

## 환경 친화적인 세미드라이 선삭가공 특성

이종항(한국산업기술대학교 기계공학과), 오종석(두산중공업(주) 연구원)

### Characteristics of Environment-friendly Semi-dry Turning

J. H. Lee (Korea Polytechnic University. KPU), J. S. Oh (DOOSAN H.I&C, LTD)

#### ABSTRACT

As the environmental regulations become stricter, new machining technologies are being developed which takes environmental aspects into account. Since cutting oil has some impact on environment, many researches are being carried out to minimize the use of cutting oil. The methods for minimizing cutting oil usage includes the following techniques: 1) Cooling of tools and work piece. 2) Useage of compressed cooling air for the removal of chip. 3) Minimal useage of environment-friendly vegetable cutting oil for lubrication between chip and tools. Since the turning machine is continuous, tools are under constant thermal load and tool wear increases as the lubricative performance degrades. Also surface roughnesses have a direct influence on turning. In order to examine the characteristics of turning machining, this work investigates experimentally the degree of tool wear and characteristics of surface roughness in relation to machining conditions, supply methods, and cooling methods.

주요어 : Environment problem(환경문제), Turning(선삭), Semi-dry(세미드라이), 냉풍(Cold air), Minimum quantity lubrication(극미량 절삭유), 공구마모(Tool wear), 표면거칠기(Surface roughness)

#### 1. 서 론

절삭유는 비산 또는 누설에 의해서 작업환경을 악화시키며, 장기간 사용시 부패 및 세균번식에 의한 악취, 작업자의 피부질환 등을 유발시킨다. 또한, 기존의 절삭유는 윤활성을 높이기 위해 염소, 유황, 인이라는 극압 첨가제가 포함되어 있다. 이 극압 첨가제는 인체에 해로운 유독성 물질이며, 특히 염소화합물을 소각하면 발암성 유해물질인 다이옥신이 발생<sup>(1)</sup>된다는 보고도 있다. 절삭유가 부착된 칩이나 폐기물 등이 소각되거나 가공 중 절삭열에 의해서도 다이옥신이 발생할 수 있기 때문에 환경에 끼치는 영향은 매우 크다.

한편, 보전에 관한 국제규격인 ISO14000에서 작업 환경에 대한 규제가 강화됨에 따라 절삭유 처리비용 및 설비 유지관리 비용이 증가하고 있다. 이러한 절삭유 관련비용은 총 생산비용의 7~17%가 되며, 공구 비용에 비해 4배 이상이 든다는 통계<sup>(2)</sup>도 발표되어 있다.

환경 친화적인 가공기술은 크게 나누어 드라이 가공(Dry Cutting), 세미드라이가공(Semi-Dry Cutting)으로 나눌 수 있다. 드라이 가공은 절삭유를 사용치 않는 순수한 건삭가공으로서 주로 코팅공구가 이용된다. 세미

드라이 가공은 -30℃의 압축냉각공기에 의한 가공(냉풍가공, Cold Air Cutting)과 환경 친화적인 식물성 오일을 미스트(Mist)로 만들어 아주 적은 미량을 이용하는 극미량절삭유(Minimum Quantity Lubrication)에 의한 가공, 그리고 이들 두 가지가 함께 이용되는 가공방법들이 있다.

냉풍을 이용한 기계가공 분야의 연구는 1996년 일본의 요코가와가 최초로 시도<sup>(3)</sup>하였다. 요코가와는 선삭가공시 냉풍온도 20℃~40℃, 냉풍 공급유량 100~800l/min를 가공부위에 공급하여 가공할 경우 냉풍온도가 낮을수록 공급유량은 많을수록 공구 수명이 증가하고, 특히 냉풍과 MQL을 함께 이용하면 공구수명이 대폭 증가<sup>(4)</sup>함을 보여 주었다.

선삭가공은 밀링가공과는 달리 연속가공이므로 공구가 지속적으로 열 부하를 받으며, 또한 윤활성이 떨어지면 공구마모가 증가하고 공작물의 표면거칠기에도 영향을 받는다. 따라서, 본 논문에서는 이러한 선삭가공의 특성을 확인하기 위하여 가공조건, 공급방향, 냉각방식에 따른 공구마모나 표면 거칠기 특성을 실험적으로 조사하여 효과적인 절삭유 최소화 방법을 찾아내고자 한다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 실험조건

다음 Table 1은 선삭가공 실험조건을 나타낸 것이다. TiN 코팅 초경공구를 이용하여 SM45C 재질을 선삭가공할 때 절삭유, 식물성 절삭유의 MQL, 압축공기, -30℃의 냉풍, 그리고 냉풍과 식물성 절삭유의 MQL을 함께 이용하는 경우, 동일한 절삭거리에서의 공구마모와 표면거칠기 특성에 대한 조사분석과, 각종 냉각매체의 온도 및 공급유량에 따른 가공특성, 냉각매체의 공급방향에 따른 가공특성에 대하여 조사 분석할 때 이용된 실험 조건들이다.

Table 1 Table of Experimental Conditions

Item	Experimental Conditions
Tool	TiN Coated Carbide, CNMG120404 KC850
Work-piece	SM45C Ø120*375mm
Cutting Condition	Cutting Speed : 120, 160, 200, 240m/min Feed rate : 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35mm/rev Depth of Cut : 1.0, 2.0, 3.0mm Cutting Distance : 11km or 17km Approach Angle : 15° or -5°
Cooling Method	Cutting Fluid : Emulsion(20:1), Q=120l/min Oil Mist(MQL) : Vegetable Oil, Q= 20ml/hr Compressed Air : T= +20℃, Q=400l/min Cold Air : T = -30℃, Q=400l/min, Mist+Cold Air : T=-30℃, Q=400l/min+20ml/hr
Nozzle	Cutting Fluid : Ø5mm connectional Nozzle Mist : Oil Mist Ø 0.45mm, Shaping Air Ø 3mm Compressed Air : Ø 5mm Copper Pipe Cold Air : Ø 5mm Copper Pipe

### 2.2 실험장치 및 방법

Fig. 1은 전체 실험장치를 나타낸 사진이다.

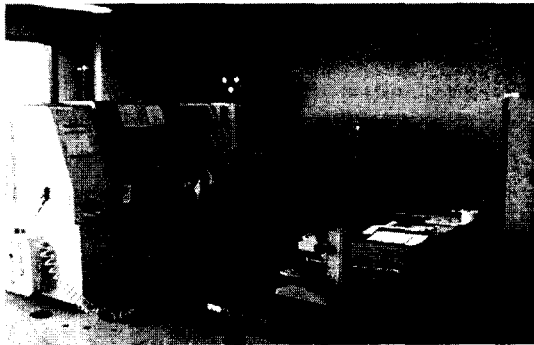


Fig. 1 Photo. of Cutting Test Rig

선삭가공 장비는 CNC선반(PUMA200MA)를 이용하였으며, 분석장비로는 온도계(TC-550, K type Thermocouple, Accuracy ± 0.1%), 표면조도기(SURF301, 0.3-160 μ mRmax), 공구현미경(Mitutoyo, Resolution 0.001mm)을 이용하였다.

공구수명의 판단기준으로서 플랭크마모(Flank Wear)를 이용하였으며, 11km 또는 17km로 가공거리를 동일하게 하여 측정하였다. 그리고, 표면거칠기는 공구마모가 없는 신품공구로 칩 절삭 시 표면 거칠기를 3회 측정하였다.

절삭가공에서는 냉각에너지량이 중요한 파라미터로서, 이것을 결정하는 것이 노즐이므로 노즐의 목 직경(Throttle Diameter)을 가능한 동일하게 하여 실험하였다. 특히, 미스트용 노즐의 경우는 Fig. 2와 같이 노즐의 중앙부에 미스트를 공급하면서 미스트가 주위로 퍼져나가지 않도록 보호 압축공기(Shaping Compressed Air)가 이용되었다.

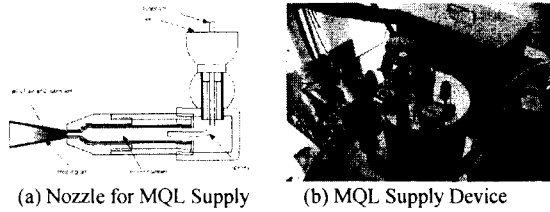


Fig. 2 Special Device for Oil Mist Supply

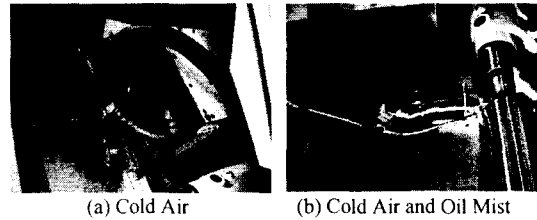


Fig. 3 Nozzle Setup for Cold Air and Oil Mist

냉풍 또는 MQL의 공급방향에 따라 가공특성이 다를 수 있다. 그러므로 이에 대한 가공특성을 알아보기 위하여 Fig. 3과 같이 경사면에서 공급할 경우에는 노즐설치 경사각을 45도로 하고, 절삭점과 노즐출구 사이의 거리를 13mm로 하였다. 여유면에서 공급할 경우에는 Ø5mm 동관(노즐로 이용)을 생크 측면에 부착시키고, 인선으로부터 노즐출구까지의 거리를 10mm로 설치하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 가공조건에 따른 공구마모 특성

-30℃, 300l/min의 냉풍과 MQL 20ml/hr를 이용하여 가공할 때 절삭속도의 변화에 따른 공구마모의 변화를 실험한 결과가 Fig. 4이며, 이송속도의 변화와 절삭깊이의 변화에 따른 공구마모의 변화가 Fig. 5이다.

Fig. 4에서 볼 수 있듯이 MQL이 냉풍보다 공구마모량이 적었으나 절삭속도 240m/min에서는 냉풍에 비해 약 20%까지 근접하는 것으로 보아, 절삭속도가 240 m/min 이상이 되거나 절삭열이 많이 발생하는 공작물의 경우는 냉풍이용시의 공구 마모량이 적어질 것으로 예측된다. 이 실험에서 냉풍이용시 공구마모가 커진 것은 윤활성이 부족할 뿐만 아니라 냉풍 에너지량(냉풍 온도\*공급유량)도 적었기 때문이라고 생각된다.

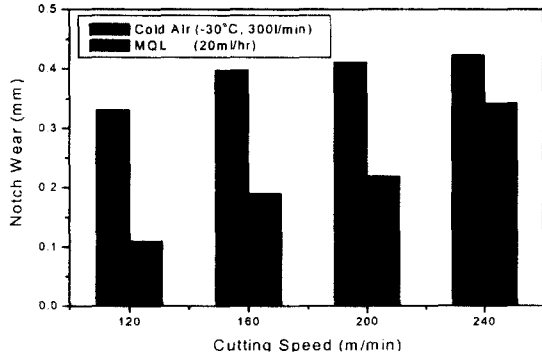


Fig. 4 Notch Wear according to Cutting Speed (f=0.2mm/rev, d=1mm, Cutting Distance=17km)

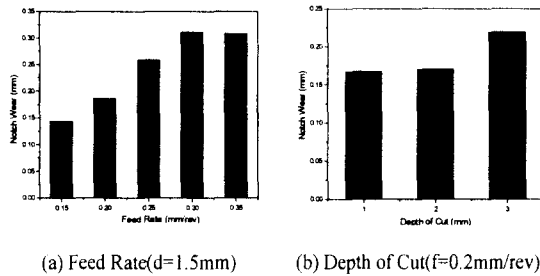


Fig. 5 Notch Wear according to Feed Rate and Depth of Cut (V=180m/min, Cutting Distance=11km, Cold Air + MQL)

냉풍과 MQL을 혼합하여 이용할 경우 이송속도와 절삭깊이의 변화에 따른 공구마모 경향은 이송속도나 절삭깊이가 증가할 수록 공구마모량도 증가하였다. 이것은 이송속도나 절삭깊이가 증가할 수록 절삭열이 증가하기 때문이다.

### 3.2 냉풍 공급방향에 따른 공구마모 특성

선삭가공은 공구마모가 경사면과 여유면에서 발생되지만 플랭크마모가 공구수명에 영향을 준다. 또한, 선삭가공의 대부분의 경우가 플랭크마모 중에서도 절삭깊이에 해당되는 경계부위의 마모인 노치마모(Notch Wear)가 평균플랭크마모보다 클 경우가 많다. 본 실험에서는 이러한 특성을 고려하여 노치마모량을 측정하였다.

냉풍은 냉각효과, 극미량의 절삭유는 윤활효과가 크다. 따라서 이 두 가지 냉각 매체를 단독 또는 혼합하여 경사면과 여유면에 적용하였을 때 공구마모에 미치는 영향을 조사한 것이 Fig. 6이다.

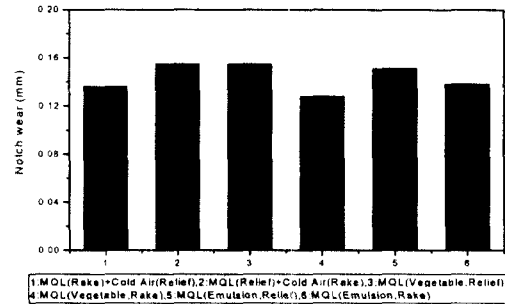


Fig. 6 Comparison of Tool Wear according to Mist Supply Direction (V=240m/min, f=0.2mm/rev, d=1.5mm, Cutting Distance=11km)

Fig. 6과 같이 MQL을 경사면에 공급할 경우가 가장 효과적이었으며, 냉풍이나 MQL의 혼합하여 사용시에는 공급방향을 달리하여도 효과가 없었다. 그러나 냉풍을 사용한 것에 비해 MQL 단독으로 사용한 것이 효과적이었다. 이것은 냉풍과 MQL을 공급하기 위한 노즐성능이 미흡하여 효과적인 공급이 어렵기 때문이었을 것으로 추정된다.

### 3.3 냉각 매체에 따른 공구마모 특성

냉각 매체로서 냉풍, 일반압축공기, MQL, 냉각공기와 MQL의 혼합, 수용성 절삭유, 냉각매체가 전혀 없는 순수 건식가공에 대한 공구마모 효과를 확인한 것이 Fig. 7이다.

절삭속도 120, 160, 200, 240m/min에서 실험해 본 결과, 상대적으로 저속인 120m/min에서는 MQL은 절삭유와 비슷한 공구마모량을 보여주고 있다. 이것은 고속에 비해 상대적으로 절삭열이 적고, 경사면상에서의 마찰열을 감소시켜주기 때문이다. 그러나 그 이상의 고속에서는 절삭유에 비해 MQL의 공구마모량이 증가하고 있는 것은 이러한 절삭열을 제거할 수 없기 때문인 것으로 추정된다. 한편, 240m/min에서는 냉각효과를 가지고 있는 냉풍이나 압축공기가 건식가공에 비해 공구마모량이 40% 감소되었으나 절삭유에 비해서는 2배 이상으로 공구마모량이 많다. 이것은 냉풍의 경우는 윤활효과와 냉각효과가 절삭유보다 부족하기 때문인 것으로 생각된다.

따라서 Fig. 6과 같이 냉풍과 MQL을 함께 이용하면 공구수명이 증가할 것으로 생각되어 이 두 가지를 혼합하여 실험해 보았으나 효과가 없었다. 이것은 냉풍공급용 노즐성능이 미흡(직경5mm 동관 이

용)하여 절삭점에 공급되는 MQL량이 부족하였기 때문으로 생각된다. 이것을 확인하기 위하여 MQL 공급시의 MQL량과 냉풍과 MQL 혼합시의 공급량을 일정거리 및 일정시간 동안 비커에 분무시켜 본 결과, 70%정도 MQL공급량이 감소되었으며, 그 원인으로서는 냉풍압력에 의해서 MQL이 주위로 비산되어 절삭점에 충분한 공급이 불가능했기 때문인 것으로 생각해 볼 수 있다.

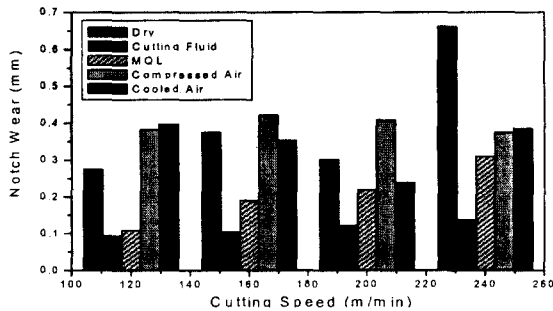


Fig. 7 Comparison of Tool Wear according to Cooling Method (V=180m/min, f=0.2mm/rev, d=1.5mm, Cutting Distance=11km)

### 3.4 냉각 매체에 따른 표면 거칠기 특성

각종 냉각매체에 대한 표면거칠기 특성을 조사한 것이 Fig. 8이다. 표면거칠기 실험은 신품공구를 이용하였고, 냉각매체를 변경할 때마다 모두 신품으로 교체하여 수행되었다. 그리고 절삭속도, 이송속도, 절삭깊이도 공작물 재질을 고려하였을 뿐만 아니라 정삭가공 조건으로 선택하여 실험하였다.

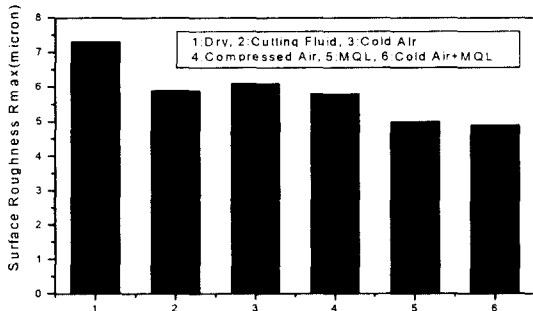


Fig. 8 Comparison of Surface Roughness according to Cooling Method (V=200m/min, f=0.14mm/rev, d=0.5mm, Fresh Tool)

그림에서 볼 수 있듯이 전반적으로 MQL을 사용한 경우가 다른 냉각매체를 사용한 경우보다 효과적이었다. 이것은 MQL이 식물성 절삭유로서 윤활성을 강조한 제품이었기 때문에 수용성 절삭유 보다 우수하게 나타났을 것으로 생각된다. 또한, 냉풍이나 압축공기도 절삭유에 거의 근접한 수준을 보인 것으로 보아 이들도 공구마모 효과가 절삭유 수준에 있으면 절삭유의 대체도 가능하다는 것을 알 수 있으며, 특히 MQL은 절삭열이

크지 않은 가공조건이라면 오히려 절삭유를 사용한 것보다는 모든 면에서 우수하게 나타나 절삭유를 대체 또는 최소화시키는데 충분히 이용되리라 생각된다.

## 4. 결론

연속가공의 형태로 수행되는 선삭가공은 공구가 지속적으로 열 부하를 받으며, 또한 윤활성이 떨어지면 공작물의 표면 거칠기에도 상당한 영향을 받는다. 이러한 선삭가공의 특성을 확인하기 위하여 가공조건, 공급방향, 냉각방식에 따른 공구마모나 표면 거칠기 특성을 실험적으로 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 냉풍과 MQL을 사용할 때 절삭속도와 이송속도가 증가할 경우 공구마모는 증가하였으며, 냉각매체를 경사면에 공급할 경우가 가장 효과적이었다.
- (2) MQL을 단독으로 이용할 경우는 저속에서는 MQL이 우수하나 고속에서는 냉각능력이 우수한 냉풍과 혼합하여 이용하는 것이 효과적이었다.
- (3) 냉각매체의 종류에 따른 실험에서는 저속에서는 MQL이 절삭유와 비슷한 공구마모량을 보였으며, 건삭에 비해 압축공기나 냉풍의 경우도 약 40%정도 감소되었다.
- (4) 표면거칠기는 MQL의 경우가 다른 냉각매체를 사용한 경우보다 우수하게 나타났으며, 냉풍이나 압축공기도 절삭유에 거의 근접한 수준을 보였다.
- (5) MQL은 절삭열이 많지 않은 가공조건이라면 오히려 절삭유를 사용한 것보다는 모든 면에서 우수하게 나타나 절삭유를 대체 또는 최소화시키는데 충분히 이용될 수 있다.

## 참고 문헌

1. 富田 進, " 切削油劑による環境問題," 機械技術, 第47卷, 第12號, pp. 76-79, 1999.
2. F. Klocke and G. Eisenblatter, "Dry cutting," Keynote papers, Annals of CIRP, Vol. 46, No. 2, pp. 519-526, 1997.
3. 横川宗彦, 横川宗彦, " 公害防止のための研削油劑をいらないCBN冷風研削技術の研究," 精密工學會誌, Vol. 62, No. 11, pp. 1638-1642, 1996.
4. 横川宗彦, 島ノ江洋司, " 環境やさしい冷風旋削加工に關する研究 (第2報)," 1998年度 砥粒加工學會學術講演會 講演論文集, pp. 98-99, 1998.