

언밸런스를 고려한 초고속 스피ndl의 최적 설계

정원지, 이춘만(창원대학교 기계설계공학과), *박기범(창원대학교 메카트로닉스 공학부), 정동원(창원대학교 기계설계공학과)

Optimal Design of High-speed Spindle with Unbalance Mass

W. J. Chung, C. M. Lee, *K. B. Park, D. W. Chung
(Dept. of Mech.Design & manufacturing, CNU)

Key words : Spindle, Inner Diameter, Unbalance Mass

1. 서론

현재의 산업구조에서 소비자의 다양한 욕구를 충족시키기 위해서는 우수한 품질의 다양한 제품을 생산하여야 한다. 따라서 제품의 수명 주기가 급격히 단축되고 있으며 새로운 모델을 제작하기 위한 시간도 단축되고 있다. 이에 따른 정밀한 금형을 신속하게 제작하기 위한 기술이 필요하며 최근 이러한 기술적 대안으로 고속가공이 부각되고 있다.

고속 가공의 정의는 공작물, 절삭공정, 절삭공구의 선정에 따라 다르게 정의되지만, 밀링작업의 경우 공작물 재료에 따라 고속가공의 영역이 구분되고 일반적으로 10,000rpm이상의 스피ndl 속도에서의 가공을 엔드밀 가공에서의 고속가공이라 부른다. 이러한 고속가공은 범용가공에 비해 고정도 고품위 가공이 가능하며 이를 위해서 고속공작기계, 고속가공용 공구 그리고 특정절삭재료에 대한 절삭특성 데이터가 필요하다.

고속 절삭을 하는 가공기에서 진동의 발생은 생산 제품의 불량률을 초래한다. 고속 가공기는 높은 회전 정밀도가 요구되는 기계이며 장시간 운전에 의한 기계의 손상과 베어링부의 마모로 인한 이상진동이 발생할 수 있으며 이러한 이상 진동으로 인하여 가공기의 수명이 단축되고 생산 제품의 불량률이 발생하게 된다. 고속가공기계의 불량 발생 원인으로는 회전부품의 불평형, 베어링이나 커플링의 축 정렬 불량, 축의 휨, 비틀림 진동, 기계적 느슨함, 공진, 베어링의 불량 등을 들 수 있으며 이상진동의 원인은 복합적인 요인에 의해 일어나는 경우가 많다.

일반적으로 산업 현장에서는 주축의 불평형을 맞추기 위해 질량을 Fig. 1과 같이 주축의 양 끝단에 구멍을 뚫어놓아서 스피ndl 조립 후에 각각 질량이 다른 종류의 나사를 결합함으로써 밸런싱 작업을 하면서 질량을 더해주는 방법과 주축에 구멍을 뚫어주어 질량을 제거하는 방법이 있다. 질량을 제거해 주는 방법은 현장에서 소음을 유발할 수 있기 때문에 보통 질량을 제거하는 방법보다는 질량을 더해주는 방법을 선호하는 추세이다.



Fig. 1 The United Position of Unbalance Mass

본 연구에서는 초고속 가공기에서 스피ndl 시스템의 출력과 치수를 고려한 스피ndl 시스템의 외형, 즉 외경과 길이 등이 주어졌을 경우 주축의 양 끝단에 언밸런스 질량이 어느 정도 있다는 가정 하에서 언밸런스 질량을 포함한 스피ndl 시스템의 스피ndl 내경에 따른 초고속 스피ndl의 최적설계에 대한 연구를 수행하였다.

2. 스피ndl 시스템 모델링

40,000rpm급 고속 머시닝센터용 주축계의 구조는 Fig. 2과 같다. 스피ndl 시스템의 출력과 치수를 고려한 스피ndl 시스템의 외형은 주축 해석 전문 툴인 ARMD 를 이용하여 Fig. 3과 같이 모델링을 하였다. 스피ndl의 길이는 310mm 이며 스피ndl 전방에 2개의 베어링과 후방에 1개의 베어링으로 지지되어 있는 구조이다. 해석에 사용된 재료의 베어링의 강성값은 Table 1과 같으며 기계적인 물성치는 Table 2와 같다. ARMD는 두 가지 이상의 재질로 구성된 물체는 모델링을 할 수 없기에 이번 연구에서는 스피ndl과 로터부만 모델링을 하여 해석을 실시하였다. Fig. 3에서 보는바와 같이 스피ndl은 Fig. 2에서의 스피ndl의 모형과 일치하게 모델링을 하였으며 로터부는 스피ndl과 재료의 물성치가 틀리므로 Disk 처리(Fig. 2에서 검은 질량체)로 모델링을 하였다.

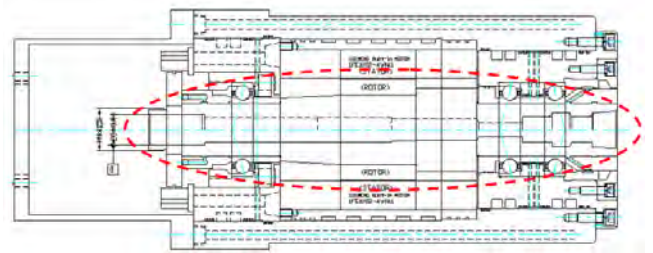


Fig. 2 The schematic of 40,000rpm spindle.

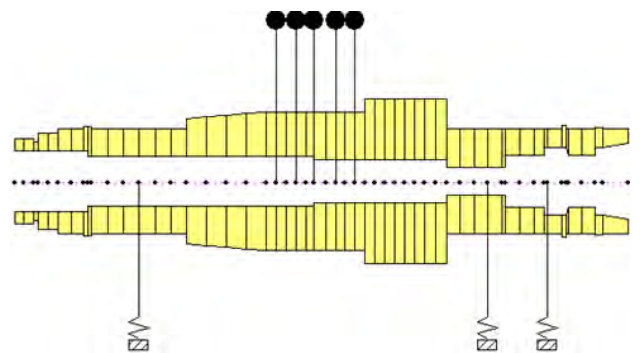


Fig. 3 Modeling of 40,000rpm spindle.

Table 1 Bearing stiffness of 40,000rpm spindle

	Axial rigidity (N/ μ m)	Radial rigidity (N/ μ m)
Front bearing	40	180
Rear bearing		90

Table 2 Material properties of each part

Part name	E (GPa)	Density (g/cm ³)	Poisson's ratio
Spindle	200	7.817	0.3
Rotor	21.3	7.800	0.3
Drawbar	205	7.817	0.3
Tool shank	205	10.311	0.3

3. 설계요구조건 도출

기존의 논문에서 스피들 시스템의 각각의 분야에 관한 연구는 여러 선례가 있지만 이것을 종합적으로 포괄하여 하나의 설계안을 제시하는 체계적인 설계법에 관한 연구가 부족한 실정이다. 그리고 스피들의 1차 위험속도에 영향을 주는 요소로서 주축의 직경, 스피들에 사용된 소재의 탄성, 베어링의 강성과 베어링의 위치 등이 있으나 본 연구에서는 초고속 스피들 시스템의 출력과 치수를 고려한 스피들 시스템의 외형, 즉 외경과 길이 등이 주어졌을 때 스피들의 내경이 초고속 스피들의 최적 설계에 얼마만큼의 영향을 미치는지 다구찌 실험계획법을 이용하여 알아보았다. 먼저 주축 내경의 길이에 대한 B, C, D 파라미터와 언밸런스 질량에 대한 A 파라미터를 Table 3에 나타내었다. A는 주축 끝단에 위치하는 언밸런스 질량이고 수준수마다 20g 씩 증가시켜 주었으며 내경의 길이는 B, C, D 인자로 각각 정의 하였고 각 수준수마다 1mm씩 증가시켜 주었다.

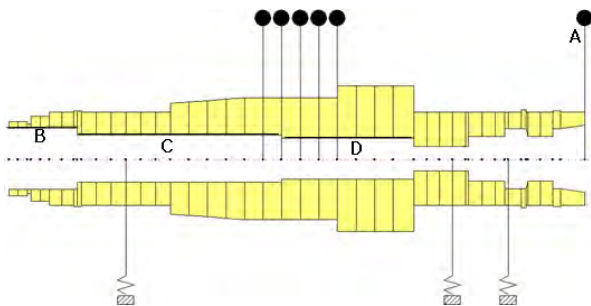


Fig. 4 4-parameter of 40,000rpm Spindle.

Table 3 Level value of each parameter

A(g)	B(mm)	C(mm)	D(mm)
20	20	16.5	14.3
40	21	17.5	15.3
60	22	x	x
80	23	x	x

Table 3에서의 수준수로 MINITAB을 이용하여 무작위 실험을 한 결과 Fig. 5와 같은 신호 대 잡음비(Signal to Noise)의 주 효과 플롯을 얻었다. 기본 조건인 $A_1B_1C_1D_1$ 을 기준으로 하여 $A_4B_4C_2D_2$ 까지의 값들을 비교하여 보면 A인자인 언밸런스 질량은 반응 변수에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 보이며 B, C, D 인자에 의해 반응변수에 영향을 끼친다는 것을 확인할 수 있었다. 출력은 위험속도가 높을수록 좋은 망대특성을 이용하여 스피들의 1차 위험속도를 상승 시키는 방향을 목적으로 설정하였다.

4. 결론

40,000rpm의 초고속 가공기용 스피들을 설계하기 위하여 스피들 시스템의 외형이 주어졌을 경우 주축의 끝단에 언밸런스 질량을 포함되어 있을 때 스피들의 내경의 크기가 초고속 스피들의 1차 위험속도에 영향을 미치는지 ARMD를 사용하여 모델링 및 해석을 실시하였고, MINITAB을 이용한 다구찌 실험계획법을 통해 알아보았다.

그 결과 초기조건인 1차 위험속도인 70,069rpm 이었으나 다구찌 실험계획법의 최고 수준인 설계조건을 적용하면 1차 위험속도가 70,684rpm 으로 600rpm 정도 상승한 것을 알 수 있다. 이를 통해서 주축 끝단의 언밸런스 질량은 1차 위험 속도에 영향을 주지 않는다는 것을 파악 하였고 스피들의 내경이 1차 위험속도에 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있었다.

후기

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업 [RTI04-01-03]의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 임정숙, 정원지, 이춘만, 이정환, “드로우바와 로터가 고속주축계의 동적 특성에 미치는 영향”, 한국정밀공학회지,180, 139-146,2006.
2. 양보석, “회전기계의 진동” 도서출판 인터비전
3. 최영호,윤두표,김광영, 최병오, “고속 가공기의 스피들 진동에 영향을 주는 요소 분석.” 한국공작기계학회 춘계학술대회 논문집 pp.340~345,2001.
4. 장하다, “고속가공기용 고정밀 스피들의 최적설계” 한양대학교 대학원, 2000.
5. ARMD User's Manual ,ARMD
6. 조영덕, 정원지, 이춘만,윤상환, 황영국, 박기범, “ADAMS를 이용한 초고속 스피들의 회전 밸런싱에 대한 연구” 한국 정밀공학회 추계 학술대회, 560-563,2005

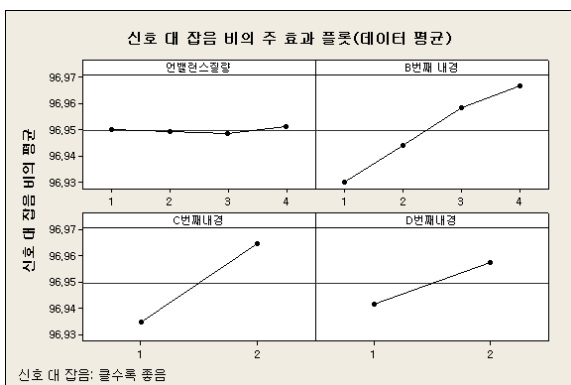


Fig. 5 Main effect plot of signal to noise