

# 40,000RPM 주축의 최적 가공조건 선정을 위한 실험계획 수립 Establishment of Experimental Design on the Selection of Optimum Machining Condition of 40,000RPM Spindle

\*박성진<sup>1</sup>, #이춘만<sup>2</sup>, 김동현<sup>1</sup>

\*S. J. Park<sup>1</sup>, #C. M. Lee(cmlee@changwon.ac.kr)<sup>2</sup>, D. H. Kim<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>창원대학교 기계설계공학과, <sup>2</sup>창원대학교 메카트로닉스공학부

Key words : Spindle, Design of experiment, Response surface method, Machining condition

## 1. 서론

초고속 주축의 적용 범위는 광범위하다. 이 중 공작기계 분야의 초고속 주축은 고속 회전특성과 더불어 회전정밀도와 주축의 가감속 특성이 복합적으로 요구되는 가장 까다로운 기술분야 중 하나이다. 최근의 공작기계용 주축에서는 경제적, 환경적 등의 이유로 인하여 초고속 주축에 대한 필요성이 점점 증대하고 있다. 항공기부품과 반도체 분야 등에서는 주축 속도 DmN 200만 이상의 초고속 주축을 이용한 고속가공이 이루어지고 있다.

주축속도의 고속화는 원심력에 의해 베어링 내부에 발생하는 접촉압력을 현저히 증가시키고, 이는 주축 내부에 발열을 일으키는 원인이 된다. 주축 내부의 발열은 공작기계의 사용 가능한 최고 회전속도를 제한할 뿐만 아니라 절삭품질을 저하시키는 가장 큰 요인이다. 주축의 정적, 동적 위치오차에 영향을 주는 요인들 중 약 70%가 이러한 발열에 의한 문제로 보고되고 있다. 따라서 초고속 주축의 고속, 고정도화를 실현하기 위해서는 베어링에서의 발열량과 그 열전달 특성에 의한 주축내의 온도 분포를 정확히 예측하고 이에 따른 열변형과 열오차를 파악하여 정확한 보정작업을 하는 것이 필요하다.

또한, 공작기계의 가공 정밀도는 요소부품의 기하학적 정도와 조립정도에 의해 결정이 된다고 볼 수 있으며, 실제의 가공에 있어서는 가공에 따른 절삭력 및 기계의 내외에서 전달되는 진동 등 여러 가지 외부환경이 가해져 피가공물의 표면조도, 표면형상 등의 가공정밀도가 저하된다. 또한 NC data의 입력치로 가공형상이 생성되나 여러 요인으로 가공오차가 발생하기 때문에 공작기계의 특성평가를 할 수 있는 표준 형상과 평가방법의 확립이

필요하다.

이에 본 연구에서는 베어링 발열에 밀접한 영향을 미치는 윤활조건인 윤활유의 공급주기, 공급압력과 가공정밀도에 큰 영향을 미치는 주축의 운전조건인 운전속도, 이송속도, 절삭깊이가 베어링의 발열과 가공물 표면 특성에 미치는 영향을 분석하고 베어링의 온도상승을 최소화하면서 우수한 가공정도를 유지하는 최적의 가공조건을 찾기 위해 반응표면 설계 중 중심합성법을 이용하여 실험계획을 수립하고자 한다. 이를 위해 오일-에어 윤활방식, 최고회전수 40,000RPM의 고속 주축계를 사용하여 가공조건에 따른 베어링의 온도변화와 가공물의 표면형상을 측정하고 측정된 데이터를 통계적 기법을 이용하여 분석하고자 하였다.

## 2. 실험장치

Fig. 1은 40,000RPM 주축의 최적 가공조건 선정을 위한 실험장치를 보여주고 있다. 실험장치는 크게 주축장치, 윤활장치, 온도 측정장치로 구성되어 있다.

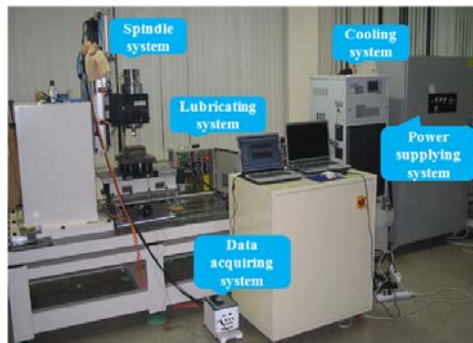


Fig. 1 Experimental set-up

실험에 사용된 주축장치는 모터내장형 구동방식의 초고속 주축계로 베어링의 배열은 전면측과 후면측이 각각 병렬조합으로 이루어져 있다. Table 1은 사용된 주축계의 세부사양을 보여주고 있다.

Table 1 Specification of spindle system

Item	Specification	
Bearing	Front	Angular ball bearing (ø50, 2EA)
	Rear	Angular ball bearing (ø45, 2EA)
Lubrication method	Oil-air lubrication	
Motor	16Kw/40,000RPM	

윤활장치는 GMN사의 PRELUB ST MV0로 덤스위치와 공기압 조절 장치를 사용하여 도출되는 윤활 주기와 공기압을 임의로 조절할 수 있다.

### 3. 실험계획수립

실험계획을 위해 반응표면 실험방법을 사용하였다. 이 방법은 반응변수와 설명변수들 사이의 관계를 실험이나 시뮬레이션을 통하여 다항식으로 구한 다음 반응변수의 값을 최대 또는 최소로 하는 설명변수들의 수준조합을 찾아내는 것으로서 통계적으로 어떤 특성을 최적화하는 방법의 일종이다.

실험변수는 기 수행했던 실험결과와 참고문헌을 바탕으로 tube length, lubrication interval, air pressure, rotational speed, feed rate, depth of cut으로 선정하였다. 이 중 tube length는 기존의 실험결과를 바탕으로 2m의 고정변수로 두고 나머지는 가변시켰다. Table 2는 실험에 사용된 인자와 수준을 보여주고 있다.

Table 2 Experimental conditions for CCD

Factor	Levels
Lubrication interval [min]	2, 4
Air pressure [bar]	3, 5
Rotational speed [rpm]	20,000, 40,000
Feed rate [mm/min]	3,000, 5,000
Depth of cut [mm]	1, 3

### 4. 결론

본 연구는 40,000RPM급 초고속 스피들에 대해

최적의 가공조건을 선정하기 위한 실험식을 제시하고 구축된 모델을 바탕으로 각각의 가공조건 조합에 따른 베어링 온도 변화와 가공물의 표면형상을 분석하고자 하였다.

반응표면법을 이용하여 가공조건 변화에 따라 베어링의 발열과 가공물의 가공정도를 예측할 수 있는 실험식을 제시하고 등고선도 방법을 이용하여 베어링의 발열과 가공정도가 특정 범위를 만족하는 가공조건 조합을 제시할 계획이다.

검증실험을 통해 제시된 실험식의 정확성을 검증하고 검증 실험 결과 제시된 식은 본 연구에서 고려된 가공조건 범위 내에서 가공조건에 대한 사전검증 및 베어링 발열과 가공정도 측면에서 최적 가공조건을 선정하는데 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

### 후기

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

### 참고문헌

1. S, J, Park., Y, K, Hwang. and C, M, Lee., "An Experimental Study on the Determination of Optimal Lubrication Conditions in a High-Speed Spindle," Journal of Machine Engineering, 9, 106-113, 2009.
2. 김용선, 권원태, 이춘미, 이성규, "밀링 가공 공정에서 복합실험계획법을 이용한 최대 절삭률 최적 절삭조건 결정," 한국정밀공학회 2010 추계학술대회논문집, 207~208, 2010.
3. T, H, Hou., C, H, Su. and W, L, Liu., "Parameters optimization of a nano-particle wet milling process using the Taguchi method, response surface method and genetic algorithm," Powder Technology, 173, 153-162, 2007.
4. 홍도관, 안찬우, 백황순, 최석창, 박일수, "실험 계획법을 이용한 엔드밀 가공 시 최대가공온도와 표면조도에 미치는 가공조건에 관한 연구," 한국기계가공학회지, 8, 46~53, 2009.
5. 권해웅, 김정석, 강익수, 김기태, "고속 볼엔드 밀링에서 가공조건에 따른 초내열합금의 가공 특성 평가," 한국공작기계학회지, 19, 1~6, 2010.