

실험계획법을 이용한 최적연삭조건

이대욱*, 오창진(충북대 대학원 기계공학과), 김성청, 김옥현(충북대 기계공학과)

Optimal Grinding Condition Using the Design of Experiments

D.W. Lee, C.J. Oh(Graduate School., CBNU) S.C.Kim, O.H KIM(Mech. Eng. Dept, CBNU)

ABSTRACT

To improve quality of the ground surface, we have to consider a number of parameters. But it is difficult to make experiment with many parameters. Most of all experiments try to search optimal grinding condition with conservative factors such as feed rate, depth of cut, wheel rotating speed, etc. But This paper attempts to view the significance of some different factors effecting on the surface roughness by introducing helical scan grinding method and material removal rate. The design of experiment is used to find the optimal grinding condition which minimizes the surface roughness value about optical glass material. To analyze experimental results, ANOVA(ANalysis of VAriation) is used. Discussion on the result about helical scan grinding is also given.

Key Words : Design of Experiments (실험계획법), Helical Scan Grinding Method (헬리컬 스캔 연삭법), Metal Removal Rate(재료 제거율), ANOVA(분산분석)

1. 서 론

연삭가공은 주로 높은 형상 정밀도와 고품위의 가공면을 요구하는 부품의 가공에 많이 응용되는 방법이다. 그러나 단위 체적을 제거하기 위해 높은 에너지를 필요로 하기 때문에 제거량을 향상시키는 것은 가공 효율 측면에서 매우 중요한 요소이다.⁽¹⁾ 연삭시 발생하는 대부분의 에너지는 좁은 연삭면에 집중됨과 동시에 열로 변환된다. 특히, 유리나 세라믹 등의 재료는 높은 취성을 갖는 재질로 국부적인 열에 의해 균열이 발생한다. 또한 이들을 가공하는 메카니즘은 미세 파쇄로 재료에 지립이 압입되면서 미소하게 파쇄를 일으켜 재료를 제거한다⁽²⁾. 따라서 부하가 큰 절삭조건은 연삭면의 정밀도(표면거칠기)를 저하시키는 원인이 된다.

취성 재료를 가공하기 위해 사용되는 공구로는 다이아몬드를 지립으로 하는 슷돌이 주로 사용된다. 다이아몬드는 일반 지립에 비하여 내마모성이 탁월하게 높아 트루잉 및 드레싱 작업이 매우 곤란하다. 따라서 공구마모를 촉진시키는 드레싱 및 트루잉을 줄이고 높은 제거율과 표면정도를 향상시키는 방법이 중요하다.

일반적으로 연삭가공 공정에서 높은 제거율을 확보하기 위해서 입도가 낮은 거친 슷돌을 사용하여 가능하지만 가공면의 거칠기는 나빠지게 된다. 상대적으로 낮은 거칠기를 가지는 고품위의 가공면이 요구되는 경우 입도가 높은 고운 슷돌을 사용하여 가공함으로써 얻을 수 있다. 그러나 Suzuki 등은 헬리컬 스캔 연삭법을 적용하여 동일한 입도의 슷돌을 사용하여 거칠기 향상이 가능함을 보고하였다.^(3,4)

본 논문은 실험계획법을 적용하여 취성 재료인 광학유리 소재에 대해 표면 거칠기를 향상시키면서 고능률 연삭을 행하기 위한 가공조건을 탐색하였으며 가공 결과에 영향을 주는 주요 인자로 헬리컬 스캔 연삭 각도, 이송속도, 제거율 등을 파라미터로 적용하여 최적 연삭 가공조건을 살펴보았다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험장치 구성

Fig. 1에 사용한 실험장치의 구성이 나와있다.

본 논문에서는 헬리컬 스캔 연삭(Helical scan grinding)을 사용하였는데 헬리컬 스캔 연삭법이란

Fig. 2에 그림으로 설명하고 있는 것과 같이 휠의 회전축을 일정량 만큼 경사시켜 지립의 평균간격을 좁힘으로써 재료 제거율을 줄이지 않으면서도 표면 거칠기를 향상시키는 연삭법이다⁽³⁾⁽⁴⁾.

일반적으로 연삭기는 헬리컬 각을 설정할 수 없기 때문에 머시닝센터에서 테이블 이송을 이용하여 헬리컬 스캔 연삭이 이루어지도록 하였다. 연삭가공에 사용된 공작기계는 통일중공업의 TNV-40 수직형 머시닝센터를 사용하였다.

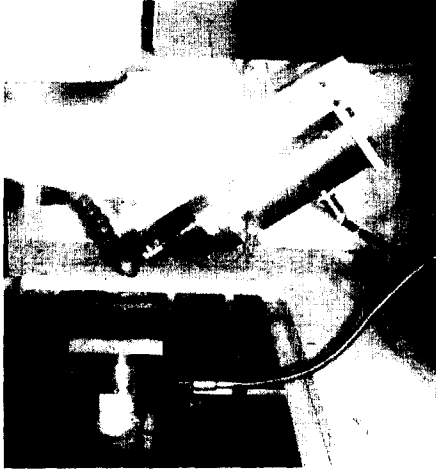


Fig.1 View of experimental set-up

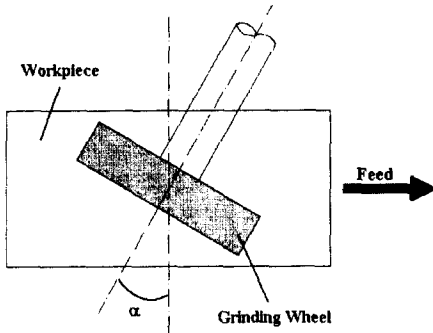


Fig. 2 Schematic diagrams of the Helical scan grinding method

공구회전은 소형 고속 스피들을 부착하여 사용하였고 가공중에 절삭유를 사용하였다.

가공에 사용된 시편은 100 × 90 × 15mm 의 광학유리를 사용하였고 파라핀 계열의 본드를 사용하여 머시닝센터 테이블에 설치된 공구동력계에 접촉하였다.

취성재질인 광학유리의 연삭을 위하여 다이아몬드를 지립으로 사용하는 입도 #140의 슛들을 사용하였으며, 결합제는 메탈본드, 집중도 100, 결합도 N이다. 사용한 슛들의 형상은 지름 35 mm, 선단반경 7.5 mm, 두께 15 mm를 가지고있다.

2.2 실험계획법의 적용^(5,6)

표면거칠기를 최소화하는 가공조건을 찾기위하여 교호작용이 없는 경우에 대하여 $L_9(3^4)$ 실험계획을 하였으며 Table 1에 본 실험에 사용된 직교배열표를 보였다.

Table 1 $L_9(3^4)$ orthogonal array

Run No.	FACTOR			
	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1
Sign	A	B	C	D

가공 결과에 영향을 줄 수 있는 헬리컬 각도, 이송속도, 제거량을 인자로 선정하였고 각각에 대하여 등간격으로 수준을 배치하였다. 실험에 사용된 인자(Factor)와 수준(Level)이 Table 2에 나와있다. 특성값으로 정한 거칠기는 중심선 평균거칠기 R_a 와 최대거칠기 R_{max} 를 사용하였다. 거칠기 측정 장비로는 3차원 표면 조도 측정기인 Rodenstock 사의 RM600을 사용하였다.

Table 2 Factors and levels

Sign	Factor	Unit	Level		
			1	2	3
A	Helical angle	degree	30	60	90
B	Feed rate	mm/min	500	1000	1500
C	removal rate	mm ³ /min	500	900	1200
D	Wheel speed	m/sec	15	20	25

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 3에 연삭 실험을 실시한 후 측정된 표면 거칠기 값을 나타내었으며 그림에서 알 수 있듯이 각각의 실험에서 R_a 값과 R_{max} 값의 분포가 유사함을 알 수 있다.

Table 3에 거칠기를 R_a 값으로 적용하여 분산분석한 결과를 나타내었다. R_a 값으로 나타낸 거칠기에 기여하는 인자는 이송속도-헬리컬 각도-제거율-스튌 회전속도의 순서로 나타났으며 이송속도의 영향이 가장 큰 것으로 나타나고있고 슛들 회전속도의

영향이 미소하게 나타나고 있다. Table 4에 숫돌 회전속도를 풀링(Pooling)하여 분산분석한 결과를 나타내었다.

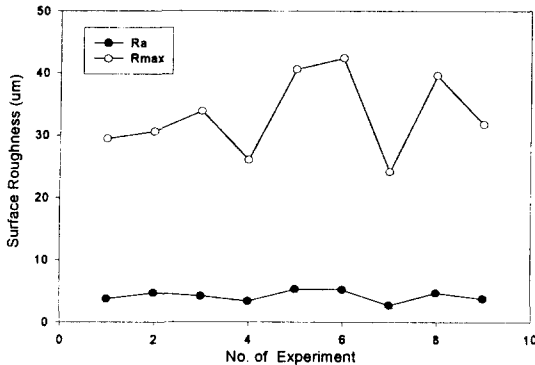


Fig. 3 Results of surface roughness

Table 5는 거칠기를 Rmax 값으로 적용하여 분산분석한 결과이고 Table 6는 공구회전 속도를 풀링하여 분산분석한 결과이다. Ra 값을 적용한 결과와 마찬가지로 가장 큰 영향을 주는 인자는 이송속도이며 가장 영향이 작은 인자는 숫돌 회전속도로 동일하였다. 그러나 나머지 인자들의 영향은 Ra 값을 기준으로 분석 경우에 대해 재료 제거율-헬리컬 각도의 순으로 다르게 나타났다.

Table 3 ANOVA table for Ra

factor	S	ϕ	V	F	S'	ρ
angle	1.22	2	0.61		1.22	20.6
feed rate	4.02	2	2.01		4.02	67.9
removal rate	0.62	2	0.31		0.62	10.5
wheel speed	0.06	2	0.03		0.06	1.0
error	0					
total	5.92	8				100

Table 4 ANOVA table for Ra after pooling

factor	S	ϕ	V	F	S'	ρ
angle	1.22	2	0.61	20.3	1.16	19.6
feed rate	4.02	2	2.01	67	3.96	66.9
removal rate	0.62	2	0.31	10.3	0.56	9.5
wheel speed	pooled factor					
error	0.06	2	0.03			4.0
total	5.92	8				100

Table 5 ANOVA table for Rmax

factor	S	ϕ	V	F	S'	ρ
angle	45.869	2	22.934		45.869	13.7
feed rate	196.576	2	98.288		196.576	58.7
removal rate	88.542	2	44.271		88.542	26.5
wheel speed	3.682	2	1.841		3.682	1.1
error	0					
total	334.669	8				100

Table 6 ANOVA table for Rmax after pooling

factor	S	ϕ	V	F	S'	ρ
angle	45.869	2	22.934	12.457	42.187	12.6
feed rate	196.576	2	98.288	53.388	192.894	57.6
removal rate	88.542	2	44.271	24.047	84.86	25.4
wheel speed	pooled factor					
error	3.682	2	1.841			4.4
total	334.669	8				100

Ra 또는 Rmax 값 모두 이송속도에 가장 큰 영향을 나타내고 있는데 이는 이송속도가 빠르고 늦음에 따라 휠 1회전당 제거해야 할 재료량이 변하는데 기인하는 것으로 보인다.

Ra 값은 헬리컬 각도에 의해 두 번째로 큰 영향을 받는 것으로 나타나고 있다. 그러나 다른 실험자들의 실험을 살펴보면 일반적으로 연성재료의 경우 헬리컬 각이 커짐에 따라서 표면거칠기가 좋아지는 특징이 있으나, 취성 재료의 경우 30° 이내에서만 헬리컬 각이 커짐에 따라 표면 거칠기가 좋아진다고 한다.⁽⁴⁾ 즉, fracture mechanism인 취성재의 연삭에서는 각이 30° 이상이 되면 헬리컬각과 표면거칠기와의 연관성은 작아지는 것으로 나타나고 있다.

본 실험에서도 마찬가지로 30° 에서 60° 보다 좋은 결과를 보여주고 있으며 이는 최대 거칠기값도 같은 경향을 나타내고 있다. 그러나 가장 좋은 거칠기 값을 나타내는 헬리컬 각도가 90° 인 점은 매우 흥미로운 사실이다.

Fig.4와 Fig.5는 헬리컬 각이 30° 와 60° 일때의 연삭된 면의 표면상태를 현미경으로 촬영한 것이다. 헬리컬 각이 60° 로 증가되면 연삭 가공중에 인접한 연삭 입자 사이의 평균간격이 작아져 표면이 매끄럽게 될 것 같이 예상되지만 오히려 가공중 다이아몬드 입자에 의해 크게 파쇄된 모습이 관찰되어졌다. 그럼에서 보여지듯이 헬리컬 각이 30°

인 경우 보다 60° 인 경우의 표면 상태가 거친 모습 보여주고 있다.

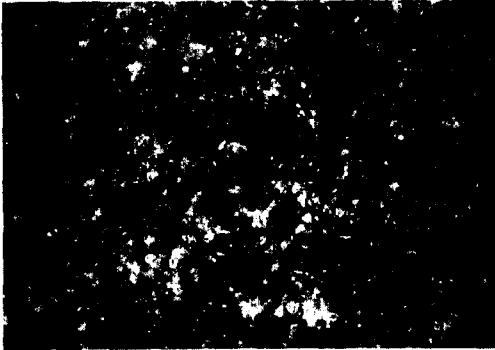


Fig. 4 Photograph of ground surface
(Helical angle = 30°)

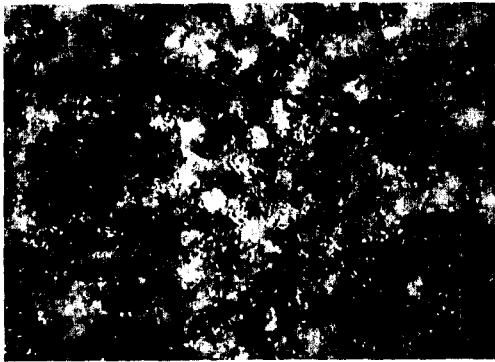


Fig. 5 Photograph of ground surface
(Helical angle = 60°)

Fig. 6 은 거칠기(Ra, Rmax)가 가장 좋은 결과를 나타내는 조건인 헬리컬 각도 90° , 이송속도 500 mm/min, 재료 제거율 900 mm³/min의 조건으로 가공된 시편의 표면 사진으로 거칠기는 2.5 μm Ra, 21.6 μm Rmax 이다.

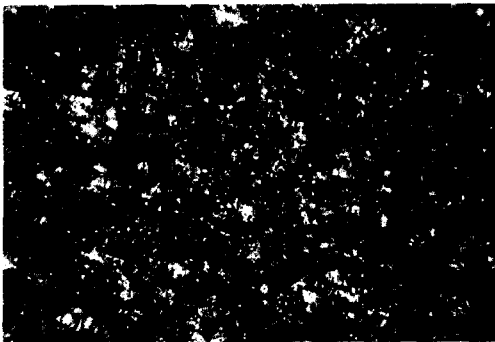


Fig 6. Photograph of ground surface by optimal condition

4. 결 론

본 연구에서는 다이아몬드 슷들을 사용하여 광학 유리 소재에 대해 연삭가공 시 특성값으로 선정된 표면 거칠기에 미치는 헬리컬 스캔 각도, 이송속도, 재료 제거율, 슷돌 회전속도를 주요 인자로 실험계획법을 적용하여 최적연삭 가공조건을 탐색하는 가공실험 및 분석을 수행하였으며 본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 취성 재료에 대해 헬리컬 스캔 각이 30° 이내에서 거칠기 향상 효과가 있지만 그 이상에서는 효과가 없는 것으로 알려져 있다. 본 연구결과도 잘 일치하지만 최적 조건은 90° 인 경우에서 나타났다.

2) 실험 계획법을 적용한 결과 거칠기(Ra, Rmax 공통)에 가장 큰 영향을 주는 인자는 이송속도이고 가장 영향이 적은 것은 슷돌회전속도이다. 이송속도 다음으로 헬리컬 스캔각은 Ra 값에, 재료 제거율은 Rmax에 더욱 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.

3) 광학유리 소재에 대한 #140 다이아몬드 슷들을 사용한 연삭 가공에 있어 최적 가공 조건은 이송속도 500mm/min, 헬리컬 각도 90° , 재료제거율 900mm³/min, 슷돌회전속도 25 m/s 일 때를 얻을 수 있었다. 헬리컬 스캔 각도가 30° 인 경우도 비교적 최적 가공조건을 적용한 경우와 같은 수준의 결과를 얻을 수 있었다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 목적 기초연구(1999-1-304-008-4)지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. Stuart C. Salmon., *Modern Grinding Process Technology*, Mc Graw Hill, 1997
2. K. Subramanian., S.Ramanath., M.Tricard., "Mechanism of Material Removal in the Precision Production Grinding of Ceramics", *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, Vol., 119., pp 509 ~ 518
3. Bo Zhang., Tetsutaro Uematsu., "Surface Generation Mechanism in Helical Scan Grinding : an Analytical Study", *Journal of Materials Processing Technology* 91, pp 206 ~ 214, 1999
4. Bo Zhangd.m, "Helical Scan Grinding of Brittle and Ductile Materials", *Journal of Materials Processing Technology* 91, pp 196 ~ 205, 1999
5. Glen Stuart Peace, *Taguchi Method*, Addison Wesley Publishing company.
6. 박성현, *현대실험계획법*, 민영사, 1990