에 따라 공작물의 표면거칠기가 가장 작은 값이 되게 하는 가로이송 횟수는 점차 감소된다.
- 적층연삭스�들은 일반연삭스�들을 사용했을 때 보다 드레싱 주기가 길어지는 특징을 나타낸다. 그러므로 적층연삭스�를 사용한 연삭 시에 비부가가치 작업시간은 일반연삭스�들을 사용할 때 보다 감소되어 생산성 향상에 기여할 수 있다.

#### 참고문헌

1. Kim, K. H. and Kim, K., "A Study on the Roughness and Material Removal Rate of the Workpiece Using

- the Laminated Grinding Wheel in the Cylindrical Grinding Process," Proc. of the KSPE Conference, pp. 3-8, Fall 1998.
2. Kim, M. C., Kim, K. H., Lee, E. J. and Kim, K., "Surface Characteristics of Cylindrically Ground Workpiece Using Laminated Grinding Wheel," J. of the KSPE, Vol. 18, No. 3, pp. 35-39, 2001.
3. Brinksmeier, E. and Werner, F., "Monitoring of Grinding Wheel Wear," Annals of the CIRP Vol. 41/1, pp. 373-376, 1992.
4. Gotou, E. and Touge, M., "Monitoring of Wear of Abrasive Grains," J. of Material Processing Technology, Vol. 62, pp. 408-414, 1996.
5. Chen, X., Rowe, W. B., Mills, B. and Allanson, D. R., "Analysis and Simulation of the Grinding Process PartIV: Effects of Wheel Wear," Int. J. of Machine Tools and Manufacture, Vol. 38 No. 1-2, pp. 41-49, 1998.
6. Lee, S. T. and Jung, Y. G., "A Study on Determination of Wheel Life Using Grinding Power in Cylindrical Grinding," J. of KSMTE, Vol. 9, No. 4, pp. 62-67, 2000.
7. Vickerstaff, T. J., "Wheel Wear and Surface Roughness in Crossfeed Surface Grinding," Int. J. of Machine Tool Design and Research, Vol. 13, No. 1, pp. 183-198, 1973.
8. Cho, J. I. and Kim, K., "Effects of the Grinding Conditions on the Shape of Center Ground Part," J. of the KSPE, Vol. 15, No. 7, pp. 61-68, 1998.