

유한요소법을 이용한 세장비가 큰 가공 소재를 포함한 소형 고속 스피indle 시스템의 바-피더 지지조건에 따른 고유진동 특성 연구

Natural vibration characteristics of the high speed spindle system with a long workpiece due to supporting conditions of bar-feeders based on using FEM analysis

*이재훈, 김무수, 박성훈, #이시복

*J.H. Lee, M.S. Kim, S.H. Park, #S.B. Lee(sblee@pusan.ac.kr)

부산대학교 기계공학부

Key words : Modal analysis, High speed spindle system, Long workpiece, Bar-feeder

1. 서론

최근 공작기계의 개발 방향은 고속화, 고정도 및 고가성화에 있다. 특히 컴퓨터 및 제어시스템의 발전에 따라 재료의 이송 및 장착과 가공이 자동화되고 있으며 가공품의 소형화와 정밀화에 부응하기 위해 회전속도는 점점 고속화 되고 있다. 또한 고속의 회전수에 대응하기 위해서 벨트와 기어가 필요치 않는 내장형 모터(built-in motor) 방식이 고속 머시닝 센터의 주축으로 많이 채용되고 있다.⁽¹⁾

본 연구는 자동으로 가공소재가 공급되는 고속 머시닝센터의 스피indle 시스템에서 바-피더(bar-feeder) 지지부의 설계에 따른 고유진동특성변화를 파악하는데 있다. 고유진동해석은 운전속도 회피를 위해 동적시스템의 설계 시 반드시 필요한 과정이다.

2. 스피indle 시스템의 특성 및 연구 방향

연구의 대상은 최대가공직경 $\varnothing 7\text{mm}$, 최대회전속도 20,000RPM 급의 CNC 자동선반의 스피indle 시스템으로 봉체형상의 소형부품들을 가공하는 데 이용되며 주로 치과 및 정형외과용 임플란트와 같이 작고 정밀한 제품을 만드는데 사용된다. Fig. 1 (a)에 내장형 모터 방식의 스피indle 시스템에 대한 실제 외형이 나타나 있으며 (b)에는 내부의 구성품에 대해 나타내었다. 스피indle의 주축은 길이방향으로 350mm가 채 되지 않는 소형이다. Fig. 2의 스피indle의 단면에서 보이는 바와 같이 중심축 부분에 중공이 존재하고 이곳에 소재가 삽입된 상태에서 소재와 함께 회전하며 소재를 가공하게 된다.

Fig. 3에 스피indle 시스템이 머시닝센터에 장착되었을 때의 배치를 나타내었다. 소재의 직경이 작고 길이가 긴 즉 세장비(細長比)가 큰 소재를 지지하기 위해 가이드 부쉬(guide bush)와 바-피더의 지지가 각각 스피indle들의 전후에서 이루어지는 형태로 설계될 예정이다. 가이드 부쉬는 절삭공구에 의한 소재의 휨을 방지하기 위한 부분이며, 바-피더는 풀러 형태로 된 지지부로서 긴 소재를 연속적으로 공급하는 역할도 하며 강성과 설치위치가 중요한 설계변수가 될 것이다.

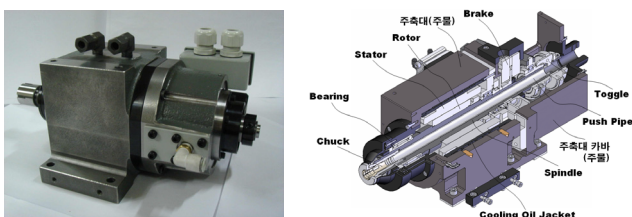
본 연구의 대상물은 현재 Fig. 1 (a)와 같이 스피indle들과 하우징 부분까지 설계와 제작이 이루어진 상태이다. 그러므로 바-피더와 스피indle들을 배치하고 그 진동특성을 실제 시험으로 측정할 수 있는 단계가 아니다. 이에 따라 전산해석을 통해서 바-피더의 설계방향을 도출하고자 한다. 우선 유한요소해석 결과의 검증은 위해서 이미 제작이 이루어진 스피indle들에 대한 고유진동 해석과 충격시험(impact test)⁽²⁾의 결과를 비교하고 그 정도를 확인할 것이다. 그 후 동일한 스피indle 유한요소모델에 소재와 바-피더 부를 추가하여 고유진동해석을 실시할 것이다.

3. 스피indle들의 유한요소해석 및 충격시험

연구 방향에서 언급한 것과 같이 소재와 바-피더를 포함한 스피indle 시스템의 고유진동해석을 실시하기 이전에 스피indle들에 대한 충격 시험을 Fig. 1 (a)의 스피indle들에 대해 실시하였다. 이와 함께 스피indle 시스템의 3D모델을 작성하고 상용 유한요소 해석 툴인 Samcef를 이용하여 고유진동 해석을 수행하였으며 Fig. 3에 그 결과를 나타내었다. 충격시험에서 습득한 고유진동수와 전산해석의 결과가 서로 잘 일치되고 있음을 알 수 있다. 이로써 유한요소모델의 타당성이 확보되었다는 가정을 할 수 있으며, 소재를 고려한 고유진동 해석을 위한 기본모델로 사용할 수 있을 것이라 판단되었다. 지면이 좁은 관계로 충격 시험의 방법이나 전산해석에서의 물성 및 경계조건 및 모드형상은 생략하였다.

4. 소재와 바-피더를 포함한 고유진동해석

실제 실험과 비교 검증된 유한요소모델에 소재부분을 삽입하고 바-피더 조건을 추가하여 긴 소재에 대한 스피indle 시스템 전체의 고유진동특성 변화를 알아보기 위한 실험을 실시하였다. 실험을 위해 스피indle 부에 $\varnothing 7\text{mm}$ 과 길이 1000mm의 소재를 삽입하였으며 바-피더의 강성과 위치에 대한 실험조건들을 Table 1에 나타내었으며, Table 2에는 각 실험에 대한 고유진동 해석결과를 표시하였다.



(a) External shape of test model (b) Components of the model
Fig. 1 Schematic diagram of the built-in spindle system

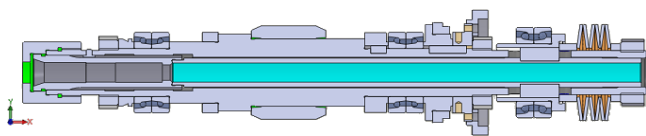


Fig. 2 View of the spindle's cross section

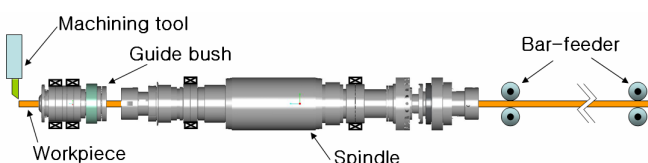
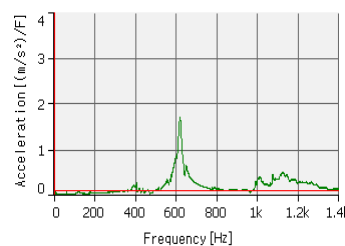


Fig. 3 Arrangement of the spindle system with a long workpiece



(a) Impact test

Mode	Frequency[Hz]
1	401.161
2	639.426
3	1001.341
4	1032.034
5	1050.126
6	1059.985
7	1251.571

(b) FEM analysis

Fig. 4 Results of impact test and FEM analysis of spindle 461

Table 1 Experiment conditions

Experiment number	Support position (from back end of the workpiece, mm)	Number of supports		Stiffness (N/mm)
		Bar-feeder	Guide bush	
1		×	×	10 ³
2		2	×	10 ³
3		3	×	10 ³
4		3	×	10 ⁵ (×100)
5		4	×	10 ³
6		5	×	10 ³
7		4	1	10 ³
8		5	1	10 ³

1번 실험은 스피indle에 소재만을 추가한 것으로, 소재는 스피indle의 척에 의해 지지되며 Fig. 4의 스피indle부에 대한 고유진동해석 결과와 비교해보면 소재의 유무에 따라 스피indle 시스템의 전체의 고유진동특성이 어떻게 변하는지 파악할 수 있다. 소재가 가늘고 길다는 특징에 의해 소재의 지배를 받는 낮은 주파수가 발생하고 있음을 확인 가능하다. 스피indle부의 운전속도가 20,000RPM이므로 대략 333Hz의 주파수를 회피하여야 하지만 10번째 모드에서 동일한 공진주파수가 나타나므로 시스템의 안정성에 문제가 발생할 것임을 알 수 있다.

실험번호가 증가할수록 바-피더 지지점을 늘려갈 때의 스피indle 시스템의 고유진동 특성 변화를 확인할 수 있는데, 실험 3번과 4번은 같은 바-피더 지지위치를 갖지만 강성을 100배로 늘렸을 때의 차이를 나타낸다. Table 2에서 실험 3과 4의 고유진동수를 확인해보면 10³N/mm대의 지지강성에서 100배의 강성 증가는 지지점을 늘리는 것만큼의 효과를 거두지 못하고 있음을 확인할 수 있다.

실험 5번에서 8번사이의 결과를 비교해 보면 최저 고유진동수

가 300Hz대의 근방으로 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 여기서 실험 5번과 6번을 비교해 보면 최대한 지지범위를 넓게 설정하더라도 스피indle 뒷부분부터 소재의 끝단 사이에서 지지력을 발휘할 수 있는 바-피더의 특성상 최저차 모드에서의 주파수 증가 효과는 한계가 있을 것이라는 예상이 가능하다. 모드형상을 확인해 본 결과 실험 6번에서 바-피더의 개수를 한, 두개 더 추가 하더라도 획기적으로 1차 모드를 높이긴 어렵다고 생각이 되어서 가이드 부쉬에 의한 지지를 추가로 설정하였다.

실험 5번과 7번 그리고 실험 6번과 8번은 각각 동일한 바-피더 지지에 가이드 부쉬에 의한 지지를 추가한 것이다. 이를 비교해보면 바-피더에 의한 지지력과 함께 1차 모드의 주파수를 끌어올릴 수 있는 여지가 가이드 부쉬에 있음을 확인할 수 있다. 그러므로 소재의 자유스러운 긴 끝단을 지지하는 바-피더의 배치와 함께 가공부가 되는 소재의 시작단에 존재하는 가이드 부쉬도 추가로 고려하는 것이 안정적인 스피indle 시스템을 구성할 수 있는 설계안이 될 것이다. 최종적으로 실험 8번의 스피indle과 소재의 지지방식이 스피indle의 운전속도를 회피할 수 있는 하나의 방안이 된다는 것을 확인 가능하다.

Table 2 Results of the modal analysis

Mode	Experiment number and frequency(Hz)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	7	111	167	167	274	274	295	369
2	7	112	167	167	295	333	295	410
3	42	178	274	274	295	401	342	458
4	42	178	329	330	333	411	350	489
5	117	274	330	331	350	484	403	489
6	118	330	333	333	351	489	487	613
7	229	331	386	390	446	490	516	764
8	229	333	388	392	488	621	621	765
9	275	394	455	457	523	764	818	842
10	333	396	504	513	629	765	818	1004
11	376	460	533	543	818	842	842	1006
12	376	583	630	633	818	1004	1005	1009
13	454	697	819	841	842	1006	1025	1035
14	541	720	819	842	1005	1010	1042	1046
15	574	839	842	842	1025	1035	1051	1052
16	627	842	1005	1005	1043	1047	1083	1145
17	793	844	1026	1028	1052	1052	1088	1201
18	805	1005	1044	1044	1083	1147	1161	1328
19	842	1033	1052	1052	1088	1203	1223	1355

4. 결론

본 연구에서 소재가 연속으로 공급되는 머시닝센터에서 세장 비가 큰 소재의 특성상 스피indle 시스템의 고유진동특성을 파악하는데 있어서 소재의 영향을 고려해야 함을 알 수 있었다. 또한 고유진동수의 운전속도 회피를 위해 바-피더의 지지조건이 중요한 변수가 될 수 있음을 확인하였다. 향후 소재의 가공과정에서 발생하는 소재의 단락을 고려한 바-피더의 지지조건에 대한 연구가 지속적으로 이루어질 것이다.

후기

본 연구는 한국 산업기술재단에서 주관하는 지역혁신인력 양성사업과제의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Maeda, O., Cao, Y., Altintas, Y., 2005, "Expert Spindle Design System", International Journal of Machine Tools & Manufacture, vol. 45, pp.537~548.
2. Brüel & Kjaer Korea, 1986, Vibration & Noise - Principle and Practice, Brüel & Kjaer Korea, Seoul.