

# 절삭유 사용이 가공정밀도 및 작업환경에 미치는 영향에 관한 연구

황 준\*(충주대학교), 정의식\*\*(한밭대학교), 허성중\*\*\*(두원공과대학)

## A Study on the Effect of Machining Precision and Shop Floor Environment due to Cutting Fluid Usage

Joon Hwang\*(ChungJu National University), Eui-Sik Chung\*\*(Hanbat National University), Sung-Jung Heo\*\*\*(Doowon Technical College)

### ABSTRACT

This paper presents the experimental results to verify the environmental consciousness with economic balances due to cutting fluid behaviors, effectiveness in machining process. Even though cutting fluid improves the machined part quality through the cooling and lubricating effects, its environmental impact is also increased according to the cutting fluid usage. Because cutting fluid are used by experience than science on shop floors, its environmental impact are more serious to human health hazard, shop floor environements.

In this study a few cutting parameters are adopted as the machinability index (i.e. , tool wear and surface roughness), and aerosol mist diffusion rate of cutting fluid as the environment consciousness index. These indeces are analyzed quantitatively via a few experiements. The results of this study can be facilitate the optimization of cutting fluid usage in achieving a balanced enviromental consciousness consideration with economic view.

**Key Words** : Cutting Fluid(절삭유), Machining Process(기계가공공정), Environmental Consciousness(환경친화성), Environmental Impact(환경적 침해), Human Health Hazard(작업자건강위협)

### 1. 서론

산업사회의 급속한 발전과 함께 야기되는 환경문제에 대한 시급한 대응책 마련을 위해, 생산제조 단계에서 부터 가공폐기물 및 인체 유해 물질의 발생을 억제하거나 극소화 하기 위한 예방기술의 개발이 시급히 요청되고 있다.

현재, 기계가공공정에 다량으로 사용되고 있는 절삭유는 그 탁월한 효과로 인해 제조생산성과 품질을 높이는데 폭넓게 적용되고 있으나, 과다 사용에 의한 환경오염은 물론, 작업자의 건강안전문제를 발생시키고 있다.

이러한 절삭유의 사용이 오랜동안 주로 경협에만 의존하여 사용되어 왔던 바, 경제성 및 생산성과 환경적인 측면에서 정량적으로 균형을 이루는 사용이 불가능하였다. 또한, 종래의 환경관련기술들은 환경적인

측면만을 강조한 나머지, 사용규제 일련도의 접근과 사용후 발생된 폐기물에 대한 사후처리에 주로 관심이 모아져왔다.

'환경친화적 생산제조프로세스' 라고 부를 수 있는 이러한 공정개선 및 개발은 궁극적으로 경제적인 측면에서도 반드시 고려되어야 할 부분이며, 특히, 제조프로세스의 기본 목표인 고품질의 제품개발과 제조생산성 및 경제성 향상을 동시에 만족시킬 수 있는 최적화기술의 개발이 필요한 분야가 되고 있다<sup>(1)</sup>.

본 연구에서는 절삭유의 환경영향중, 특히 작업자의 호흡기 안전과 밀접한 관련이 있으며, 과다하게 노출될 경우 폐암 등을 유발시킬 수 있으나, 제어가 결코 용이하지 않은 작업환경 영향인자(shop floor environment effect index)로서 절삭유 미립자(mist)의 발생량을 설정하고, 절삭유 사용에 따른 가공정밀도

에 영향을 주는 경제성영향인자(economical effect index)로서 표면거칠기 및 공구마멸량을 설정하여 절삭유 사용량 및 공급방식에 따른 절삭유의 효과를 정량적으로 분석, 고찰하였다.

절삭유의 환경영향을 평가하기 위한 양적인 지표로서 작업현장에 존재하는 공기중의 미립자 크기와 농도를 채택하고 있다. 미립자 크기는 흡입과 밀접히 관련된 중요한 인자로서, flood 윤활에서는 평균 직경 약 5 $\mu$  m 정도의 커다란 미립자가, 그리고 오일-미스트 윤활에서는 약 1 $\mu$  m 정도의 미립자가 발생되어 작업장의 대기오염을 악화시킨다. 미국 OSHA에서는 현재, 공기중 금속작업유의 허용농도 농도를 5mg/m<sup>3</sup>로 제한하고 있다.

이상의 문제점들을 해결하기 위해서는 절삭유의 사용량을 적절히 제한 또는 제어할 수 있는 기본 자료가 필요하며, 이러한 자료의 확보를 통한 절삭유 공급의 최적화 방안이 필요하다고 볼 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 경제성을 고려한 환경친화적 기계가공을 구현하기 위하여 절삭유 사용에 따른 절삭유 미립자 기구를 해석하고, 절삭유 미립자 분산량, 표면거칠기, 공구마멸량을 측정하여 경제성과 환경친화성을 동시에 고려할 수 있는 최적의 절삭유 사용량을 제시하고자 한다.

## 2. 절삭유의 미스트 발생기구

절삭유가 작업자의 건강과 작업환경에 영향을 주는 이유는 절삭유 사용량 그 자체 보다는 공작기계의 운동원리 또는 기계가공원리에 의해 발생하는 절삭유의 2차적인 유동에 있다고 판단된다. Figure 1에 나타난 바와 같이 노즐로부터 공급된 절삭유는 주축의 회전으로 인한 원심력에 의해 미립자 형태의 물방울로 분산되어 공작기계 주변 및 작업자에게 비산하게 되며, 주축의 회전속도, 공급된 절삭유량에 가장 큰 영향을 받고 있다.



Fig. 1 Photo of cutting fluids atomization in turning process

공작물 주변의 절삭유 미립자 형성과정 Fig.2에 나타난 바와 같이, 절삭유가 공작물에 투입되는 지점의 유속이 높은 지점에서 대기 외란에 의해 유막을 물방울로 분해되며, 이는 얇은 유막형태로 분무되는 과정이 된다. 유체유량이 점차로 감소하는 지점에서, 원주방향을 따라 물줄기가 형성되어 물줄기 형성모드의 분무작용이 이루어진다. 공급된 절삭유의 초기 유속이 가장 작은 지점에서 절삭유가 물방울 형태로 원심분리되어 물방울 형성 분무작용이 일어난다.

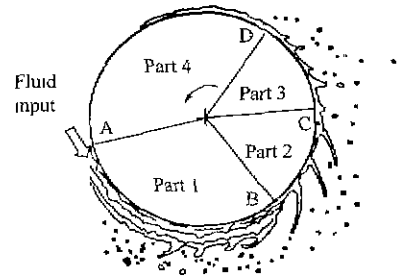


Fig. 2 Rotary disk atomization process and three formation modes

## 3. 실험방법 및 장치

본 실험에서는 CNC 선반(TSL-6)를 이용하여 절삭 실험을 수행하였으며, 공작물은  $\phi$  50, SM20C, 공구는 초경합금(CNMA, CNMG, 대한중석), 공구홀더는 PCNLR2020K12를 사용하였다. 공구의 여유면 마멸량은 공구현미경(TM-101, Mitutoyo)로, 표면거칠기 측정기(Surftester 501, Mitutoyo)를 이용하여 평균조도를 측정하였다.

사용된 절삭유는 수용성 Rocol 370을, 회전분리기에 의해 주축주변에 비산된 절삭유 미립자확산량은 척(chuck)을 기준으로 상, 중, 하 위치 250 mm 거리에서 측정하였다.

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 절삭유량에 따른 공구마모특성

실험에 사용된 주축회전수는 1000~2500 rpm의 조건이고, 진절삭, 절삭유량 0.5ℓ ~4ℓ로 절삭유량을 변경시켜 절삭실험을 실시하였다.

절삭시간에 따른 공구마멸량의 변화를 Fig.3에 나타내었다. 절삭시간이 증가함에 따라 여유면 마멸량은 증가하는 일반적인 경향을 나타내고 있으며, 확실히 절삭유를 사용한 가공조건이 공구마멸량 감소에 따른 생산원가절감에 매우 효과적임을 다시 한

번 확인할 수 있다.

절삭유량에 따른 공구마멸량의 관계를 Fig.4 에 나타내었다. 특히, 고속·건절삭 조건일수록 공구마멸량은 급증하는 결과를 보이고 있으나, 절삭유량 2ℓ 이상의 공급량에서는 공구마멸량 개선효과는 상대적으로 크지 못함을 나타내고 있다.

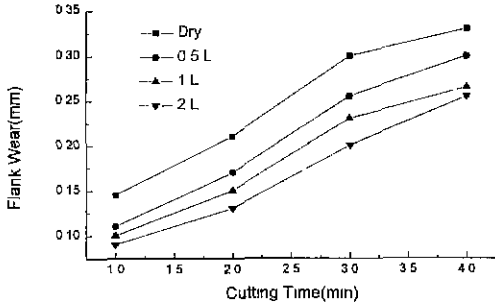


Fig. 3 Comparison of tool wear increments with respect to cutting time & cutting fluid flow rate (1500 rpm)

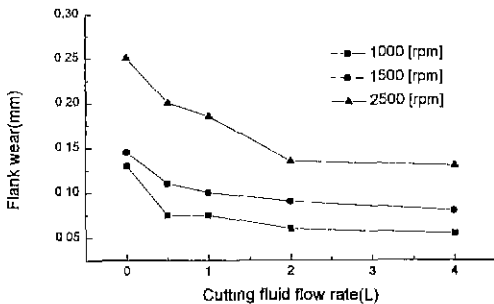


Fig. 4 Variation of tool wear with respect to cutting fluid flow rate & cutting speed

#### 4.2 절삭유량에 따른 절삭유미립자 확산특성

절삭유량과 운전시간에 따른 절삭유 미립자의 대기중 확산량 분포를 Fig.5 에 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 미립자 확산량은 공급된 절삭유량과 운전시간에 비례하여 급증하는 경향을 나타낸다.

절삭가공시 공급된 절삭유는 공급량이 증가할수록 공구의 마모에는 유리한 결과를 가져오나, 공급량과 공급시간이 증가할수록 대기중의 절삭유 미립자의 확산량은 매우 급증하는 경향을 나타내고 있다.

이상의 결과들은 기계가공성과 환경친화성을 동시에 만족시킬 수 있는 최적의 절삭유량이 존재할 수 있음을 암시하는 것으로서, 본 연구에서는 0.5ℓ ~ 1ℓ 의 절삭유량을 임계유량으로 볼 수 있다.

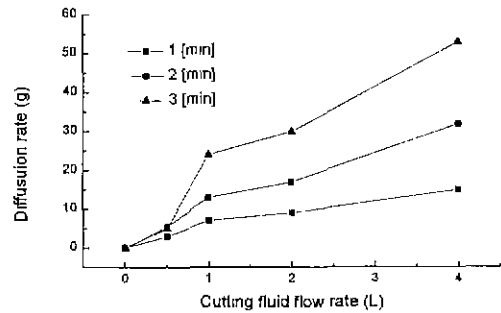
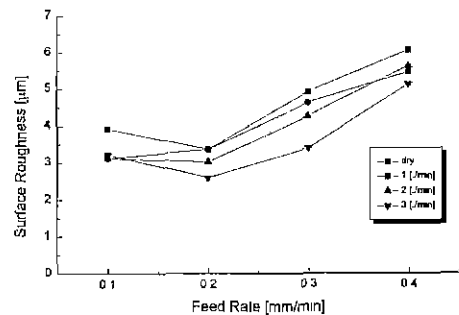


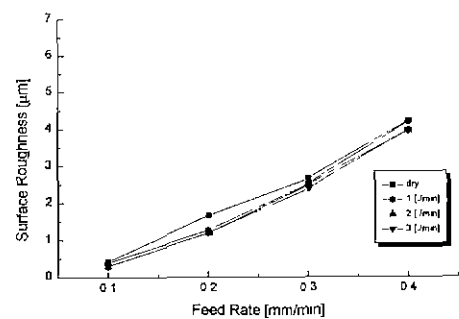
Fig. 5 Variation of mist diffusion rate of cutting fluid in the air with respect to cutting fluid flow rate and operation time (2500 rpm)

#### 4.3 이송속도에 따른 표면거칠기 특성

표면거칠기는 이송속도증가에 반비례하고, 절삭속도증가에 비례하여 향상되는 특성을 Fig.6에 나타내었다. 절삭속도와 이송속도가 각각 증가할수록 절삭유 공급이 표면거칠기의 향상에 미치는 영향과 역할은 급격히 감소되고 있음을 알 수 있다. 즉, 표면거칠기의 향상을 위해서는 절삭유량의 조절보다는 절삭조건외의 제어가 우선적으로 필요함을 보여주는 결과이다.



(a) 300 rpm



(b) 1300 rpm

Fig. 6 Variation of surface roughness with respect to cutting fluid flow rate and cutting conditions

표면거칠기는 이송속도증가에 반비례하고, 절삭속도증가에 비례하여 향상되는 특성을 나타내고 있으며 (Fig.6), 특히 절삭속도와 이송속도가 각각 증가할수록 절삭유가 표면거칠기의 향상에 미치는 영향과 역할은 급격히 감소되고 있음을 확인할 수 있다. 즉, 표면거칠기의 향상을 위해서는 절삭유량의 조절보다는 절삭조건의 제어가 우선적으로 필요함을 보여주는 결과이다.

#### 4.4 절삭유량에 따른 표면거칠기 특성

절삭속도 300~1300rpm, 이송 0.1~0.4mm/rev 조건하에서 최대 3 l/min 까지 절삭유량변경에 따른 표면거칠기 특성을 Fig.7에 나타내었다.

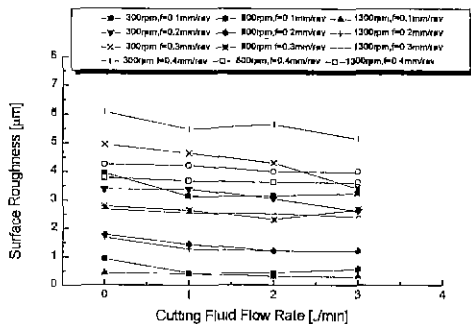


Fig 7 Comparison of cutting fluid effect to surface roughness with respect to cutting fluid flow rate and cutting conditions

300rpm(47m/min), f=0.4mm/rev의 절삭조건에서는 구성인전의 발생등에 의해서 표면거칠기가 나빠지고 있음을 확인할 수 있고, 1300rpm(204m/min), f=0.1mm/rev의 조건에서 가장 양호한  $R_a$  값을 얻을 수 있었다. 절삭유의 효과는 저속, 고이송 조건일때 절삭점까지의 절삭유 투입효과가 개선되어 윤활효과를 제대로 발휘할 수 있으며, 고속, 저이송 조건에서는 건식절삭과 비교하여 절삭유의 효과는 거의 없는 반면, 절삭속도 향상에 따른 표면거칠기 개선효과를 확인할 수 있다. 따라서, 절삭유의 사용은 절삭조건과 밀접히 연계해서 사용할 때 그 효과를 보 장받을 수 있음을 보여주는 정량적인 결과이다.

절삭유의 사용중 미립화된 미스트는 대기중에 확산되어 작업자의 호흡기 안전을 위협할 수 있으며, 작업장의 대기오염의 주요 원인이 되고 있다. 이미 기술한 바와 같이, 절삭유의 미립화기구에 의한 확산은 사용 절삭유량과 주축회전속도에 가장 큰 영향을 받고 있다. Figure 8은 300rpm, 1 l/min의 절삭유 사용조건 대비 1300rpm, 3 l/min의 운전조건에서 3분간 측정된 절삭유 미스트량은 약 15배 이상 급증하고 있음을 알 수 있으며, 장시간 공작기계 가

동시 미스트 발생에 의한 건강 및 환경침해성은 매우 큼을 확인할 수 있다.

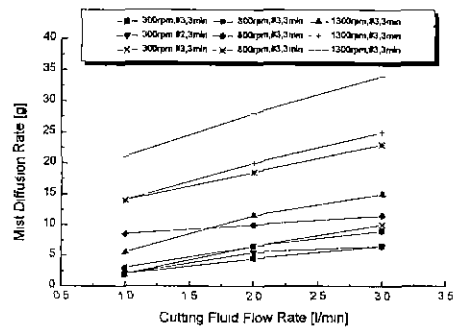


Fig. 8 Comparison of cutting fluid mist diffusion rate in the air with respect to cutting fluid flow rate and cutting conditions

## 5. 결론

본 연구에서는 환경친화적 기계가공체제 구축을 위해 경제성지표와 환경친화성지표를 각각 설정하고, 경험에만 의존하여 사용되어 왔던 절삭유의 효과, 환경침해성 등을 다양한 실험을 통해 보다 정량적으로 분석하였다. 절삭유 사용의 효과를 극대화 하는 동시에 환경침해성을 극소화하기 위해서는 기계가공중 투입되는 절삭유의 거동특성을 충분히 이해하고, 사용되는 절삭유 공급조건과 제반 절삭조건과의 조화를 통해 환경친화적 기계가공의 목표를 달성할 수 있으리라 판단된다.

## 후기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호 .2001-1-30400-026-2) 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Pfeifer, T., Eversheim, W., König, W., "Manufacturing Excellence", pp. 517-521, 1994.
2. Hwang, J., Chung, E. S., "The Characteristics of Cutting Fluid Atomization in According to Cutting Fluid Application Method", KSPE Annual Conf., pp. 858-861, 2000.