

# 엔드밀 공구를 이용한 밀링가공시 윤활 방법의 비교

정용운\*, 김주현\*\*

## Comparison of Lubrication Methods during Milling by Endmill Tool

Yong-Woon Chung\*, Joo-Hyun Kim\*\*

### Abstract

Recently, environmental conscious machining becomes one of the most important technology in modern manufacturing industry. Especially in metal cutting, cutting fluid often results in many environmental problems. Many technologies have been developed to reduce the problems of the cutting fluid. But most of the technologies need another devices which sometimes require large space and also are very expensive, such as cooling system. In this paper, air compressor is only used to replace the functions of cutting fluid as semi-dry cutting. Cutting forces, cutting moments, and tool wear were measured to obtain cutting characteristics, and were compared with those of dry cutting and non-dry cutting. In the results of the experiments, semi-dry cutting was found to show better cutting performances than dry cutting and non-dry cutting.

**Key Words :** Environmental conscious machining(환경친화 가공), Semi-dry cutting(세미드라이 절삭), Air compressor(공기 압축기) Endmill tool(엔드밀 공구), Milling(밀링가공)

## 1. 서론

오늘날 환경문제는 모든 산업분야의 전반에 걸쳐 큰 문제로 대두되고 있다. 이러한 추세에 맞추어 제조분야 역시 전 공정에서 환경문제를 고려하지 않을 수 없게 되었다. 자동차 설계를 예로 들어보면, 자동차를 폐차 할 때, 폐기

되는 부품들의 리사이클링을 고려하여 설계에서부터 재활용이 가능한 부품으로 대체 설계를 하던가, 아니면 가급적으로 영구폐기 되는 부품을 줄여나가고 있는 추세이다. 가공분야 역시 절삭 가공시 사용되는 절삭유의 처리비용 및 환경에 미치는 영향 등이 크게 부각되고 있다.

\* 국민대학교 자동차공학대학원

\*\* 국민대학교 기계자동차공학부

절삭에서 절삭유의 역할은 크게 공구 절삭날 부근과 피삭재의 열을 냉각시키는 냉각작용, 공구면의 마찰을 줄여주는 윤활작용, 칩 제거, 표면 거칠기의 향상에 있다<sup>(1)</sup>. 그러나 절삭에 소요되는 비용 중 공구가 차지하는 비용은 2 ~ 4% 정도 차지하는 반면 절삭유로 소비되는 비용은 무려 7 ~ 17%에 이르는 것으로 보고 있고<sup>(2)</sup>, 절삭유를 사용함에 따라 인체에 미치는 영향도 무시할 수 없게 되었다. 이런 추세에 발맞추어 여러 연구자들에 의해 절삭유를 대체할 여러 방법들에 대한 연구가 진행되었다. 절삭유의 최소량만을 사용하는 최소절삭유량절삭법(MQL)에 대한 연구가 있었고<sup>(3)</sup>, 또한 선삭가공에서 인서트 내부에 냉각시스템을 장착한 연구도 있었다<sup>(4)</sup>. 이외에도 고압의 냉각 윤활 제트(jet)를 노즐로 분사하는 방법과<sup>(5)</sup>, 냉각압축공기 장치를 이용한 절삭 방법에 대한 연구 등<sup>(6)</sup>이 있었다. 그러나 이러한 방법들은 새로운 장치를 구매 또는 장착하거나, 새로운 공구를 만들어야 하는 애로사항이 있다. 따라서 본 논문에서는 엔드밀을 이용한 밀링 가공시 윤활의 방법을 현장에서 쉽게 볼 수 있는 압축 공기장치(air compressor)만을 사용하여 압축공기에 의한 세미드라이 절삭(semi-dry cutting)을 하여 건식 절삭과 절삭유를 사용한 습식 절삭과의 실험적인 비교를 통해 그 타당성을 검증해보고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

본 실험에서는 주어진 절삭 조건에 따라 절삭력, 모멘트 및 공구마모를 측정하기 위하여 화천기공의 HIPLUS V4 머시닝센터에 KISTLER사의 공구동력계(Type 9123C)와 Stator(Type 5221B1)를 장착하여 신호를 KISTLER사의 Charge Amplifier(Type 5223B)로 받은 후 IBM PC로 데이터를 분석하였고, 공구마모의 측정을 위해 NIKON사의 현미경(Type ME600)을 사용하였다.

실험에 사용된 엔드밀은 한국OSG사의  $\varnothing 8$ 인 네 날 엔드밀로 고속도강에 TiAlN 코팅이 되어 있다. 실험용 피삭재는 프레스 형틀 등에 쓰이는 STC3종으로 피삭재의 크기는  $200 \times 150 \times 50$ 이고 실험에 들어가기 전에 밀링의 face cutter로 면을 다듬었다. 세미드라이 절삭을 위해 공기 압축기의 에어건을 스피들 축에 장착하였다. 에어건이 스피들 축에 장착된 모습을 Fig. 1에 나타내었다.

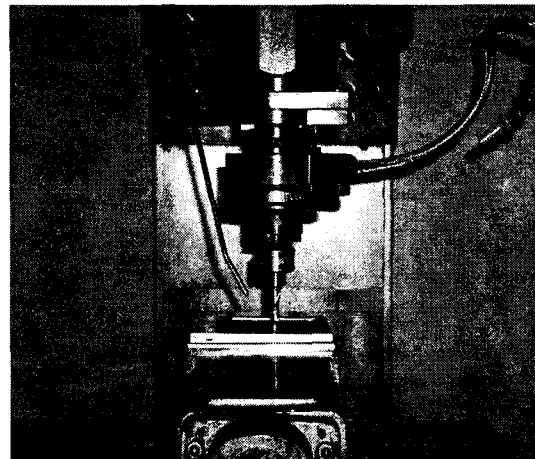


Fig. 1 Schematic diagram of semi-dry cutting with air gun

### 2.2 실험방법

본 실험의 목적이 건식, 습식, 압축공기를 이용한 세미드라이 절삭의 비교실험이므로 절삭 조건은 공구회사에서 추천하는 절삭 조건으로 하여 동일하게 적용하였다. 이를 Table 1에 나타내었다.

윤활방법의 비교를 위해서 습식 절삭에 사용된 절삭유는 (주)한국 하우톤의 수용성 W2종 1호의 절삭유를 사용하였으며, 세미드라이 절삭에서는 컴프레서의 에어건을 머시닝센터의 주축에 장착하여  $5.5 \text{ kgf/cm}^2$ 의 압력으로 엔드밀의 절삭부분에 적용하였다.

가공경로는 준비된 피삭재의 표면으로부터 Z축 방향으로 1mm의 절삭 깊이로 가공을 하고,  $100 \times 80$ 의 윤곽 가공을 실시한 후 공구마모의 해석을 용이하게 하기 위해 절삭 폭을 7mm로 하여 상·하향 절삭의 반복으로 절삭 길이를 500 ~ 4000mm까지 변화시키면서 포켓가공을 하였다. 절삭 가공하는 동안 KISTLER사의 공구동력계(Type 9123C)와 Stator(Type 5221B1)를 이용하여 데이터가 신호 처리되어 전달된다. 전달된 데이터는 Charge amplifier(Type 5223B)에서 신호가 증폭되어 A/D 변환기를 통해 데이터가 수치화 되어 IBM PC에 저장된다. 이 데이터를 이용하여 이송방향의 절삭력과 모멘트를 측정하였다. 이 과정을 개략적으로 Fig. 2에 나타내었다. 공구마모는 현미경에 장착된 Scaler를 이용하여 엔드밀의 여유면 마모를 측정하였다. 실험의 정확도를 기하기 위해 예비실험을 거친 후 3회 반복 실험을 통해 검증하였다.

Table 1 Cutting Condition

Cutter diameter [mm]	8
Spindle speed [rpm]	500
Cutting length [mm]	500 ~ 4000
Feed speed [mm/min]	50
Depth of cut [mm]	1
width of cut [mm]	7

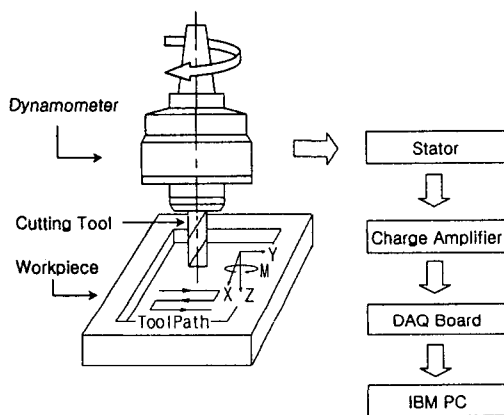
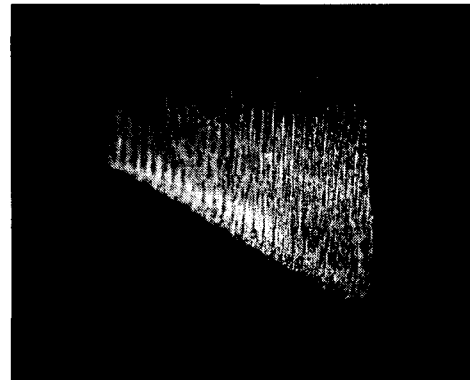


Fig. 2 Schematic diagram of cutting force and momen

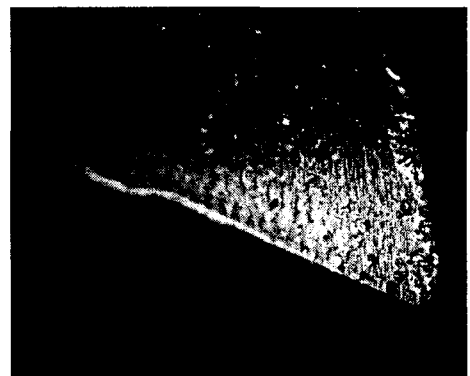
### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 공구마모

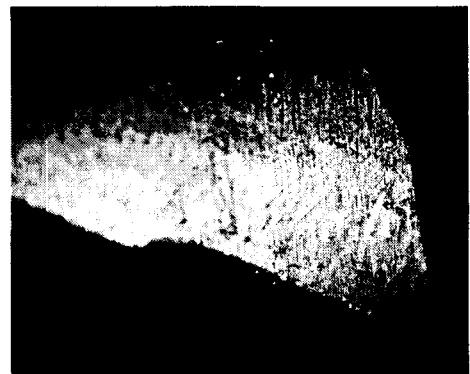
밀링가공을 통하여 4000mm의 절삭 길이를 가공한 후의 공구를 현미경으로 100배 확대하여 찍은 사진을 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3의 사진에서 보면 건식, 습식, 세미드라이 절삭의 세 가지 모든 경우에서 공통적으로 공구마모의



(a) Dry cutting



(b) Semi-dry cutting



(c) Cutting with lubricant

Fig. 3 Micrographs of the flank wear with respect to lubrication conditions at cutting length of 4000mm

형태가 전형적인 절삭날 마모의 형태를 나타냈다. Fig. 4는 절삭 길이가 증가함에 따라 공구마모의 변화를 나타낸 그래프이다. 절삭 길이가 증가함에 따라 공구마모도 증가하였는데, 절삭유를 사용한 경우, 즉 습식 절삭인 경우는 절삭 길이가 3000mm를 지나면서 공구마모가 급격히 증가함을 그래프로부터 알 수 있다. 또한 건식 절삭이나 세미드라이 절삭에 비해 절삭유를 사용한 습식 절삭인 경우, 공구마모가 두드러지게 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 엔드밀의 경우 절삭이 이루어지는 동안에는 공구가 가열되고, 절삭이 이루어지지 않는 동안에는 냉각이 되는 주기적인 단속 절삭이 이루어지는 형태를 보이기 때문이다. 특히 실험에 사용된 네 날 엔드밀의 경우는 이와 같은 현상이 극심할 것으로 보인다. 절삭조건이 저속 절삭이고 절삭유를 사용한 습식 절삭인 경우에는, 공구가 절삭유의 활발한 냉각작용과 절삭시의 높은 온도로 인한 주기적인 열 변화에 의하여 심한 열적 피로를 받게 된다. 하지만 건식 절삭이나 세미드라이 절삭의 경우에는 그다지 활발한 냉각 작용을 받지 않기 때문에 절삭유를 사용할 때 보다 열적 피로를 적게 받으므로 공구마모가 절삭유를 사용할 때 보다 적게 나타나는 것으로 보인다. 하지만 건식 절삭의 경우보다 세미드라이 절삭의 경우에 공구마모량이 적게 나타나는 이유는 압축공기가 어느 정도 공구를 냉각시켜 공구마모의 진행을 어느 정도 감소시켜 주기 때문으로 볼 수 있다. 또한 세미드라이 절삭의 경우에 압축공기가 칩을 배출시켜 줌으로서 건식 및 습식 절삭의 경우보다도 월등한 칩 배출 능력이 있는 장점이 있다.

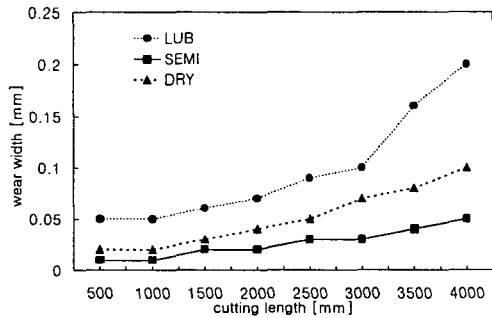


Fig. 4 Comparison of flank wear during milling with different lubrication condition

### 3.2 절삭력

Fig. 5에 윤활방법에 따른 절삭력의 변화량을 그래프로 나타내었다. 절삭 길이가 증가함에 따라 Fig. 4에 나타냈듯이 공구마모가 증가하기 때문에 절삭력은 따라서 증가되었고, 공구마모와 마찬가지로 절삭력 또한 절삭유를 사용할 때가 가장 높게 나타났다. 또한 건식 절삭과 세미드라이 절삭의 경우에는 절삭력에서 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 이는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 건식 절삭과 세미 드라이 절삭에 있어서 공구마모의 차이가 많지 않기 때문에 절삭력 또한 많은 차이를 보이지 않는 것으로 보인다. 절삭 길이가 2500mm를 지나게 되면 세미드라이 절삭이 건식 절삭보다 큰 절삭력을 나타내게 되지만, 여전히 건식 절삭과 비교하여 큰 차이는 없고 습식 절삭보다는 큰 차이를 나타내고 있다.

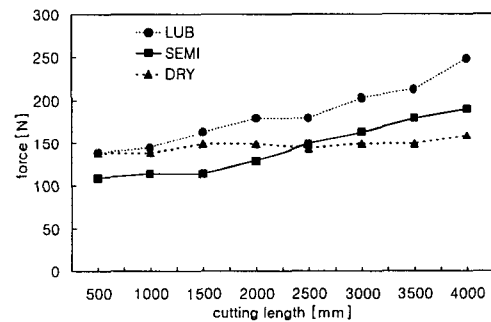


Fig. 5 Comparison of cutting force during milling with different lubrication condition

### 3.3 모멘트

Fig. 6에 윤활방법에 따라 절삭 길이가 증가함에 따른 모멘트 변화량을 그래프로 나타내었다. 역시 절삭력과 마찬가지로 건식 절삭과 세미드라이 절삭의 경우는 큰 차이가 없고 절삭유를 사용한 습식 절삭의 경우가 가장 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 절삭유를 사용하게 되면 공구 마모가 증가되고 절삭력 또한 증가되기 때문에 모멘트 또한 증가되는 것은 쉽게 예상할 수 있는 결과이다. 절삭 길이가 증가함에 따라 모멘트도 증가됨을 알 수 있는데, 이는 공구 마모가 증가됨에 따라 절삭날에 작용하는 마찰력 또한 증가되어 이에 따라 공구를 회전시키기 위한 더 많은 회전력이 요구되어지기 때문이다.

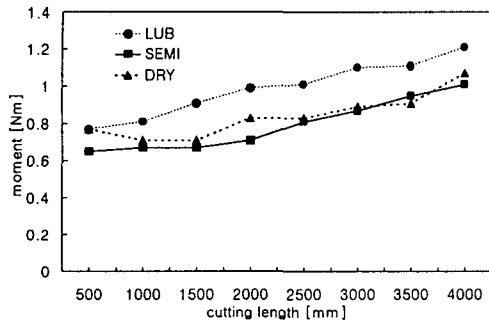


Fig. 6 Comparison of moment during milling with different lubrication condition

#### 4. 결론

절삭유를 사용함으로써 발생할 수 있는 환경적인 문제, 비용적인 문제 및 작업자의 작업환경 개선을 위해 윤활방법의 개선을 위한 건식 절삭, 습식 절삭 및 세미드라이 절삭의 비교 실험에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 공기 압축기를 이용한 윤활 방식인 세미드라이 절삭 방법이 습식절삭에 비해서 절삭력, 모멘트 및 공구수명의 모든 측면에서 우수하게 나타났고, 건식 절삭에 비해서는 칩 배출과 공구수명 측면에서 더 우수하다.
2. 네 날 엔드밀을 이용한 고정도의 피삭재 가공의 경우 습식절삭이 다른 조건의 절삭에 비해 열적피로에 의해 공구수명이 짧았다.
3. 윤활방법에 따른 절삭력과 모멘트의 비교에서는 건식 절삭과 세미드라이 절삭의 크기는 별 차이가 없었으나, 상대적으로 습식 절삭에서는 건식 절삭과 세미드라이 절삭에 비해 절삭력과 모멘트가 높게 나타났다.
4. 절삭 길이가 증가함에 따라 공구마모, 절삭력, 모멘트 모두 증가하였고, 특히 절삭유를 사용한 경우 공구마모의 변화가 3000mm를 지나면서 두드러지게 크게 나타났다.

#### 참고문헌

- (1) Geoffrey Boothroyd, and Winston A. Knight, 1989, *Fundamentals of Machining and machine Tools*, Marcel Dekker, INC., New York and Basel, pp. 155~173.
- (2) F. Klocke, and G. Eisenblätter, 1997, "Dry Cutting", *Keynote Papers, Annals of the CIRP*, Vol. 46, No. 2, pp. 519~526.
- (3) Rahman M., Kumar AS., and Salam MU., 2002, "Experimental evaluation on the effect of minimal quantities of lubricant in milling" *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 42, No. 5, pp. 539~547.
- (4) D. Dudzinski, A. Molinari, and H. Schultz, 2002, *Metal Cutting and High Speed Machining*, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow, pp. 319~328.
- (5) R. Kovacevic, C. Cherukuthota, and M. Mazurkiewicz, 1995, "High Pressure Waterjet Cooling/Lubrication to Improve Machining Efficiency in Milling", *Int. J. Mach. Tools Manufact.*, Vol. 35, No. 10, pp. 1459~1473.
- (6) 김석원, 안철수, 이득우, 2000, "난삭성 재료의 가공환경변화에 따른 고속가공 특성 평가(압축냉각 공기에 의한 공구수명 평가)", *한국공작기계학회지*, 제9권, 제6호, pp. 158~163.