

# 엔드밀의 경사각에 따른 특성 연구 A Study of Characteristic According to Rake Angle of Endmill

김경배\*, 서천석\*, 박찬섭\*, 고성립\*\*  
K. B. Kim, C. S. Seo, C. S. Park, S. L. KO

## ABSTRACT

Endmill is one of the most important cutting tool, not only for machining of mold and die, but also for manufacturing of car industrial. Futhermore with spindle speeds on the increase and machined-surface quality aspiring to higher levels. The purpose of this study is an analysis of endmill's rake angle for appropriate tools design and making for the high speed machining. In this study, Experimental works are also executed to measure shape of endmills, cutting force, on different shape of endmills. Finally, To get concept of endmill design, Tool life was experimented on various design of tool from this study.

**Key Words** : End Mill(엔드밀), Rake Angle(경사각), High Speed Machining(고속가공), Cutting Force(절삭력), Contour(형상), Measurement(측정),

### 1. 서론

엔드밀은 가공 영역의 다양성으로 인해 고속가공에 적극적인 채용이 시도되고 있으나 구조적으로 세장비가 큰 공구이기 때문에 진동이나 휨뿐 아니라 고속가공시의 인선강도, 내마모성 측면에서 여러 가지 문제점들을 근본적으로 안고 있다.

고속 고이송 가공에 적용될 엔드밀의 경우 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 형상적인 측면에서 높은 안정성을 확보함과 동시에 원활한 절삭 칩 배출 공간 확보와 인선의 강도를 높일 수 있는 구조가 연구되어야 한다. 특히 고이송, 경질삭화로 이행되고 있는 주변 환경을 감안한다면 절삭력과 직접적인 인과 관계에 있는 엔드밀의 경사각에 따른 영향 평가를 토대로 엔드밀의 강성 및 칩 배출 공간을 고려한 설계가 될 수 있도록 고려되어야 한다.

본 연구에서는 엔드밀의 경사각에 따른 영향 평가를 위해 우선 측정기술 확보 방안을 연구하였으며, 여기서 측정된 데이터를 이용하여 선진 제품의 형상분석과 절삭력 시험을 실시 분석하였고 실험 모델을 설정하였다. 이런 과정을 통하여 제작된 시료를 선진 타사 제품과의 수명 시험을 통해 분석 결과와 일치하는지 여부를 확인하였다.

### 2. 엔드밀의 형상 특성 분석

#### 2.1 측정 장비 검토 및 측정 기술 연구

높은 회전수 영역에서 사용해야 하는 고속 가공용 엔드밀은 동적인 안정성을 위한 뿔형 정밀도뿐 아니라 단면형상, 칩포켓, 경사각, 여유각 등의 형상적인 안정성이 대단히 중요하다. 이를 위해서는 엔드밀 제작 정밀도의 향상이나 측정기술 확보 방안도 동시에 연구되어야 한다. 그러나 엔드밀의 측 직각 단면 형상이나 경사각, 여유각과 같은 형상의 측정을 위해서는 완성된 엔드밀을 절단하여 Projector를 이용하여야만 측정이 가능하며 외경 측정의 경우는 엔드밀과 측정기간에 접촉시 고유의 취성으로 인해 쉽게 인선에 손상이 발생되어 Test 시료로서 의미를 상실케 하는 경우가 발생한다. 이러한 문제를 해결하고 신뢰성 있는 Data의 확보와 효율적인 측정을 하기 위한 방안과 신뢰성 있는 측정 Data의 획득을 위해 아래와 같이 연구하였다.

우선 제시된 측정상의 문제점 해결을 위해 우선 비접촉식 전용 측정기를 아래와 같은 항목을 기준으로 검토하였다.

- 1) 인선의 보호를 위해 비접촉식 일 것.
- 2) 여유각, 경사각등 단면에 관한 측정이 가능할 것.

\* 한국야금(주), \*\* 건국대학교

3) 떨림정밀도 측정시 홀더의 떨림을 자동 보정한 후 측정이 가능할 것.

이렇게 검토된 측정기는 레이저를 이용하여 공구의 높이를 측정 후 CCD Camera로 외경을 투영 측정하고 Front Light Camera로 Helix Angle을 Scanning후 중심 위치를 결정한다. 그리고 인선의 끝으로부터 일정 지점에 대하여 Focusing에 의한 Line scanning을 하여 Contour Data를 획득한다. 이렇게 취해진 Contour Data를 측정장비에 내장된 PC에서 Linear Interpolation한다. [그림 1]은 연구 수행을 위해 도입된 독일제 비접촉식 전용 측정기의 측정 원리를 나타낸다.

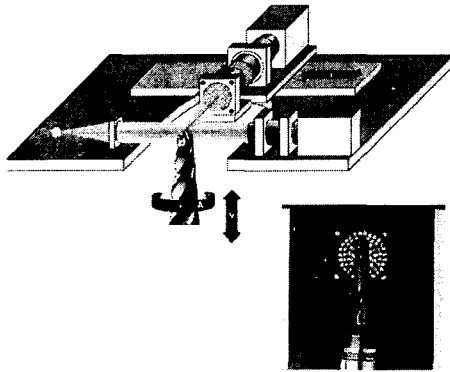


그림 1 비접촉 전용 측정 장비 개념도

고속 가공용 엔드밀의 주요형상은 경사각, 여유각, Flute깊이로 대별할 수 있으므로 이 부분에 대하여 도입된 측정기의 신뢰성을 검토하였다. 경사각은 전기한 바와 같이 Line Scanning에 의해 얻어진 Contour Data를 측정장비에 내장된 PC에서 Linear interpolation하게 되는데 이때 얻어진 Data의 수량에 의해 신뢰성 차이를 나타낼 수 있다. 따라서 경사각 측정에 대한 신뢰성을 알아보기 위해 동일한 조건과 조건을 달리한 경우로 나누어 측정하여 Data를 분석해 보았다. 그 결과 경사면의 Focusing방법과 측정깊이를 달리하면 차이가 발생하였으며 특히 인선에서 가까운 지점에서의 측정치 변화가 심하게 나타난 것을 알 수 있었다. 결국 측정치의 변화 요인은 공구의 외경에 의해 Flute깊이 변화와 경사면의 곡률 변화가 따르게 되는데 이때 연산에 필요한 충분한 Data를 채집하지 못하여 발생하는 것으로 밝혀졌다. 따라서 정확한 측정을 위해서는 좀더 많은 Data를 취할 수 있는 범위를 설정해 주어야 한다.

표 1 평 엔드밀 반복 측정 결과 편차

측정항목	외경	여유각	여유각 폭	Flute깊이	경사각
편차	0.001	2.49	0.387	0.013	1.7

주) 경사각 측정깊이 0.2mm일 경우 측정 결과

외경 측정의 경우는 [표 1]에서 보는 바와 같이 상당히 양호하였다. 여유각 자체의 값은 비교적 양호하다고 할 수 있으나 여유각 폭 측정시 값이 다소 변하였는데 이는 여유각 폭의 결과에 따라 여유각의 값이 변했다고 볼 수 있다. 폭의 측정은 Back Light Camera의 투영에 의한 Scan 방식으로 이루어지나 고속가공용 엔드밀의 경우 플루트가공시 대부분 Open Type으로 제작되고 있으며 많은 인수와 강성확보를 위해 주여유각 만을 가공하고 부여유각은 작업하지 않는 경우가 많다. 따라서 Scan에 의한 주여유각과 플루트의 경계가 확실히 구분되지 않아 측정시 마다 다소 오차를 나타내는 것으로 평가된다.

이러한 결과를 토대로 먼저 외경, 여유각, 경사각 등을 측정하는 위치는 공구의 끝단에서부터 평 엔드밀의 경우 5mm지점으로 하고 볼 엔드밀은 1D지점으로 동일하였고 경사각 측정 깊이를 결정하여 일관성 있는 Data를 얻을 수 있도록 하였다.

표 2 측정장비간 측정오차 검토 측정결과

측정장비	전용측정기	공구현미경	오차
주 여유각 폭	0.828mm	0.820mm	0.008mm
부 여유각 폭	0.733mm	0.737mm	-0.004mm
경사각	6.750도	7.950도	1.2도
주 여유각	11.980도	12.420도	0.48도
부 여유각	29.574도	29.080도	0.494도

그 결과를 확인하기 위하여 일반 엔드밀로 측정을 실시하였으며 [표 2]와 같이 양호하게 측정되었다는 것을 알 수 있다.

## 2.2 형상 분석

고속 가공용 엔드밀의 경향성을 파악하기 위하여 시판되는 엔드밀 시료를 측정한 결과 [표 3]과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

표 3 각사 엔드밀 주요형상 분석

용도	고속, 고경도용				일반용		
	K-A	H-A	F-A	시료A	K-B	H-B	F-B
인수	6	6	6	6	2	6	6
Flute깊이(mm)	0.93	1.01	1.11	1.03	2.04	0.92	1.23
경사각(도)	-25.9	-23.6	-18.5	-12.9	-0.68	-19.3	2.26
여유각(도)	9.11	10.8	4.92	9.78	16.83	10.57	11.37
Helix Angle(도)	45	45	55	45	30	45	45
떨림정밀도(mm)	0.008	0.008	0.009	0.010	0.009	0.009	0.004

주요특성은 인수의 경우 대부분 6인을 적용하고 있었으며 엔드밀의 강성을 결정하는 Flute 깊이의 경우 고속

가공용 엔드밀의 경우 대부분 0.9 ~ 1.0mm정도이므로 Web치수는 외경의 약80%를 적용하여 일반용 대비 강성이 향상된 것을 알 수 있다. 경사각의 경우 Maker별로 그 값은 다소 다르나 모두 Negative형으로 제작되어 있으며 일반용의 경우는 0도에서 Positive형으로 제작되었다. 떨림정밀도의 경우 대부분 0.01mm이하를 유지하고 있었고 여유각은 약10도로 제작되어 있으며 일반용은 약 15도 정도이다. Helix Angle의 경우 대부분 45 ~ 55도의 High Helix로 제작되어 절미를 향상시켰고 일반용은 표준 Helix Angle인 30도의 형상을 보인다.

### 3. 실험 및 결과

#### 3.1 절삭력 분석

엔드밀의 경사각에 따른 경향을 파악하기 위하여 다양한 형태의 엔드밀에 대해 절삭력 측정을 실시하였다.

우선 고경도 피삭재에 대해 엔드밀의 절삭저항 시험을 실시하였으며 [표 4]는 Hrc 50.2로 열처리한 STD11에 절삭실험을 수행하기 위하여 사용된 절삭조건이다.

표 4 6날에 대한 절삭조건

D (6날)	Ad	Rd	F (mm/min)	f (mm/tooth)	rpm (max)	V (m/min)
10	10	0.2	432	0.03	2400	75
6	6	0.12	432	0.018	4000	75

[그림 2]에서 나타낸 그래프에서 보듯이 고속 가공용 엔드밀로 분류된 A그룹 시료의 경우에는 큰 음의 경사각으로 인하여 절삭저항이 큰 것을 볼 수 있다. 또한 B그룹 시료의 경우 양의 경사각과 큰 Helix angle로 인하여 절삭저항이 감소되는 것을 알 수 있다. 제작된 시료A의 경우는 Positive 경사각으로 인하여 절삭저항이 비교적 작게 나타남을 알 수 있다.

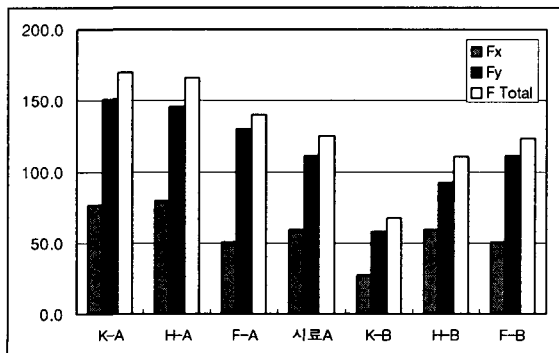


그림 2 공구별 절삭저항 크기 비교

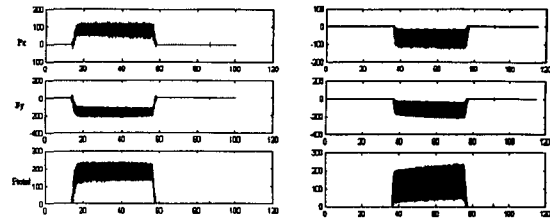


그림 3 시료K-A와 시료A의 절삭저항 측정 비교

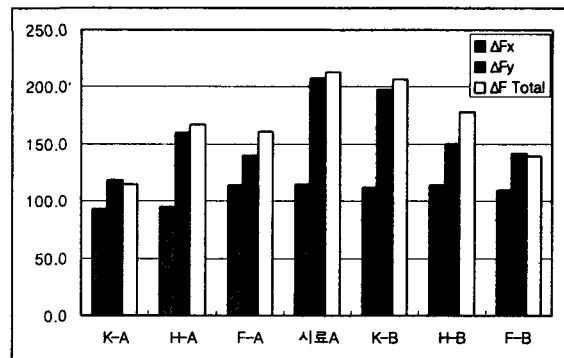


그림 4 공구별 절삭저항 진폭의 크기

[그림 3]과 [그림 4]는 각 절삭력의 성분중에서 동적 성분으로서 진폭을 나타내고 있다. 이것은 절삭력의 변동성분으로서 엔드밀 가공중의 떨림정밀도나 Helix각에 따른 절삭량의 변화, 인선부의 마모 특성 그리고 진동의 영향 등에 의해서 결정된다. 이 값이 클수록 공구수명이나 가공 정밀도에 영향을 크게 미치게 된다. 시료K-A와 H-A 그리고 F-A의 경우에는 약 150N 정도의 크기를 나타내고 테스트를 위해 제작된 시료A는 220N의 비교적 큰 값을 나타냄을 알 수 있다. 시료K-A와 H-A가 동일한 Helix 각도인 45°라는 점을 고려할 때 제작된 시료의 큰 값은 예리한 경사각으로 인해 인선이 쉽게 무너져 발생한 것임을 예측할 수 있다. 따라서 고속 가공에 적용하기 위한 엔드밀의 구조는 절삭저항에 의한 진동을 고려하여 1날이 담당하는 부하를 줄이기 위하여 많은 인수를 갖고 Negative의 경사각을 가지며 High Helix의 구조를 가져야 한다는 것을 알 수 있다.

#### 3.2 시료 Test를 통한 경사각 영향 검토

각 사별 엔드밀에 대한 분석 결과를 통해 Web 형상은 엔드밀 강성을 고려하여 80%를 적용하고 Negative 경사각을 적용한 엔드밀 설계 시안을 마련하였다. 또한 시료중 인선 강도 차에 의한 수명차이를 파악키 위해 Posi 경사각을 갖는 제품도 동시에 제작하여 Test 실시되도록 하였다. 시료의 상세한 공구 형상은 [표 5]와 같다.

Test결과 [그림 5]에서 보는 바와 같이 시료1 및 2의 경우 각각 27개와 30개를 가공 후 인선부의 손상으로 인

표 5 Test를 위한 시료의 공구 형상

	시료 1, 2	시료 3, 4	K사 시료
인수	6	6	6
경사각	4.21도	-5.25도	-25.9도
여유각	11.98도	12.6도	9.11도
Helix Angle	45도	45도	45도
Web	7.97mm	7.98mm	8.14mm

해 가공이 불가하였으나 시료3, 4와 K사 시료의 경우 각각 70개와 75개 및 85개를 가공 후 수명이 종료되었다.

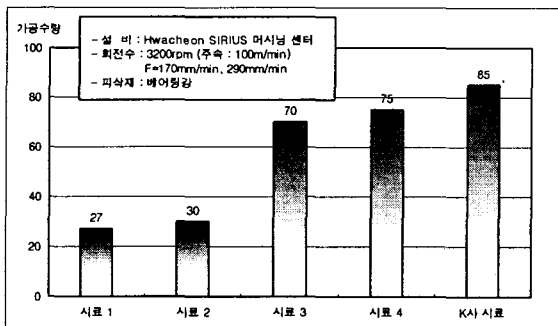


그림 5 경사각에 따른 공구수명

수명차이의 주요 원인은 Positive 경우 인선부 강도가 저하되므로 미세 손상이 발생하기 쉽고 이러한 미세 손상이 증대되어 수명이 다한 것으로 판단되며 Negative 경우 인선의 강도가 Positive Type보다 크게 작용하여 미세 손상이 억제되었고 진행정도가 다소 느려 Positive대비 2배 이상의 효과를 보였다.

#### 4. 결과 고찰

(1) 엔드밀 측정을 위하여 비접촉식 측정 장비를 도입하였으며 측정치에 변화가 생기는 문제는 Focusing 방법의 변경과 소정의 측정기준을 설정하여 측정된 결과 신뢰성 있는 Data를 얻을 수 있었고 본 연구를 통해 얻어진 결과를 토대로 공구의 특성 파악 분석이 가능해졌다.

(2) 고속, 고이송용 엔드밀은 강성의 증대를 위해 두꺼운 Web를 채용하였고 절삭시의 인선강도를 위하여 모든 엔드밀이 Negative의 경사각을 채용한 것이 가공시 안정된 절삭저항을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

#### 5. 결론

고속 가공용 엔드밀의 형상 분석과 절삭력 Test 분석을 통하여 엔드밀의 경사각에 대한 설계 개념을 파악할

수 있었으며 결국 엔드밀의 경사각이 공구의 성능에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

본 연구 결과로서 엔드밀의 형상 분석 결과와 절삭 Test 결과 얻어진 Data와 잘 일치하고 있는 것을 알 수 있었고 분석된 결과를 토대로 외경 10.0mm인 엔드밀에 대하여 경사각 -14도 ~ -25도 여유각 5도 ~ 14도의 Spec을 갖는 엔드밀이 가장 안정적인 특성을 나타내었으므로 2차 시료의 기준 Spec으로 제시되었다.

본 연구 과정 중 나타난 결과물을 이용하여 고속 가공시 예상될 수 있는 문제점을 엔드밀의 설계에 반영토록 하였고 고속 가공용 엔드밀의 요소 기술이 무엇인가를 도출할 수 있었으며 연구시 발생된 결과는 엔드밀의 설계 Data나 가공 기술의 기초자료로서 활용될 수 있도록 Data Base를 구축해 나가는 바탕이 되었다.

#### 후기

본 연구는 산업기반기술과제인 코티드 불, 평 엔드밀 개발의 일환으로 연구 수행되어진 결과를 토대로 논문을 작성하였으며 본 과제의 위탁과제인 결과물을 일부 인용하여 작성되었다.

#### 참고문헌

1. J. Boehner, M. Dumitrescu, M. A. Elbestawi and El-Wardany Lienjing Chen, "Effect of Carbide Tool Grades and Cutting Edge Geometry on Tool Life During High Speed Machining of Hardened Tool Steel," 2nd International Conference on High Speed Machining, (1999) 37.
2. 本田 巨範 and 大河出版 編輯部, "Frais 切削" Frais 加工 Manual, (1976) 47.
3. 한국공구공업협동조합 발간 통계자료, (1999)
4. 한국야금(주) 제품 카탈로그 및 기술자료, (1999)
5. Yoshimito, "In-process measurement of cutting force and its application to identification of machining status", KISTLER seminar 자료, (2000)
6. 한국야금(주), "공구재료", 53. "밀링가공일반이론", 75. 절삭공구기술, (1987)