

절삭유 공급방식에 따른 절삭유 분산특성에 관한 연구

황 준*(충주대학교 기계설계학과), 정의식**(대전산업대학교 기계설계공학과)

The Characteristics of Cutting Fluid Atomization in According to Cutting Fluid Application Method

Joon Hwang*(ChungJu National Univ.), Eui-Sik Chung**(Taejon National Univ. of Technology)

ABSTRACT

This paper presents the characteristics of cutting fluid atomization due to its application method. In this study three different application methods; nozzle, jet, mist type is adopted for evaluating the cutting fluid's effect in terms of machinability and environmental consciousness. Cutting fluids are widely used to cool and lubricate the cutting zone in machining process. Cutting fluids mist via atomization in spin-off process can be affected to health risk. To satisfy the increasing concern of health and environment problem and keep the machinability or productivity it is necessary to establish the resonable strategy of cutting fluid usage and optimal control. Tool wear and cutting fluid diffusion rate in the air were measured as machinability index and environmental index in a few turning operation.

Through this basic approach it can be also provide the optimization of cutting process and improvement of machine tool design in achieving environmentally conscious machining.

Key Words : Cutting Fluid(절삭유), Atomization(미립화), Environmental Consciousness(환경친화성), Machinability(가공성), Productivity(생산성), Environmentally Conscious Machining(환경친화적 기계가공)

1. 서론

절삭유는 냉각, 윤활, 칩제거, 공작물의 녹방지 등 다양한 효과들로 인해 기계가공 공정 전반에 걸쳐 오래전부터 사용되어 오고 있다. 그러나, 최근 환경과 건강에 대한 관심이 고조되면서, 이러한 절삭유 사용에 따른 부정적인 측면들, 예를 들어, 사용수명이 다된 폐유처리 문제, 절삭유가 작업자에게 미치는 문제등을 중심으로 생산기술의 개선이 요구되고 있는 시점이라 할 수 있다¹⁾.

특히, 기계가공시 공급되는 절삭유는 공구 또는 공작물의 회전, 이송등으로 인한 운동에너지에 의해 공작기계 또는 작업장 주변으로 비산되는 절삭유 미립자가 그 대상이 되고 있으며, 이러한 미립자를 적절한 시기와 방법으로 제어하는 것이 매우 어려운 난제중의 하나로 부상하고 있다.

이미 선진공업국에서는 절삭유의 환경영향을 평가하기 위한 양적인 지표로서 작업현장에 존재하는

공기중의 미립자 크기와 농도를 채택하였으며, 이러한 미립자 크기는 흡입과 밀접히 관련된 중요한 인자로서, flood-type 공급법에서는 평균직경 약 5 μ m 정도의 커다란 미립자가, 그리고 분무식 오일-미스트 윤활에서는 약 1 μ m 정도의 미립자가 발생되어 작업장의 대기오염을 악화시키는 것으로 보고되고 있다. 한편, 미국 OSHA(Occupational Safety and Health Administration)에서는 현재, 공기중 금속 작업유의 허용노출 농도를 5mg/m³ 로 제한하고 있다. 이는 1970년에 제정된 것으로서 미국 NIOSH(National Institute for Occupational Safety and Health)에서도 재조사 중이다²⁾.

이러한 절삭유 문제는 단순히 절삭유를 사용하지 않는 것만으로는 해결이 불가능하며, 기계가공성 혹은 생산성 측면과 환경친화성 측면 모두를 고려할 수 있는 환경친화적 기계가공 프로세스의 개선 또는 개발이 필요하다고 판단된다.

그런데, 최근 국내외에서 수행되고 있는 연구방

항들은 일반적으로 절삭유를 사용 배제한 상태에서의 기계가공, 즉 냉공을 이용하여 절삭유의 냉각효과를 대체하는 연구, 공구재질을 개선하여 건절삭을 시도하는 연구 등이 주종을 이루고 있으나, 윤택효과를 보다 보완하기 위한 연구의 필요성도 제기되고 있다.

따라서, 사용규제 일변도에서 벗어나 보다 근원적이고 다양한 해결책을 찾는 노력이 필요하다고 할 수 있다.

또한, 기계가공특성 측면에서 절삭유의 장점을 심분 살리면서 동시에 환경적 측면을 극대화할 수 있는 방법의 개발이 요구되며, 이상의 문제점들을 해결하기 위해서는 절삭유의 사용량을 적절히 제한 또는 제어할 수 있는 기본 자료가 필요하며, 이러한 자료의 확보를 통한 절삭유 공급 및 사용의 최적화 방안이 마련되어야 한다.

본 연구는 첫째, 기계가공공정 특성에 의해 절삭유가 미립화되어 대기중에 확산되는 현상을 보다 정량적인 방법으로 측정, 분석하여 절삭유의 미립화 기구를 확립하고, 둘째, 3가지 서로 다른 절삭유 공급방식을 채택하고, 절삭유량과 절삭속도를 제어 변수로 하는 실험을 통해 절삭유의 사용최적화에 필요한 기본 자료를 확보하는데 그 목적이 있다. 제품생산성 및 생산원가와 밀접한 관련이 있는 공구 마멸량을 기계가공성지표(machinability index)로 설정하고, 공작기계의 주축의 회전관성, 즉 원심력에 기인한 절삭유의 회전분리에 의한 공기중의 절삭유 미립자분산량을 환경친화성지표(environmental index)로 설정하고 이를 측정하여 절삭유 사용에 따른 환경침해성을 보다 정량적으로 고찰하고자 한다.

이러한 결과들은 환경친화적 생산시스템 개발에 응용하고자 한다.

2. 절삭유 미립화 기구

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 나타낸 바와 같이 주축의 회전에 의해 노즐로부터 공급된 절삭유는 원심력에 의해 미립자 형태의 물방울로 분산되어 공작기계 주변 및 작업자에게 비산하게 되며, 주축의 회전속도, 공급된 절삭유량에 가장 큰 영향을 받고 있다.

절삭유 미립자의 분무과정은 유체분사나 얇은유막이 유체운동에너지나 혹은 고속공기의 상호작용, 운동장치를 통한 외부에너지에 의해 물방울형태로 떨어져 분산된다. 유체 회전원판의 형태는 유속에 따라 유막형성모드(film formation mode), 물줄기

형성모드(ligament formation mode), 물방울형성모드(drop formation mode)의 3가지 분무형태를 갖는다.

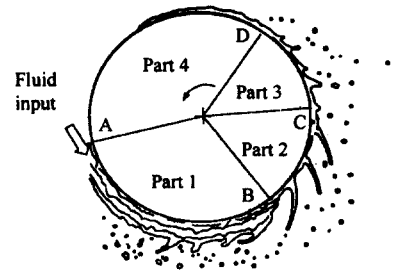


Fig. 1 Rotary disk atomization process and three formation modes

또한, Fig.1에서 "A"점에서 절삭유가 원통주변에 어떻게 유막을 형성하는지를 보여주고 있다. 유속이 높은 "1"의 부분에서, 대기의 외란은 유막을 물방울로 분해하며, 이는 얇은 유막형태로 분무되는 과정이 된다. 유체유량이 점차로 감소하는 "B"점에서, 원주방향을 따라 물줄기(ligament)가 형성되어 소위 물줄기형성모드의 분무작용이 일어난다. 마찬가지로, 낮은 유속의 "C"점에서 절삭유가 물방울 형태로 원심분리되어, "3"의 부분에서 보여주는 바와 같이, 물방울 형성 분무작용이 일어난다. 마지막으로, 나머지 절삭유는 "D"점을 통과하고, 그밖의 것은 표면장력이 원심력보다 커서 공작물에 들러붙어 도포 유체층(coating liquid layer)을 형성한다.

3. 실험방법 및 장치

본 실험에서는 CNC 선반(TSL-6)를 이용하여 절삭 실험을 수행하였으며, 사용된 공작물은 SM20C, ϕ 50, 공구는 초경합금(CNMA K10종, 대한중석), 공구 홀더는 PCNLR2020K12를 사용하였다. 공구의 여유면 마멸량은 공구현미경(TM-101, Mitutoyo Mfg, Co.)로 30 배율 확대로 측정하였다. 사용된 절삭유는 수용성 ROCOL 370을, 회전분리에 의해 주축주변에 비산된 절삭유 미립자확산량은 척(chuck)을 기준으로 상, 중, 하 위치 250 mm 거리에서 측정하였다. 사용된 절삭유 공급방식은 크게 nozzle, jet, mist 방식의 구분하여 동일한 분사위치에서 절삭유가 공급되도록 설치하고 실험을 실시하였다.

절삭유 미립자의 대기중에 확산되는 분산과정은 Fig.2에 나타낸 Ar-Ion 레이저를 이용한 PDA (Particle Dynamics Analyzer)를 이용하여 미립자의 거동을 실시간으로 측정할 수 있으며, 미립화된 절삭유 입자의 속도분포도 분석하였다.

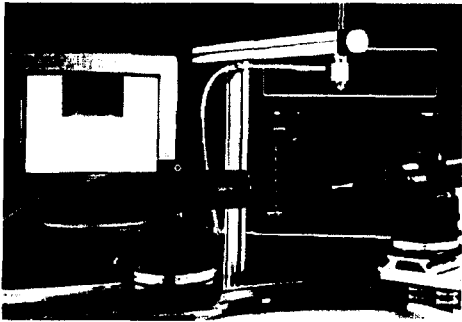


Fig. 2 Photo of PDA system for aerosol particle measurement of cutting fluid

4. 실험결과 및 고찰

4.1 절삭유 미립자의 거동특성

절삭가공중 공작물의 회전원심력에 의해 절삭유는 분리(spin-off)기구에 의해 입자화되고, 이렇게 미립화된 절삭유 미립자는 공기중에 확산하게 된다. PDA를 이용하여 절삭유 미립자의 확산속도를 u, v 방향으로 나누어 공작물로부터 15 mm 떨어진 위치에서 측정된 결과를 Fig.3 과 Fig.4 에 나타내었다.

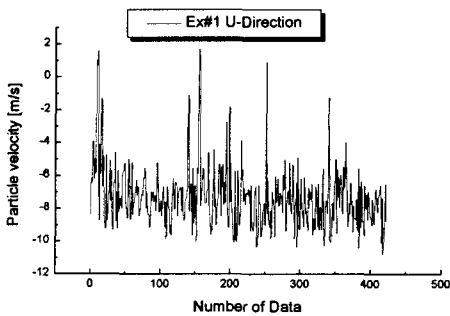


Fig. 3 Aerosol particle velocity of u-direction due to cutting fluid atomization

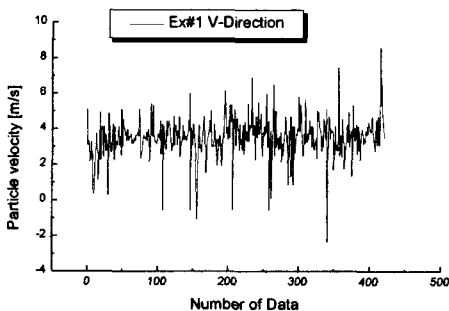


Fig. 4 Aerosol particle velocity of v-direction due to cutting fluid atomization

그림에서 알 수 있는 바와 같이, 절삭유 미립자는 초기 미립자 발생, 비행, 자유낙하의 형태로 공기중에 확산되며, 주축회전수 2000 rpm 조건에서 측정된 입자의 평균속도는 u 방향이 약 6~8 [m/s], v 방향이 약 3~5 [m/s] 의 속도로 공기중에 확산되고 있음을 확인할 수 있다. 또한, u 방향의 속도성분이 음(-)의 수로 표시된 것은 측정좌표 설정에 따른 것이다.

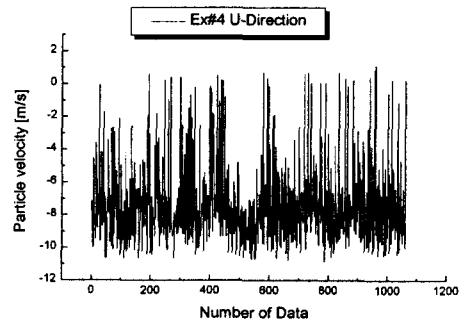


Fig. 5 Aerosol particle velocity of u-direction due to cutting fluid atomization

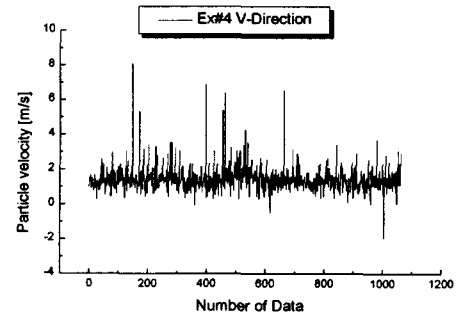


Fig. 6 Aerosol particle velocity of v-direction due to cutting fluid atomization

Figure 5 와 Fig. 6 에는 측정위치를 공작물로부터 22 mm 떨어진 위치에서 측정된 절삭유 미립자의 평균속도를 각각 u, v 방향으로 나누어 나타낸 결과이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, u 방향의 평균속도성분은 7~10 [m/s] 이고, v 방향의 속도성분은 1~2 [m/s] 로 감소하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 공기중에 확산된 절삭유 미립자는 비산시간이 경과할수록 초기의 운동량 에너지를 상실하고 점차적으로 상승속도(v 방향)가 감소하고, 비산방향과 속도성분도 각 미립자 별로 크게 편차를 나타내면서 결국, 중력에 의한 자유낙하를 하여 작업장 바닥에 떨어지게 된다.

4.2 절삭유량 공급방식에 따른 특성비교

3종의 절삭유 공급방식과 절삭유량에 따른 공구 마멸량 변화를 비교하였으며, Fig.7 에는 주축회전 수 1000 rpm 조건으로, Fig.8 에는 2500 rpm 조건에서 실험한 결과를 나타내었다.

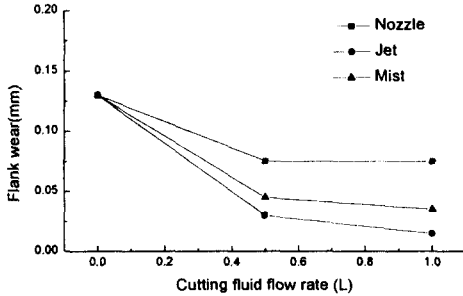


Fig. 7 Comparison of tool wear under three different cutting fluid application type with respect to cutting fluid flow rate (1000rpm)

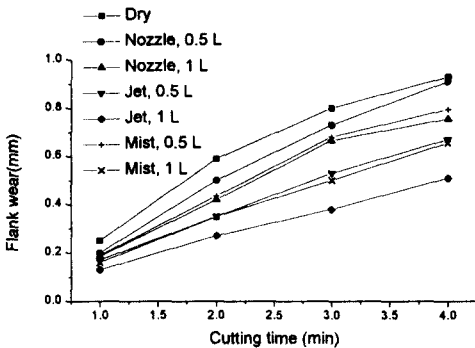


Fig. 8 Comparison of tool wear under three different cutting fluid application type with respect to cutting time (2500rpm)

그림에서 알 수 있는 바와 같이, 1000 rpm 조건에서는 고압으로 절삭유를 뿜어주는 jet 방식이 공구 마멸 측면에서 가장 유리 하며, 다음으로 mist, nozzle 방식의 순이다. 또한, 고속절삭영역인 2500 rpm 조건에서도 jet, mist, nozzle 방식의 순서로 공구마멸에 유리하게 작용하였으며, jet 1ℓ 조건이 가장 공구마멸을 감소시키는데 유리하게 나타났다.

절삭유량과 주축회전속도에 따른 대기중에 확산된 절삭유 미립자의 확산량을 측정된 결과를 Fig. 9 에 나타내었다. 절삭유량과 주축회전수의 증가에 비례하여 미립자 확산량은 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 특히 절삭유량이 2ℓ 이상 공급될 경우

미립자 확산량은 매우 급증하는 것으로 확인되었다. 이러한 결과는 절삭유량 1ℓ 이하의 절삭유량이 공급되는 경우와 비교해 볼 때 약 20 배 이상 대기중 확산량이 급증하는 결과이며, 이로 인해 작업자의 호흡장애와 환경오염을 유발시킬 수 있는 입계유량으로 판단된다.

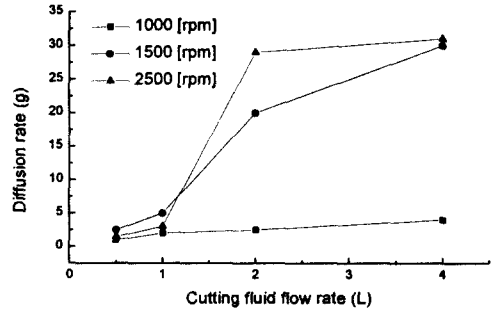


Fig. 9 Variation of diffusion rate of cutting fluid in the air with respect to cutting fluid flow rate (nozzle, top position)

5. 결론

본 연구에서는 환경친화적 기계가공 공정개발을 위해 다양한 형태의 절삭유 공급방식을 적용하여 생산성 측면과 환경친화적 측면에서의 절삭유의 효과와 그 파급효과에 대하여 고찰하였다. 절삭유 사용량은 크게 기계가공성 측면에서 극대화될 수 있는 최대량을 선택하는 동시에, 환경적 측면에서 절삭유 미립화에 의한 미립자 확산량이 최소가 될 수 있는 공급유량 및 공급방식을 선택할 수 있다는 것을 실험적으로 입증하였다.

참고문헌

1. Pfeifer, T., Eversheim, W., König, W., "Manufacturing Excellence", pp. 517-521, 1994.
2. U.S. Department of Health and Human Services, "Occupational Exposure to Metalworking Fluids," NIOSH Pub., No.98-102, 1998.
3. Hwang, J., Chung, E.S., "Optimization of Cutting Fluids for Environmentally Conscious Machining", KSPE Sping Conference, Vol.2, pp.948-951, 2000.