

CT법을 이용한 진원도 및 직각도 측정에 관한 연구

주만식*, 박범식, 김민주, 이승수(동아대 대학원), 전연찬(동아대)

A Study on the Measurement of Circularity and Perpendicularity Using Circular Test Method

M. S. Joo*, B. S. Park, M. J. Kim, S. S. Lee, E. C. Jeon(Dong-A Univ.)

Abstract

This study for the roundness and perpendicularity of machining center is classified into two ways. one is the way that progresses the roundness amending the parameter of machining center based on the measured value after the measurement of the roundness of machining center by means of a existing measuring device, another is the way that measures the roundness by remodeling the existing measuring device.

The former is studied by pack hei jae team in Seoul university, the latter is studied by TSUTSUMI. Especially TSUTSUMI measures the roundness according to circular compensation after the insertion of developed measuring device using a rotary encoder to the spindle of machining tool.

we study how regulation velocity occuring with circular motion of machining center table influences the roundness after measuring the roundness using Circular Test method by a 2 dimation probe and a standard discus in this experiment.

Key words : roundness(진원도), machining center(머시닝 센터), compensation(보정), rotary encoder(회전량 검출기), 2 dimation probe(2차원 프루브), standard discus(기준원반)

1. 서 론

산업이 점차 발달함에 따라 고정밀도의 제품이 생산되고 있으며, 수요자의 욕구를 충족시키기 위하여 보다 나은 공작기계의 제작이 불가피하다. 이런 필요성에 의해 발달된 것이 CNC 공작기계 및 머시닝센터의 정밀도를 측정하는 기술 및 연구들이다. 이런 측정 기술로는 광간섭법^{1,2)}으로 진직도와 직각도를 측정하는 레이저^{3,4)}와 압전소자와 캡센서 및 기타의 센서들을 이용하여 진원도를 측정하는 기술이 있다. 대표적 공작기계인 머시닝 센터의 정밀도는 이송 및 원호보간운

동을 하는 X-Y테이블의 성능에 좌우된다. 그리고 X-Y테이블의 성능은 진원도, 진직도, 직각도 및 평행도로 나타낼 수 있다. 그리고 이러한 데이터들의 측정에는 머시닝센터 내부의 수정 파라미터를 이용하여 보정한 후 기존 측정기를 사용하여 측정하는 방법과 기존의 측정기를 개조 혹은 특수 제작하여 진원도를 측정하는 형태가 있다. 전자의 방법은 서울대학교 박희재 교수팀에 의해 진행되고 있고^{5,6)}, 후자의 경우는 日本 東京農工大 堤正臣 교수팀에 의해 진행되고 있으며⁷⁾ 어느 정도의 성과를 거두고 있다. 특히 日本 東京農工大 堤正臣 교수팀의 연구에서는 로타리 엔코더를 이용하여 공작기계의 스

핀들에 개발된 측정기를 삽입하여 원호보간에 따른 진원도를 측정하고 있다.

현재 머시닝 센터의 X-Y테이블의 정밀도를 측정하는 측정기들은 고가이고, 취급이 어려운 단점을 가지고 있다. 따라서 저가의 일반화된 하나의 측정기를 가지고, 여러 가지 정밀도를 찾는 연구가 필요하지만, 그다지 진전을 보이고 있지 못한 실정이다.

본 연구에서는 일반화된 2차원 프로브와 기준원반을 이용한 Circular Test법의 개선에 대하여 연구하고, 그 유효성을 검증하고자 한다. 그리고 동일 시스템에 직각정규를 적용하여 직각도를 측정해내는 새로운 측정방법을 시도하고, 그 결과에 대해서도 검증하고자 한다.

2. 종래의 측정방법

2.1 진원도

스위스의 W. Knapp에 의하여 제안된 Circular Test법은 2차원 프로브와 기준원반에 의하여 진원도를 측정한다. 하지만 이 방법은 회전각의 검출이 되지 않는 것과 초기 변위(보통 $40\ \mu\text{m}$) 보다도 큰 변위가 생기면 기준원반과 스타일러스(stylus)가 떨어져 버리는 결점이 있다.

2차원 프로브에 의한 일반적인 측정시스템은 Fig. 1과 같다. 즉, 기준 원반에 접촉한 프로브의 변위는 차지 앰프리파이어로 증폭된 다음 Low pass filter를 거쳐서 A/D 컨버터로 변환시킨 후 컴퓨터에 입력되어 데이터가 처리된다. 이 후 측정결과는 CRT화면에 나타나고 프린터로 출력이 가능하다. 여기서 문제가 되는 것은 이송운동과 data sampling의 동기(同期)를 어떻게 행하느냐는 것이다. 동기 타이밍이 맞지 않으면 원호형상이 원주 방향으로 치우쳐서 그려진다든지, 상한변환시에 일어나는 stick motion의 위치가 한쪽으로 기울어져서 그려진다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 limit switch를 사용하여 이송운동의 개시와 종료 시간을 정기적으로 검출하여 동기시킨다. 그런데 이 방법은 프로브의 스타일러스와 기준원반이 접촉한 상태에서 limit switch가 ON으로 되는

사이의 데이터는 입력되지 못한다. 따라서 이것이 오차에 포함되어 정확한 데이터를 얻지 못한다.

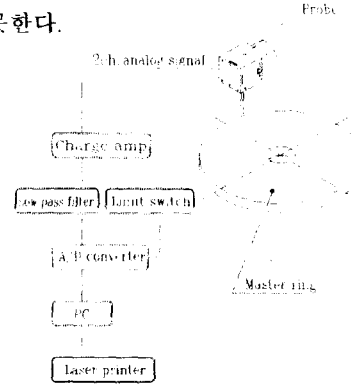


Fig. 1 Measuring system

2.2 직각도

Circular Test법에서 직각도의 측정은 직각정규(square)를 X-Y테이블 위에 X축과 Y축에 나란하게 설치하고 여기에 2차원 프로브를 접촉시켜 각 변마다 직각도를 측정한다. Fig. 2에 직각정규를 이용하여 측정된 내측면의 방향변환부의 직각도를 나타내었다.

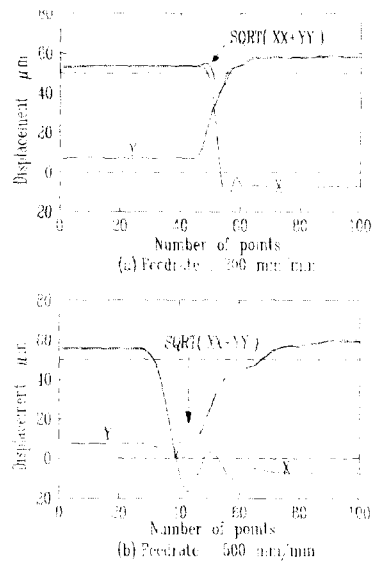


Fig. 2 Measured results along inside square

그림에서와 같이 전반부의 Y축방향의 변위가 마찰에 의해 2차원 프로브와 지연되어 나타남을 알 수 있다. 또한 방향변환부에서

돌기모양의 오차가 나타났다. 이러한 오차의 원인으로서는 기계의 오차, 직각정규의 형상 오차 또는 데이터 처리에 의한 오차 등이라고 생각되며, 이러한 오차의 원인을 분석하기 위해서는 새로운 방법이 모색되어야 한다고 생각된다.

3. 새로운 측정방법

3.1 진원도

본 연구에서는 기계의 이송운동의 시작과 측정개시의 동기를 리미트 스위치를 사용하지 않고 2차원 프로브에서 나오는 아날로그 신호를 trigger에 이용하여 동기시켰다. 그리고 가감속에 의한 원호형상의 일그러짐을 없애기 위하여 2차원 프로브를 720° 회전시켰다. 그 가운데 가감속의 영향을 받지 않을 것으로 생각되는 360° 분의 데이터를 표시하는 프로그램을 작성하였다. 이때 상한변환에 따른 backlash의 영향이 있을 것으로 생각되어 Fig. 3에서와 같이 45°의 위치에서 2차원 프로브를 접촉시켜 측정을 시작하고 225°의 위치에서 360° 분의 데이터를 표시하는 방법을 취하였다.

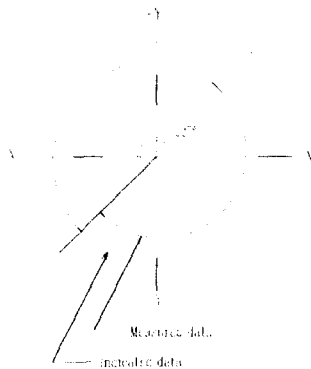


Fig. 3 Visual indication of measuring method

3.2 직각도

직각도의 측정은 진원도의 측정과 마찬가지로 2차원 프로브의 변위(DX,DY)를 식 1)을 사용하여 1차원의 변위 D로 변환하여

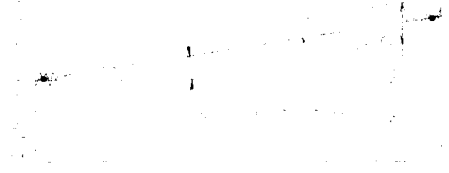


Fig. 4 Method of solving appraised line and straightness

$$D_n = \sqrt{(DX_n^2 + DY_n^2)} \quad (1)$$

여기서 D : 프로브의 변위
DX : X방향의 프로브의 변위
DY : Y방향의 프로브의 변위
n : 데이터의 번호

Fig. 4에 나타낸바와 같이 직선상에 등간격으로 전개한다. 양단의 평균값을 직선(평가직선)으로 연결하고, 각도 α_e (e:변의 번호, 1~4)를 구한다. 평가직선상에 전개된 프로브의 변위와 평가직선과의 차를 운동오차 성분으로 하고, 그 최대차를 진직도라 한다. 그리고 각 변의 시점에서 기준이 되는 변에 대하여 직각인 변의 기준 직선을 구하여 이들과 운동궤적과의 최대차를 직각도도 하였다.

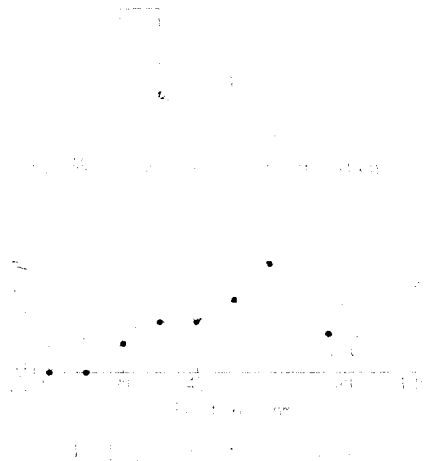


Fig. 5 Measuring direction and displacement of square

본 연구에서는 직각정규의 내측면을 전기 마이크로미터를 이용하여 Fig. 5의 a)와 같이 측정하였다. X축과 Y축의 측정방향은 그

범에서와 같이 a, b방향으로 하였다. 그 결과는 Fig. 5의 b)에 나타낸 바와 같다. 즉, 직각정규의 내측면의 진폭도는 X방향과 Y방향 모두 $3\mu\text{m}$ 이내로 들어왔다. 따라서 Fig. 2에서 나타난 돌기부(projection)의 오차는 직각정규의 형상오차에 의한 것이 아님을 알 수 있다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 새로운 시스템을 적용한 진원도의 고찰

4.1.1 트리거의 영향

본 시스템은 2차원 프로브가 $20\mu\text{m}$ 변위하면 트리거가 걸려서 샘플링을 시작한다. 그런데 이 경우 트리거가 걸리고 나서 2차원 프로브가 초기 변위량 $50\mu\text{m}$ 에 도달할 때까지의 $30\mu\text{m}$ 구간에서 이미 데이터를 샘플링하고 있다. 이 구간에서 샘플링한 데이터는 버려야 하므로 이 때 샘플링한 갯수를 알아야 한다.

트리거에 의해 읽어들이는 데이터의 수를 n_t 라고 하면

$$n_t = \frac{t_0 \cdot N}{L} F \quad (2)$$

여기서 n_t : 트리거의 영향으로 읽어들이는 데이터의 수
 t_0 : 프로브가 $30\mu\text{m}$ 이동하는 동안의 시간 (s)
 N : 샘플링 수
 L : 기준원판의 원주길이 (mm)
 F : 이송속도 (mm/min)

트리거의 영향으로 읽어들이는 데이터의 수는 식 (2)와 같이 이송속도에 관한 1차식으로 되며, 이것은 원호보간운동하기 이전의 데이터이다. 따라서 측정에 의해서 얻어진 N 개의 데이터 가운데 처음부터 n_t 개까지의 데이터를 없애고 360° 분에 해당되는 데이터를 표시하도록 보정하였으며 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 이 때 측정거리는 125mm, 이송속도는 2000mm/min, 측정방향은 시계방향(CW), 그리고 샘플링 수는 2500개로 하였다. 그림에서와 같이 보정전후의

진원도가 $4.85\mu\text{m}$ 로 같기 때문에 트리거가 진원도의 크기에는 영향을 주지 못하지만 원호형상이 원주방향으로 치우치는데 어느 정도 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

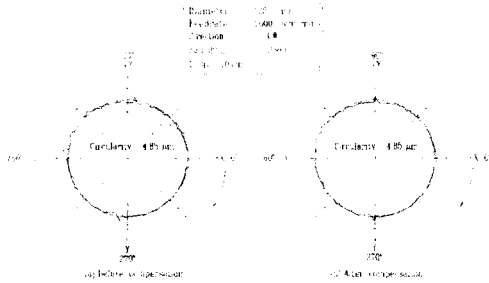


Fig. 6 Comparison of before and after compensation for trigger with circular test

4.1.2 가감속의 영향

Fig. 3의 방법을 적용하였을 때 Fig. 7에서 보는 바와 같이 기존의 방법은 원호형상의 치우침이 발생하지만 본 시스템은 원호형상의 치우침이 발생하지 않는다. 하지만 진원도의 크기변화는 없다.

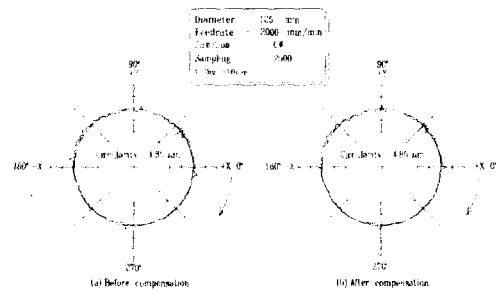


Fig. 7 Comparison of before and after compensation for acceleration

4.1.3 다른 방법과의 비교

Fig. 8은 써클러 테스트법에 의한 것과 본 측정시스템에 의한 진원도 결과를 비교한 것으로서 측정길이 125mm, 이송속도 2000mm/min의 조건으로 시계방향으로 회전시키면서 측정하였다. (a)의 그림은 기존의 써클러 테스트법을 이용하여 측정된 진원도의 크기를 나타내었는데 진원도가 $8.39\mu\text{m}$ 로 크게 나타났다. 여기에 비해서 (b)는 진원도의 크기가 $4.25\mu\text{m}$ 으로 (a)의 써클러 테스트법에 비

하여 약 $4.14\mu\text{m}$ 이 작은 것을 알 수 있었다. 그리고 일반 써클러 테스트법은 스틱모션의 위치가 원주방향으로 치우쳐 있으며, 측정개시 위치에 생긴 돌기가 진원도에 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다. 따라서 기존의 써클러 테스트법보다 본 측정시스템이 보다 정확한 진원도를 나타내었다.

Fig. 9는 Fig. 8과 같은 조건에서 $r\theta$ 법과 본 측정시스템에 의한 진원도의 측정결과를 비교한 것이다. (a)의 그림은 $r\theta$ 법을 이용하여 측정된 진원도의 크기를 나타내었는데 진원도가 $4.38\mu\text{m}$ 이었다. 그리고 (b)의 개선된 시스템을 이용하여 측정된 진원도는 그 크기가 $4.25\mu\text{m}$ 으로 (a)의 $r\theta$ 법에 비하여 약 $0.13\mu\text{m}$ 이 작은 것을 알 수 있었다. 이는 무시할 만한 수치이며, 진원도의 형상과 크기가 비슷하게 나타났다. 따라서 진원도의 측정에서는 본 시스템이 기존의 써클러 테스트법보다 우수하며, $r\theta$ 법과는 거의 유사한 성능을 가지고 있다고 할 수 있다.

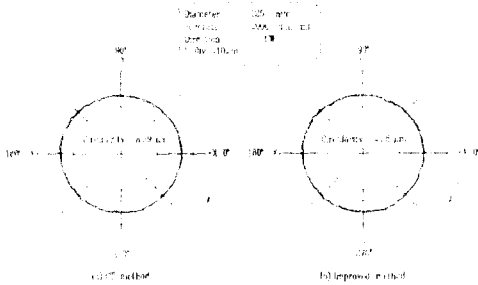


Fig. 8 Comparison of CT and improved method with two-dimensional probe

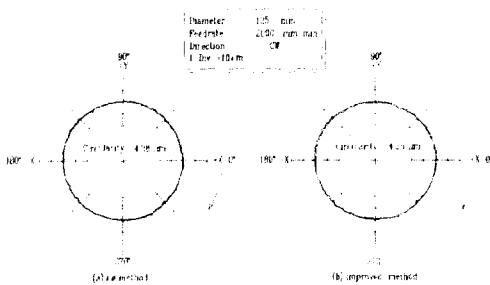


Fig. 9 Comparison of $r\theta$ and improved method with two-dimensional probe

4.2 새로운 시스템을 적용한 직각도의 고찰

본 측정시스템에서는 2차원 프로브에 초기

변위량 $50\mu\text{m}$ 을 주고, 이와 같은 상태에서 직각정규를 따라가며 측정하도록 하였다. 따라서 $50\mu\text{m}$ 부터의 변위량을 기계의 오차로 표시하기 위하여, 데이터 처리 프로그램을 초기 변위량이 항상 $50\mu\text{m}$ 이라고 가정하여 데이터를 처리하였다. 그러나 실제의 움직임은 Fig. 10의 빗금친 부분에 나타낸 바와 같이 방향변환부에서 초기 변위량이 $50\mu\text{m}$ 이상 되어 있다. 따라서 이 위치에서는 실제 기계의 움직임에 의한 오차에 외관상의 오차가 포함되어 나타난다고 생각된다.

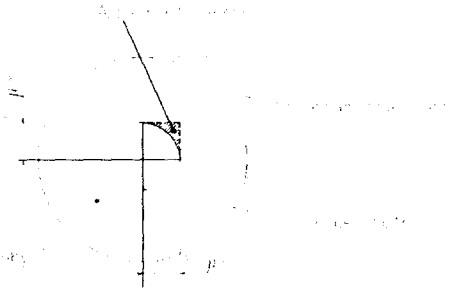


Fig. 10 Visual indication of apparent error

만약 방향변환부에 나타난 돌기 모양의 오차에 외관상의 오차가 포함되어 있다면 초기 변위량을 크게 하면 외관상의 오차도 크게 되며 돌기모양의 오차도 커질 것이다. 그래서 초기 변위량을 $100\mu\text{m}$ 및 $200\mu\text{m}$ 으로 설정하여 같은 실험을 하였으며 그 결과를 Fig. 11 및 Fig. 12에 나타내었다. 이송속도가 $200\text{mm}/\text{min}$ 의 경우, 초기 변위량이 $50\mu\text{m}$ 일 때에는 약 $10\mu\text{m}$ 의 돌기가 아래쪽으로 나타났으나 초기 변위량을 $100\mu\text{m}$ 으로 하였을 때는 약 $25\mu\text{m}$ 의 돌기가 윗쪽으로 나타나 있었다. 더욱이 초기 변위량을 $200\mu\text{m}$ 으로 하였을 때에는 윗쪽에 나타난 돌기의 크기가 $70\mu\text{m}$ 정도 되었다. 이것은 외관상의 오차의 크기에 따라서 돌기가 크게 나타남을 의미한다. 여기서 외관상의 오차가 나타나는 위치는 방향변환부임을 알 수 있었다.

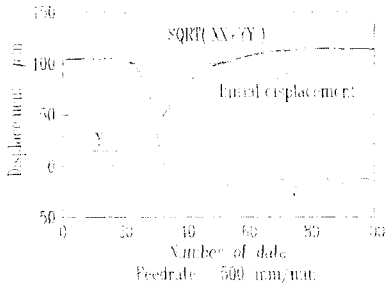
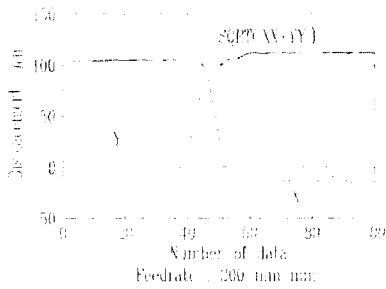


Fig. 11 Displacement of X-Y direction
(Initial displacement : 100 μm)

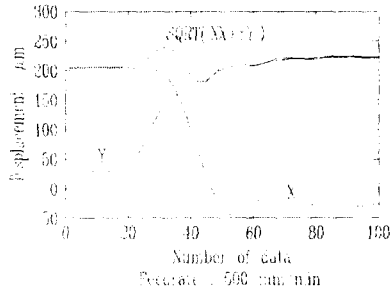
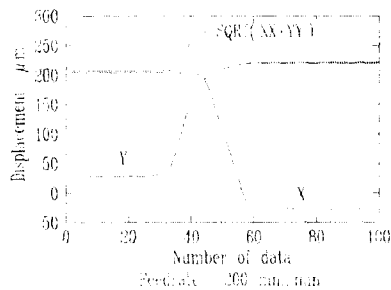


Fig. 12 Displacement of X-Y direction
(Initial displacement : 200 μm)

본 측정시스템이 직각정규의 방향변환부에서 측정한 결과에 대한 신뢰성을 확보하기 위해 머시닝 센터의 시뮬레이션을 행하는 소프트웨어를 이용하여 직선보간운동 시뮬레이션을 실시하였으며, 그 결과를 Fig. 13에 나

타내었다. 시뮬레이션에 관한 결과는 NC지령치에 대한 기계의 지연, 즉 추종지연을 나타내고 있다. 또한 X방향 및 Y방향의 1차원의 변위는 지령치에 대한 지연량을 나타내고 있다. 시뮬레이션에 의한 결과는 본 시스템에 의한 실험결과와 잘 일치하는 경향을 나타내었다.

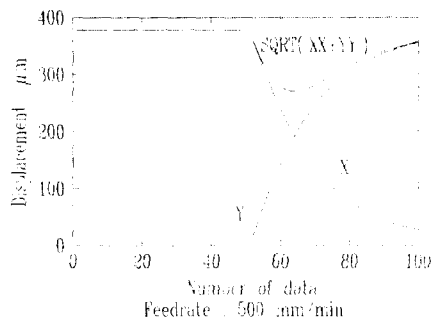
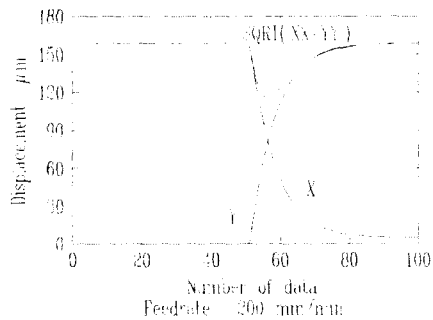


Fig. 13 Simulation in linear motion

본 측정시스템에서 일어난 변위벡터는 Fig. 14에 나타난 바와 같이 기계의 오차벡터, 초기변위량의 벡터 및 마찰벡터의 세 가지로 합성되어 있다. 2차원 프로브가 방향변환위치에 있을 때에는 스타일러스는 직각정규의 X축과 Y축에 동시에 접촉하고 있으므로 정지상태가 되며, 이 때 마찰벡터는 0이다. 그리고 프로브가 X축과 Y축에 평행하게 이동하고 있을 때에는 Fig. 2, Fig. 11 및 Fig. 12와 같이 변위의 크기를 알 수 있고, 방향도 알 수 있다. 그러나 본 시스템은 위치에 대한 정확한 오차를 알 수 없으므로 이것을 보정하는 것은 곤란하며 여기에 관해서는 향후 보완해야 할 과제이다. 만약 위치에

대한 오차를 알면 2차원 프로브의 궤적을 기준으로 하여 그 선상에 데이터를 전개하면 실제 기계의 운동궤적을 알 수 있으며 이것으로 NC제어계의 오차를 평가할 수 있을 것이다.

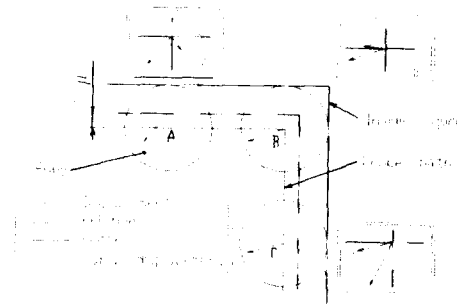


Fig. 14 Visual indication of error vector

5. 결 론

Circular Test법을 기준으로하여 머시닝 센터의 진원도 및 직각도 측정방법에 대하여 새로운 측정시스템을 개발 적용하였으며, 여기서 개발한 측정시스템을 이용하여 진원도 및 직각도에 관한 측정을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 2차원 프로브에서의 아날로그 신호를 트리거로 이용함으로써 진원도 및 직각도는 용이하게 측정할 수 있었다.
- 2) 원호보간운동을 720° 시킨 가운데 360°분의 데이터만 취하는 것에 의해 가감속의 영향에 의한 진원도 형상의 변형을 막을 수 있었다.
- 3) 본 측정시스템은 다른 측정시스템과 비교하여 동등이상의 신뢰도를 얻을 수 있었다.

6. 참고문헌

- 1) 植木正明, 大岩彰, “ヘテロダイン干渉法による油マノメータの液位差の精密測定”, 精密工學會誌, vol. 58, No. 1, pp. 120~126, 1992

- 2) 안근식, 장경영, 문희관 “공간섭법을 이용한 절대높이 측정 정밀도 향상에 관한 연구”, 韓國精密工學會 秋季學術大會論文集, pp. 493~498, 1994
- 3) 정중수, 신동수, “NC 공작기계를 위한 레이저 이용 자동오차 측정 및 보상”, 한양대학교 기계기술연구소 논문집, Vol. 1, pp. 103~118, 1995
- 4) C.R. Steinmetz, “Sub - micron Position Measurement and Control on Precision Machine Tools with Laser Interferometry” PRECISION ENGINEERING, January 1990, Vol. 12, No. 1, pp. 12~24
- 5) 박희재, “정밀도 성능평가를 위한 3차원 측정기 수치모델 개발”, 대한기계학회논문집, 1996
- 6) 문준희, 김영삼, 박희재, 주중남, “기구불바름 이용한 가공기계의 정밀도 평가 및 향상 기술개발”, 한국정밀공학회지, Vol. 13, No. 6, pp. 114~121, 1996
- 7) M. Tsutsumi, K. Sakai, “New Measuring Method of Circular Movement of NC Machine Tools”, JSME International Journal, Vol. 36, No. 4, pp. 463~469