

## 밀링 공구의 절삭날 수가 절삭특성에 미치는 영향

### The effect of number of milling cutting edges on cutting characteristics

문창성(국민대 자동차전문대학원), 이위로, 이병휘(기술표준원), 김주현(국민대 기계자동차공학부)

#### Abstract

End milling is one of the most widely used machining operations. It is associated with productivity and production quality progress. In metal cutting with up and down milling, moment is important factor to diagnose the cutting characteristics because the amount of tool wear directly influences the moment. In this study, the effects of number of milling cutting edges on the cutting performance, especially on the moment, are investigated. The results acquired through the cutting test measuring moment show that up milling is superior to down milling.

**Keywords:** up and down milling (상·하향 밀링 작업), moment (모멘트), cutting characteristics (절삭특성), tool wear (공구마모)

#### 1. 서론

최근 들어 컴퓨터를 이용한 설계, 제어 기술의 발달로 공작기계는 시간이 지날수록 고정밀화, 고속화되어 생산성과 생산품질 향상이라는

두 가지 요건을 동시에 충족시켜 향후 절삭가공의 주류를 이룰 것으로 기대하고 있다.

공구의 회전과 공작물의 이송으로 다양한 가공을 할 수 있는 엔드밀 가공은 CNC 밀링 머신에서 금형을 가공하는데 많이 이용된다. 이러한 엔드밀 가공시 절삭 특성에 따라 공구의 마모 및 파손, 공구 수명 저하와 같은 이상상태가 발생이 되어 금형의 정밀도, 생산성, 경제성을 저하시킨다. 절삭가공 과정에서 발생하는 여러 가지 이상상태를 검출 및 분석함에 있어 절삭 특성은 여러 가지 절삭 현상들을 가장 폭 넓게 내포하고 있으므로 언제나 필수적인 연구 대상이 되어왔다.

평엔드밀 가공은 금형 가공에서 황삭, 중삭 공정에 많이 사용되며, 평면이나 측벽의 가공에 사용된다. 평엔드밀 가공에 의해 생성된 제품의 면을 가지고 조립 면으로 사용할 시 제품의 정밀도나 조립 시간 등이 결정되는데, 이러한 이유로 인해 엔드밀 공구의 절삭특성 등이 주요관심의 대상이 되고 있다.

절삭 조건에는 가공속도, 날당이송량, 절입깊이 등이 있는데, 밀링가공에서 절삭날 수와 모멘트는 공구마모 변화에 가장 많은 영향을 미친다.

밀링공구의 마모현상을 검출하기 위해 많은 연구가 있어왔다. Dornfield<sup>1)</sup> 등은 절삭인자들과 AE신호와의 관계를 해석함으로써 공구파손을 검

출하고자 하였고, Matsushima<sup>2)</sup> 등은 주축모터의 전류량의 감지를 통한 절삭력 측정을 이용하여 공구마모를 검출하는데 시도하였다. 또한, Iwata and Moriwaki<sup>3)</sup>는 금속절삭시 공구 플랭크 마모와 AE신호의 특성에 관계된 실험을 행하였다. 하지만, 절삭가공을 하여 모니터링한 모멘트를 통하여 공구마모에 관해 분석한 것은 거의 찾아볼 수가 없다.

밀링에서의 절삭력 예측에 관한 연구는 Martellotti<sup>4)</sup>의 밀링공정에 관한 초기 논문에서 시작하는데, 그는 상향, 하향 밀링의 절삭기구에 대해 고찰하면서 가공면의 품위, 절삭 가공에서의 동력, 밀링 경사각 등의 공구 기하, 칩의 생성 기구에 관한 전반적인 기초 이론을 제시하였다.

Kline<sup>5)</sup> 등은 평엔드밀링에서의 공구 변형을 외팔보 이론을 도입하여 해석하였다. 공구의 절삭날을 미소날로 분할하고 여기에 작용하는 미소 절삭력들을 합하여 전체 절삭력을 구하였다. 또한 공구와 아머 접면에서의 모멘트를 계산하여 동일한 모멘트를 생성하도록 하는 집중하중 작용점을 구하고, 이로부터 공구를 외팔보로 가정된 상태에서 공구 변형량을 예측하였다.

본 연구의 목적은 측벽가공시 면에 미치는 영향이 큰 공구의 날수, 상·하향 밀링 등으로 절삭조건을 변화시켜 고속도강, TiN, TiCN으로 코팅된 엔드밀로 절삭가공하여 가공시에 모니터링되는 모멘트를 비교하여 절삭날 수가 절삭특성에 미치는 영향에 대하여 알아보는 것이다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1 실험 장치

절삭조건에 따라 다양한 모멘트를 얻기 위해서 본 실험에서는 Table 1과 같은 실험장치를 사용하였다.

### 2.2 절삭공구 및 피삭재

본 실험에 사용된 밀링 공구는 한국OSG사의 Ø8인 두 날, 네 날 엔드밀로 이루어진 고속도강 및 TiN, TiCN으로 코팅된 공구를 사용하였다. 엔드밀의 소재는 SKD-56을 사용하였다.

실험용 피삭재는 공구, 다이등을 만드는 ST

C4를 사용하였다. STC4 시편 제작을 위하여 밀링 커터로 거친 면을 절삭한 후에 연삭기로 절삭한 면을 다듬어서 50×500×200의 치수로 제작하였다.

Table 1 Instrument and specification

Instrument	Company	Specification
Machining Center	HWACHEON	HIPLUS V4
Software	ADVANTECH	LabVIEW
Dynamometer	KISTLER	Type 9123C
Charge Amplifier	KISTLER	Type 5223B
Stator	KISTLER	Type 5221B1

### 2.3 실험 방법

먼저 Ø8인 두 날, 네 날 엔드밀로 절삭길이를 5000mm 까지 가공 할 수 있도록 머시닝 센터에 상·하향 두 가지의 프로그램을 입력하였다. 입력한 프로그램에 의해 절삭 행정을 하면 절삭력은 모멘트 측정이 가능한 KISTLER사의 공구동력계(Type 9123C)를 통하여 KISTLER사의 Stator(Type 5221B1)로 데이터가 신호 처리되어 전달된다. 전달된 데이터는 Charge Amplifier (Type 5223B)에서 신호가 증폭되어 A/D 변환기를 통해 데이터가 수치화 되어 IBM PC에 저장된다. Fig. 2는 이번 실험에 사용된 KISTLER사의 공구동력계(Type 9123C)이다.

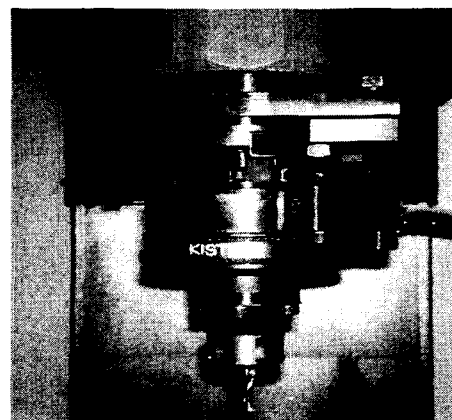


Fig. 2 Experimental setup of tool Dynamometer

각 실험은 Ø8인 두 날 고속도강 엔드밀로 하향 절삭을 시작하여 Table 2와 같은 순서로 절삭하여 모멘트를 측정하였다. 본 실험에 적용된 절삭 조건은 Table 3과 같다.

Table 2 Cutting procedure

Procedure	Cutting method	Number of cutting edges	
		2 edges	4 edges
1	Down milling	2 edges	4 edges
2	Up milling	2 edges	4 edges

Table 3 Cutting condition

Cutter diameter (mm)	Spindle speed (rpm)	Feed speed (m/min)	Depth of cut (mm)	Width of cut (mm)
8	2000	90	12	0.5

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 상·하향 절삭시 절삭날 수에 따른 모멘트-절삭 길이 비교

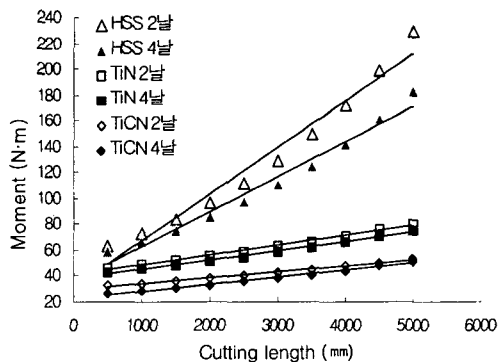


Fig. 3 Comparison of moment during down milling with different number of cutting edges of HSS, TiN, TiCN coated tools

Fig. 3은 고속도강, TiN, TiCN 코팅 공구로 하향 절삭할 때, 절삭날 수에 따른 모멘트를 비교한 것이다. Fig. 3을 보면, 고속도강의 모멘트 증가율이 제일 크고, 그 다음에는 TiN, TiCN 순으로 나타내어져 있다. 고속도강의 2날 및 4날로 가공하면 절삭길이가 커질수록 날 수에 따라서 모멘트 차가 커지나 TiN, TiCN은 모멘트가 일정하게 증가하며 날 수에 따른 모멘트 차이가 별로 없는 것을 볼 수 있다. 하지만, TiCN의 재질 경도가 고속도강, TiN보다 높기 때문에 모멘트 증가율은 낮다.

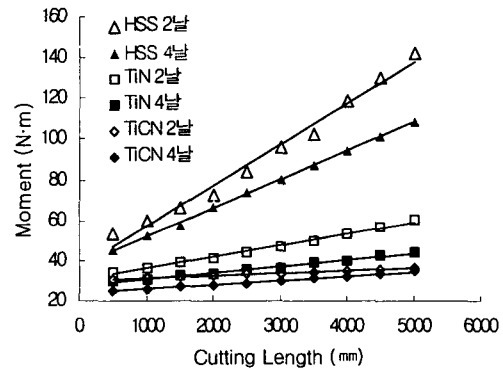


Fig. 4 Comparison of moment during up milling with different number of cutting edges of HSS, TiN, TiCN coated tools

Fig. 4는 고속도강, TiN, TiCN 코팅 공구를 상향 절삭할 때, 절삭날 수에 따른 모멘트를 비교한 것으로, Fig. 3과 비슷한 양상을 보여주고 있다. 하지만, 상향으로 절삭한 Fig. 4의 모멘트가 하향으로 절삭한 Fig. 3의 모멘트보다 작은 값을 가지는 것을 알 수가 있다.

Fig. 5는 TiCN 코팅 공구로 상·하향 절삭할 때 절삭날 수에 따른 모멘트를 비교한 것이다. 상·하향 절삭시 TiCN의 절삭날 수에 따른 모멘트를 비교해보면, 처음에는 상향 및 하향 절삭시 모두 2날 엔드밀이 4날 엔드밀보다 모멘트가 크지만, 절삭길이가 길어지면서부터 모멘트 차이는 작아지는 것을 볼 수가 있다.

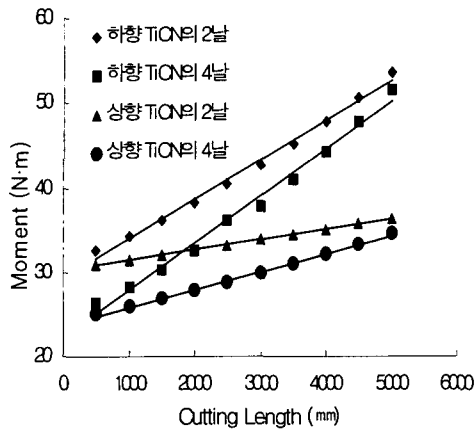


Fig. 5 Comparison of moment during up and down milling with different number of cutting edges of TiCN coated tools

### 3.2 상·하향 절삭시 TiCN의 절삭날 수에 따른 공구마모-절삭 길이 비교

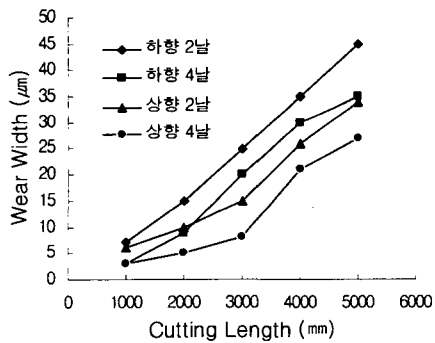


Fig. 6 Comparison of wear during up and down milling with different number of cutting edges of TiCN coated tools

Fig. 6은 TiCN 코팅 공구를 상·하향 절삭할 때 절삭날 수에 따른 공구마모를 비교한 것이다. 상·하향 절삭시 TiCN의 절삭날 수에 따른 공구 마모를 비교해보면, 상향 절삭의 경우, 처음에는 하향 절삭보다 공구마모가 안정되게 증가하지만, 절삭길이가 3000mm 이상이 넘어가면서부터 공구마모가 급경사를 이루며 증가하는 것을 볼 수 있다. 이것은 상향 절삭 인입시에는 칩두께가 작고, 이탈시에는 칩두께가 크기 때문에 절삭길

이가 3000mm까지는 절삭날에 많은 영향을 주지는 않는다. 그러나, 절삭길이가 3000mm를 초과하면서부터 절삭날에 가해지는 모멘트의 증가로 인해 공구의 이탈이 발생하게 되는데, 이것이 공구마모가 커지게 되는 이유이다.

### 3.3 상·하향 절삭시 TiCN의 절삭날 수에 따른 공구마모-모멘트 비교

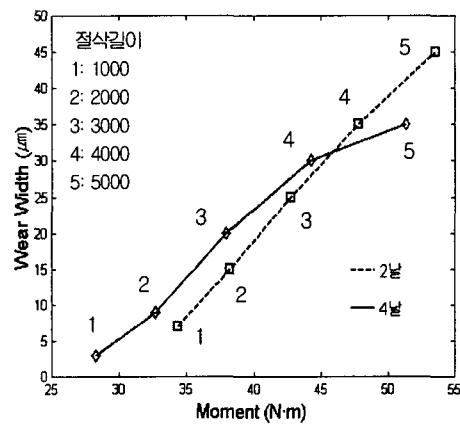


Fig. 7 Comparison of wear-moment during down milling with different number of cutting edges of TiCN coated tools

Fig. 7은 하향 절삭으로 가공한 모멘트에 따른 공구마모 그래프이다. Fig. 7을 보면 2날의 엔드밀이 4날보다는 공구마모가 큰 것을 볼 수 있다. 또한, 모멘트가 약 45N·m일 때, 4날은 모멘트에 따른 공구마모 증가율이 낮아지는 것을 볼 수 있다. 이것은 하향 절삭의 경우, 절삭날이 이탈시 칩두께가 작기 때문에 이러한 결과를 초래했다. 하지만, 2날은 면에 닿는 접촉수가 작기 때문에 모멘트에 따른 공구마모가 일정하게 증가하는 것을 볼 수 있다.

Fig. 8은 상향 절삭으로 가공한 모멘트에 따른 공구마모 그래프이다. Fig. 8을 보면 공구마모 증가율이 커 보이지만 수치로 보면, Fig. 7보다는 공구마모가 작다. 2날은 공구마모 증가율이 Fig. 7처럼 일정하게 증가하는 것처럼 보이는데, 4날은 Fig. 7과 비교해 보면 모멘트가 약 30N·m일 때, 공구마모 증가율이 커지는 것을 볼 수가 있

다. 이것은 Fig. 7과 반대되는 현상으로 상향 절삭은 절삭날 이탈시 칩두께가 크기 때문에 이러한 결과를 초래한다. 2날도 마찬가지로 공구마모 증가율은 일정하게 증가하나, 모멘트의 변화 폭이 작은 반면, 공구마모의 변화 폭은 큰 것을 볼 수가 있다. 또한, 기울기를 보면 하향 절삭시보다 큰 값을 가진다는 것을 알 수가 있다.

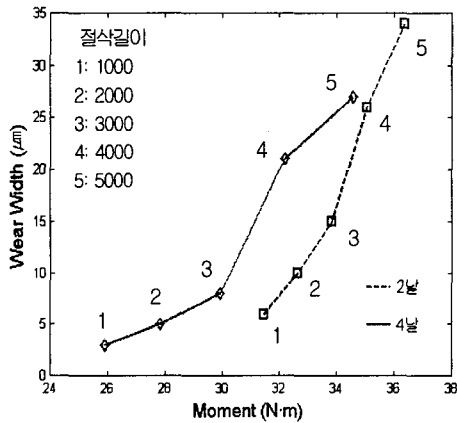


Fig. 8 Comparison of wear-moment during up milling with different number of cutting edges of TiCN coated tools

#### 4. 결론

본 연구에서는 측벽가공시 면에 미치는 영향인 공구의 절삭날 수, 상·하향 밀링 등으로 변화를 주어 고속도강, TiN, TiCN으로 코팅된 엔드밀로 절삭가공하여 가공시에 모니터링되는 모멘트를 비교하여 절삭날 수가 절삭특성에 미치는 영향에 대하여 알아본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 상·하향 절삭시 고속도강의 2날 및 4날은 절삭길이가 길어질수록 모멘트 차가 커지나 TiN, TiCN은 일정하게 증가하며, 상향으로 절삭 한 공구의 모멘트가 하향으로 절삭한 공구의 모멘트 보다 작다.
- (2) 상·하향 절삭시 TiCN의 절삭날 수에 따른 모멘트를 비교해보면, 상·하향 2날 엔드밀

이 4날보다 모멘트가 크며, 상·하향 절삭시 TiCN의 절삭날 수에 따른 공구 마모를 비교해보면, 상향 절삭의 경우, 하향 절삭보다 공구마모가 안정되게 증가한다.

- (3) 하향 절삭시 TiCN의 절삭날 수에 따른 공구 마모와 모멘트를 비교해보면 2날 엔드밀이 4날보다는 공구마모가 크다
- (4) 상향 절삭시 TiCN의 절삭날 수에 따른 공구 마모와 모멘트를 비교해보면 공구마모 증가율이 커 보이지만 수치로 보면 하향 절삭보다는 작다.

#### 참 고 문 헌

1. Dornfield, D. A., Lan, M. S., "In-process Tool Fracture Detection", ASME Journal of Engineering Materials and Technology, Vol. 106, pp. 111-118, 1984
2. Matusshima, K., Bertok, P. and Sata, T., "In-process Detection of Tool Breakage by Monitoring Spindle Motor Current of a Machine Tool", Measurement and Control for Batch Manufacturing, The Winter Annual Meeting of ASME, Phoenix, Arizona, Nov. 13-19, pp. 14-19, 1982
3. Iwata and Moriwaki, "An Application of Acoustic Emission Measurement to In-process Sensing of Tool Wear", Annal of the CIRP, Vol.25, No.1, pp. 21-26, 1977
4. M.E.Martelotti, "An Analysis of the Milling Process, Part II -Down Milling," Trans ASME, Vol.67, pp. 233-251, 1945
5. W. A. Kline, R. E. DeVor and I. A. Shareef, "The Prediction of Surface Accuracy in End Milling," ASME J. of Eng. for Ind., Vol.104, pp. 272-278, 1982