

고속 정면밀링가공을 위한 진동 파라미터에 관한 연구

장성민^{1*}, 이승일²

¹조선이공대학교 선박해양·기계과, ²한국교통대학교 철도차량시스템공학과

A Study on the Vibration Parameters for High Speed Face Milling Machining

Sung-Min Jang^{1*} and Seung-II Lee²

¹Dept. of Naval Architecture & Mechanics, Chosun College of Science & Tec.

²Dept. of Railway Vehicle System Engineering, Korea Transportation Nat'l Univ.

요약 더 빠른 절삭속도와 이송속도를 위한 고속가공은 표면품질과 재료제거율의 증가를 초래한다. 이 논문은 고속가공을 위한 정면밀링커터를 사용한 가공에서 획득된 진동특성에 관한 절삭조건에 영향을 연구하였다. 이 논문에서, 직교배열 테이블에 기초한 다구찌 실험계획법은 고속 정면밀링커터를 사용한 진동특성을 연구하기 위해 적용되었다. 실험조건은 직교배열 $L_{27}(3^{13})$ 을 사용하였다. 실험의 계획과 분석은 S/N비(신호 대 잡음비)와 분산분석을 이용하여 진동에 관한 절삭조건에 영향을 연구하기 위해 수행되었다. 절삭 파라미터 즉 이송속도, 챔퍼길이, 절삭속도 그리고 절삭깊이는 진동 특성치를 고려하여 최적화 되었다.

Abstract High speed machining for higher cutting speed and feedrate lead to a increase of surface quality and material removal rate. This paper presents a study of the influence of cutting conditions on the vibration characteristics obtained by machining with face milling cutter for high speed machining. In this paper, Taguchi experimental design method which is based on orthogonal array table was applied to study vibration characteristics with high speed face milling cutter. The experimental conditions used orthogonal array of $L_{27}(3^{13})$. In this work, design and analysis of experiments is conducted to study the effects of these parameters on the vibration by using the S/N ratio, analysis of variance. Four cutting parameters namely, feed rate, champer length, cutting speed, and depth of cut were optimized with consideration of vibration characteristics.

Key Words : Face milling cutter, S/N ratio, Taguchi experimental design method, Vibration characteristics

1. 서론

절삭가공에서 공구와 공작물 간의 이상 진동현상은 생산성 향상의 저해요인이다. 자려진동에 의한 채터현상에 관한 연구는 주로 선삭[1-2]과 밀링가공[3-4]에 대하여 수행되어 왔다. 선삭공정과는 달리 밀링가공에서는 공구가 스핀들부에 장착되므로 채터현상은 곧 주축의 변위에 영향을 미친다. 이것은 부품의 정밀도 악화와 공구의 비정상적 파손 등을 초래하므로 결과적으로 생산성을 악화시킨다. 특히 고정밀 부품 및 금형생산 등에 사용되고 있는

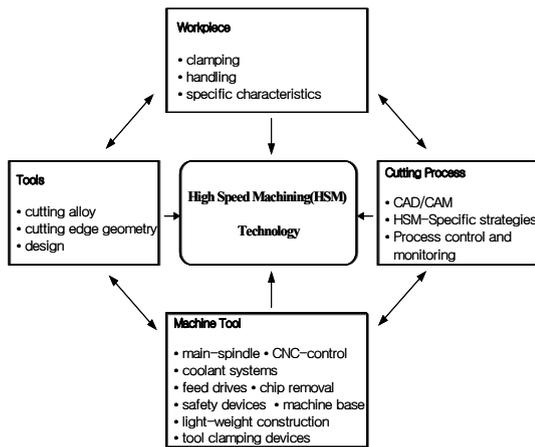
고속가공(high speed machining)에서 주축 변위 발생은 더욱 심각한 문제가 될 것이다. 고속가공의 일반적인 장점은 칩 처리의 우수성, 약 80% 이상의 가공열이 칩을 통해 방출되어 절삭온도 저하와 공구수명증대, 높은 생산성에 따른 가공능률 향상과 제품납기 단축실현, 표면거칠기 향상과 같은 표면품질 개선, 무연마 정밀금형제작, 절삭저항의 저하를 통한 림 구조의 고정도 가공, 비철금속의 고속가공은 물론 고정도 금형강 등의 난삭재 가공의 우수성 등이다[5]. Fig. 1에서 고속가공을 위한 가공기술과 공작기계와의 관계를 도식적으로 나타내었다. 고속가공

*Corresponding Author : Sung-Min Jang(Chosun College of Science & Tec.)

Tel: +82-62-230-8203 email: twkjsm@cst.ac.kr

Received June 13, 2013 Revised (1st July 15, 2013, 2nd July 25, 2013, 3rd August 2, 2013) Accepted September 6, 2013

에서의 문제점은 고속 회전 시 원심력 및 장시간 가공으로 인한 발열로 주축의 진동과 소음을 발생시킬 수 있고, 이로 인한 강성저하는 공작기계의 수명을 단축시키는 심각한 문제를 초래할 수 있다. 특히, 단속 절삭인 고속밀링 가공 중 진동으로 인한 스피들 변위는 비정상적 공구파손에 영향을 크게 미친다. 그러므로 밀링가공에서 X, Y, Z 각 방향별 진동특성을 파악하고 각 방향의 진동에 영향을 미치는 절삭 파라미터에 관한 분석을 필요로 한다. 본 연구에서는 경합금을 대상으로 고속가공이 가능한 정면밀링커터바디를 사용하여[5] 다구치 실험계획법 이론을 적용함으로써 고속밀링가공 공정 중 진동에 영향을 미치는 절삭 파라미터를 실험적으로 분석하였다. 가속도 센서를 주축에 부착하여 고속 정면밀링 가공 중 진동 데이터를 획득하였으며, 진동 특성치는 X, Y, Z 3방향으로 분석하였다. 본 연구의 결과는 공작기계의 주축 설계 시 진동발생의 억제를 위한 자료로 활용될 수 있기를 기대한다.



[Fig. 1] Relationship between cutting technology and machine tools for high speed machining

2. 실험계획이론

다구치 실험계획법에서는 로버스트 설계를 하기 위해 잡음의 존재에 둔감하도록 파라미터의 수준을 결정하며, 최적화 기술을 위해 요구되는 대부분의 방법보다 훨씬 적은 노력으로 절삭 파라미터의 최적화에 체계적이고 효율적인 방법론을 제공한다[6]. 본 연구에서는 고속 정면 밀링가공에서 가공 중 진동에 영향을 미치는 파라미터를 분석하기 위해 수행되었다. 가공 중 발생하는 진동은 공작기계 주축에 영향을 주어 공작기계의 수명을 약화시키

고, 정도가 심할수록 생산 제품의 품질에 악영향을 주어 결과적으로 제품에 손실을 일으킨다.

진동발생이 작을수록 공작기계를 안정화시키며 다구치 실험계획법에서는 S/N(Power of Signal/Power of Noise)비가 큰 값 일수록 좋은 결과를 얻는다. 그러므로 손실함수는 망소특성으로 하였다. S/N비 값은 클수록 잡음에 둔감하다고 할 수 있고 강건 설계에 근접하다고 결정 할 수 있다. 반복적으로 측정된 데이터를 y_1, y_2, \dots, y_n 라 할 때 MSD(mean squared deviation)는 다음과 같이 계산한다.

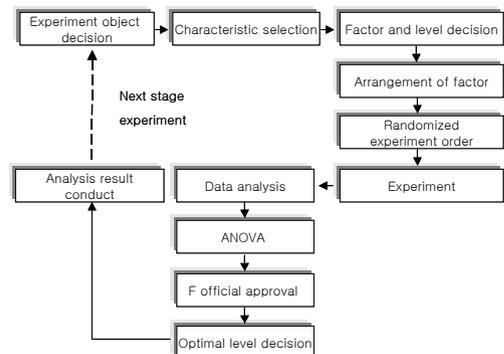
$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \quad (1)$$

여기서 n 은 실험의 수, y_i 는 i 차 실험에서 실험값이다. 또한 식(1)은 성능 특성치인 진동 데이터의 목표값이 0이 되는 것을 목적으로 하므로 0으로부터의 MSD를 의미한다. 결과적으로 S/N비는 아래 식으로 표현될 수 있다.

$$S/N = -10 \log(MSD) \quad (2)$$

식(2)의 표현은 S/N비 값을 데시벨로 나타내어 크게 표현한 것이다.

Fig. 2는 다구치 실험계획법의 실험순서와 분산분석 이후의 과정을 프로우 차트로 나타낸 것이다[7]. 사용된 정면밀링커터의 기하학적 조건은 Table 1에 나타내었다. 본 연구에서 특성치인 진동데이터에 영향을 미치는 절삭 조건으로 이송속도, 절삭선단의 챔퍼길이, 절삭속도 그리고 절삭깊이 등 4개 인자를 선정하였고 각 인자는 3수준으로 하여 27번의 실험수와 13개 열의 수를 갖는 $L_{27}(3^3)$ 직교배열표를 적용하였다. 실험 후 획득된 진동 특성치는 MATLAB 6.5프로그램에 의해 RMS값으로 변환하여 분석하였다.



[Fig. 2] Flow chart for the experimental design method application

[Table 1] Tool geometry for high speed milling

Cutting conditions	Parameters
Cutter diameter	∅80
Axial rake angle	15°
Radial rake angle	-3°
Approach angle	45°

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

고속 정면밀링가공 시 진동특성을 파악하기 위하여 Fig. 3과 같이 X, Y, Z 3 방향의 진동가속도 센서를 주축에 부착하여 스핀들부에서 발생하는 진동을 측정하였다. Table 2는 본 실험에 사용된 진동실험 장치의 사양이다.

직교 배열표상의 27번 각각의 실험조건에 의한 정면밀링가공 중 3 방향 진동 가속도센서를 통해 얻어진 신호는 휴대용 펄스(potable pulse)를 이용하여 획득하였다.

[Table 2] Experiment apparatus

Name	Specification
Piezo type accelero- meter sensor	B&K 4507 Delta Tran Acc
Portable pulse	B&K 3560C



[Fig. 3] Photograph for vibration test of milling cutter

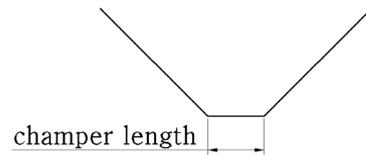
3.2 실험조건

본 논문에서 사용된 알루미늄 시편의 크기는 100mm×100mm×50mm(가로×세로×높이)이며, 건식절삭하였다. 절삭 날은 드로우 어웨이 형식의 인서트 팁으로, 알루미늄 재료를 절삭가공하기 위한 전용팁인 SEEX09T3AFN-E04 F15M이며 팁은 한번 실험 후 새로운 팁을 사용하여 빌트업 에지 또는 공구마멸 등이 특성

치에 영향을 미치지 못하도록 하였다. Table 3은 실험에 적용된 인자와 인자들에 대한 각각의 수준을, Fig. 4는 절삭 선단의 챔퍼길이를 기하학적으로 나타낸 것이다.

[Table 3] Levels of independent variables

Symbol	Cutting parameters	Levels		
		1	2	3
A	Feed rate(mm/min)	60	120	240
B	Champer length(mm)	0.9	1.5	2.5
C	Cutting velocity(m/min)	503	1,005	2,011
D	Depth of cut(mm)	0.15	0.3	0.6



[Fig. 4] Tool geometry for champer length

4. 실험결과 및 고찰

X, Y, Z축 방향에서 진동 가속도 센서에 의해 검출된 샘플링시간(sampling time)은 0.000061sec로 하여 가속도 응답을 측정하였다. 본 논문에서는 항공용 재료로 많이 사용되고 있는 Al2024를 대상으로 정면밀링가공 중에 진동상태를 분석하기 위해 직교 배열표 $L_{27}(3^{13})$ 의 조건으로 실험 후 얻어진 진동 특성치를 S/N비로 변환한 후 인자들의 영향을 분석하였다[8]. 실험결과와 Table 4에 나타내었다.

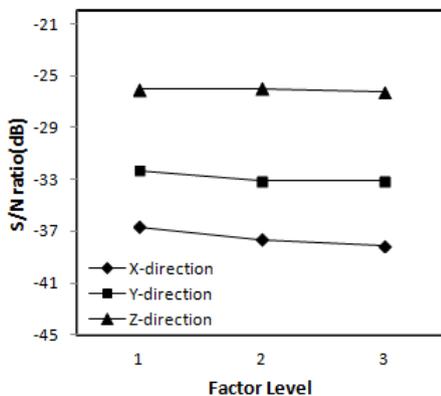
4.1 이송속도

Fig. 5는 직교 배열표에서 본 연구의 특성치인 진동특성에 대하여 실험에 적용된 인자들 중 이송속도 인자에 대한 각각의 수준별 S/N비 값을 나타낸 것이다. Fig. 5에서 이송속도 인자의 각 수준 변화에 대한 X, Y, Z 방향의 진동특성은 S/N비의 기울기 변화가 가장 큰 X 방향에서 가장 크게 영향을 받는 것을 알 수 있다. X 방향은 절삭 중 공구의 이송방향이므로 이송속도 인자는 공구의 이송방향의 진동특성에 가장 크게 영향을 미치고 있다는 것을 알 수 있다. 이송속도 인자에 대한 Y, Z 방향의 진동특성은 S/N비의 기울기 변화의 결과로 알 수 있듯이 Y 방향의 진동이 Z 방향의 진동특성보다 다소 영향을 더 미치는 것으로 나타났다. 그러므로 이송속도 인자는 진동

특성에 미치는 영향의 크기가 X, Y, Z 방향의 순으로 파악된다. 그러나 각 방향에 대한 진동특성은 그 값의 변화가 크게 나타나지 않았기 때문에 이송속도 인자는 진동특성에 미치는 영향이 크지 않다는 것을 의미한다.

[Table 4] Experiment result of vibration characteristics (acceleration response) and S/N ratio

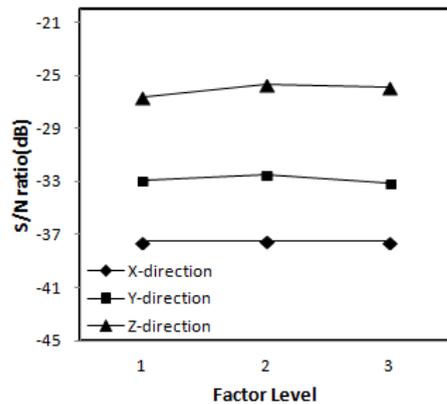
Test No	Acceleration response (mm/s ²)			S/N ratio for acceleration response(dB)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	29.74	13.59	33.76	-29.47	-22.67	-30.57
2	107.35	66.78	19.33	-40.62	-36.49	-25.73
3	112.08	78.69	15.47	-40.99	-37.92	-23.79
4	30.21	13.24	25.30	-29.60	-22.44	-28.06
5	98.12	63.99	22.17	-39.84	-36.12	-26.91
6	102.47	66.43	14.43	-40.21	-36.45	-23.19
7	29.62	15.15	23.80	-29.43	-23.61	-27.53
8	104.91	69.71	19.43	-40.42	-36.87	-25.77
9	96.45	81.61	13.56	-39.69	-38.24	-22.65
10	31.22	15.21	31.95	-29.89	-23.64	-30.09
11	106.26	76.28	20.19	-40.53	-37.65	-26.10
12	131.73	79.79	15.66	-42.39	-38.04	-23.89
13	31.45	15.41	21.87	-29.95	-23.76	-26.79
14	105.16	66.91	18.58	-40.44	-36.51	-25.38
15	136.96	89.25	16.68	-42.73	-39.01	-24.44
16	30.48	14.91	23.15	-29.68	-23.47	-27.29
17	111.67	71.13	19.48	-40.96	-37.04	-25.79
18	131.51	90.30	16.39	-42.38	-39.11	-24.29
19	32.86	18.19	28.21	-30.33	-25.19	-29.01
20	107.05	70.01	20.18	-40.59	-36.90	-26.09
21	140.69	79.86	16.97	-42.97	-38.05	-24.59
22	31.25	15.39	20.25	-29.89	-23.75	-26.13
23	106.99	67.28	18.59	-40.59	-36.56	-25.39
24	159.89	76.92	17.86	-44.08	-37.72	-25.04
25	31.83	16.98	27.37	-30.06	-24.59	-28.74
26	115.22	76.96	19.47	-41.23	-37.73	-25.79
27	153.09	73.48	18.34	-43.69	-37.32	-25.27



[Fig. 5] S/N ratio response graphs for feed rate(Symbol A)

4.2 챔퍼의 길이

Fig. 6은 챔퍼 길이에 대한 진동 특성치의 변화를 각 수준별 S/N비 값의 변화로 나타낸 것이다. Fig. 6에서 챔퍼 길이의 수준 변화에 대한 진동특성은 S/N비의 기울기 변화가 매우 작게 나타났기 때문에 X, Y, Z 각 방향의 진동특성에 미치는 영향이 작음을 알 수 있다. 그 중 상대적으로 Z 방향에 대한 진동특성이 X, Y 방향에 대한 특성보다 다소 크게 나타났으나 전체적으로 챔퍼의 길이 변화가 특성치에 미치는 영향은 이송속도 인자보다도 다소 작게 나타났다. 결과적으로 챔퍼의 길이는 진동 특성치에 고려되지 않아도 될 것으로 사료된다. 그러므로 정면밀링가공에서 공구의 기하학적 변화는 진동특성에 크게 영향을 주지 않는 것으로 사료된다.



[Fig 6] S/N ratio response graphs for champer length (Symbol B)

4.3 절삭속도

Fig. 7은 절삭속도 인자가 X, Y, Z 방향의 진동 특성치에 미치는 영향을 각 수준별 S/N비 값의 변화로 나타낸 것이다. 절삭속도 인자의 수준 변화에 따른 진동특성은 S/N비의 기울기 변화가 X, Y 방향에서 크게 나타났으므로 진동 특성치에 많은 영향을 미치고 있다는 것을 알 수 있다. Z 방향의 경우에는 진동 특성의 변화가 X, Y 방향의 진동특성과 비교하면 그 크기가 작게 나타났다. X 방향은 본 연구에서 정면밀링커터가 공작물을 직접 절삭 이송하는 방향이고 Y 방향은 절삭 이송에 수직인 방향이다. 일반적으로 절삭 이송 방향은 엔지니어의 공작물 고정 방향에 따라 달라질 수 있으나, 일반적으로 X, Y 방향은 모두 절삭이송 방향이다. 그러므로 절삭이송 방향에서 진동의 영향을 매우 크게 받는다는 것을 알 수 있다. 진동의 영향을 많이 받는다는 것은 비틀림 각의 증가와도 관련이 있다. 축의 비틀림 각 θ 는 식 (3)과 같이 비틀림

모멘트와 축의 길이에 비례한다. 그러므로 스프링들로부터 돌출된 정면밀링커터 바디의 길이에 의해서도 영향을 받을 것이다. 따라서 향후 정면밀링커터 바디의 설계에 고려되어야 할 것이다. 공작기계의 스프링들 변형은 정밀가공에 미치는 영향이 크므로 스프링들은 높은 강성과 작은 변형량을 요구한다. 본 연구에서와 같이 X, Y 방향으로 진동의 영향을 많이 받는다는 것은 스프링들의 변형과 런아웃 발생을 증가시킬 수 있으므로 스프링들 설계 시 이에 대비하여야 한다.

$$\theta = 583.6 \frac{Tl}{Gd^4} (\text{deg}) \quad (3)$$

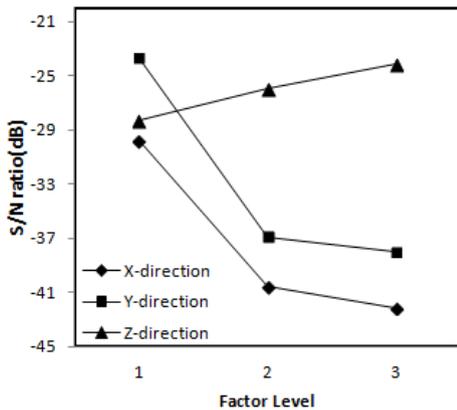
θ : torsional angle of shaft(deg)

T : torsional moment of shaft(kg-mm)

l : length of shaft(mm)

G : modulus of transverse elasticity of shaft(kg/mm²)

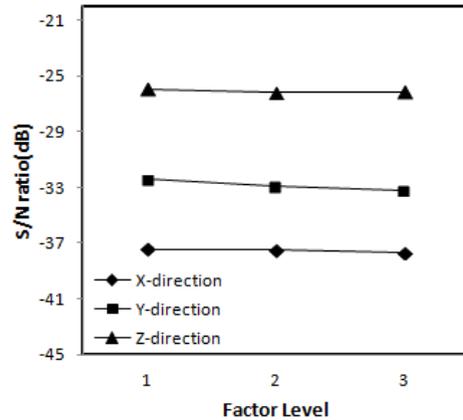
d : diameter of shaft(mm)



[Fig. 7] S/N ratio response graphs for cutting velocity (Symbol C)

4.4 절삭깊이

Fig. 8은 절삭깊이 인자의 각 수준 변화에 따른 진동특성을 S/N비 값으로 나타낸 것이다. Fig. 8에서 절삭깊이 수준 변화에 대한 X, Y, Z 방향의 진동특성은 S/N비 기울기에 상대적으로 변화가 다소 더 있는 Y 방향에서 진동의 영향을 다소 더 받고 있음을 나타내고 있으나 그 영향은 매우 작다. X, Z 방향으로의 진동특성은 절삭깊이의 수준이 변화하여도 그 응답성에 변화가 거의 발생하지 않는 것으로 나타났다. 따라서 X, Z 방향의 진동특성에 대한 절삭깊이의 영향은 무시하여도 될 것으로 사료된다.



[Fig. 8] S/N ratio response graphs for factor depth of cut(Symbol D)

4.5 분산분석(ANOVA) 및 최적 조건

본 연구에서 실험에 대한 분산분석 결과는 Table 5~7에 나타내었다. 분산분석 결과, 모든 방향에서 진동특성에 가장 영향을 많이 미치는 인자는 절삭속도(C인자)로 나타났다. 각 방향의 진동특성에 영향을 미치는 인자는 X, Y 방향에서는 C, A, D, B 인자 순으로 나타났고 Z 방향에서는 C, B, A, D 인자 순으로 나타났다. 교호작용은 X, Y, Z 모든 방향에서 A×B보다 A×C의 영향이 더 크게 나타났다. 또한 본 연구에 적용된 인자들에 관하여 각 수준에서 특성치의 차이에 유의한가 여부는 검정 통계량 F₀ 값으로 판단할 수 있다. Table 5~7에서 F₀>F(0.05)일 경우 다른 인자에 비교하여 통계적으로 특성치에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있다. 지금까지의 S/N비 분석 결과, 각 방향의 진동을 최소화하기 위한 최적 조건은 X, Y방향에서 A₁B₂C₁D₁의 조합이, Z방향에서는 A₂B₂C₃D₁의 조합인 것으로 분석되었다.

[Table 5] ANOVA for X direction vibration

Source	Sum of Squares	DOF	Mean Square	F ₀	F (0.05)
A	9.98	2	4.989	32.55	4.10
B	0.01	2	0.0054	0.035	4.10
C	809.76	2	404.88	2641.3	4.10
D	0.25	2	0.1248	0.814	4.10
A×B	0.70	4	0.1747	1.140	3.48
A×C	7.78	4	1.9459	12.69	3.48
Error	1.53	10	0.1533		
Total	830.01	26			

[Table 6] ANOVA for Y direction vibration

Source	Sum of Squares	DOF	Mean Square	F ₀	F (0.05)
A	3.88	2	1.9404	36.18	4.10
B	1.94	2	0.9679	18.01	4.10
C	1139.7	2	569.87	10607	4.10
D	2.63	2	1.3135	24.45	4.10
A×B	1.20	4	0.3011	5.605	3.48
A×C	3.16	4	0.7898	14.70	3.48
Error	0.54	10	0.0537		
Total	1153.05	26			

[Table 7] ANOVA for Z direction vibration

Source	Sum of Squares	DOF	Mean Square	F ₀	F (0.05)
A	0.27	2	0.1361	0.118	4.10
B	4.50	2	2.2511	1.956	4.10
C	76.91	2	38.452	33.41	4.10
D	0.24	2	0.1205	0.105	4.10
A×B	2.84	4	0.7089	0.616	3.48
A×C	5.71	4	1.4275	1.240	3.48
Error	11.51	10	1.1509		
Total	101.98	26			

5. 결 론

본 연구는 고속정면밀링 가공 중 각각의 절삭 인자가 진동 특성치에 미치는 영향을 분석하기 위하여 다구찌 실험계획 방법을 이용하여 실험하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 진동 특성치에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 X, Y, Z 3 방향에서 공통적으로 절삭속도의 영향이 가장 크게 작용하였으나 방향성에 따라 다소의 차이가 있는 것으로 나타났다.
- (2) 절삭속도의 증가는 X, Y 방향으로 진동을 증가시켜 공작기계의 스피들을 악화시킬 수 있음을 실험적으로 검증하였다. 그러나 Z 방향으로의 진동은 감소시킨다.
- (3) 이송속도는 공구의 이송방향으로 진동특성에 가장 큰 영향으로 작용하였고 칩퍼의 길이는 Z 방향의 진동에 다소 작용하였다.

- (4) 스피들은 X, Y 방향으로 진동의 영향을 많이 받으므로, 설계 시 스피들의 변형과 런아웃 발생 여제를 위한 방안을 강구하여야 한다.
- (5) X, Y 방향에서는 C, A, D, B 인자 순으로 진동에 영향을 많이 미치는 것으로 나타났고 Z 방향에서는 C, B, A, D 인자 순으로 진동에 영향을 미치는 것으로 나타났다.
- (6) 진동을 최소화하기 위한 최적 조건은 X, Y 방향에서 A₁B₂C₁D₁의 조합으로, Z 방향에서 A₂B₂C₃D₁의 조합으로 나타났다.

References

- [1] S. L. Oh, D. H. Chin, M. C. Yoon, I. I. Ryoo, M. K. Ha, "Chatter Mode and Stability Boundary Analysis in Turning" Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol. 14, No. 5, pp. 7-12, 2005.
- [2] M. C. Yoon, H. D. Cho, S. K. Kim, Y. K. Kim, "A Study on the Modeling and Analysis of Chatter in Turning Operation" Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol. 10, No. 4, pp. 76-83, 2001.
- [3] Y. K. Kim, M. C. Yoon, M. K. Ha, S. B. Sim, "A Study on the behaviors of chatter in milling operation", Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology, Vol. 1, No. 1, pp. 123-132, 2002.
- [4] M. K. Kim, "Diagnosis of Chatter Vibration using Frequency Domain in a Milling Process" Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol. 10, No. 3, pp. 12-18, 2001.
- [5] S. M. Jang, M. J. Maeng, M. W. Cho, "Development of Face Milling Cutter Body System for High Speed Machining", Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 21, No. 12, pp. 21-28, 2004.
- [6] W. H. Yang, Y. S. Tarn, "Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method," Journal of Materials Processing Technology 84, pp.122-129, 1998.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0924-0136\(98\)00079-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0924-0136(98)00079-X)
- [7] S. M. Jang, M. W. Cho, W. S. Cho, D. S. Park, "Analysis of Cutting Parameters for Si₃N₄-hBN Machinable Ceramics using Tungsten Carbide Tool", Transaction of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol. 12, No. 6, pp. 36-43, 2003.
- [8] S. M. Jang, "Development of Face Milling Cutter Body

System and Cutting Reliability Evaluation for Precision High Speed Machining of Light Metals", Doctoral Dissertation, Inha University Graduate School, pp. 128-141, 2004.

장 성 민(Sung-Min Jang)

[정회원]



- 2000년 2월 : 숭실대학교 기계공학
학과 (공학석사)
- 2004년 8월 : 인하대학교 기계공학
학과 (공학박사)
- 2009년 3월 ~ 2010년 2월 : (주)
정일기계 연구소장
- 2012년 1월 ~ 현재 : 조선이공
대학교 선박해양기계과 교수

<관심분야>

정밀가공, 강도설계, 실험계획법, ASME, AWS

이 승 일(Seung-Il Lee)

[정회원]



- 1999년 2월 : 홍익대학교 기계공학
학과 (공학석사)
- 2005년 2월 : 성균관대학교 기계
공학과 (공학박사)
- 1993년 3월 ~ 현재 : 한국교통
대학교 철도차량시스템공학과

<관심분야>

철도차량공학, 비선형 진동, 동역학, 철도차량 비선형 해석