

5축가공기를 활용한 내면 형상 가공용 최적 앵글헤드의 개발

황종대[#], 김재현^{**}, 조영태^{**}, 정윤교^{**}, 고해주^{***}

*제주관광대학교 메카트로닉스과, **창원대학교 기계공학과, ***선진테크

Development of the Optimized Angle Head for Internal Shape Machining Using Five-Axis Machine Tool

Jong-Dae Hwang[#], Jae-Hyun Kim^{**}, Young-Tae Cho^{**}, Yoon-Gyo Jung^{**} and Hae-Ju Ko^{***}

*Department of Mechatronics, Cheju Tourism College, ** School of Mechanical Engineering, Changwon National University, *** Sunjin Tech Co., Ltd.

(Received 10 February 2015; accepted 16 February 2015)

ABSTRACT

In general, recent critical studies of five-axis machine have tended to center on the question of effective machining to realize complex shape parts. However, the hydrostatic bearing and journal bearing, both of which are involved in the complex process of dividing the processing of internal precision-shape machining, must be optimized. Although the angle head is designed to machine the internal shape as it approaches the inner diameter of the work piece, research on the angle head in five-axis machining has received only minimal attention in domestic industries. In this study, an angle head which is optimized for effective internal shape machining is developed. In pursuit of this purpose, 3D and 2D designs of the angle head for five-axis machining are devised. Reliability is secured through static performance tests and machining accuracy evaluations of the angle head in keeping with the machining accuracy standard of 0.2mm for hydrostatic bearings.

Key Words : Angle Head(앵글 헤드), Internal Shape Machining(내면 형상 가공), 5-axis Machining(5축가공)

1. 서 론

최근 광학, 측정 기기 관련 산업의 발달에 따라 공작기계의 정밀도 향상 요구가 점차 커지고 있다. 공작기계에 요구되는 가장 기본적인 기능은 고품질의 제품을 대량 생산하는 것이라고 할 수 있다.

그 요구를 만족시키기 위해서는 초정밀 측정기의 개발, 신소재 및 공구개발과 더불어 공작기계의 고속화, 고정도화를 만족시키는 초정밀 베어링의 개발이 중요하다.

특히, 유정압베어링과 같이 내면에 오일 포켓홈이 있어 5축가공기를 이용한 가공이 불가능한 공작물 내면은 부가적으로 총형커터를 사용하거나 소재 자체를 분할하여 가공한 후 재 접합하는 번거로운 과정을 필요로 한다. 이를 개선하기 위하여 공작기계 메인 스피들의 회전을 직교로 변환하여 내면 형상 가공을

Corresponding Author: hjd2123@korea.com

Tel: +82-64-740-8794, Fax: +82-64-740-8795

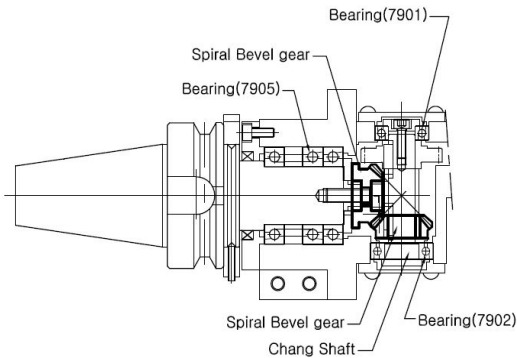


Fig. 3 Spiral bevel gear attached in the angle head

앵글헤드의 하부에 장착된 스피너들은 소형 구조이지만 엔드밀을 비롯한 절삭 공구를 정밀하게 회전시키기 위하여 일반적인 스피너들 설계구조와 유사하게 지지베어링을 설치하였으며, Fig. 4의 (a)와 같이 Ø4-6mm의 절삭공구를 사용할 수 있도록 ER11 Collet을 설치하였다. 또한 Fig. 4의 (b)와 같이 엔드밀 커터가 장착된 상태에서 유정압 베어링 내부에서 간섭없이 자유롭게 이송할 수 있도록 하기 위하여 유정압 베어링의 내경인 Ø60mm 이내로 최소화된 커터홀더의 구조설계를 수행하였다.

2.2 3D 구조 설계 및 간섭 확인

AutoCAD를 사용하여 설계된 앵글헤드 스피너들의 설계도면에서 부품은 총 49개로 구성되어 있으며, 2D 설계도면을 참고하여 CATIA S/W에서 3D 형상설계를 완성하였다. 이렇게 완성된 각각의 단품들을 CATIA 프로그램의 Assembly design 모듈을 이용하여 하나의 앵글헤드로 조립하였다. 여기서 Assembly design이란 3D modeling 된 각각의 단품들을 최종 조립했을 때 부품 간의 간섭을 확인하기 위한 과정이다. Fig. 5는 간섭 없이 조립된 앵글헤드의 Assembly design 결과를 나타내고 있다.

Assembly design을 통해 간섭 검사를 수행한 후 앵글헤드의 가상 구동을 통해 의도하는 방향으로 움직이는지를 확인하는 DMU(Digital mock up) 작업을 실시하였다. DMU에 의한 시뮬레이션 결과, 앵글헤드의 구조설계는 간섭이 없이 원하는 방향으로 원활하게 구동함

을 확인하였다.

2.3 앵글헤드의 제작

설계된 도면을 토대로 앵글헤드 스피너들의 각 부품을 제작하였으며, 조립 설계도면에 의거하여 부품을 순서대로 조립함으로써 Fig. 6과 같이 앵글헤드의 제작이 수행되었다.

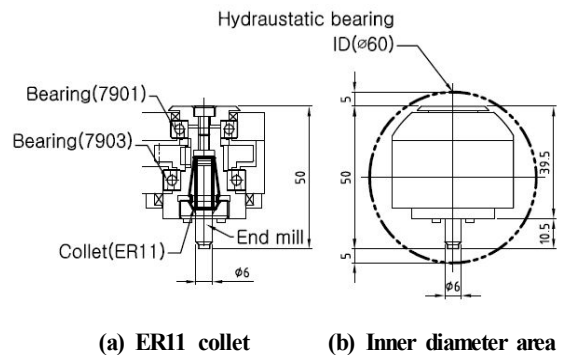


Fig. 4 Holding structure of the cutter

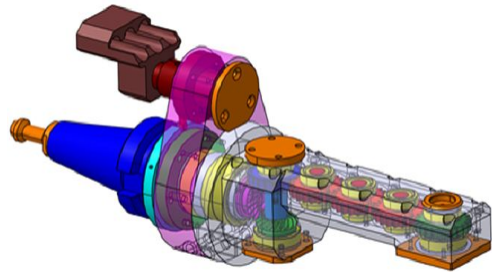


Fig. 5 Assembly design of the angle head

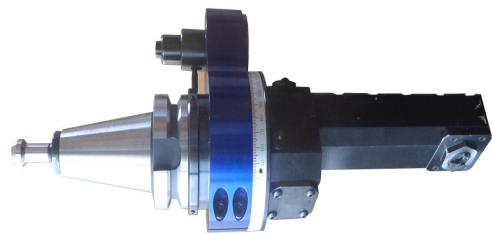


Fig. 6 Assembled angle head

3. 앵글헤드 정적 성능평가

3.1 정적 정도 검사

앵글헤드 정적 정도 검사를 위해 Fig. 7의 (a)와 같은 Gap sensor를 사용하여 앵글헤드의 흔들림, 스핀들 축의 진원도를 각각 측정하였으며, Fig. 7의 (b)와 같은 Digital dial gauge를 사용하여 앵글 스핀들 축의 평행도를 측정 하였다. 모든 정적 검사는 KS 규격(KS B ISO 10791-2)에 따라 실시하였다.

3.2 앵글헤드 흔들림

앵글헤드의 흔들림 측정을 위한 개념도와 실험장면을 Fig. 8에 나타내었다. 앵글헤드를 공작기계에 장착하고 1rpm으로 회전했을 때의 변위를 측정하며 베어링 덮개부의 X, Y, Z 각 축에 Gap sensor를 설치하여 데이터를 측정하였다. 흔들림 실험을 통하여 흔들림 오차를 총 3회 측정 하였으며, 평균값을 나타낸 결과 데이터는 Fig. 9와 같다. 허용오차는 공작기계 스핀들의 끝단인 게이저라인으로부터 100mm지점에서 0.02mm이다. 측정부위는 Angle head의 스핀들부로 게이저라인으로부터 200mm지점에서 측정하였고 따라서 허용오차는 0.04mm이다.

측정결과, X축의 흔들림은 0.0001mm정도로 미미하게 허용오차를 벗어났고, Y축과 Z축의 흔들림은 허용오차 이내에서 변하는 것을 확인할 수 있었다. X축의 오차 0.0001mm는 형상가공 치수정도에 크게 영향을 주지 않을 것으로 예상된다.

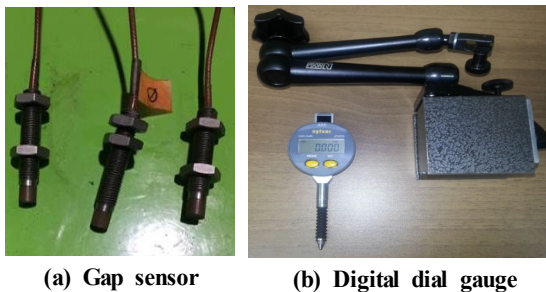


Fig. 7 Measuring instruments for static performance evaluation

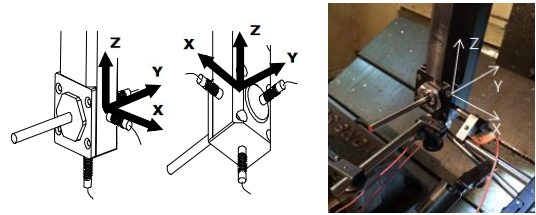


Fig. 8 Measurement of run-out

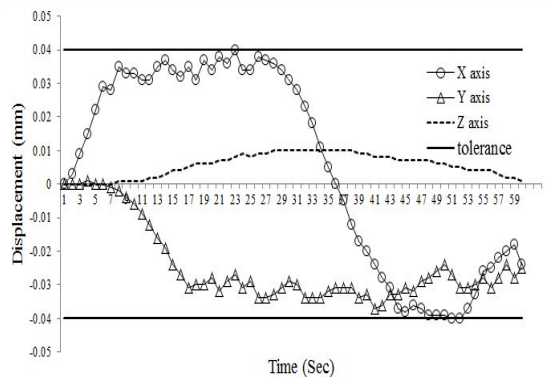


Fig. 9 Displacement variation according to time

3.3 스핀들 축 진원도

앵글헤드의 스핀들 축 진원도 측정 방법은 Fig. 10과 같다. 90mm 연마봉을 장착한 앵글헤드 스핀들을 공작기계에 장착 후 X-Z축에 Gap sensor를 설치하고 1rpm으로 회전시켰을 때 각 위치에서 변위를 측정하였다. 측정부는 연마봉을 장착 후 30mm, 60mm, 90mm의 세 지점으로 나누어 선정하였으며 Fig. 10의 오른쪽 측정 장면에 원으로 표시한 바와 같다. 공작기계가 최초로 움직일 때와 마지막에 멈출 때는 정도에 영향을 주기 때문에 최초의 반 바퀴와 마지막 반 바퀴의 값은 제거한 후 측정데이터로 활용하였다.

측정 결과 각 측정 지점에서의 X축 최대, 최소값, Z축 최대, 최소값이 Fig. 11과 같이 나타났다. 30mm 지점에서 X축, Z축 최대, 최소값 차이는 ± 0.02 에 근접했으며 측정 위치가 앵글헤드 주축 단면부로부터 멀어질수록 최대, 최소값의 차가 큰 것을 확인할 수 있었다.

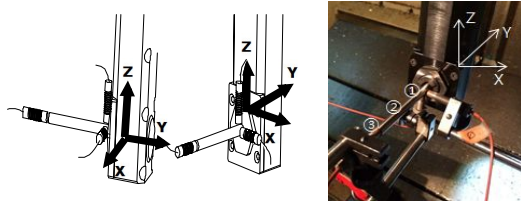


Fig. 10 Measurement of circularity

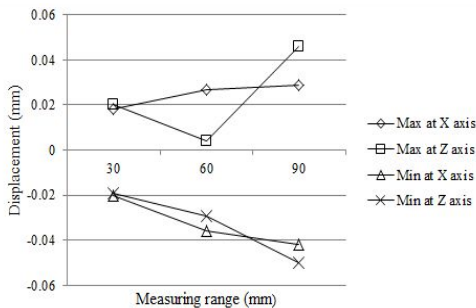


Fig. 11 Displacement variation according to measuring range

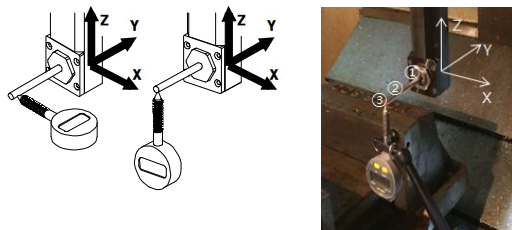


Fig. 12 Measurement of parallelism on spindle shaft

3.4 스피들 축 평행도

Fig. 12는 앵글헤드 스피들 축의 평행도 측정을 나타낸 그림이다. 90mm의 연마봉을 앵글헤드에 장착하였을 때 60mm가 돌출된다. 따라서 첫 번째 위치가 30mm, 두 번째 위치가 60mm, 세 번째 위치가 90mm이다. X축과 Z축 방향으로 Dial gauge를 설치한 후, 첫 번째 위치에 Dial gauge 값을 0으로 맞추고 다이얼 게이지를 이송하여 차이값을 측정하였다. 측정결과는 Table 1과 같다.

Table 1 Measurement data of parallelism

Measuring points	X axis(mm)	Z axis(mm)
30mm	0	0
60mm	0.137	0.01
90mm	0.292	0.02

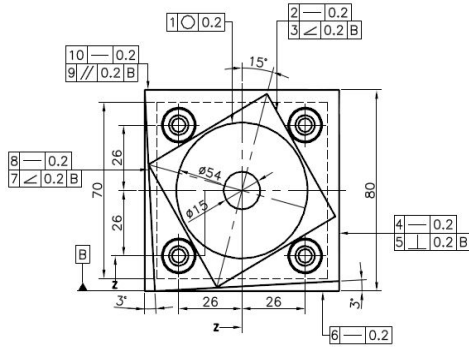
4. 가공 정밀도 평가

앵글헤드 자체만을 위한 동적정도 검사 매뉴얼이 없기 때문에 KS B ISO 10791-7에 기초하여 정밀 공작기계용 표준 가공시편을 활용하였다. KS B ISO 10791-7을 참조하여 가로, 세로 80mm의 시편을 설계하였으며 재질은 열과 부하가 적게 발생하는 알루미늄으로 선정하였다. Fig. 13은 KS규격에 따른 가공 시편의 형상 모델링을 나타낸 것이다. 가공된 시편의 측정 항목은 총 10개로 중심 원의 진원도, 원 주위 마름모의 측면 진직도와 밀면 기준 정밀도, 가로 세로 각 80mm 정사각형의 진직도 및 밀면 기준 직각도와 평행도, 마지막으로 좌측과 밀면 상의 경사면 진직도와 정밀도를 측정하며 각각의 항목들은 유정압베어링 허용 치수 정도 0.2mm를 만족해야 한다.

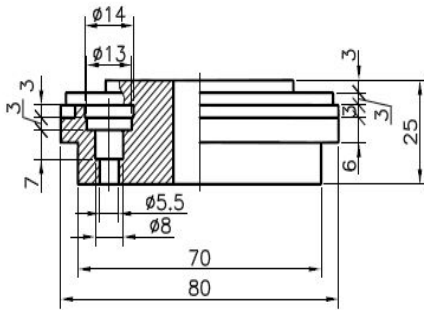
Table 2는 가공 정밀도 측정용 시편의 가공을 위해 선정된 절삭 조건이다. 공구는 앵글헤드 스피들부의 콜렛에 적합한 6mm 평엔드밀을 사용하였으며 공구의 부하를 줄이기 위해 절입은 0.1mm로 선정하였다.

알루미늄 소재 특성상 가공 시 발열량이 적기 때문에 절삭유 사용은 없었으며 낮은 부하를 위해 절삭속도와 이송은 각각 300m/min과 0.1mm/rev로 선정하였다.

시제품 제작을 위해서 사용된 5축가공기는 테이블 킬팅과 테이블 로테이션 메커니즘을 가지고 있는 회전 기계의 M2 5축가공기로 Table 3과 같은 규격을 가지고 있다. Fig. 14는 5축가공기에 앵글헤드를 결합한 모습으로 1번부터 차례대로 Clamp block, Main bearing part, Bevel gear part, Plane gear part, Angle head spindle을 나타내고 있다. 사전에 앵글헤드 스피들들을 적용, 기계에 조립하여 위치를 확인하고 체결볼트의 위치를 확인한 다음 공작기계 스피들 단면에 Clamp block을 체결하였다.



(a) Front view



(b) Side view

Fig. 13 2D Modeling of specimen

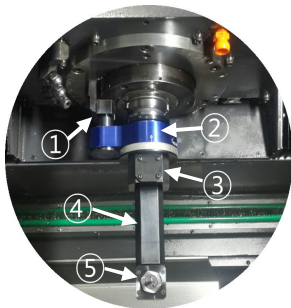


Fig. 14 Angle head attached to five-axis machine tool

No.	Part name
1	Clamp block
2	Main bearing part
3	Bevel gear part
4	Plan gear part
5	Angle spindle

Table 2 Cutting condition

Tool nose radius(mm)	Depth (mm)	Vc (m/min)	Feed (mm/rev)	Cutting oil
0	0.1	300	0.1	off

Table 3 Specification of five-axis machine tool

Modle	M2 five-axis machine
Company	Hwacheon (korea)
Mechanism	Table Tilting - Table Rotation
A-axis	-120~+30° Tilting
C-axis	+999999~-99999° Rotation
Stroke	750×650×500(mm)
Spindle	20,000rpm

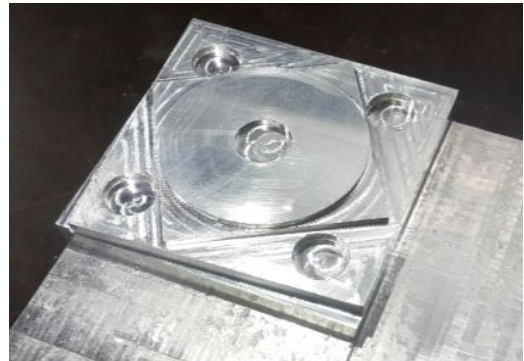


Fig. 15 Finished specimen for inspection

Fig. 15는 최종적으로 가공이 완료된 검사 시편을 나타내고 있다. 가공이 완료된 검사 시편에 대하여 KS 규격(KS B ISO 10791-7)에 따라 3차원 측정기를 이용하여 가공정밀도 측정검사를 수행하였다. Table 4는 Fig. 13에 기입되어져 있는 10개의 측정 부위에 대한 정밀도 측정 결과 값을 보여준다. 측정 결과, 모든 측정 항목에 대하여 0.08mm 이하의 정밀도 수준을 나타냄으로써 유정압 베어링 가공 시 요구되는 목표 치수 정도 0.2mm를 만족하였다.

Table 4 Result of machining precision measurement

Measurement items		Tolerance (mm)	Measurement results(mm)
Center Circle	Circularity	0.2	① 0.0063
Diamond shape	Straightness of each side	0.2	② 0.0125
	Accuracy for the reference plan B	0.2	③ 0.0134
		0.2	④ 0.0428
		0.2	⑥ 0.023
Square	Straightness of each side	0.2	⑩ 0.0532
		0.2	⑤ 0.0539
	Perpendicularity for the reference plan B	0.2	⑨ 0.0733
Slope on the Square	Straightness of each side	0.2	⑦ 0.0246
		0.2	⑧ 0.0090

5. 결론

본 연구에서는 2D 및 3D 모델링과 간섭 확인 과정을 통해 5축가공기를 활용한 내면 형상가공에 최적화된 앵글헤드를 개발하였고, KS규격에 따라, 완성된 앵글헤드의 성능평가를 통하여 아래와 같은 결과 및 결론을 얻었다.

1. 2차원 도면을 기초로 하여 49개의 앵글헤드 부품에 대한 3차원 형상설계를 수행하였으며 Assembly design과 DMU 과정을 통해 앵글헤드가 간섭 없이 구동되는 것을 확인하였고, 이를 바탕으로 내면형상 가공용 앵글헤드를 제작하였다.
2. 제작된 앵글헤드의 완성도를 평가하기 위하여 정적

정도 평가를 실시하였다. 정적 정도 평가는 KS 규격에 따라 실시하였으며 앵글헤드의 흔들림, 앵글헤드 스피들 축의 진원도, 평행도를 Gap sensor와 Digital dial gauge를 이용하여 평가하였다. 측정 결과 대부분 측정 항목에서 허용공차를 만족함으로써 개발한 앵글헤드의 정적 정밀도가 확보되었다.

3. 가공 정밀도 검사를 위해 KS 규격을 토대로 정밀 동작기계 정도 측정을 위한 시편을 설계 및 가공하였다. 가공된 시편의 10개 측정부에 대한 3차원 측정 결과, 개발 목표인 유정압 베어링 허용치수 정도 0.2 mm를 만족하는 것을 확인하였으며 이를 통하여 제작된 앵글헤드의 신뢰성을 확보하였다.

후기

본 연구는 2014년 제주관광대학교 교내연구비 지원사업 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

1. J. S. Kim, W. S. Lee, J. H. Lee, E. T. Lee, Y. H. Lee, S. K. Kang, "Optimized Design of Angle Head for Multi Process Machining of Mono-block", Proceeding of the KSMPE Autumn Conference, pp. 115, 2012.
2. K. R. Kim, H. J. Ko, Y. T. Cho, Y. G. Jung, "Development of Angle spindle for Shape machining of Hydrostatic bearing", Proceeding of the KSMPE Spring Conference, pp. 71, 2013.
3. J. H. Kim, H. J. Ko, Y. T. Cho, Y. G. Jung, "A Design of the Angle Head Spindle for 5-axis inside Machining", Proceeding of the KSMPE Autumn Conference, pp. 62, 2013.
4. J. H. Kim, H. J. Ko, Y. T. Cho, Y. G. Jung, "Development and Performance Evaluation of Angle Head for 5-axis Internal Shape Machining", Proceeding of the International Conference of Manufacturing Technology Engineering 2014, pp. 46, 2014