

육안검사 시편개발에 관한 연구

정종윤* · 황영수* · 이춘만** · 문덕희*

* 창원대학교 산업시스템공학과

** 창원대학교 기계설계공학과

A Study on the Development of a Macrography Specimen

Jong-Yun Jung* · Young-Su Hwang* · Choon-Man Lee** · Dug-Hee Moon*

* Dept. of Industrial & Systems Engineering, Changwon National University

** Dept. of Mechanical Design & Manufacturing Engineering, Changwon National University

High-speed machining is one of the most effective technologies to improve productivity. Because of the high speed and high feed rate, high-speed machining can give great advantages for the machining of dies and molds. High speed machine tool makers try to find best machining condition with the one that they have built. Machine builders need to develop test specimen since it helps finding characteristics of machine tools when the machining properties of the specimen are analyzed. This paper develops test specimen to identify features of the main spindle, the feeding device, and the frame of a machine tool.

Keywords : Highspeed machining, Macrography specimen, Surface roughness, Machining error

1. 서론

최근 산업의 급속한 발전과 더불어 각종 기계 구성 부품의 고정밀 및 고능률 가공에 대한 요구가 급증하고 있다. 가공정밀도의 개선은 제품의 부가가치를 높여주고, 생산성의 개선은 가공경비를 감소시켜 가격 경쟁력을 높여준다. 그러나 기존의 일반절삭에 의해서는 각종 공구 및 공작물의 재질에 따른 절삭조건에 의해 이러한 요구에 부응하지 못하고 있다. 이러한 관점에서 고속가공은 생산성 향상과 밀접한 관계가 있으며, 자동차, 항공기, 전자, 기계산업등에 적용되어 가공능률 향상과 추가공정 감소로 인한 경비절감을 피할 수 있어 최근 이에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.[1]

공작기계의 가공정밀도는 요소부품의 기하학적 정도와 조립정도에 의해 결정이 되고, 실제의 가공에 있어서는 가공에 따른 절삭력 및 기계의 내외에서 전달되는 진동 등 여러 가지 외부환경이 가해져 피가공물의 표면 거칠기, 표면형상등의 가공정밀도가 저하된다. 또한 NC

data의 입력치로 가공형상이 생성되나 여러 요인으로 가공오차가 발생하기 때문에 공작기계의 특성 평가를 할 수 있는 표준형상과 형상 방법의 확립이 필요하다.[2]

따라서 공작기계의 제작자는 제품의 생산과 함께 고속가공기술의 개발이 필요하나, 현실적으로 가공기술만을 위한 부서의 운영이 힘들고 독자적으로 가공기술을 개발하는데에는 한계가 있다. 또한, 고속가공기의 성능을 일일이 측정기를 통하여 측정한다면, 시간 및 비용의 낭비가 심하게 될 것이다.

이에 본 논문은, 정밀 측정장비 없이 육안으로만 공작기계의 특성을 쉽게 분석할 수 있는 시편을 개발하여, 이를 2대의 고속가공기로 가공하여 현재 상태를 비교분석하여 공작기계를 진단하고자 한다.

2. 검사평가 항목 선정

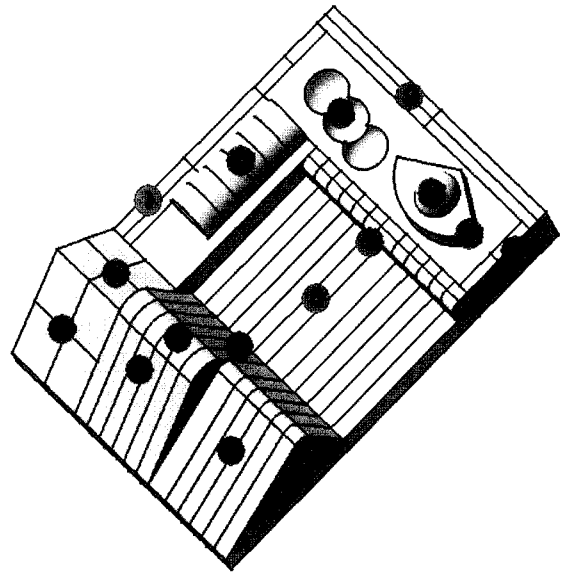
고속 공작기계에 있어서 중요한 문제점을 두가지로

생각하면, 고속화의 입장과 고정밀화의 입장이다. 고속화의 입장에서는 주축등과 같은 회전운동요소나, 테이블등과 같은 직선운동요소의 고속운동에 기인하는 강제진동과 절삭능률이 높아짐에 따라서 재생형 채터진동을 체크해야 한다. 고정밀화의 입장에서는 일반 공작기계보다 높은 정강성 및 동강성의 확인과 열원에 의한 열변형의 체크가 필요하다.[3]

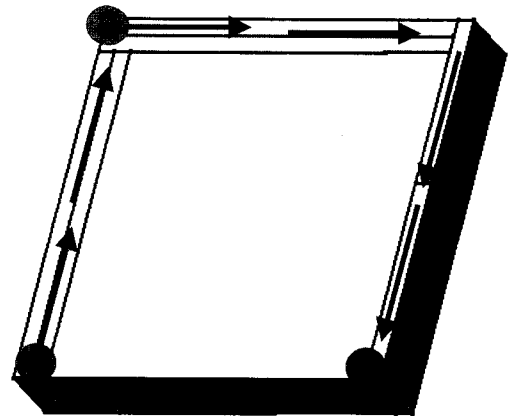
위의 고속 공작기계 중요문제점의 체크를 토대로 육안검사시편을 일반계의 직·간접적 방법을 응용하여, position error, 직선 및 회전운동 정밀도, 형상 정밀도, 미세가공성등에 입각하여 형성하였다.

Position error는 공구의 이송시 빠른 피드에서도 이송오차 및 백래쉬등이 일어나지 않는 정확한 위치제어 확인을 위해 꼭 필요한 부분으로서, X,Y,Z의 전체 축제어를 볼 수 있는 형상이 필요하다. 직선 및 회전운동 정밀도는 공구의 일정한 이송과 feed의 변화에 따른 축제어 등을 판단하기 위한 부분으로서 검사시편항목에 필요한 부분이다. 그리고, 형상 정밀도도 가공품의 표면거칠기 및 가공오차에 대해 상당히 영향을 끼치는 부분으로 검사항목에 선정하였다. 마지막으로, 미세 가공은 기계의 빠른 feed에서의 미세한 위치 제어를 보는 것으로, 미세구간의 축제어를 보고자 함으로 검사항목에 삼입하였다.[4]

이를 기반으로 앞선 논문에서 시편을 모델링하여, 가공 및 평가를 하였다.[5][6] 선행연구 논문들에서 드러난 검사시편으로서의 부족한 점을 보면, 우선 대부분 육안으로서 좀 더 쉽게 확인을 할 수 있어야 하며, 표면거칠기 상승을 위해서 피크피드의 축소와 시편의 크기로 인한 가공시간의 과다 소요등이 있었다. 이러한 점을 보완해서 좀더 나은 육안시편에 근접하기 위해서 다음과 같은 각 검사 평가항목의 선정부위를 CATIA 상용 CAD Software프로그램을 이용하여 모델링을 하였다.[7]



<그림 1> 검사시편 모델링



<그림 2> X,Y,Z축 열변형 확인 모델

3. 육안검사 시편 모델링

앞에서 고속가공기로서 체크가 필요한 부분을 모두 평가하기 위해 <그림 1>과 같은 검사 시편을 모델링 하였다. 각 부분의 번호는 검사시편으로서 체크해야할 부분을 나열한 것이다.

3.1 각 축의 열변형 단차 확인

<그림 1>의 ①-③ 은 X,Y,Z축의 열변형 단차를 보기 위한 것으로 가공경로는 <그림 2>와 같다.

정삭 가공 시작 시 열변형 확인 부분 이전부위를 가장 먼저 가공한 후 맨 마지막 가공에서 뒷부분을 가공함으로써, 열변형 보정을 위한 단차를 손으로 만져 촉감으로 확인한다.

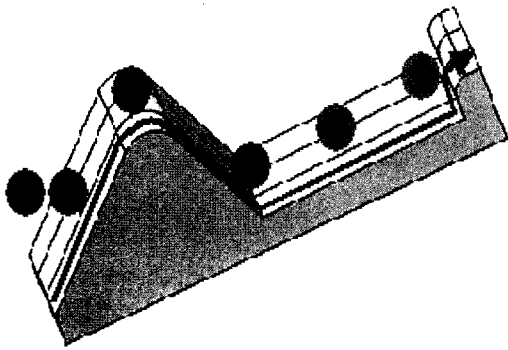
3.2 경사각에 따른 축과 표면거칠기 및 가공오차 확인

<그림 1>의 ④-⑨는 경사각에서의 이송속도와 rpm에 따른 표면거칠기 확인과 주축의 떨림 및 축제어를 보기 위한 모델이고, 가공 경로는 <그림 3>과 같다.

<그림 3>의 ④, ⑤은 30° 및 45° 경사각에서 상향방향의 표면거칠기 및 가공오차 확인을 위한 부분이다. 주축

회전속도는 12,000rpm, 16,000rpm, 20,000rpm이고 각각 이송속도를 6,400mm/min, 9,600mm/min을 설정하였다.

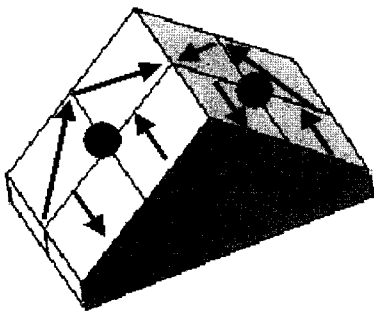
⑥은 상향방향으로 공구가 타고왔을때의 상한돌기 부분을 확인하기 위한 구간이다. ⑦은 공구가 하방향으로 타고 내려와 평면과 만났을 때의 Z축 떨림을 육안으로 확인하고자 하는 구간이고, ⑧은 1°의 경사면을 주어서 미세한 각도의 축 제어를 확인하고자 하는 구간이다. 마지막으로 ⑨는 공구가 1° 경사면을 가공하면서, 측벽을 만났을때 축의 측벽제어의 정확도를 확인하고자 하는 구간이다



<그림 3> 경사각에 따른 측정 모델

3.3 X,Y,Z 축 동시제어 확인

X,Y,Z의 동시 축제어를 확인하기 위해서 <그림 4>의 ⑩, ⑪과 같이 화살표 방향으로 공구경로를 생성하였다.

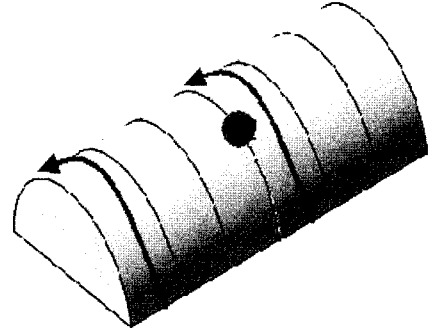


<그림 4> 축 동시제어 확인 모델

⑩은 45° 상향 경사면에서의 다축제어를 확인하기 위한 부분이고, ⑪구간은 가공경로는 같지만 하향 경사면에서의 다축제어 확인 구간이다. 가공 조건은 주축회전속도는 20,000rpm이고, 이송속도는 10,000mm/min으로 설정하였다.

3.4 원통형상의 표면거칠기 및 가공오차 확인

<그림 5>의 ⑫부분은 원통에서의 rpm 및 feed에 따른 표면거칠기 및 가공오차를 확인하기 위한 모델이다.



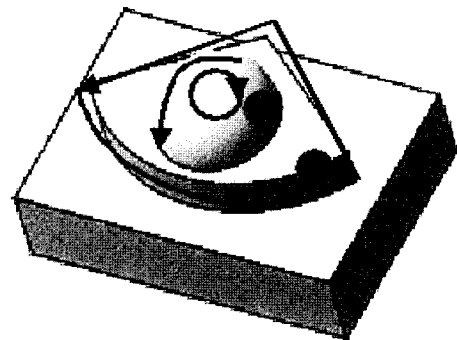
<그림 5> 원통 구간 측정 모델

가공 조건은 직선경사구간과 같은 조건인 주축회전속도는 12,000rpm, 16,000rpm, 20,000rpm으로 설정하였고, 각각 rpm에 따른 이송속도는 6,400mm/min, 9,600mm/min으로 총 6개의 구간으로 나누어 설정하였다.

3.5 X,Y축 상한돌기와 축 정밀도 확인

<그림 6>의 ⑬은 원가공시의 축 정밀도 확인을 위한 구간이고, ⑭는 X,Y의 상한돌기 확인을 위한 모델이고, 측정부위 및 공구경로가 나타나 있다.

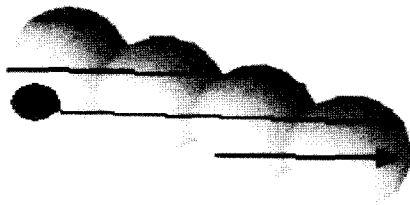
90°의 각도가 넘어가는 구간에서 X,Y의 상한돌기를 확인할 수 있기 때문에, ⑭의 120°의 부채꼴 양끝에서 X,Y의 상한돌기를 확인할 수 있다. ⑬의 원은 처음 정삭시에는 Z-level(원을 돌면서 타고내려오는 가공)가공을 한 후, Sweeping(원을 직선으로 타고넘는 가공)가공을 함으로서 가공상태를 확인하여, 각 축의 정밀도 및 열변형을 확인하고자 하는 구간이다. 가공 조건은 주축회전속도는 20,000rpm이고, 이송속도는 10,000mm/min으로 설정하였다.



<그림 6> X,Y축 상한돌기 및 측정밀도 확인 모델

3.5 미소이소지정경로의 정확도 확인

<그림 7>의 ⑮는 반경이 작은 여러개의 반구를 고속의 feed로 음각 가공하여, 구면이 얼마나 정확하게 가공되고 반구가 겹치는 부분의 날이 얼마나 잘 살아있는지를 확인하기 위한 모델이다. 가공 조건은 주축회전속도는 20,000rpm이고, 이송속도는 10,000mm/min으로 설정하였다.



<그림 7> 미소이송지정 확인 모델

4. 시편가공 및 가공성 평가

육안검사 시편을 위한 모델링을 가지고 실제 고속가공기의 현재 절삭성 상태 점검을 위해서 두 고속가공기를 이용하여, 실제 절삭을 하여 현재상태를 비교 및 분석을 하였다.

4.1 시편의 준비와 절삭 조건

<그림 1>의 모델링을 가공하기 위한 <표 1>은 검사시편의 크기 및 가공 방법이다. 공구경로는 CATIA를 사용하여 생성하였으며, 실제 가공시 가공조건을 따로 주지 않은 곳은 <표 2>와 같이 수행하였다.

<표 1> 절삭시편의 준비

적용설비	고속5축가공기(독일 D사, 일본 M사)
소재 및 치수	AL6061, 140*200*100
총가공시간	2Hr 30min
CAD/CAM	CATIA MODELING, VERICUT Simulation
가공방법	3축가공

<표 2> 시편의 절삭 조건

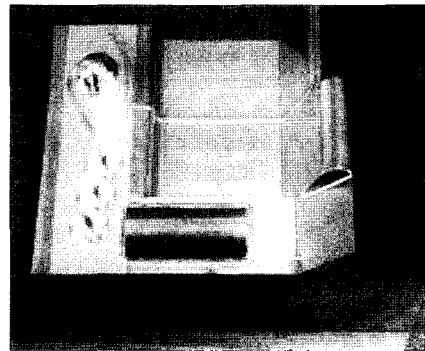
순서	가공부위	공구	공정	회전수 (rpm)	이송 속도 (mm/min)	절입량 (mm)	가공 시간 (min)
1	Roughing	φ10 fem	황삭	16,000	8,000	0.5	1hr
2	SweepingProfile	φ8 bem	중삭	16,000	8,000	0.2	20min
3	Sweeping Profile Spiral Z-Level	φ6 bem	정삭	20,000	10,000	0.1	1Hr 10min

위와 같은 조건을 가지고 육안 검사시편을 각각 독일 D사에서 개발한 D model의 고속가공기와 일본 M사가 개발한 V model의 고속가공기의 현재 상태를 서로 비교하였다.

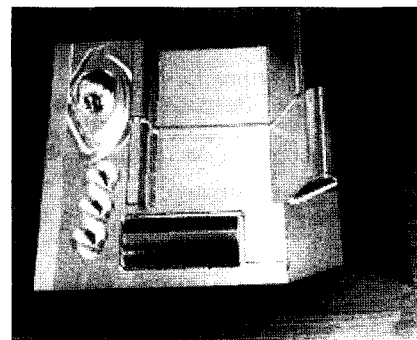
4.2 가공 후 시편의 형상과 평가 및 측정

모든 조건을 동일시하여 가공을 하였고, 실제 가공한 시편은 <그림 8>와 <그림 9>처럼 나타났다.

가공 후 육안이나 촉감으로 시편을 확인하여, 고속가공기를 평가하였으나 좀 더 정확한 판단을 위해서 3차원 측정기(CMM)와 전자 현미경을 통한 장비의 가공성을 평가하였다.



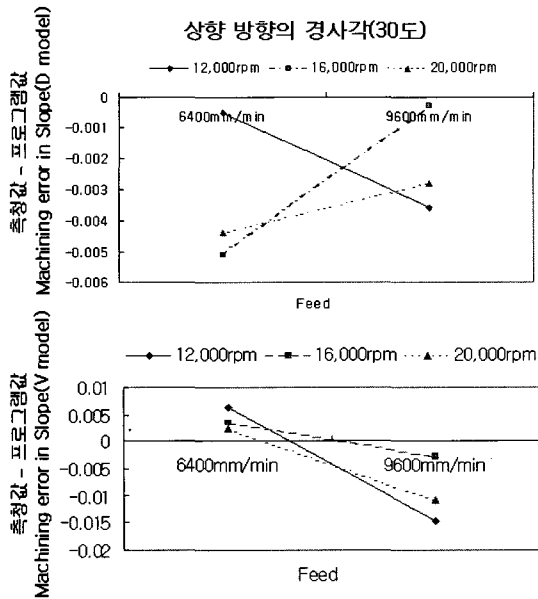
<그림 8> 독일D사 D model 가공시편



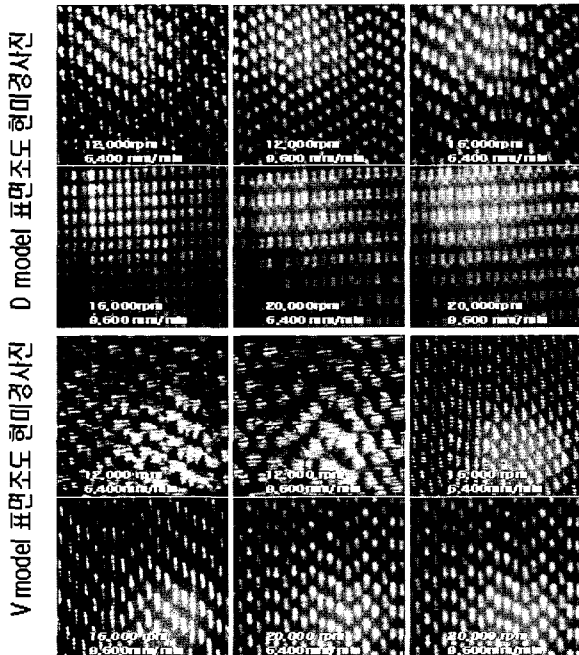
<그림 9> 일본M사 V model 가공시편

4.2.1 경사각에 따른 축과 표면거칠기 및 가공오차 확인

육안 및 촉감으로 확인해본 결과 D model의 표면거칠기는 모든 구간에서 전체적으로 깨끗하고 결무늬도 일정하게 나타나는 반면, V model의 표면거칠기는 좀 더 거칠고, 결무늬도 일정하게 생성이 되지 않고 각 길이의 구간에 따라서 다르게 나타나는 축떨림의 경향을 보였다. 좀 더 정밀한 판단을 위해서 CMM과 전자현미경을 사용한 거칠기 및 가공오차를 확인하였다.



<그림 10> 30° 경사면에서의 가공오차



<그림 11> 30° 경사구간에서의 현미경사진

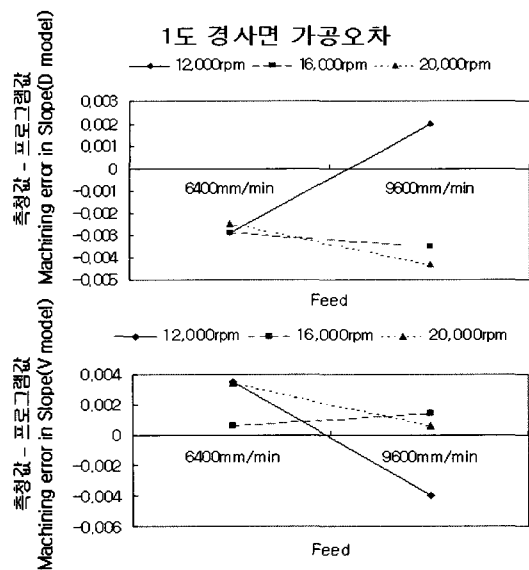
30° 구간에서의 가공오차를 비교하면 <그림 10>과 같다. <그림 10>에서 30° 구간의 경사 가공오차를 보면, 전체적으로 D사의 가공오차가 상당히 적게 나타난 것을 알 수 있다. 하지만 V model의 가공오차도 D model보다 크게 나타나나 전체적으로 안정된 가공오차를 가지고 있음을 알 수 있다. 그러나, <그림 11>에서의 현미경 사진을 보면 육안으로 본 것처럼 D model의 표면거칠기는 전체적으로 깨끗하고 결무늬도 일정하게 나타나는 반면, V model의 표면거칠기는 전체적으로 축떨림에 의한 거칠기가 확인되었으며, 결무늬도 일정하게 생성이 되지 않고 각 길이의 구간에 따라서 다르게 나타나는 경향을 보였다.

45° 경사구간도 30°와 비슷한 경향이 나타났다. D model은 30°와 유사하게 표면은 약간 더 거칠지만 결무늬의 일정성을 보였으나, V model은 축떨림의 영향 때문에 전체적 무늬의 일관성이 없고, 약간 거친 표면이 나타났다.

하향방향의 표면 거칠기는 육안으로의 확인도 두 가공기 모두 상향보다는 거칠게 나타나는 일반적 하향절삭의 경향이 나타났다.

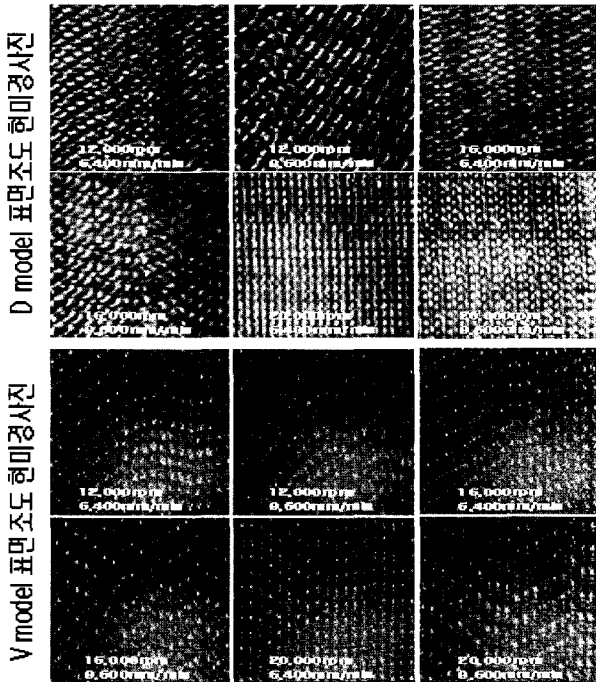
정밀측정 결과를 보면, 30° 뒷구간의 하향가공보다 45° 뒷구간의 하향가공의 가공오차가 좀 더 크게 나타난 것을 보아 같은 경사면이라도 길이구간이 커질수록 공구 부하가 많이 걸려 가공오차가 좀 더 커지는 것을 알 수 있었다.

1° 경사면에서의 육안확인을 해 보면, 세밀한 형상을 띄고 있다. 여전히 D model은 전체적 무늬의 일관성이 보이는 반면, V model은 무늬의 일관성이 잘 나타나지 않아 현재 축 떨림의 세팅상태가 좋지 않게 나타나서 수정을 해야함을 알 수 있다.

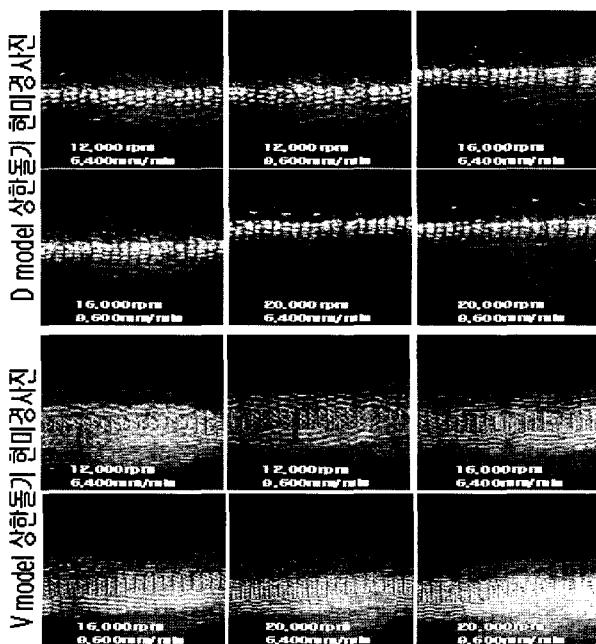


<그림 12> 1° 경사면에서의 가공오차

1° 경사면에서의 가공오차를 살펴보면 <그림 12>와 같다. 두 고속가공기 모두 가공오차는 상당히 안정되어 있음을 알 수 있어서 Z축 가공오차의 정확도가 상당히 우수함을 알 수 있다. 그러나, 표면거칠기에서는 육안에 서처럼, <그림 13>의 현미경 사진은 V model이 무늬의 일관성이 나타나지 않음을 보인다.



<그림 13> 1° 경사구간에서의 현미경 사진



<그림 14> 상한돌기 구간에서의 현미경 사진

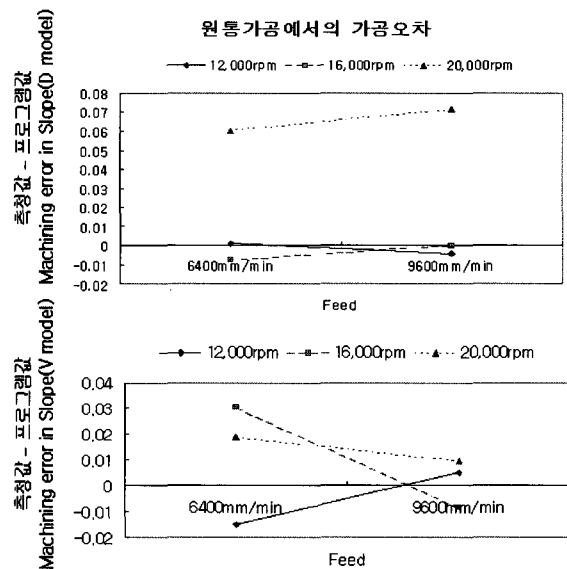
직선의 상향과 하향 사이의 상한돌기 구간은 D model은 전체적으로 깨끗하게 잘 살아 있음을 보이는 반면, V model의 상한돌기는 전체적 구간 모두 스크래치현상이 나타나서, 축제어의 문제가 있음을 알 수 있다.

<그림 14>는 상한돌기 원호 부분의 현미경 사진을 나타낸 것인데, 전체적으로 원호구간이 매끄럽고 미끈한 가공을 하여 축제어가 상당히 좋게 나타나는 D model과는 달리 원구간을 몽개버린 듯한 형상을 보여 V model의 Z축 제어가 현재 상당히 좋지 않음을 알 수 있다. 그리고 상한돌기는 rpm이나 feed에 영향을 크게 받지 않는 것으로 육안 및 현미경사진으로 확인 할 수 있다.

4.2.2 원통형상의 표면거칠기 및 가공오차 확인

원통구간 표면거칠기는 상한돌기 때와 마찬가지로 D model과 V model의 차이를 확연하게 느낄 수 있었다. 원형상의 가공에서 V model은 스크래치가 심하게 나타나서, 현재의 원반경 제어 문제가 심각하게 나타났다. 그리고, 전체적 rpm이나 feed별 특성이 잘 나타나지 않았는데, 이것은 원통인 관계로 이송 속도가 제대로 나지 않은 현상으로 나타난다.

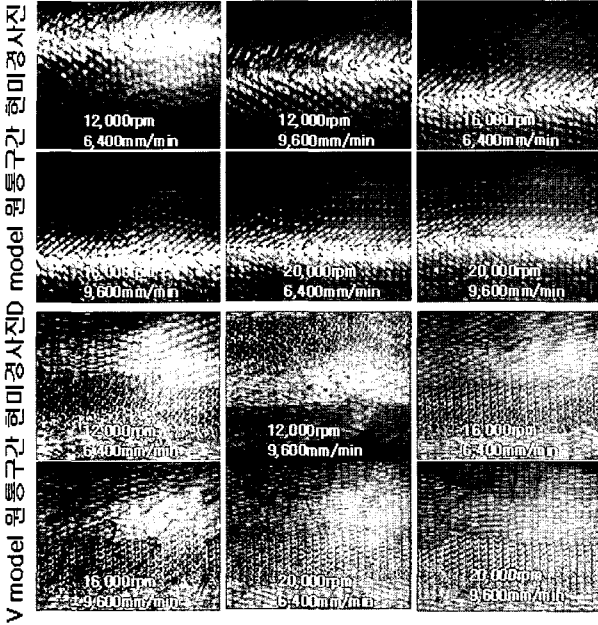
<그림 15>에서 가공오차는 두 장비 모두 직선 구간에서 보다 가공오차가 커진 경향을 보였다.



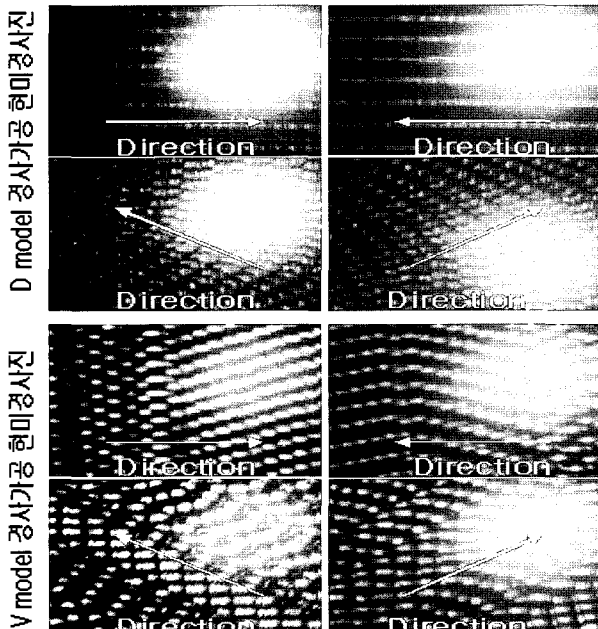
<그림 15> 원통에서의 가공오차

<그림 16>의 현미경 사진을 통해서도, D model은 상한돌기때처럼 매끈하게 원통이 가공된 반면, V model은 원을 눌러 놓은 듯한 형상이 나타남을 알 수 있다. 이것으로 현재 V model의 원제어 상태가 상당히 좋지 않아

육안으로 단이져 있는 것을 볼 수 있을 정도여서, 원보 간 제어의 시급함을 확인할 수 있었다.



<그림 16> 원통구간에서의 현미경 사진



<그림 17> 피라미드 형상의 현미경 사진

4.2.3 X,Y,Z축 동시제어 확인

45° 경사의 가공 방향에 따른 표면형상을 육안으로

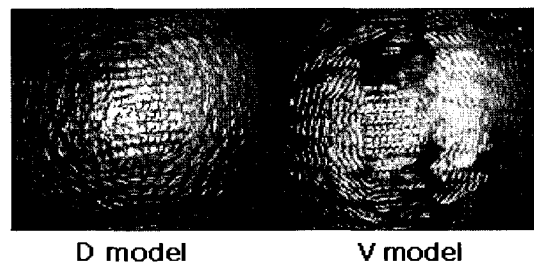
확인해 보면, D model은 공구경로에 따라 형상이 잘 나타나져 있으며, V model은 경로에 따라 일직선이 아니라, 약간 휘어져 있는 표면형상이 나타나서 여전히 축제어의 문제점을 보이고 있다.

현미경사진을 통한 공구 이송에 표면 형상은 <그림 17>와 같이 나타났다. D model 축제어 상태가 좋아서 공구경로를 따라 가공 무늬가 일직선으로 깨끗하게 가공되어 있음을 확인할 수 있고, 제어가 좋지 못한 V model을 살펴보면, 구간마다 일정하게 나타나지 않고 축의 떨림에 의한 가공 경로가 매끈하지 못함을 살펴볼 수 있다.

4.2.4 X,Y축 상한돌기와 위치 정확도 확인

같은 정삭코드에서 Z-level가공 후 Sweeping가공을 하여 원 정확도 가공에 의한 축 제어를 확인하는 것이다. 현재 축제어 상태를 살펴보면, D model의 반구 형상을 살펴보면, Z-level의 흔적과 Sweeping의 흔적이 동시에 나타나 있어 동시 축제어가 잘되고 있음을 볼 수 있지만, V model의 현재 동시 축제어 상태를 살펴보면 원이 깨어져 있는 듯한, 떨림에 의해 제대로 원의 형상이 나타나지 않음을 확실히 알 수 있다. <그림 18>은 반구형상을 현미경 사진으로 나타낸 것이다.

부채꼴의 90°가 넘어가는 부분의 X,Y의 상한돌기는 D model과 V model 모두 좋게 나타났다.



<그림 18> 축의 위치정확도 확인 현미경 사진

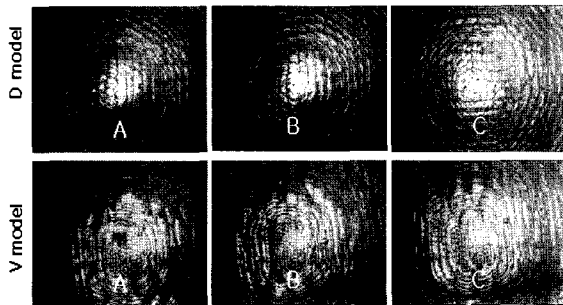
4.2.5 미소지정이송과 열변형 확인

D model의 경우 반구 가공과 비슷하게 보기 좋은 형태의 반원형상을 가지고 있으나, V model의 경우에는 직선구간보다 특히 원 구간에서의 축제어가 상당히 좋지 않아서, 원 형상이 뭉개지는 경향이 나타나고, 군데 군데 패인 흔적들을 육안 및 현미경 사진 <그림 19>에서 확인할 수 있다.

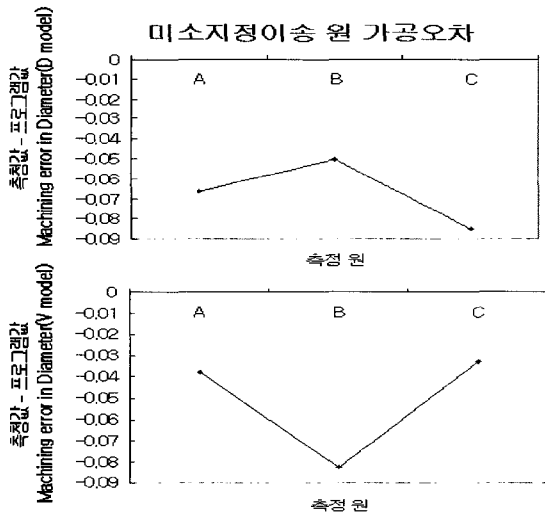
<그림 20>의 두 model 가공오차를 살펴보면, 전체적 경향은 둘다 비슷하다. 직선 구간보다는 여전히 원구간 제어가 좋지 않게 나타난다. 미소지정이송의 가공오차는

어느정도 비슷하나 가공 형상은 상당히 차이가 난다.

열변형 단차를 확인해 보면, D model의 열변형 단차는 손으로 만져보았을때 단차가 거의 느껴지지 않는 우수한 열변형 보정을 기계가 가지고 있음을 확인 할 수 있었으며, V model의 경우에는 단차가 확인은 되나 축재어가 현재 상태가 전체적으로 좋지 않기 때문에, 축에 의한 단차인지 열변형에 의한 단차인지의 확인은 정확하게 알 수 없었다.



〈그림 19〉 미소지정이송 형상의 현미경 사진



〈그림 20〉 미소지정이송 가공오차

5. 결론

현재 사용되고 있는 종래의 일반적인 공작기계의 평가 방법으로는 고정밀 고속가공 장비의 성능을 평가하기에는 여러 가지 문제점을 가지고 있다. 이에, 외국 및 국내의 많은 연구를 통해서 서서히 윤곽이 드러나고 있는 실정이다.

본 논문에서는 육안 검사 시편 개발에 대해 검사 평가 항목을 선정하고 부합되는 형상을 모델링 및 가공하여, 두고

속가공기의 현재 기계 절삭성 평가를 해 보았다.

본 연구에서 제시한 육안검사이편을 통한 독일D사의 D model의 현재 기계적 특성을 살펴보면,

D사 D model 고속가공기의 현재 상태는 X,Y,Z의 축재어 상태가 상당히 양호하고, 기계자체의 우수한 열변형 보정을 가졌지만, 원구간의 전체적 미절삭의 보정이 필요한 상태를 알 수 있다.

다음은 일본 M사 V model 고속가공기의 특성을 분석해 보면,

M사 V model 고속가공기의 현재 기계 상태는, 경사구간이 높아질수록 커지는 가공오차와, 측벽에서의 제어, 원구간의 가공오차가 크게 나타나는 X,Y,Z 축 전체의 제어 세팅을 다시 해야 할 것이다.

이상과 같이 육안검사 시편으로 기계장비 특성에 대하여 분석을 행하여 보았다. 시편으로 기계 축재어 및 떨림, Feed 별 표면거칠기 등 여러 가지 등을 육안으로 어느 정도 판별이 가능하게 되었다. 본 연구에서 개발한 육안검사 시편을 이용하면 가공중에 정밀 측정장비 없이도 고속가공기의 가공특성을 알아 볼 수 있는 장점이 있다. 그리고, 본 연구에서 예시로서 사용한 2대의 고속가공기에 의해 가공한 시편의 결과를 확인함으로써, 가공기의 가공특성을 면밀히 분석할 수 있었다. 이를 이용하면 정밀 측정시에 발생하는 많은 시간을 절약하여 가공기의 특성을 분석할 수 있다. 하지만, 어떤 부위의 축이 문제가 있는지 정확하게 판별이 어려운 점, 아직 정확한 판별자료의 제시가 없기 때문에 확실한 기계 상태의 판단 유무에 대해서는 미흡한 부분이 존재하고 있다. 현재 상태에서는 계속 육안검사이편을 보완해 나가는 상태이고, 이 자료를 토대로 더 나은 검사이편의 변형을 이루어, 차후에 어느 정도 표준이 되는 시편으로 정착에 많은 도움이 될 것이다.

후 기

이 논문은 2003년도 창원대학교 연구비와 과학기술부 · 한국과학재단 지정 창원대학교 공작기계 기술연구센터의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

[1] 김철희, 김전하, 강명창, 김정석, “고속가공에서 미시적 정밀도의 특성평가”, 한국공작기계학회 추계학술대회 논문, pp. 352-257, 2001.
 [2] 두승, 홍주원, 서남섭, “볼엔드밀에 의한 경사면 가공시 절삭력 및 가공오차에 관한 연구”, 한국정밀공학회지, Vol. 18 No. 7 pp. 112-119, 2001.

- [3] 김석일, 최대봉, 강종표, 김남경 공역, “최신공작기계 설계기술”, 반도출판사, pp. 237-240, 1998.
- [4] 이우영, “고정밀 고속가공 시스템 평가방법 개발(II)”, 한국기술교육대학교, pp. 4-6, 2002.
- [5] 정종윤, 황영수, 이춘만, 고태조, 정원지, “고속가공을 위한 검사시편개발에 관한 연구”, 산업경영시스템학회 춘계학술대회, pp. 203-206, 2003.
- [6] 이춘만, 류승표, 황영수, 정원지, 정종윤, 고태조, “고속가공기의 가공성 평가방법에 관한 연구”, 대한기계학회 추계학술대회, pp. 303-306, 2003.
- [7] (주)퓨전테크/CIES(주)공저, “CATIA V5”, 웅보출판사, pp. 132-368, 2001.