

복합가공기용 초정밀급 새들 가공을 위한 최적의 고정구 개발

김병창[#]

(# 경남대학교 기계공학부)

Development of the optimal Jig & fixture applied to ultra-precision saddle machining

Byoung Chang Kim[#]

(Received 6 May 2014; received in revised form 19 May 2014; accepted 9 June 2014)

ABSTRACT

The increasing level of demand for multi-tasking machines requires a saddle with an ultra-precise machining accuracy level of $15\mu\text{m}$, as such a saddle is one of the main components of these machines. The manner of achieving ultra-precise machining accuracy mainly depends on the fixed forces. In this paper, we optimized the number of contact points and the contact positions to reduce the deformation of the saddle while it is machined. The performance levels of the proposed optimal jig and fixture are determined by measuring the flatness, parallelism and perpendicularity of a machined saddle. The machining accuracy is found to be lower than $15\mu\text{m}$ at all measured points.

Key Words : multi-tasking machine(복합가공기), ultra-precision saddle(초정밀급 새들), jig & fixture(고정구), optimal condition(최적조건), maximum stress(최대응력), geometrical tolerance(기하편차)

1. 서 론

“기계를 만드는 기계”라 불리는 공작기계는 최근 30~40년 동안에 지속적인 기술개발을 통해 진화를 거듭하면서 고속화, 복합화에 초점을 맞추어

기술 및 제품개발이 진행되었다. 1970~1980년대부터는 선반을 베이스로 밀링기능을 추가한 터닝센터, 반대로 밀링을 베이스로 선삭기능이 추가된 머시닝센터가 각각 등장하여 발전하다가 1990년대부터는 다품종 소량생산 체계와 공작기계에 대한 복합화, 고속화, 고생산성이 요구되면서 멀티태스킹이 가능한 완전한 복합가공기가 등장, 현재에 이르고 있다. 협소한 공간에서 다양한 기능을 수행할 수 있는 복합가공기는 기존의 터닝-머시닝센터보다 한층 복잡하고, 사용되는 부품에 요구되는

[#] Corresponding Author :
School of Mechanical Engineering, KYUNGNAM UNIV.
E-mail : bckim@uok.ac.kr

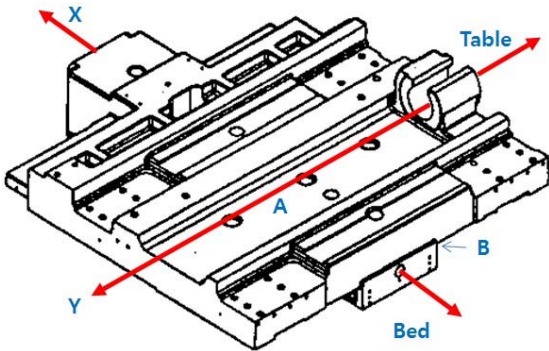


Fig. 1 Configuration of saddle

가공정밀도가 높은 것이 특징이다. 공작기계 부품들 중의 하나인 새들(Saddle)은 베드(bed) 윗면을 미끄러지며 이동하는 왕복대의 부품으로 Fig.1과 같이 구성되며, 공작물의 가공정밀도를 좌우하는 핵심부품 중 하나이다. 기존 터닝-머시닝센터용 새들의 요구 정밀도는 $20\mu\text{m}$ 이나, 복합가공기의 경우 $15\mu\text{m}$ 의 초정밀급 가공정밀도를 가진 새들이 요구된다.

초정밀급 새들 가공을 실현하기 위해서는 기존 가공법과 차별화된 가공요소들의 변화가 요구되어진다. 특히 새들을 구성하는 재료, 절삭열에 의한 열변형, 고정구(fixture)위치에 따른 가공변형 등에 더욱 세심한 고려가 필요하다. 본 연구에서는 재료와 열적변형 조건이 동일한 경우, 고정구의 결합방법과 가공정밀도의 관계를 도출함으로써 초정밀급 새들 가공을 위한 최적의 고정구 설계 및 제작을 제안하고자 한다.

2. 이론

복합가공기용 $15\mu\text{m}$ 급 초정밀 새들을 절삭 가공하기 위해서는 가공물을 고정시키는 고정부의 설계가 중요한 요소이다. 고정부 설계를 위해서는 고정부와 가공물의 접촉 위치 및 접촉점의 총 개수가 중요 변수이다. 절삭 가공 중 가공물을 고정시키는 고정부의 위치와 고정력은 가공 중에 가공물에 발생하는 휨 정도를 다르게 하며, 되돌림현상(spring back)으로 인해 발생하는 최종 가공물

형상의 왜곡을 결정하는 요소로 작용한다. 즉, 고정부 설계에서 접촉부의 위치와 개수를 결정하는 것은 가공물인 새들의 형상정밀도를 결정짓는 중요 과정이다.

2.1 새들 응력해석

일반적으로 복합가공기용 새들의 재료로 사용되는 구상흑연주철(GCD)은 연성재료(ductile material)에 속한다. 모어 이론(Mohr failure theory)을 적용하는 취성재료(brittle material)와는 달리 연성재료에 대해서는 폰 미세스 이론(von Mises theory)을 일반적으로 적용한다.^[1] 폰 미세스 응력의 개념은 왜곡 에너지 이론(distortion energy theory)로부터 출발하며, 단위체적의 요소(element)를 왜곡시키는데 필요한 왜곡 에너지는 식(1)과 같이 정의된다.^[2]

$$U_d = \frac{1+\nu}{3E} \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right] \quad (1)$$

식(1)은 3차원 단위체적 요소에 주응력(principal stress)만을 고려한 경우이다. 여기서 ν 는 프와송비(poisson's ratio)이며, E 는 탄성계수(Young's modulus)이다.

하지만 Fig.1과 같이 단순하지 않는 형상을 임의의 여러 위치에서 힘을 가할 경우, 실제로 식(1)보다 복잡한 응력들을 고려하여야 한다. 식(2)는 일반적인 폰 미세스 응력을 표현한 것이다.^[2]

$$\sigma_v = \left[\frac{1}{2} \left((\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{33} - \sigma_{11})^2 + 6(\sigma_{12}^2 + \sigma_{23}^2 + \sigma_{31}^2) \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

폰 미세스 응력해석은 재료가 파괴한계(failure criterion)인 항복응력(yield stress)을 초과하지 않도록 설계하는데 주로 목적이 있지만, 본 논문은 최대응력에 따른 변형에 관심이 있으므로, 고정구의 개수와 위치에 따른 최대응력값 만을 고려하기로 한다.

2.2 경계조건

가공물에 일정 절삭력을 동일하게 적용한다는 조건 하에서 최적의 고정구를 설계하기 위해서 지지부(support)와 고정구(Clamping)의 위치를 Fig.2와 같이 분류하여 최대응력을 해석하였다. 여기서 지지부는 단순하게 공작물의 바닥을 받치는 부분을 말하며, 고정구는 가공물의 상하 또는 옆면에 일정 구속력을 제공하는 부분을 말한다. 가공물의 기하학적 형상의 특징으로 인해 지지부나 고정부를 설치할 수 없는 부분은 고려대상에서 제외하였다.

Table 1에서는 다양한 조합 중 대표적인 8가지 경우만을 표시하였다.

- (1)case1: 새들의 바닥면 전체 12지점을 모두 지지하면서 고정하는 경우
- (2)case2~4: 새들의 가장자리 3점을 지지하고, 모서

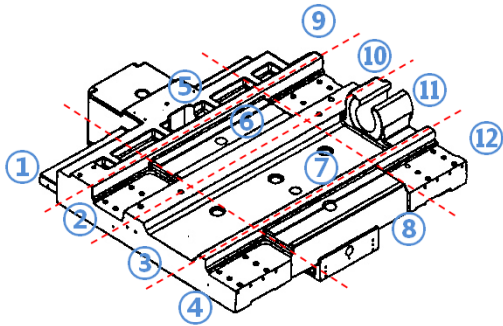


Fig. 2 Geometrical positions for support and clamping

Table 1. Classification of support and clamping positions.

case	Position index No. of	
	support	Clamping
1	1~12	1~12
2	1, 4, 10	1, 4, 9, 12
3	4, 12, 5	1, 4, 9, 12
4	2, 9, 12	1, 4, 10, 12
5	1, 4, 9, 12	1, 4, 9, 12
6	1, 4, 9, 10, 12	1, 4, 9, 12
7	1, 4, 8, 9, 12	1, 8, 9, 12
8	1, 4, 5, 8, 9, 12	1, 4, 5, 8, 9, 10, 12

리 4점을 고정하는 경우

- (3)case5~8: 지지점을 1개씩 증가시키며, 고정점의 위치 조건을 변화시킨 경우

2.3 응력해석 결과

8가지 경우에 대해 폰 미세스 이론을 적용한 결과 Table 2와 같은 결과를 획득하였다.

Fig.3은 지지부와 고정구의 경계조건이 설정된 상태에서 지그보링머신이 홀(hole) 각각에 집중하중을 가하는 모습을 보여주며, 100N을 단위 집중하중으로 설정하여 새들에 발생하는 응력해석을 해석하였다.

Table 2는 8가지 경우에 대해 각각 응력해석을

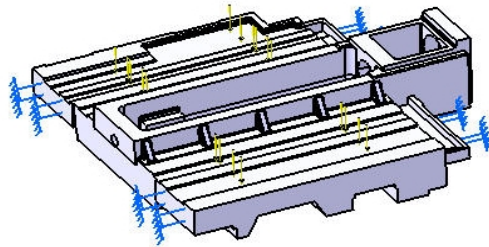


Fig. 3 Configuration of the saddle under concentrated load caused by jig boring machine.

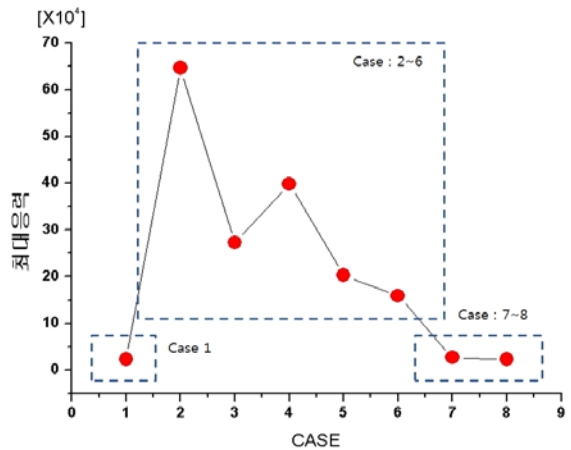


Fig. 4 Maximum stress for 8 cases

Table 2. Analysis results for 8 cases

	응력해석결과	최대응력
1		$2.32 \times e4$
2		$6.47 \times e5$
3		$2.73 \times e5$
4		$3.98 \times e5$
5		$2.03 \times e5$
6		$1.59 \times e5$
7		$2.69 \times e4$
8		$2.33 \times e4$

한 결과이며, 가공물에 가해지는 최대응력을 함께 표시하였다. 해석결과에 나타난 바와 같이 최대응력이 큰 경우 지그보링의 절삭력과 고정력에 의한 형상외곡이 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 여기에서 최대응력해석을 위해 CATIA v5를 사용하였으며,^[4] case별 최대응력의 상대적인 크기를 비교하기 위해서 Fig.4와 같이 최대응력을 도식화 하였다.

예상과 같이 12 지점 모두를 지지하고 고정된 case1에서 최대응력이 가장 낮으며, 지지점이 가장 적은 case2에서 최대응력이 가장 높게 나타났다.

case3~8 경우에는 지지점의 개수와 위치에 따라 다양한 결과를 보이는데, case7 이후부터는 case1에 수렴하며 근접하는 결과를 보인다. 따라서 8가지 case 중 case7이 고정부 설계에서 최적설계조건으로 판단되어질 수 있다.

3. 결과

3.1 고정구 설계 및 제작

2.3의 최대응력해석 결과에 따라 Fig. 5와 같이 고정부를 설계하였다. 새들 가공물의 생산성 향상을 위해 2개의 새들을 함께 고정할 수 있도록 설계하였으며, Fig. 5는 3차원 설계도면과 2차원 도면을 각각 나타낸다.

지그보링기로 초정밀 새들을 가공하기 위해 설계된 Jig & fixture는 Table 1의 case7과 같이 5개 지점을 단순 지지하고, 4개 지점에 고정력을 주도록 설계되어졌다. Fig.6은 설계도면에 따라 가공된 고정구이며, 고정구 양면에 각각 1개씩의 새들을 장착하여 새들의 아랫면과 윗면을 가공할 수 있도록 제작하였다.

3.2 가공정밀도 측정결과

초정밀 가공품을 개발하기 위해서는 초정밀 가공방법과 더불어 초정밀 측정과정이 함께 이루어져야 한다. 본 논문의 가공대상물인 새들의 경우 평면도(flatness), 평행도(parallelism), 직각도

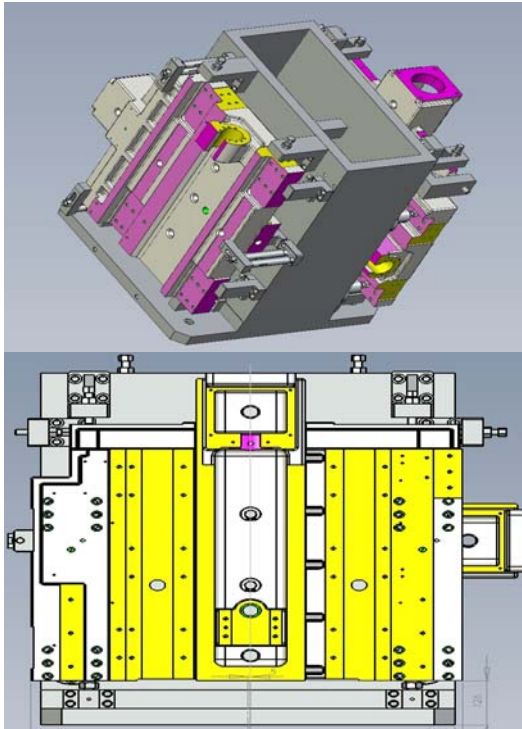


Fig. 5 Mechanical design of Jig & fixture under optimal constraints(upper: 3D, lower: 2D draft)



Fig. 6 Photograph of machined Jig & fixture for ultra-precision saddle machining

(perpendicularity) 영역에서 $15\mu\text{m}$ 가공 정밀도가 요구되며, 기하편차의 정의는 KS B 0425 및 ISO 1101에 각각 정의되어 있다. 가공물 새들의 평면도, 평행도, 직각도 및 기하학적 위치 측정을 위해 ISO 1101규정에 따라 25개 측정점을 정의하였으며, 기하학적 위치 결정을 위해 측정된 9개점을 포함하여 총 34개점은 아래와 같이 활용되었다.

- (1) 평면도 측정: (1),(2),(3),(4),(5),(6),(18)
- (2) 평행도 측정: (7),(8),(9),(16),(22),(28),(29),(30)
- (3) 직각도 측정: (10),(11),(12),(13),(19),(23),(24), (25),(31),(32)
- (4)기하학적 위치: (14),(15),(17),(20),(21),(26),(27) (33),(34)

가공 정밀도 측정을 위해 Fig.7과 같이 접촉식 3차원측정기(CMM: Coordinate Measuring Machine)을 사용하였다. 측정에 사용된 3차원측정기는 스위스 브라운샤프사의 글로벌이미지 152210기종으로 측정영역이 $1500 \times 2200 \times 1000\text{mm}$ 에 이른다.

Fig. 8은 25개의 측정점에 대한 $15\mu\text{m}$ 목표값과 3차원측정기를 통해 측정된 측정값을 비교하여 보여준다. 최적의 Jig & fixture에 의해 가공된 새들의 가공정밀도를 측정하기 위하여 ISO1101의 정의에 따라 Fig.9 도면에서 25개의 측정점 위치를 선택하여 측정을 수행하였다. 측정결과 측정점 중 기하학적 위치 측정을 위해 선택한 9개 점을 제외한 총25점에 대해 모두 $15\mu\text{m}$ 목표값 이하로 가



Fig. 7 Photograph of CMM for measuring flatness, parallelism, perpendicularity.

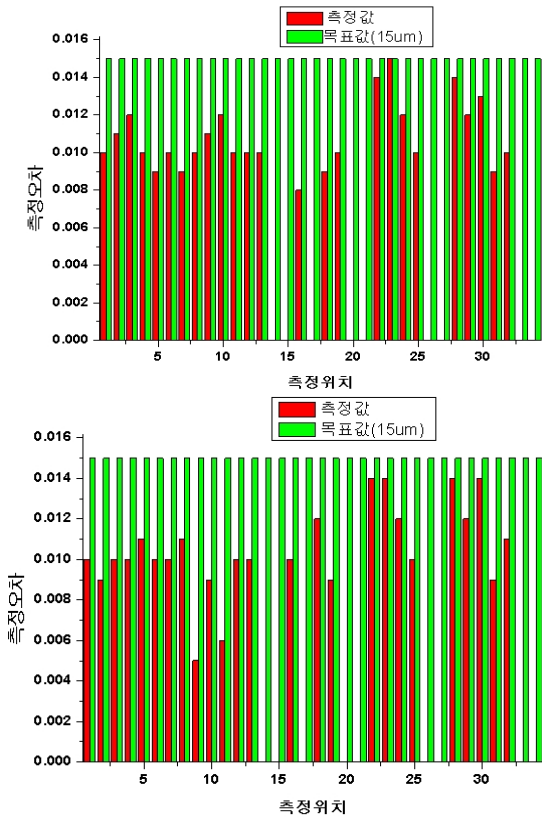


Fig. 8 Measurement results against 34 points for measuring flatness, parallelism, perpendicularity of machined saddle.

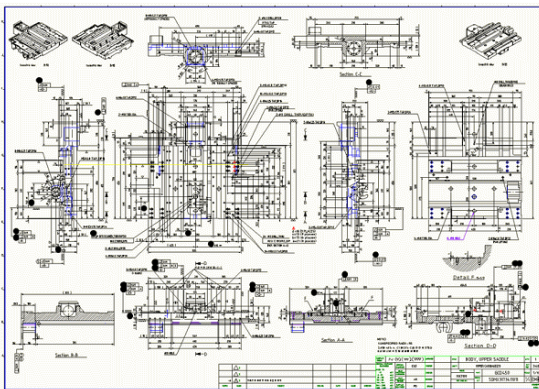


Fig. 9 Positions of measuring points on the draft(solid circle indicates measuring positions)

공되었음을 확인하였다. Fig.8의 측정값 비교에서 측정값이 빠진 9개 항목은 평면도, 평행도, 직각도와 관련이 없는 기하학적 위치 측정을 위해 사용된 측정점이므로 비교에서 제외되었다.

4. 결론

본 연구에서는 복합가공기의 핵심부품인 15 μ m 급 초정밀 새들 가공을 위한 최적의 고정부 조건을 결정하는 과정을 보였으며, 실제 제작을 통해 검증하였다. 최적조건을 결정하기 위해 가공 대상물의 기하학적 형상을 고려하여 12영역으로 구분하였으며, 지지부와 고정부의 위치와 개수에 따른 최대응력해석을 통해 최적의 조건을 결정하였다. 해석결과에 기반하여 고정부를 설계 및 제작하여 지그보링을 이용해 새들을 가공한 결과, 새들의 가공정밀도를 대표하는 평면도, 평행도, 직각도가 모두 가공 목표인 15 μ m이하로 획득되어졌다. 재료의 열팽창 조절 등 초정밀급 새들 가공을 위한 여러 가지 다른 요소들도 복합적으로 영향을 미치지만, 초정밀 가공에 가장 큰 영향을 미칠 수 있는 고정부 설계를 위한 최적의 조건을 결정하는 과정과 결과를 본 논문에서는 제시하였다. 향후 개발한 치구를 장착한 상태로 절삭력을 부여하여 최대 변형량 해석을 추가하여 실제 가공정밀도와 비교하는 연구를 수행할 예정이다.

후 기

“이 연구결과물은 2014학년도 경남대학교 학술연구장려금 지원에 의하여 이루어졌으며, 연구에 도움을 주신 성도정밀에게 감사를 드립니다.”

REFERENCES

1. James M. Gere “Mechanics of Materials,” Thomson 5th Edition, 2004.
2. Robert L. Norton , "Machine Design," Pearson 3rd Edition, 2007.

3. http://en.wikipedia.org/wiki/Von_Mises_yield_criterion
4. <http://www.3ds.com>