

엔드밀 정밀도 향상을 위한 주변기술 연구

김경배, 서천석, 김영경, 이용인, 최영근

(주)한국야금, 충북 청주시 흥덕구 송정동 53-16

ABSTRACT

Quality of endmill applied to high speed Machining can be classified in precision and tool life. Especially, Endmills are damaged easily when high speed machining are occurred vibration and deflection by thin and long shape of endmill, limitation of chip-pocket. Furthermore, Endmills are determined tool life by the quality of base material and the character of coating. This study have carried on research and analysis about grinding technique, circumference technique to improve precision that determine the quality of endmill. As the result of this study, that the technique is able to manufacture endmill applied to high speed Machining have been obtained.

Key Words : Endmill(엔드밀), High-Speed Machining(고속가공), Grinding technique(연삭기술)

1. 서론

고속가공은 1980년대 초 독일의 Schulz, 미국의 Komanduri 등에 의해 본격적인 연구가 이루어지면서 Tlusty, Tonshoff, Nakagawa, Moriwaki, Weck 등 많은 사람들의 연구대상이 되어왔다. 90년대 초 고속절삭법과 고속가공기가 현장에 보급되면서 구미 선진국에서는 항공, 자동차, 금형산업 등에서 고속가공의 응용이 이루어지고 있다.

제조업계에서는 고부가가치인 제품을 만들기 위해 종전의 방안이었던 재료비 절감이나 인건비 삭감 등 눈으로 보이는 효과를 얻으려 노력하였다. 하지만 이제 고속 가공 등을 통한 시간단축으로 생산성을 높이려 하고 있음을 알 수 있다. 고속 가공용 공작 기계의 주축회전수가 30,000rpm이 상용화 되어가고 50,000rpm 이상에 도달하고 있는 현실에서 그에 맞는 절삭공구의 발전이 있어야 하겠다.

고속 가공에 적용 할 수 있는 엔드밀 품질은 크게 나누어 가공 정밀도와 공구의 수명으로 구별할 수 있

다. 특히 엔드밀의 경우는 세장형 공구로서 고속 가공시 진동, 휨, 칩 포켓의 한정성 등으로 쉽게 공구가 손상되며 재질이나 박막의 특성에 따라 그 수명이 결정지어진다. 엔드밀 수명의 향상을 위해서는 마모에 의한 결함을 1차적으로 결정짓는 중요한 요소인 재질이나 박막에 대한 연구가 선행되어야 하겠으며, 고속 가공 중에 발생하는 이상 현상 등에 의한 급작스런 공구의 파손은 엔드밀에 대해 전반적인 연구를 통해 개선을 하여야 한다. 또한 공구의 파손을 방지하고 수명을 종합적으로 향상시키기 위해서는 공구 형상 정밀도에 대한 연구도 병행 되어져야 할 것이다.

본 논문은 형상 정밀도를 향상시키기 위해 엔드밀 제작을 위한 연삭 기술 및 그 주변 기술에 대한 연구 및 분석을 실시하였으며 이를 통하여 궁극적으로 고속 가공에 적합한 엔드밀을 제작할 수 있는 기술을 확보하여 제조 산업 기초 자료로 사용 가능 할 것이다.

고속 가공에 있어서 공구 수명이나 가공 정밀도 등에 영향을 미치는 요인은 가공 설비, 가공 설비가 놓인 환경, 툴링, 공구, 공작물의 형상, 클램핑 상태, 쿨런트, 칩의 처리방법 및 절삭조건 등 대단히 많이 들 수 있지만, 공구의 측면에 있어서 특히 엔드밀 가공 후 피삭재의 품질과 수명을 결정할 수 있는 인자로서 최적의 절삭효율을 발휘할 수 있는 형상과 더불어 엔드밀 형상 자체의 동적 정밀도를 좌우하는 Runout, 엔드밀 각각의 치수 균일성 확보등의 측면에서의 외경 정밀도를 중요한 인자로 볼 수 있다. 이에 1단계 3차년도 연구에서는 1, 2차년도에 분석된 Data와 실험 결과를 토대로 Runout 정밀도와 외경 치수 관리를 향상시키기 위해 주변 기술의 연구 및 실험을 꾸준히 실시하였다.

2. 형상 정밀도 향상을 위한 주변기술

2.1 Runout 정밀도 개선을 위한 치공구 개선

고속가공에서 엔드밀의 Runout 정밀도가 공구의 진동, 치핑 등 공구의 수명을 단축하는 트러블을 유발하는 중요한 요소로 파악하여 본 연구의 1차년도에는 Runout 정밀도에 관련하여 조정형 플랫을 적용하였고 달성 목표인 7~12 μ m의 목표를 달성하였으며, 차후 2차년도의 목표인 5~8 μ m에 보다 균일하고 정밀한 Runout

을 얻기 위해서는 일부 치공구, Wheel 등의 보완이 필요하였다. 따라서 2차년도에 이러한 개선을 통해 보다 정밀한 Runout을 얻을 수 있도록 하였다.

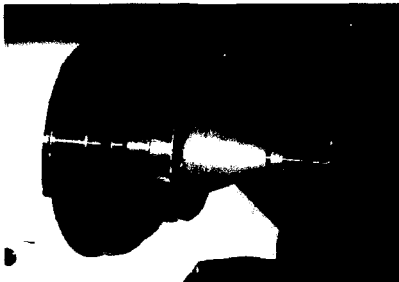


Fig.1 조정형 콜렛

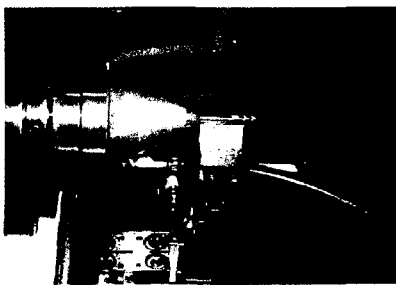


Fig.2 개선된 조정형 콜렛 (Steady rest 적용)

Fig.1은 1차년도에 적용한 조정형 콜렛방식이며 Fig.2는 2차년도에 방식을 개선하여 Steady rest를 적용하여 엔드밀의 Shank부위를 지지 함으로써 Flute나 기타 부위 연삭시 연삭 부하로 인한 엔드밀의 처짐 현상이나 Runout의 변화를 예방할 수 있어 안정된 Runout을 얻을 수 있도록 변경한 방식이다. 1단계 3차년도에는 보다 향상된 결과를 얻기 위해 워크 헤드와 휠 간의 거리를 수치적으로 보정하여주고 엔드밀 클램핑 압력을 가장 적절하게 적용하였다. 결과적으로 1단계 최종 목표인 Runout 5~8 μ m보다 안정적으로 유지하게 되었으며 외경 또한 15~20 μ m이내이며 수명 또한 선진 타사품 대비 동등 이상의 수준에 달하였다. 수명 평가 및 고속가공 Test 기준을 설정하기 위해 당사 고속 가공기로 Test 결과 당사품 수명이 A社에 약간 열세이나 C社에 비해 우수한 것으로 평가되어졌다. Fig.3은 고속 가공 Test 피삭물이다. 추후 보완과 연구를 통해 더욱 안정화 할 가능성을 가지고 있다.



Fig.3 당사 고속 가공 Test 피삭물

엔드밀 Shank를 Support할 수 있는 Steady rest를 사용한 경우와 사용치 않은 경우 제작된 엔드밀의 Runout을 측정된 결과 Steady rest를 사용치 않은 경우 Runout의 산포가 크며 Steady rest를 사용한 경우 균일한 Runout을 얻을 수 있었다. HP에서는 대경위주로 작업되어 연삭 부하가 타 설비보다 크게 작용하였고 Runout의 산포도 크게 나타났다. Table.1의 결과와 같이 MP의 경우 Runout이 Steady rest를 미사용 대비 사용 待 29% 안정한 상태를 보인다.

Table.1 Steady rest 사용여부에 따른 Runout

설비 명	HP	MP	CNV	MP
Steadyrest	미사용	미사용	미사용	사용
Runout(μ m)	14	9	8	7
엔드밀 외경	중, 대경	중, 소경	대경	중, 소경

2.2 다이아 휠 개선 및 클램핑 조건 표준 정립

Creep feed 연삭은 느린 이송속도로 연삭하는 방법을 말한다. 즉 이송속도는 느리지만 절입량은 최대 6mm 정도로 크게 주는 연삭 방식을 의미하는 것으로서 Endmill의 생산시 대표적으로 적용하는 연삭 방법이다. 빠른 이송속도로 절입 깊이를 작게 하는 Rapid feed 연삭 방식보다 절입 깊이가 깊기 때문에 연삭지식의 접촉면이 보통 10~100배 정도에 이르며 연삭저항 또한 작게는 1.5배에서 많게는 10배 이상까지 이른다 고 알려져 있다. 일반적으로 초경은 경취성 재료로 HRA 88~94에 이르는 대표적인 난삭재로서 이러한 난삭재의 Creep feed 연삭을 수행하는 지식 또한 매우 고강도, 고기능, 고 효율화 되지 않으면 안 된다.

이제 몇 가지 연삭 효율성에 관련된 계산식을 살펴보자. 연삭 지식에 의한 단위 시간당 제거 량을 Q라고 하였을 때,

$$Q \text{ mm}^3/\text{min} = f \cdot z \cdot w$$

로 나타낸다. 여기서,

f = Feed rate,

z = Depth of cut

w = Width of wheel

Creep feed 연삭의 경우 연삭조건, 피삭재의 종류, 연삭지식의 형태 및 종류에 따라 Q값이 차이가 나지만 대략적으로 초경연삭의 경우에는 50~100mm³/min 정도를 나타낸다.

연삭력은 연삭 공정중의 연삭기 강성, 정밀도, 지식, 피삭재, 연삭유의 물성치와 특성 등과 같은 하드웨어적인 요소와 절입량, 지식의 속도, 피삭재의 이송속도 등과 같은 가공조건이라는 소프트웨어적인 요소들의 복합적인 작용에 의한 결과로 나타나는 것이라 할 수 있으며, 이러한 연삭력의 작용과 변화는 재료의 가공 모드와 표면의 상태는 물론 표면 하부의 결함 생성

과 종류, 분포 등에 지배적인 영향을 미치게 된다.

일반적으로 법선방향 연삭력은 지석과 공작물 사이의 상대적 탄성변위를 유발시키고 지석의 절입량을 변화 시키고 동시에 Under cut을 일으키기 때문에 정도나 표면 거칠기의 저하와 깊은 관계를 가지며 접선방향 연삭력은 연삭온도 상승과 연삭 Burning 등을 고려할 때 중요한 요소가 된다고 알려져 있다. 이는 연삭력 측정 실험결과에서도 절입량이 증가할수록 법선방향의 연삭력과 접선방향의 연삭력이 함께 증가하고, 지석의 회전속도가 증가할수록 접선방향의 연삭력은 점차 감소하고 법선방향의 연삭력은 큰 변화를 보이지 않는 것으로 나타나고 있다.

한편 연삭 비에너지(Grinding specific energy)는 단위체적의 재료를 연삭하는데 소요되는 에너지로서,

$$u = \frac{\text{Energy rate needed for grinding}}{\text{Removal rate}}$$

$$= \frac{F_t \cdot V_s}{f \cdot z \cdot w}$$

로 나타내어진다. 여기서,

- F_t = Tangential grinding force
- V_s = Surface speed
- f = Feed rate
- z = Depth of cut
- w = Width of wheel

즉, 연삭 비에너지는 치수효과(Size effect)에 따라 절입량이 작을수록, 지석의 회전속도가 증가할수록, 공작물의 이송속도가 느릴수록 연삭 비에너지는 증가하게 된다. 또한 연삭면의 거칠기와 표면상태는 절입량이 작을수록, 지석의 속도가 빠를수록 향상되게 되는데 이러한 현상은 경취 재료일수록 그 경향성이 확실하게 나타난다. 이는 연삭 가공모드가 취성에서 연성모드로 천이함에 따라 취성을 유발시키는데 필요한 취성 파괴 에너지에 비해 재료의 단위체적을 소성 변형시키는데 소요되는 에너지가 더 크기 때문으로 사료되고 있다.

또한 일반적으로 여러 가공 조건 아래에서의 연삭 특성은 Table.2와 같이 나타낼 수 있다.

Table.2 가공 조건에 따른 연삭 특성

가공 조건	연삭면 거칠기	연삭 가공 능력	지석의 절미 유지
	양호	고능력	장수명
지석의 절입 깊이	✓	↗	✓
이송속도	✓	↗	✓
지석의 회전속도	↗	↗	↗
드레싱량/단위시간	✓	↗	↗
클램핑 강성	↗	↗	↗
연삭유제	비수용성	수용성	비수용성

이러한 사항을 고려하여 Runout 정밀도 향상을 위한 방안으로 휠 사양의 변경을 통한 연삭부하 절감

및 엔드밀의 클램핑 깊이를 보다 최적으로 확보함으로써 균일한 Runout을 얻도록 하였다.

Table.3은 Test용 휠의 사양을 나타낸 것으로 의경을 100에서 125로 크게 하였으며 이로 인해 연삭 부하를 다소 감소시킬 수 있었으며 또한 Maker별로 적합한 본드를 각각 추천 받아 같은 연삭 조건하에서 연삭 부하량을 비교해본 결과 O사의 H본드와 E사의 S본드가 연삭성이 우수하였으나 가격, 납기, 품질 등의 상황을 고려하여 E사의 S본드를 선정하였다.

Table.3 휠 사양 별 절삭 Load 비교 (플루트 가공)

Maker	단위	O사		E사	
		F	H	S	B
본드(Bond)					
입도(Grit Size)	Mesh	200	200	200	200
집중도	4.4ct/cc	-	100	100	100
외경	φ	125	125	125	125
내경	φ	20	20	20	20
연삭부하(Load)	%	35-40	20-25	25-30	30-35

1차년도 결과에서 엔드밀의 전장 및 인장에 따라 클램핑 깊이가 변화되는 것을 볼 수 있는데 조정형 콜렛을 사용하는 설비는 소재의 클램프 길이가 외주 Runout의 변화를 좌우하기 때문에 클램핑 깊이의 확보가 중요하다고 언급한바 있다. 이러한 클램프길이는 플루트 가공시 휠에 의한 콜렛 홀더부의 간섭이 발생하여 클램핑 깊이를 짧게 적용할 수밖에 없었으나 2차년도에는 다이아 휠 자체의 개선뿐 아니라 휠의 형상을 개선함으로써 기존대비 클램핑 깊이의 여유가 증가하여 정밀도 향상 및 설비의 Crush 예방 등의 효과를 얻을 수 있었다. 3차년도에는 1, 2차년도의 개선안을 정밀해 휠 및 클램핑 조건의 표준을 설정하여, 휠 도면 관리와 클램핑 조건의 안정을 확보하였다. 이로써 연삭 면조도 향상의 개선과 연삭 비에너지를 감소시키는데 활용할 D/B를 갖추어 향후 적용 가능하도록 되었다.

2.3 외경 정밀도 향상을 위한 연삭유 냉각 장치

기계가공에 있어서 가공정도를 저하시키는 최대의 요인은 공작기계의 열 변형이며 이를 줄이기 위한 대책이 가공정도 향상을 위한 핵심기술이 되고 있다. 공작기계 열원의 주된 요인은 베어링, 모터, 치차, 공작물, 공구 등에 기인한 내부열원에 의한 발열로 이러한 열원으로부터 불균일하게 공작기계의 구성요소에 전달되어 구조가 늘어나거나 굽힘, 비틀림 등의 형태로 변형이 일어난다. 공작기계의 여러 요소 부품 중에서 열발생이 높은 부분은 주축계로서 주축구조, 조립정도, 예압, 윤활유의 조건, 냉각 조건 등 많은 열 변형 요인이 존재하고 있다. 그러므로 공작기계의 열 전달계에 대한 기구파악과 열 경로 추적을 통해 체계적인 대책만이 높은 가공정도를 얻을 수 있으며 전체적인 온도 제어의 필요성을 인식하게 되었다.

머시닝 센터를 포함한 공작기계의 열 변형 오차는 가공중에 발생하는 주축모터의 열원, 이송계 모터, 주위온도의 변화, 스피들 베어링의 발열, 이송계 볼 스크류 및 너트의 마찰열 등 다양한 열원에서 발생한다. 이러한 열원은 가공이라는 메커니즘이 존재하는 한 근본적으로 제거 할 수 없기 때문에 예외 없이 공구 연삭기에서도 열 변형에 의한 열 변형 오차가 발생한다.

일반적으로 공작기계 구조물 요소부의 재료인 강이나 주물의 경우 온도가 1℃ 상승할 경우 1m당 약 11.5μm가 늘어난다. 당사 주요작업인 연삭 작업시 상온보다 10~15℃정도 증가됨이 측정이 되어, 엔드밀 외경 공차가 10~15μm인 점을 감안해 보면 매우 큰 양이다. 각 열원에서 발열량, 주위온도는 작업내용과 시간의 경과에 따라 기계와 공작물의 열용량에 의해 온도 상승에는 시간차가 생기므로 가공 점에서 상대변위는 가공 정밀도를 저하시키게 된다. 현재 수μm 정도 이내의 정밀 부품 가공도 많이 요구되고 있기 때문에 열 변위를 최소화 시켜야 하며 가공품의 정도향상과 대량생산, 동일작업 등에 신뢰성을 높여야 할 것이다.

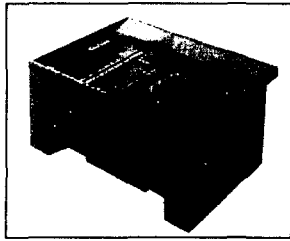


Fig. 4 폴리머 콘크리트 구조의 연삭기 Body

열변형 오차를 보정하는 방법으로는 가공시 발생하는 열변형 오차를 미리 예측하여 보정해주는 연구도 있으나 이 방법은 다양한 가공 조건의 경우 즉, 열원이 변할 경우 및 공작기계의 경계조건이 충족치 못할 경우는 예측 결과의 신뢰성이 낮다. 이러한 열 변형으로 인한 문제점을 최소화시키기 위한 방법의 일환으로 선진국의 일부 CNC공구 연삭기에는 폴리머 콘크리트를 이용한 구조물을 채용하여 열전달에 의한 안정성을 종래의 주철 구조물에 대비하여 10배 정도로 높였을 뿐만 아니라, 진동에도 강하여 종래의 재질에 비하여 약 6배 정도의 안정적인 성능을 나타내고 있는 것으로 알려지고 있다.

당사 대책 방안으로 발생 열원의 제거라는 측면에서 대부분의 열원을 흡수하고 회수되는 연삭유의 유온을 인위적으로 냉각시켜 항상 균일한 온도를 갖도록 모색하였다. 그러나 연삭 시 최고온도는 약 1650℃로 파악이 되나 작업시 발생하는 정확한 열량을 파악하지 못하여 충분한 냉각효과를 얻지 못하였던 사례가 있었으므로 보다 정확한 Data산출을 위하여 아래와 같이 설비에서 발생하는 유온을 직접 측정하여 엔드밀의 외경과의 상관관계를 유추하고 항상 Constant한 외경을

얻을 수 있도록 정격 냉동기를 선정하였다.

열전도율 λ는 아래와 같은 식으로 나타낼 수 있고 자연 대류에 의한 열전달율을 고려하여 하기와 같이 냉동기의 열량 및 정격을 선정하였다.

$$\lambda \text{ W/mK} = \frac{Q_h + Q_c}{2} \cdot \frac{L}{\Delta T}$$

여기서, Q_h = 고온 쪽의 열류 량

Q_c = 저온 쪽의 열류 량

L = 시료 두께

ΔT = 고온표면과 저온표면 온도와의 차이

Table. 4 계산된 설비별 냉각 필요 열량 및 냉동기 규격

	Machine No. 2	Machine No. 4	Recommended
소요시간(h)	4.58	3.33	
실효유량(l)	15,389	11,189	
온도차(deg)	4.9	7.1	23~27℃
비열(Oil)	0.995	0.995	
발생열량(kcal)	75,405	79,440	
열량(kcal/h)	3,595	7,164	5,414
냉동톤(R/T)	1.1	2.2	1.6

이의 확인을 위하여 수용성 연삭유제를 사용하는 장비에 부착된 냉각장치를 유성 연삭유 사용 장비에 임시로 적용 Test한 바 충분한 열량을 제거하지는 못했으나 그 효과를 입증하였고 또한 선진 타사에서 고정밀 가공을 위한 열 억제 대책의 일환으로 연삭유 냉각장치 사례를 조사한 결과와도 비교하여 본사 연삭유온 조정장치의 선정이 합리적임이 확인되었다. 2, 3차년도 걸쳐 적정 Cooling-unit을 적용하였으며 유온이 안정기에 돌입 할 경우 Fig.5와 같이 외경편차 및 떨림을 줄이는데 매우 유용한 결과를 갖게 되어 향후 효율적 운용인 기대된다.

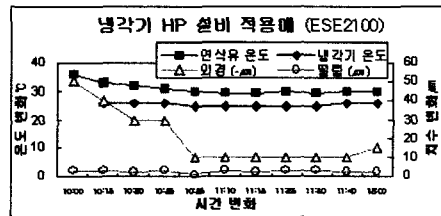


Fig.5 Cooling-unit 적용에 따른 떨림 및 외경 변화 추이

수용성 연삭유제의 경우는 열전도율이 유성 연삭유제 대비 상대적으로 높아 발생열을 충분히 냉각시켜 주어 큰 문제점으로 대두되지 않았으나 연삭 품위, 설비 노후 등에 대응하는 방안 등으로 수용성 유제에서 유성 유제로 점차 변화되어가고 있는 추세이다.

열억제 대책의 일환으로 엔드밀 제조 장비인 CNC공구 연삭기에서 연삭유제에 따른 엔드밀의 연삭성 및 유온 영향 평가를 통한 엔드밀 정밀도 확보를 위하여 현 사용유제의 문제점을 파악해 본 바 열전달율이 떨어져 연삭유제의 유온 상승이 빠르고 쉽게 오염되어 교체주기가 짧은 단점이 있어 2, 3차년도에 걸쳐 Test결과 가장 양호한 국산 제품을 투입하였다.

2.4 외경 정밀도 향상을 위한 프로파일 드레싱 장치

연삭저항을 최소화하며 가공할 수 있는 연삭기술의 개발을 위하여 연삭시의 열발생의 최소화를 위하여서는 충분한 드레싱이 실시되도록 드레싱 장치를 구매하였다. 또한 본 드레싱 장치는 산기반 과제 수행 결과물로서 열 발생의 억제라는 측면 외에도 엔드밀 플루트 형상을 정밀 구현하기 위한 다이아몬드 휠의 정밀 드레싱을 통해 엔드밀 연삭시의 부하로 인한 Deflection을 방지하여 엔드밀의 형상 정밀도를 향상시키는 측면을 동시에 고려하였다.



Fig.6 Cleveland社제 드레싱 머신 GAPU-5

Fig.6은 당사에서 도입한 독일 Cleveland社제 GAPU-5이며 장치의 주요 특징으로는 드레싱 및 트루잉 작업에 대해 대형Profile projector를 이용하여 정밀하고 용이한 드레싱을 가능하도록 하였으며 Projector 구조가 장비의 상부에 위치하여 오염에 강하고 작업영역이 외경 400mm휠까지 드레싱 가능한 장비이다. 당사에서 다양하게 보유한 장비들의 휠을 정밀 드레싱 하여 사용하고 있으며, 향후 다각적인 방법으로 차원 높은 드레싱 기술을 확보하도록 D/B를 구축하고 있다.

3. 측정기술의 확보

3.1 평엔드밀 측정

1차년도 측정기의 신뢰성 검토 결과 Diameter, Flute depth는 비교적 양호한 결과를 얻었으나 주요 형상인 Prim. clearance angle과 경사각은 다소 편차가 나타난 데이터 결과를 보였다. 따라서 이러한 편차를 최소화시키기 위해 2, 3차년도에 걸쳐 측정기의 프로그램을 Version up 시켰고 측정시 진동을 최소화시키기 위해 각축의 오프셋 값을 조정하여 최적화시켰으며 설비의 정확한 수치제어를 위해 Front Camera 최적화 및 각축의 라이트 최적화를 위한 Calibration을 실시하였다. 이러한 측정 설비의 최적화 실시 전, 후 측정 결과를 아래의 Table.5, Table.6으로 나타내 보았다. Table.5는 1차년도 측정결과로 Prim. clearance angle과 경사각의 편차가 각각 3.61, 2.58로 나타났으며 Table.6은 측정설비의 최적화 실시 후 측정결과로 Prim. clearance angle과 경사각의 편차가 각각 0.09, 1.35로 1차년 대비 Prim. clearance angle의 경우 상당히 우수한 결과를 나타냈다. 그러나 경사각의 경우 여전히 약간의 편차를 나타냄으로써 측정기 제조업체와 지속적인 기술 교류를 통해 보정해 나가고 있다.

Table.5 1차년도 엔드밀 측정결과

시료 : A사 10 6teeth (5회 반복측정결과)					
	Diameter	Prim.clear angle	Prim.clear width	Flute depth	경사각 (0.2mm)
No1	9.969	11.36	0.992	0.86	-20.28
No2	9.969	11.32	0.986	0.868	-18.37
No3	9.968	10.27	0.82	0.862	-18.4
No4	9.968	7.75	0.404	0.864	-19.41
No5	9.968	7.78	0.418	0.876	-17.7
편차	0.001	3.61	0.588	0.016	2.58

Table.6 보정 후 엔드밀 측정결과

시료 : KORLOY 6D 6teeth (5회 반복측정결과)					
	Diameter	Prim.clear angle	Prim.clear width	Flute depth	경사각 (0.2mm)
No1	5.971	14.13	0.559	0.650	-30.09
No2	5.971	14.19	0.602	0.651	-31.44
No3	5.970	14.10	0.487	0.662	-29.26
No4	5.971	14.13	0.551	0.649	-30.61
No5	5.971	14.11	0.543	0.645	-30.37
편차	0.001	0.09	0.115	0.017	1.35

3.2 볼엔드밀 측정

볼엔드밀은 금형 가공에 사용되는 경우가 압도적으로 많다. 또한 일체형 초경 볼엔드밀은 금형 가공의 다듬질공정에서 사용되기 때문에 공구지름이 작고 공구의 길이가 길어지는 경향이 있다. 특히 고속가공에서의 볼엔드밀은 주로 고정밀도 금형이나 형부품 등의 형상가공에 유효하게 이용할 수 있는 것으로 고정밀한 제품을 제작키 위해서는 볼부의 정밀도가 필수적이라 할 수 있다. 따라서 볼엔드밀의 가장 중요한 요소 중 하나라 할 수 있는 볼엔드밀의 볼부에 대한 정밀도를 측정하여 평가토록 하였다.

아래의 Table.7은 동일한 볼엔드밀의 R치수를 10회 반복 측정된 결과이다. Max R치수는 1.485, Min R치수는 1.479를 나타낸다 매 측정횟수마다 Max와 Min R치수의 편차가 0.006정도로 일정하게 측정되었고 10회 전체 측정된 값의 표준 편차가 0.0026으로 상당히 양호한 측정값을 나타내었다.

Table.7 볼 엔드밀 R측정결과 (측정 단위 1μm, 반올림)

SSBE2030	측정횟수									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MAX	1.485	1.485	1.485	1.485	1.485	1.485	1.485	1.485	1.485	1.485
AVG	1.483	1.483	1.483	1.483	1.483	1.483	1.483	1.484	1.483	1.484
MIN	1.479	1.479	1.479	1.479	1.479	1.479	1.479	1.479	1.479	1.479
MAX-MIN	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
표준편차	0.0026									

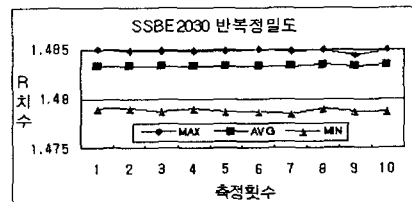


Fig.7 볼엔드밀 R치수 반복 정도 그래프

상기 Fig.7과 같이 볼 엔드밀의 R치수결과를 보면 측정치가 상당히 양호하고 우수하여 측정데이터의 신뢰성을 확보할 수 있었다. 이하 볼 엔드밀에서는 Rake angle과 Clearance angle측정은 평 엔드밀의 측정과 동일하므로 생략한다.

다음의 Table.8은 전용측정기를 이용하여 분석한 타사 볼 엔드밀의 주요 형상적 특성을 나타낸다.

Table. 8 타사 볼 엔드밀 형상분석

	K사	H사	J사	F사	S사	KORLOY
diameter(mm)	10	10	10	10	10	10
Flute depth(mm)	1.370	1.411	1.06	1.899	1.798	2.036
OD 1st 여유각	15.061	16.787	13.951	16.163	13.933	14.114
OD Rake angle	-8.103	-13.722	-6.968	-4.215	2.714	16.389
볼 1st 여유각	13.785	14.216	13.072	13.059	13.274	10.717
볼 Rake angle	-2.168	-4.713	-13.33	-2.015	-2.088	1.465

여기서 형상적 특징을 분석해 보면 평 엔드밀이 Flute Depth는 일반적으로 Diameter의 약 80%정도를 적용한데 반하여 볼 엔드밀에서는 각사마다 적용 정도가 다소 차이가 나는 것을 알 수 있다. 이는 볼 엔드밀은 주로 모방가공위주로 사용되기 때문에 바디의 강성에 크게 좌우되지 않는 것으로 보여 진다. Rake각의 경우도 외주부와 볼부 모두 대부분 Negative형상으로 제작되었으나 당사의 제품은 일반 볼 엔드밀로 大Posi이고 S사의 경우 외주부에서 小 Posi형상을 나타내고 있다.

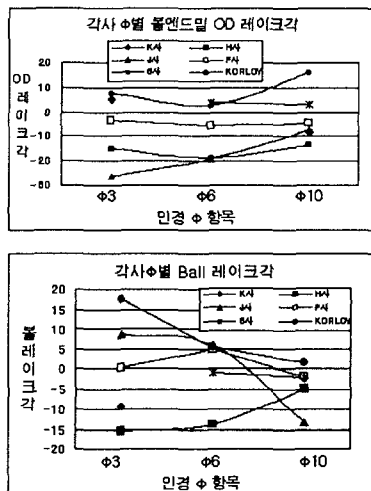


Fig.8 각사별 인경에 따른 볼 및 외주의 레이크각 경향

Fig.8은 각사 볼 엔드밀의 외경별 외주Rake각과 볼 부Rake각의 경향을 나타낸다. 외주 Rake각의 경우 K사, J사가 외경치수에 따라 Rake각도를 차별을 두어 제작한 반면에 H사, F사, S사의 경우 외경별 Rake각의 차이가 별로 나타나지 않았다, 볼부의 Rake각은 볼부 45°지점에서 측정된 값으로 H사를 제외하고 외경별 측정값의 경향성이 나타나지 않았으며 대부분의 측정치가 Negative형상을 나타내는 것을 알 수 있다.

4. 결론

1. 가공정밀도 향상을 위해 치공구, 휠 등의 개선을 통해 연삭시 연삭 부하로 인한 엔드밀의 처짐 현상이나 Runout의 편차를 예방할 수 있었으며 1단계 최종 목표치인 5~8 μ m의 안정적인 정밀도를 확보할 수 있었다.
2. 외경 정밀도 향상과 편차를 줄이기 위한 연삭유 냉각 장치를 적용을 고려하여 이에 따른 결과를 CNC 설비에 적용 후 효과 분석 결과가 양호하게 판정되어 Cooling-unit을 설치하여 사용하게 되었다. 또한 선진 타사에서 고정밀 가공을 위한 열역제 대책의 일환으로 연삭유 냉각장치 사례를 조사한 결과와도 비교하여 본바 유은 조정장치의 적용이 합리적이 확인되었다.
3. 측정기술의 안정화를 위해 측정기의 프로그램을 Version up 및 진동을 최소화시키기 위해 각축의 읍셋 값을 조정하여 최적화 시켰고 설비의 Front Camera 최적화 및 각축의 라이트 최적을 위한 Calibration을 실시한 결과 양호한 결과를 얻었다.

참고 문헌

1. "精密 研削 加工의 動向", 日本 日刊工業新聞, 1991
2. Michele H. Miller, "Wheel speed equilibration in precision contour grinding" Precision Engineering, p 148~156
3. "研削 工學", 日本 精密 工學會, pp.140~161, 1987
4. Nam-Sub Seo, Metal Cutting Theory, Dong myoung sa, Korea, 1985
5. 河村末久, 研削加工と砥粒加工, 公立出版株式會社 1990
6. "고품질 질, 연삭 가공기술 개발", 산업자원부, 과학기술과 G7(선도기술개발사업), 3차년도 보고서
7. Young-Ha Yum, The Cutting Theory of Machine Tool, Dong myoung sa, Korea, 1992
8. H. Schulz, High speed machining - some of the latest developments, Metalworking World 3, 1994
9. Y.Yamada et. al. : Proceedings of 1st French and German Conference on High Speed Machining (1997) p486
10. H. Schut, "High-Speed Milling of Die and Moulds-Cutting and Technology", CIRP, Vol44, 1995

주 의

1. 이 보고서는 산업자원부에서 시행한 산업 기반 기술개발사업의 기술개발 보고서이다.
2. 이 기술개발 내용을 대외적으로 발표 할 때에는 반드시 산업자원부에서 시행한 산업기술개발사업의 기술개발 결과임을 밝혀야 한다.