

# 연속드레싱을 이용한 CNC Creep-Feed 연삭기의 개발 및 드레싱조건의 결정

이영욱\*, 김종관\*\*, 정운교#

## Development of CNC Creep-Feed Grinding Machine and Determination of Dressing Conditions using Continuous Dressing

Young-Wook Lee\*, Jong-Kwan Kim\*\* and Yoon-Gyo Jung#

### ABSTRACT

Creep-feed grinding is an effective technology processes to increase the productivity and efficiency in form grinding. This method has, however, some problems which the progress of abrasive wear around the cutting edge is remarkable, grinding force become intense and burn marks on the ground surface occur frequently. In order to solve this problems, it is proposed in this study to dress the grinding wheel continuously during the grinding process. The purpose of this research is, therefore, that CNC creep-feed grinding machine which has a continuous dressing device developed and some grinding experiments for determination of dressing conditions carried out.

**Key Words** : Creep-feed grinding (크립-피드 연삭), Continuous dressing (연속드레싱), Grinding force (연삭저항), Surface roughness (표면거칠기)

### 1. 서론

니켈합금 등과 같은 난삭재료의 성형평면 연삭에 있어서는 일반적으로 크립-피드(Creep-feed)연삭이 사용되어지고 있다. 그러나 이 연삭방식은 공작물을 1회 패스로 가공하기 때문에 비연삭시간의 단축과 가공능률을 향상시킬 수 있음과 동시에 평균칩의 단면적을 작게 하여 가공할 수 있으므로 가공면의 가공면 거칠기를 양호하게 할 수 있는 장점을 가지고 있는 반면, 연삭시간의 경과에 수반하는 연

삭입자의 마멸적 마모가 현저하여 연삭저항의 증대 및 연삭눌음(Grinding burn)이 발생하기 쉬운 문제점을 내포하고 있다.<sup>1-6</sup> 외국에서는, 이러한 문제점을 극복하고 크립-피드 연삭의 장점을 활용한 새로운 연삭방식으로서 연속드레싱(Continuous dressing)을 이용한 크립-피드 연삭에 대한 연구가 활발히 진행되어지고 있다.<sup>7-10</sup> 그러나 국내에서는 연속드레싱을 이용한 크립-피드 연삭기의 개발뿐만 아니라 이에 대한 연구가 희소한 것이 현실이다.

본 연구에서는 국내의 이러한 현실을 감안하여

접수일: 2007년 2월 22일; 게재승인일: 2007년 4월 13일

\* 창원대학교 기계공학과

\*\* (주) 테스

# 교신저자: 창원대학교 기계공학과

E-mail: ygjung@changwon.ac.kr Tel. (055) 279-7505

연속 드레싱 장치를 장착한 CNC 크립-피드 연삭기를 개발하고, 개발된 연삭기를 적용하여 실제의 크립-피드 연삭을 수행할 시의 연속 드레싱의 효과를 확인함과 아울러, 드레서의 적절한 피드량과 드레서(Dresser)와 스톨 주속도비에 대한 실험적 검토를 수행하고자 한다.

## 2. 연속드레싱 크립-피드 연삭의 원리

연속드레싱 크립-피드 연삭은 Fig. 1 에서와 같이, 스톨상단에 장착되어진 다이아몬드 로타리 드레서(Diamond rotary dresser)로 연삭 중에 스톨을 연속적으로 드레싱 하는 방법이다. 이 방식의 연삭에서는, 연삭 중에 드레싱으로 인하여 스톨의 반경이 점차 줄어들기 때문에 이를 보정할 필요가 있다. 즉, 그림에서 보는바와 같이, 드레싱에 의해서 드레서가  $2V_f$ 의 속도로 하강하면 스톨축은  $V_f$ 만큼 보정시켜야 한다.<sup>11, 12</sup> 이 보정동작은 NC에 의하여 제어되어진다.

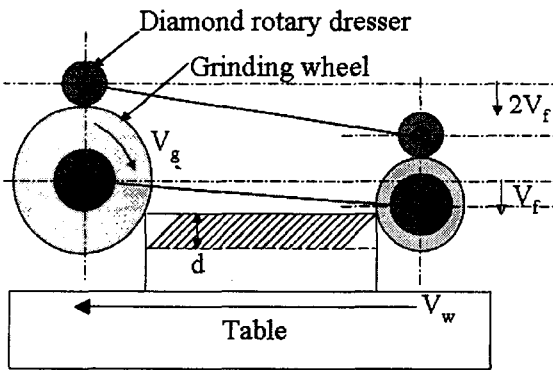


Fig. 1 Mechanism of continuous dressing

이 연삭방식은 연속드레싱을 행하기 때문에 스톨 작업 면은 항상 드레싱 직후의 상태를 유지할 수 있어 연삭율의 향상이 기대되어지며 연삭늘음의 발생이 적고 연삭액의 공급방법이 간편해질 수 있다. 또한, 스톨작업면의 시간적 변화를 고려할 필요가 없으므로 가공물의 길이에 관계없이 크립-피드 연삭이 가능하며 가공물의 품질을 일정하게 유지할 수 있다는 특징이 있다.<sup>13, 14</sup> 그러나 안정적인 연삭 상태를 유지하기 위해서는 연속드레싱 시의 적절한 드레서 피드량과 드레서와 스톨의 주속도비에 대한

연구가 수행되어야 하는 것이 필수적이다.

## 3. 연속드레싱 크립-피드 연삭기의 개발

연속드레싱 크립-피드 연삭의 특징을 최대한 활용하기 위한 연삭기는 다음과 같은 특별한 기능과 성능이 요구되어진다. 우선, 연삭동력이 매우 크기 때문에 대용량의 스톨구동모터의 준비가 필수적이고, 큰 연삭저항에 견딜 수 있는 충분한 강성을 보유하여야 하며, 테이블의 구동은 스틱슬립(Stick slip)이 없는 초저속이 가능해야 하며 경우에 따라 고속으로 테이블을 구동시킬 경우도 대비하여 광범위한 속도 범위를 보유하여야 한다. 또한, 드레서의 이송은 고정도로 구동되어야 하며 연속드레싱에 의해 대량의 스톨입자가 비산되어지기 때문에 이들을 제거하는 의미에서 대량의 연삭액이 공급 가능한 구조이어야 한다. 본 연구에서는 이러한 내용에 부합하는 크립-피드연삭기의 개발을 시도하였다.

본 연구에서 개발한 연삭기의 주축은 크립-피드 연삭이 가능하도록 고강성을 고려하여 설계하였으며, 보조스핀들인 드레서축과 함께 고압, 다량의 연삭액의 분사 시에도 내부에 침투하지 않는 방수타입(Type)의 구조로 개발하였다. 주축모터의 동력은 연삭동력을 견딜 수 있도록 37kw의 대용량모터를 장착 하였다. 주축의 보정운동을 위한 축이송용 미션장치, 주축스핀들의 상하이송축 유니트(Unit), 보조스핀들의 상하이송축 유니트, 스톨 및 피삭재의 냉각을 위한 쿨런트 노즐(Coolant nozzle)의 상하이송축 유니트는 위치제어정밀도와 최적의 부하를 고려하여 설계하였다.

테이블구동은 크립-피드 연삭이 가능하도록 최소 1mm/min에서 최대 45,000mm/min까지 광범위한 속도범위를 유지하도록 제작되었고, X축, Y축, Z축, V축(드레서축) 및 C축(쿨런트 노즐축)은 NC에 의하여 제어되며 최소 설정단위는 0.1 $\mu$ m이다.

연삭액의 공급은 Fig. 2에서 보는바와 같이 연삭 포인트(Point)에서는 분사압력 15 kgf/cm<sup>2</sup>, 분사량 400 l/min으로 2개의 노즐을, 드레싱 포인트에서는 분사압력 8 kgf/cm<sup>2</sup>, 분사량 100 l/min으로 2개의 노즐을 각각 장착하여 고압, 다량으로 분사될 수 있도록 제작하였다. Table 1은 본 연구에서 개발되어진 CNC 연속드레싱 크립-피드 연삭기의 사양을 보여주고 있으며, Fig. 3에는 개발기의 전체모습을 사진으로 나타내었다.

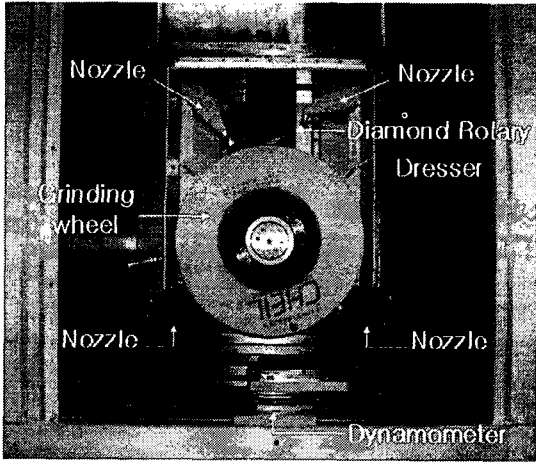


Fig. 2 Structure of CNC creep-feed grinding machine

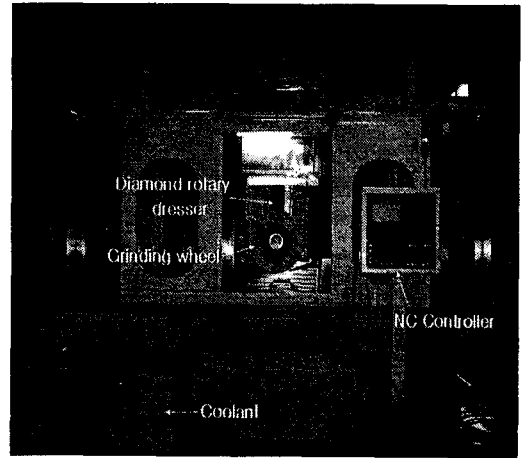


Fig. 3 Photograph of CNC creep-feed grinding machine with continuous dressing device

Table 1 Specification of CNC Creep-feed grinding machine with continuous dressing device

Items		Specification
Wheel spindle power		37 kw
Wheel speed		0 ~ 3,000 RPM
Dresser		Diamond rotary dresser
Dresser spindle power		2kw
Dresser speed		0 ~ 10,000 RPM
Table size		600×2000 mm
Table speed		1 ~ 45,000 mm/min
Controller		FANUC Controller
Coolant system	pressure	15 kgf/cm <sup>2</sup>
	flow rate	400 l/min

#### 4. 연속드레싱 조건의 설정

##### 4.1 실험장치 및 실험방법

본 연구에서는 개발되어진 연삭기를 사용하여 다운 컷(Down cut) 연삭을 사용하여 실험을 수행하였다. 피삭재로는 난삭재로 알려진 니켈계합금인 인코넬(INCONEL625)를 사용하였으며, 연삭되어진 공작물의 표면 거칠기는 Mitutoyo 사의 촉침식 표면조도계(SV-600)로 측정하였으며 연삭면의 관찰은 공구현미경(MF-1020TH)을 이용하였다. 연삭액의 공급은 연삭액 공급압력의 영향이 연삭저항에

미치는 영향이 매우 크기 때문에, 데이터 획득의 편의상 연삭 포인트 부분의 2개의 공급 노즐 중 우측 노즐만 사용하는 것으로 하였다. 연삭저항은 KISTLER 사의 압전소자형 공구동력계(9257B)에서 발생되어진 신호를 차지앰프(Charge amplifier)를 통하여 증폭시킨 후 분해능력 12비트의 A/D 변환기에 의하여 디지털(Digital)화 한 후 PC에 저장하여 연삭수평분력( $F_n$ )과 연삭수직분력( $F_t$ )을 측정하였다. 실험장치의 개략적인 흐름도는 Fig. 4에 나타내었다.

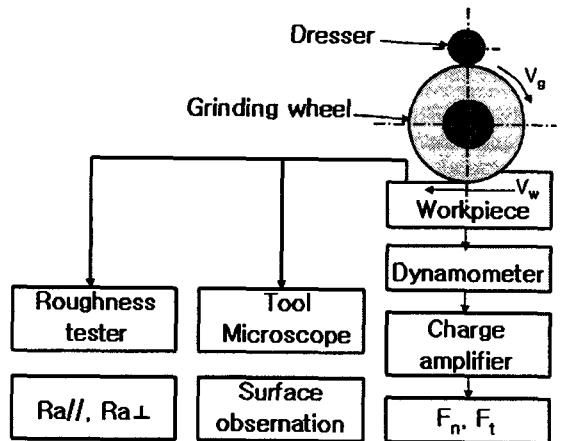


Fig. 4 Experimental set-up

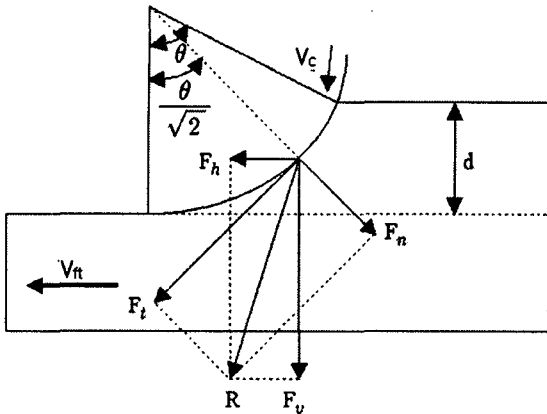


Fig. 5 Geometry of grinding force in down cut grinding

Table 2 Experimental conditions

Items		Conditions
Workpiece	type	INCONEL625
	size (mm)	D170×T13×W100
Grinding wheel	type	WA80L
	size (mm)	Φ510×T28×Φ203
Wheel speed (m/s)		24
Table speed (mm/min)		10
Depth of cut (mm)		4
Grinding fluid	kind	SC46N
	type	Soluble type
Grinding type		Dow cut grinding
Dresser feed (μm/rev)		0.07, 0.14, 0.21, 0.28, 0.35

여기서 일반적으로 평면연삭에서는 절입 깊이가 작기 때문에 수평분력=접선분력( $F_t$ ), 수직분력=법선분력( $F_n$ )이라고 가정할 수 있지만, Fig. 5에서 보여주는 바와 같이, 크립-피드 연삭에서는 상대적으로 절입 깊이가 매우 크기 때문에 이러한 연삭분력들이 반드시 일치한다고 할 수 없다. 따라서 실측되어진 수평분력 및 수직분력을 접선분력과 법선분력으로 환산할 필요가 있으며 그 환산식은 식 (1) 과 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$F_t = F_h \cos \frac{\theta}{\sqrt{2}} + F_v \sin \frac{\theta}{\sqrt{2}} \quad (1)$$

$$F_n = -F_h \sin \frac{\theta}{\sqrt{2}} - F_v \cos \frac{\theta}{\sqrt{2}} \quad (2)$$

여기서  $\theta$ 는 슷들과 공작물사이의 접촉각이다.

다이아몬드 로타리 드레서를 사용하는 경우, 드레서의 회전방향과 드레서주속도의 설정이 중요하다. 드레서와 슷들의 주속도비는 식 (3)으로 표시할 수 있으며,

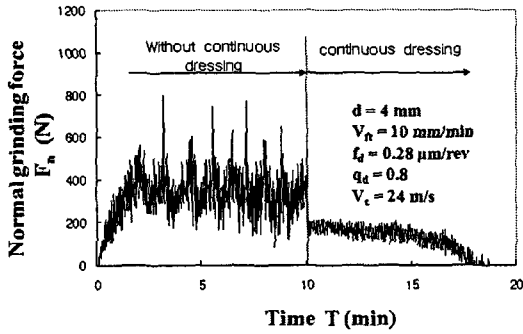
$$q_d = \pm \frac{V_d}{V_g} \quad (3)$$

여기서 문제가 되는 것은 슷들의 회전방향으로, 본 연구에서는 드레싱 점에 있어서 슷들주속도와 드레서 주속도의 속도벡터가 같은 방향이면 +, 다른 방향이면 - 로 정의하였다. 본 실험에서는 연삭기의 구조적인 문제로 인하여, Table 2에서 보는 바와 같이, 같은 방향의 속도벡터들( $q_d = +0.2, +0.4, +0.6, +0.8$ )에 대해서만 실험을 수행하였다.

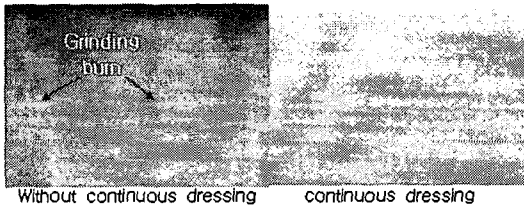
#### 4.2 연속 드레싱 효과

Fig. 6(a)는 연속드레싱의 효과를 가장 직접적으로 표현한 측정결과의 예를 나타내고 있다. 그림은 크립-피드 연삭중의 수평분력의 측정기록으로 연삭중간부터 연속드레싱을 실시하였다. 연삭조건은 절입깊이  $d$ 를 4mm, 공작물속도  $V_{ft}$ 를 10mm/min, 슷들주속도  $V_c$ 를 24m/s로 하고 다운컷 연삭을 수행하였다. 연속드레싱을 실시하고 있지 않은 경우에는 연삭저항의 변동이 격심하고, Fig. 6(b)의 연삭면의 관찰사진에서 알 수 있듯이 연삭면에 연삭변이 발생하고 있다. 그러나 연속드레싱을 실시한 후부터는 안정된 연삭이 이루어짐을 알 수 있었다.

또한 연속드레싱의 효과를 간접적으로 확인하기 위하여 연속드레싱 전후의 연삭면 표면조도를 측정한 그림이 각각 Fig. 7(a) 및 Fig. 7(b)이다. Fig. 7에는 연삭방향의  $Ra_{//}$ 와 연삭직각방향의  $Ra_{\perp}$ 를 동시에 비교하고 있다. 연속드레싱의 효과로, 연속드레싱을 실시하지 않은 경우에 비하여 연속드레싱을 실시한 경우, 균일한 표면 거칠기를 얻을 수 있음이 확인되었다.



(a) Example of measured grinding force



(b) Observation of ground surface

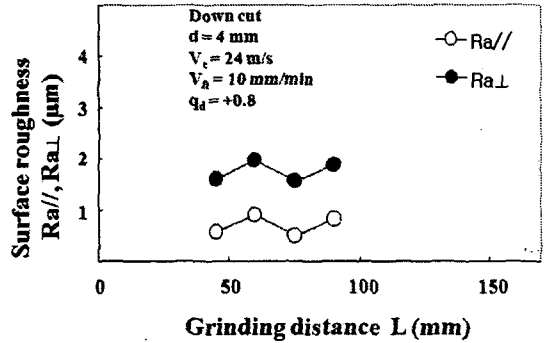
Fig. 6 Effect of continuous dressing from the view point of grinding force

### 4.3 드레서 이송량의 결정

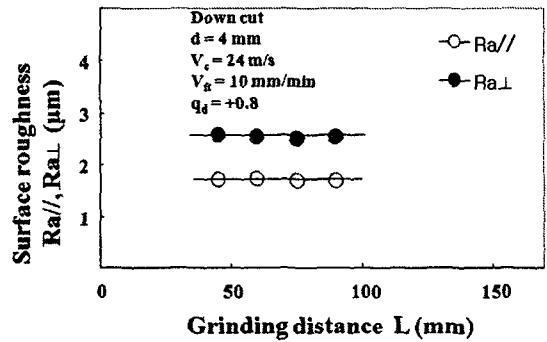
드레싱조건에서 드레서 이송량( $f_d$ )은 숫돌의 경제적인 측면에서는 고려해야 할 중요한 요소이다. 즉, 드레서 이송량이 너무 작으면 드레싱의 효과가 감소되어 안정적 연삭을 할 수 없으며, 과대하면 숫돌의 낭비를 초래할 것이다.

Fig. 8은 드레서와 숫돌의 주속도비( $q_d$ , 이하 주속도비)를 +0.8로 일정하게 유지하면서 절입깊이를 4mm, 테이블속도를 10mm/min 및 숫돌주속도를 24m/s로 설정하여 드레서 이송량의 변화에 대한 법선분력과 접선분력의 변화를 나타내고 있다. 그림에서 보는바와 같이, 드레서 이송량이 증가하면 연삭저항이 감소하는 것으로 보아 이송량의 증가와 더불어 드레싱 효과가 커지는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 본 연구의 실험조건의 범위 내에서는 이송량이  $0.3\mu\text{m}/\text{rev}$  를 초과하면 더 이상의 드레싱 효과는 기대할 수 없음을 알았다.

Fig. 8 과 동일한 조건으로 연삭가공을 수행하였을 때, 드레서 이송량의 변화에 대한  $Ra//$  및



(a) Without continuous dressing



(b) Continuous dressing

Fig. 7 Effect of continuous dressing from the view point of surface roughness

$Ra_{\perp}$ 의 변화를 나타낸 그림이 Fig. 9 이다. 드레서 이송량의 증가에 따라 표면거칠기는 나빠지는 것을 알 수 있으며, 이는 드레서 이송량이 증가에 따라 연삭절인이 더욱 예리해져 드레싱 효과는 기대되어 지나 표면 거칠기는 측면에서는 불리하다고 할 수 있다. 그러나 이러한 현상도 Fig. 8의 결과와 마찬가지로 이송량이  $0.3\mu\text{m}/\text{rev}$ 에서 완만해지는 현상은, 본 실험의 결과에 대한 신뢰성을 뒷받침 한다고 할 수 있다.

### 4.4 주속도비의 결정

드레서와 숫돌의 주속도비의 크기는 절삭날끝의 형상을 지배하는 중요한 요소이다. 즉, 주속도비가 작으면 드레싱시의 숫돌과 드레서의 상대속도가 크다는 것을 의미하므로, 절입선단에 미세한 요철을 생성시킬 수 있다. 반면, 주속도비가 크면 절입

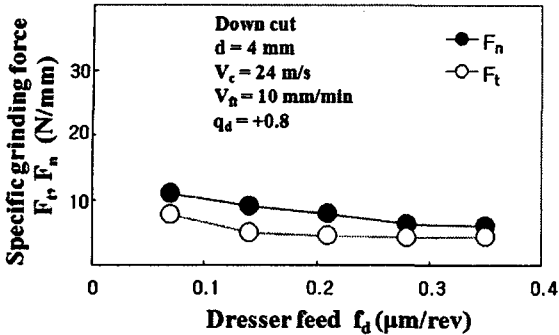


Fig. 8 Relationship between specific grinding force and dresser feed

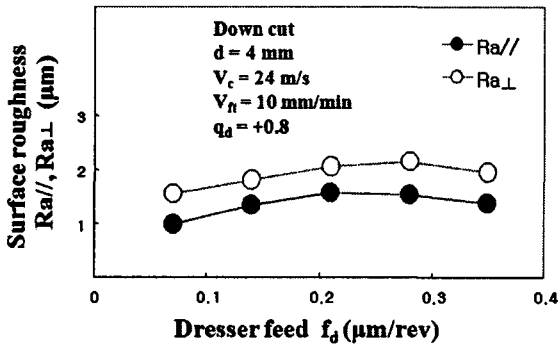


Fig. 9 Relationship between surface roughness and dresser feed

선단을 크게 파쇄 할 가능성이 있어, 연삭효율을 향상 시킬 수 있을 것으로 예상된다.

Fig. 10은 주속도비의 변화에 대하여 연삭법선 및 접선분력의 변화를 보여주는 그림으로, 예상한 바와 같이, 주속도비가 크게 될수록 연삭저항이 감소되어 연삭효율의 증대를 기대할 수 있다.

같은 연삭조건 하에서 주속도비의 변화에 대한  $Ra_{//}$  와  $Ra_{\perp}$  의 변화를 나타낸 그림이 Fig. 11이며, 이 결과로부터, 연삭효율과 표면 거칠기와는 상반된 경향을 보여줌을 알 수 있다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 연속드레싱 장치를 부착한 5축 CNC Creep-feed 연삭기를 개발하여 드레싱 조건에 대한 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

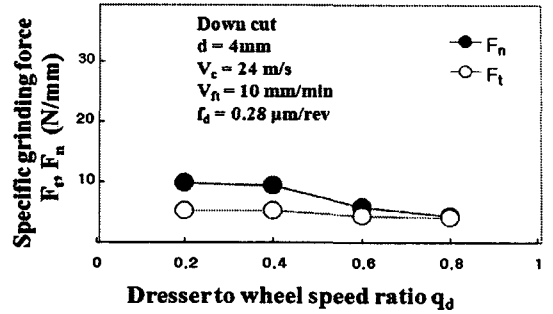


Fig. 10 Relationship between specific grinding force and dresser to wheel speed ratio

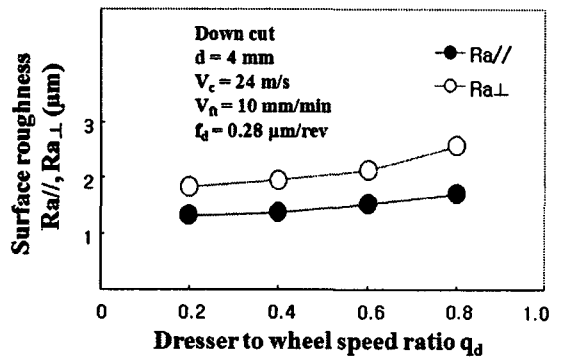


Fig. 11 Relationship between surface roughness and dresser to wheel speed ratio

- (1) 본 실험에서 개발되어진 크립-피드 연삭기로 연속드레싱의 효과를 확인한 결과, 그 우수성이 검증되었다.
- (2) 드레싱 조건에 대한 실험을 수행한 결과, 본 연구의 범위에서 드레서 이송량은  $0.3 \mu\text{m}/\text{rev}$  일 때가 최적이며, 주속도비는 크면 클수록 연삭효율의 증대를 기대할 수 있으나, 표면거칠기의 측면에서는 상반된 경향을 보여주었다.

### 후 기

본 연구는 산업 자원부 지방기술혁신사업 (RTI04-01-03)지원으로 수행되었습니다.

### 참고 문헌

1. Hara, S. and Saitou, T., "Study on Ginding Cracks in Creep Feed Grinding," J. of the JSPE, Vol. 59,

- No. 2, pp. 252-256, 1993.
2. Furukawa, Y., Ohishi, S. and Kitamura, J., "Adaptive Control of Workpiece Burn in Creep Feed Grinding," J. of the JSPE, Vol. 51, No. 3, pp. 614-619, 1985.
  3. Salje, E., "Internal Grinding of High Strength Creamics Workpiece Materials with Diamond Grindin Wheels," Annals of CIRP, Vol. 34, No. 1, pp. 263-266, 1985.
  4. Inasaki, I., "Monitoring and Optimization of Interl Grinding Process," Annals of the CIRP, Vol. 40, No. 1, pp. 359-362, 1991.
  5. Maysui, S., Syoji, K. and Kuriyagawa, T., "Loading on Soft Grade Wheel and Effects of Removal of Loading Chips," J. of the JSPE, Vol. 54, No. 4, pp. 743-748, 1988.
  6. Maysui, S., Syoji, K. and Kuriyagawa, T., "Grinding Characteristic of Segmental Wheel," J. of the JSPE, Vol. 52, No. 11, pp. 1863-1869, 1986.
  7. Ai, K. and Kishimoto, Y., "Creep Feed Grinding of Ceramics," J. of the JSPE, Vol. 58, No. 4, pp. 607-609, 1992.
  8. Waida, T., Suto, T., Noguchi, H. and Inoue, H., "Development of slotted & Perforated wheels for Creep Feed Grinding and their Grinding Performance," J. of the JSPE, Vol. 57, No. 7, pp. 1223-1228, 1991.
  9. Waida, T., Suto, T., Noguchi, H. and Rezaei, M., "Creep feed Grinding of Ceramic-Matrix Composit-es with Slotted & Perforated Wheels," J. of the JSPE, Vol. 57, No. 2, pp. 324-329, 1991.
  10. Ichida, Y., Kishi, K., Suyama, Y. and Okubo, J., "Study on Creep Feed Grinding with CBN Wheels," J. of the JSPE, Vol. 55, No. 8, pp. 1468-1474, 1989.
  11. Araki, Y., Inasaki, I., Kobayashi, S. and Aoyama, T., "Creep Feed Grinding with Continuous Dressing," J. of the JSPE, Vol. 51, No. 8, pp. 1851-1856, 1985.
  12. Sekine, S., Inasaki, I. and Kobayashi, S., "Creep Feed Grinding of Inconel718 with Continuous Dressing," J. of the JSPE, Vol. 52, No. 8, pp. 2558-2562, 1985.
  13. Shibata, J., Inasaki, I. and Yonetsu, S., "On Characteristics of Wheel in Creep Feed Grinding," J. of the JSPE, Vol. 51, No. 10, pp. 1959-1964, 1985.
  14. Maysui, S., Syoji, K. and Kuriyagawa, T., "Creep Feed Grinding with Soft Grade Wheels," J. of the JSPE, Vol. 51, No. 9, pp. 1738-1743, 1985.