

선삭시 미스트 발생특성에 미치는 절삭변수의 영향 The effects of cutting parameters on the characteristics of mist generation in turning

오명석*
Myung-Seok Oh

<Abstract>

The presence of cutting fluid for cutting tool and workpiece leads a temperature decrease, and reduces tool wear and residual stress. Moreover, it disposes chips from cutting area, and reduces thermal distortion. However, in manufacturing, cutting fluid used in cutting process is undesirable for both human and environmental aspect. Also, it's not economic for cutting cost.

This paper studied experimentally the effects of cutting parameters on the characteristics of mist generation in turning. The results of experiment are as follows: 1) The more severe cutting conditions, the more mist generate, 2) The ratio of weight concentrations of cutting fluid nearly have no an effect on the amounts of mist generation 3) The size of SMD is not affected by cutting parameters.

Key Words : *Cutting fluid, Turning, Mist, Cutting parameters, Mass and Number concentration, SMD*

1. 서 론

1990년대 이후로 지구환경에 대한 관심이 유발되면서 유럽에서는 절삭유의 사용을 중지하려는 움직임이 진행되고 있다. 이러한 움직임의 배경은 절삭유에는 환경과 인체에 유해한 CL, P 및 S 등이 각종 첨가제와 복잡하게 혼합된 화합물질로 형성되어 있기 때문이다.

대량생산체제를 갖춘 공장, 예를 들어 자동차 산업에서 절삭유와 관련된 비용이 전 생산비용의 7~ 17 %를 점유하고 있어서 이의 사용을 중지함으로써 생산 가격을 낮추고, 절삭유로 인

한 환경 오염과 작업자에 미치는 인체 유해성을 없애기 위하여 절삭유를 사용하지 않는 절삭가공방법을 개발하고자 하고 있다. 즉, 이러한 환경친화적인 가공방법으로는 완전 건삭(선삭과 같이 칩이 자연적으로 떨어지는 공정에 적용)과 공기 주입(칩이 절삭 지점에 남아 있을 수 있는 공정, 즉 밀링, 엔드 밀링 등에 적용), 냉각 절삭(절삭지점에 약-20℃내외의 공기 또는 가스를 불어넣어야 함), 오일 미스트 절삭(MQL : 절삭지점에 미립화된 무 오염 에테르(ether)를 주입시키는 방법)과 무 오염 절삭유의 개발 및 사용을 실현시키고자 많은 연구를

* 정회원, 영남이공대학 기계과 부교수, 工博
705-703/ 대구광역시 남구 현충로 274
(대명7동 1737번지)
(053) 650-9217 E-mail : msoh@ync.ac.kr

* Associate Prof. Dept. of Mechanical Engineering of
Yeungnam College of Science & Technology, Ph. D.
(이 논문은 2003학년도 영남이공대학 연구조성비 지원에
의한 것임)

하고 있다¹⁾.

위의 방법중 냉각절삭과 오일미스트를 이용한 방법은 냉각과 미스트 발생장치에 많은 비용이 필요하고 또 다른 에너지를 소모하므로 특별한 경우를 제외하고는 완전건식절삭과 공기주입방법의 활용을 목적으로 연구를 하여야 하겠지만 이를 실현시키기 위해서는 절삭공구의 개량, 쾌삭강의 개발, 공작기계의 개량 및 절삭공정의 혁신 등이 동시에 시스템화되면서 이루어져야하는 기술적인 문제점이 있으며, 절삭유 사용상의 장점인 냉각과 윤활, 칩의 배출과 공구수명 연장 등에 의한 가공제품의 품질 확보와 기존의 생산성을 달성시킬 수 있는 획기적인 환경친화적 가공시스템의 구축은 제안되지 않고 있어, 아직도 대부분의 절삭공정에서는 절삭유를 사용하고 있는 실정이다.

절삭유를 사용하는 절삭공정에서의 가장 큰 문제는 인체유해성이다. 절삭유의 공급 속도에 따른 운동에너지에 의해서, 혹은 운동하는 공작기계의 요소 부품과 절삭유가 충돌하면서 미스트(mist)를 발생시키고 이는 공기 중에 장시간 부유하면서 공장의 환경을 오염시킴과 동시에 작업자의 건강을 해치게 된다. 직접적으로는 작업자의 눈을 자극하고, 피부병을 유발하게 된다. 간접적으로는 구토, 위통, 호흡기 질환을 일으키기 때문에 인체에 매우 유해하다^{2, 3, 4)}.

따라서 절삭유로 인한 인체유해성을 해결하기 위한 많은 연구가 수행되어 왔다. Yue등은 미립화에 의한 절삭유의 미스트 형성(mist formation)의 기초 이론을 연구하여, 절삭유가 회전하는 원형 평면상의 공작물 표면에 충돌할 때 평면상에 형성되는 유막 두께와 유막의 파괴에 의한 물방울 줄기(liquid ligament) 및 작은 물방울(droplet)의 형성 모형을 고찰, 물방울의 직경 변화와 천이에 미치는 유량의 영향 등을 고찰하였다.[5] Lienhard들은 난류 액체를 고체에 분사시켰을 때의 스패터링(splattering) 현상에 미치는 레이놀즈 수(Reynolds Number), 웨버 수(Weber number) 및 분사 관로 직경과 분사 거리의 비(l/d)의 영향을 고찰하여 스패터링으로 인한 열전달 효과의 감소와 에어로졸 형성(aerosol formation)에 의한 환경오염을 방지하고자 스패터링 개시 조건과 그 상한선을 실험적으로 연구하였다⁶⁾. Yue 등은 선삭시 미스트의 질량을 최소화 할 수 있는 기초 연구를 수

행하여 절삭속도가 미스트 질량과 입자의 크기에 밀접한 관계가 있는 것으로 밝혔다⁷⁾. Schneider들은 금속가공유가 수질 및 대기오염에 유해한 영향을 미치며, 피부 발진, 발암 및 박테리아의 생성 등으로 작업자의 건강을 해치므로 사용전 절삭유의 특성 및 발암성 유무에 대한 성능 평가법에 대하여 고찰하였다.[2] 황 등은 선삭시 회전분리기구에 의한 절삭유 미립화와 환경영향에 대한 연구를 행하여 절삭유의 미립화가 환경영향에 큰 영향을 미치게 됨을 인식시키려 하였으며⁸⁾, 박 등은 절삭유의 공급량의 차이에 따른 절삭특성을 실험적으로 연구하여 절삭유의 공급량을 현재 보다 적게 하여도 좋을 것이라 제안하였으며⁹⁾ 고 등은 선삭시의 절삭유 미립화 생성 메커니즘이 비절삭시와 현격히 차이가 있음을 실험적으로 검증하였다¹⁰⁾.

공기 중 미립자의 농도와 관련하여 미국 OSHA (Occupational Safety and Health Administration)에서는 공기중 절삭유의 허용노출농도를 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 제안하고 있으며, 이것은 1970년에 제정된 것으로 1998년부터 NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health)에서는 안전허용기준치를 $0.5\text{mg}/\text{m}^3$ 이하로 개정하였다¹¹⁾. 절삭유의 미립자라는 것은 절삭유의 사용으로 인하여 발생하는 공중에서 부유할 수 있는 $20\ \mu\text{m}$ 이하의 크기 입자를 지칭하며, 통상 액절삭유 공급의 경우 $5\ \mu\text{m}$, 미스트 절삭유 공급의 경우 $1\ \mu\text{m}$ 크기의 입자가 대기를 오염시키게 된다. 이러한 의미에서, 기계가공공정 중에서 절삭유의 사용으로 인하여 발생하는 에어로졸 입자에 관한 연구는 매우 중요하다.

따라서 본 연구에서는 선삭시의 제반 절삭변수의 변화에 따라서 발생하는 미스트 입자의 크기 분포, 평균 입경, 농도에 대하여 실험적으로 고찰을 행하여 미스트 발생특성을 파악하여 미스트를 사전에 예측할 수 있는 모델을 구성하는데 필요한 기초자료를 확보하고자 한다.

2. 실험장치 및 실험방법

선삭가공 실험은 Fig. 1과 같이 수평형 CNC 선반(Pro6, 대구중공업)을 이용하였고, 발생된 에어로졸 입자의 측정은 입자계수기 (Aerosizer DSP 3220, TSI)를 이용하여 절삭시의 입자의 수 농도, 크기, SMD, 단위 표면적, 질량 농도(mass

loading) 등을 측정하였다.

실험실 내와 선반내의 배경 입자의 분포 (background particle size distribution)는 미세 부유 입자로 크기는 1.1~1.5 μ m 내외이며, 농도 또한 실험시의 농도에 비해 10% 이하로 매우 적어 실험결과에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단하고 실험을 하였다.

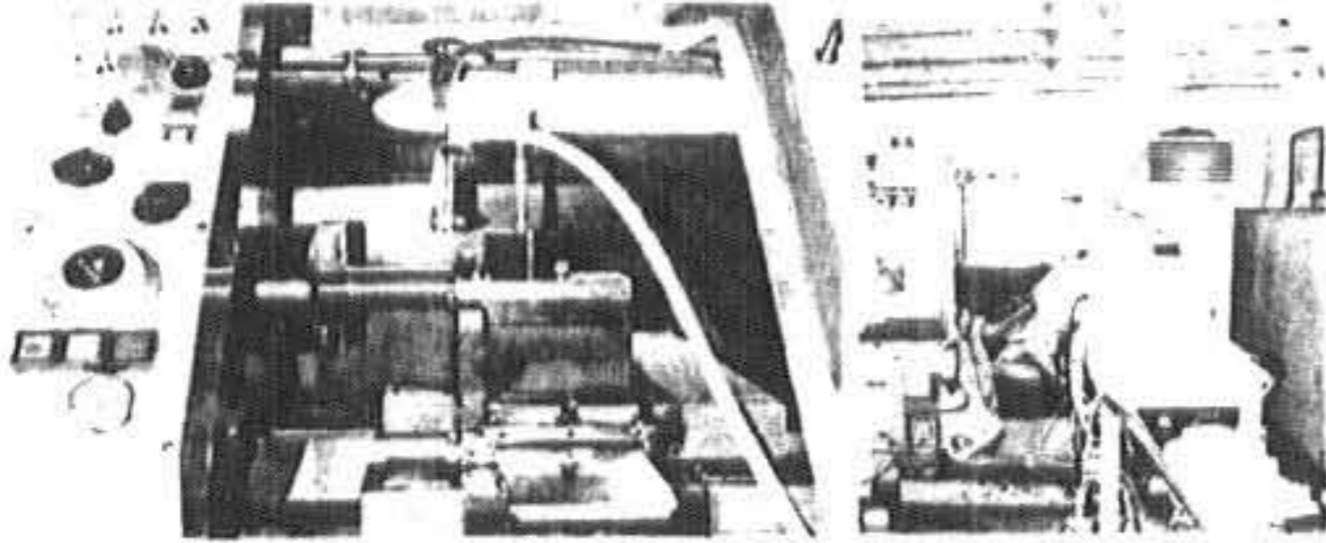


Fig. 1 Photograph of experimental apparatus.

Table 1은 절삭조건을 나타낸 것이다. 이와 같은 조건으로 공작물 직경 Ψ 40mm, Ψ 60mm 및 Ψ 80mm인 3종류의 SM45C(HRC89)에 대하여 Soluble type 절삭유(W2종1호), 공구홀더 PCLNR2525, 인서트 CNMG120404FG-TT2500을 사용하여 다양한 절삭조건에 따른 에어로졸 입자의 발생 특성을 측정하였다. 이때 절삭유 농도의 관리하는 물과 절삭유의 중량농도비율이 항상 일정하게 되도록 측정범위 0~32%인 수동 굴절 농도계(일본의 N.O.W. TOKYO社의 507-I 모델 제품)를 사용하여 일정하게 관리하며 실험을 하였다.

Table 1 Experimental conditions.

Cutting speed (m/min)	Depth of cut (mm)	Feed rate (mm/rev)	Weight concentrations of cutting fluid (%)	Flow rate of cutting fluid (l/min)
80	0.5	0.1		20*
110	1.0	0.15	1.2	10*
140	1.5	0.2	3.2	0.5** (Port diameter ;
170	2.0	0.25	5.2	* : 11,
200	2.5	0.3		** : 2 mm)

Fig. 2는 에어로졸 측정 장치의 세팅 상태를 나타낸 것으로 입자 측정 시간은 절삭 및 비절삭시

에 각각 20초로 2회씩(1차는 절삭 및 절삭유 공급중, 2차는 절삭후 및 절삭유 공급 중지후 측정) 동일한 조건으로 측정하였다. 실험에 사용한 입자 계수기는 0.2~200 μ m까지 측정이 가능하며, 프로브는 내경이 8 mm인 튜브를 사용하였다. 입자계수기는 유입되는 에어로졸 입자에 의한 오차를 방지하기 위하여 입자계수기 유입부에 T-형 분기관을 사용하였다.

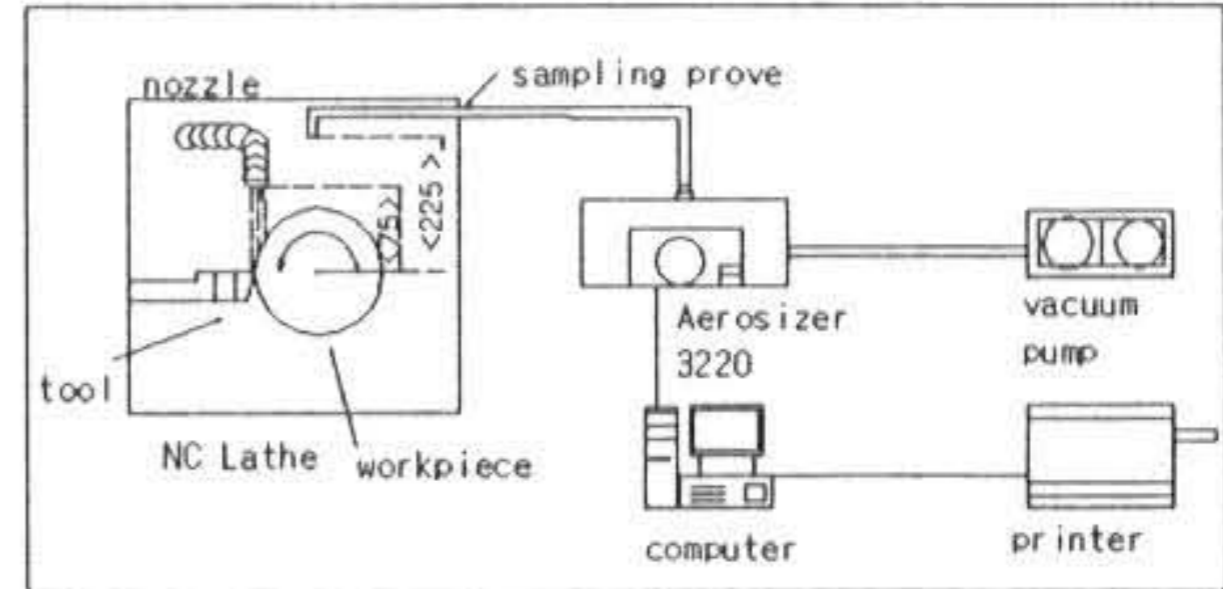


Fig. 2 Schematic diagram of experiment.

주어진 조건으로 절삭유를 공급하면서 가공을 하면 선반 내에서 발생된 에어로졸 입자가 부유하게 된다. 이 부유된 에어로졸 입자가 진공펌프에 의해 Probe를 통해서 입자계수기로 유입된다. 유입되는 공기유량은 2 l/min으로 일정하며, 프로브의 위치는 절삭유 공급노즐이나 절삭영역으로부터의 영향을 배제할 수 있고, 작업자가 선반 문을 열었을 때 작업자의 호흡기관과 거의 일치하는 위치인 공작물 중심에서 225mm 상부위치 및 공작물 자유단에서 주축쪽으로 10mm인 위치에 설치하였다. 본 실험에서 측정된 에어로졸 입자의 평균직경은 에어로졸 입자의 체적을 표면적으로 나눈 값인 표면적 평균직경(SMD : Sauter Mean Diameter, volume-surface mean diameter)을 이용하였으며, 그 정의는 식(1)과 같다.

$$SMD = \frac{\sum n_i \times V(\text{volume})}{\sum n_i \times S(\text{surface})} = \frac{\sum n_i D_i^3}{\sum n_i D_i^2} \quad (1)$$

여기서 n_i : 입경크기 D_i 인 입자의 수

D_i : 입자의 입경 크기

V : 입경의 체적

S : 입경의 표면적

또한, 본 실험 수행 시 배경입자의 영향을 최소화하기 위하여 선반 주위에 준 청정 능력을 갖는 영역(4,400×3,900×1970mm)을 설치하여 향온 및 향습의 기능을 갖도록 하였다(Fig. 3).

또한 실내 온도는 12℃로 유지하였고, 상대 습도는 항상 55%를 유지하였다.

아울러 선반 내의 수농도(평균치 0.62E+07 particle/m³)는 준 청정 실의 실내 수농도(평균치 0.41E+07 particle/m³) 보다 항상 높아 이를 제어하고 실험의 원활한 진행을 위해 Soluble Mist Cleaner를 설치하였다(Fig. 4).

Fig. 5는 미스트 포집관의 설치 위치를 나타낸 것으로 절삭작업 후 CNC선반의 스플래쉬가드의 문을 열었을 때 호흡기관의 위치와 거의 일치하는 곳에 설치 및 고정하였다.

절삭유의 공급위치는 비절삭시에는 절삭유 흐름의 중앙부위가 공작물의 접선부위와 일치하도록 하였으며, 절삭시에는 절삭공구 인선선단의 중앙부와 절삭유 흐름의 중앙이 일치되도록 하였으며 절삭유 공급노즐의 끝단부위와의 거리는 75mm로 일정하게 하였다.

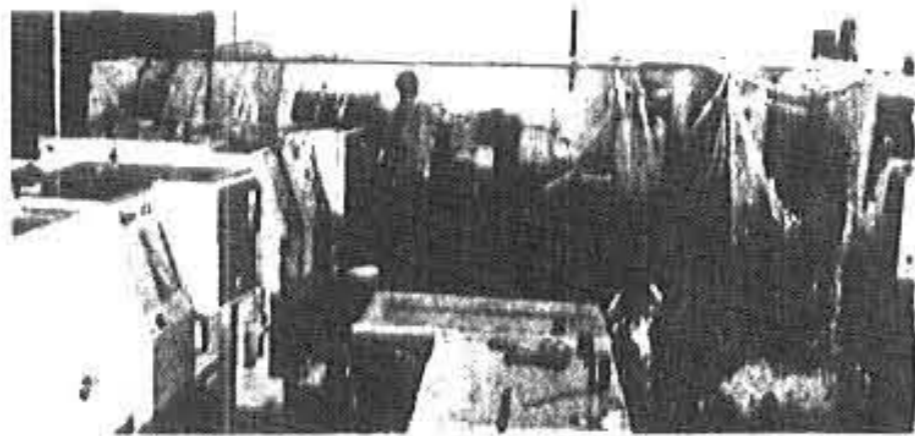


Fig. 3 Near-cleaning room with vinyl house containing air cleaner, humidity eliminator and double vinyl house door.

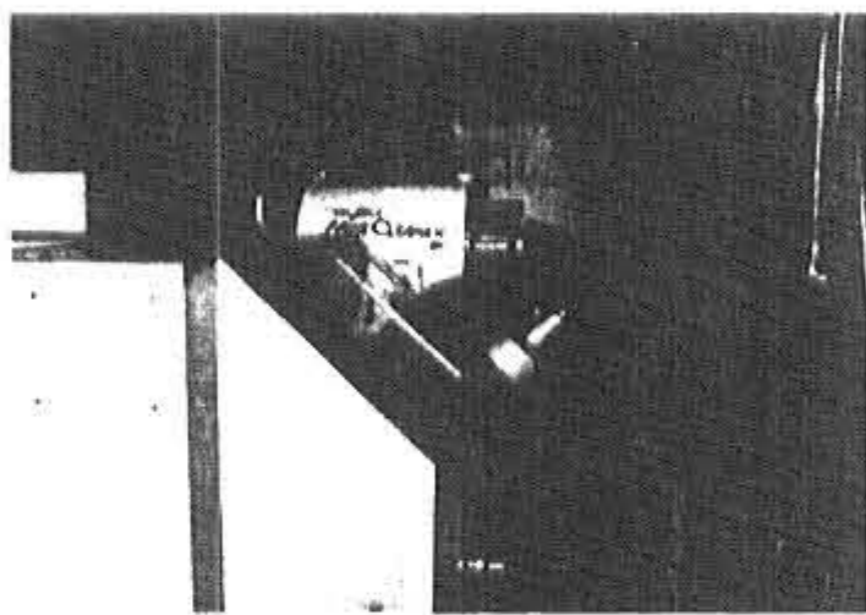


Fig. 4 CNC lathe equipped with mist cleaner.

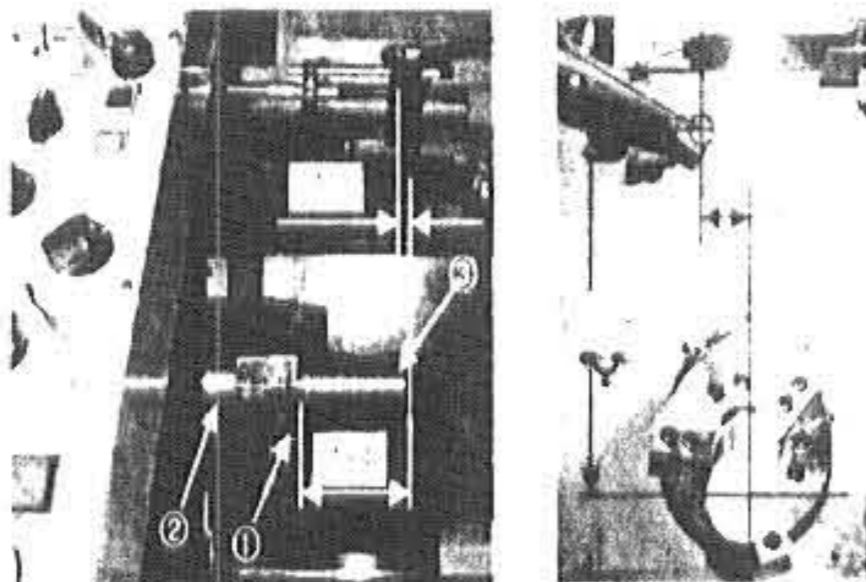


Fig. 5 Setting condition of mist collecting tube. (①: soft jaw, ②: chuck(6 inch), ③: workpiece)

Fig. 6은 실험시 발생된 칩의 형상을 나타내며 칩 길이는 직선부 길이로 약 3mm 내외가 되도록 공구를 자주 교환하여 주며 실험 조건을 관리하였다. 이렇게 한 이유는 미스트의 발생 특성에 미치는 칩의 형상 특성의 영향을 배제함과 동시에 공구 마모로 인한 절삭력과 절삭열의 증대로 인한 미스트의 발생 영향을 배제시키기 위함이었다.

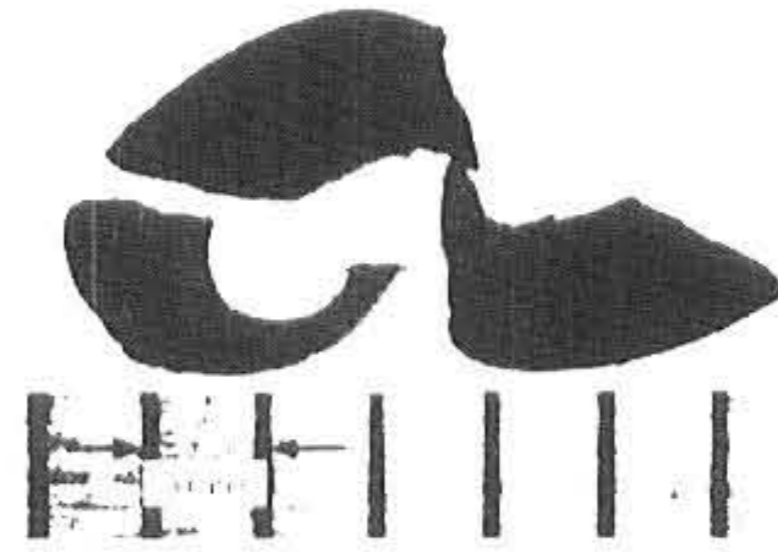


Fig. 6 Example of chip configuration generated in cutting process of mist experiment.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 수농도(number concentration)

먼저 Fig. 7은 직경 80mm인 공작물을 절삭속도 140m/min, 절삭깊이 1.5mm, 이송속도 0.15mm/rev 및 절삭유량 500 cc/min (절삭유의 중량혼합비 1.2%)인 조건으로 25초 동안 절삭 후 20초 동안 측정된 에어로졸 입자의 크기분포와 수농도(concentration, particles/m³) 분포를 나타내는 측정결과의 한 예이다. 그림에서 가로축은 입자의 크기를 나타내며, 세로축은 각각의 크기에 대한 수농도를 나타낸다. 그림에서 나타나 있듯이 미립자는 1 μm 이하와 이상의 것이 동시에 정규분포를 이루며 나타나는 2중 분포 형태를 나타내는데, 이러한 결과는 다른 문헌에서도 나타난다고 보고되어 있다⁷⁾.

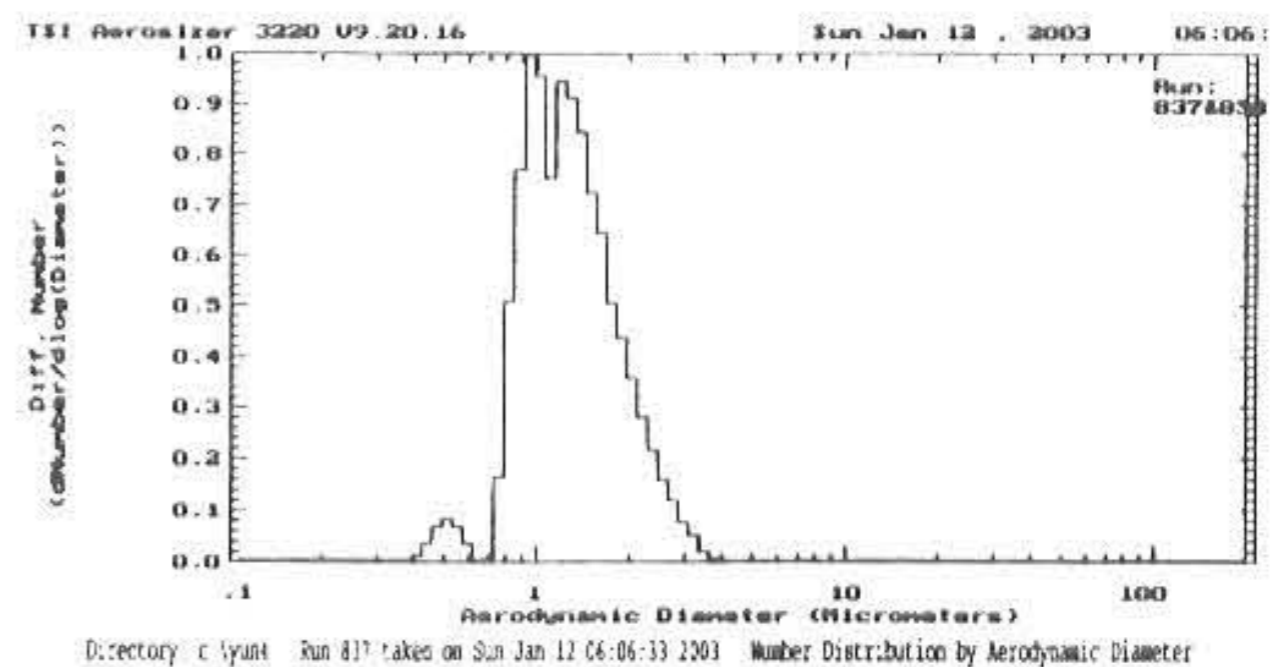


Fig. 7 Typical data output of Aerosizer for aerosol size distribution and concentration.

직경(D) 80mm인 공작물에 절삭유량 10 l/min을 공급하면서 공회전(비절삭이라 명명함) 시켰을 때와 절삭깊이 1.5mm, 이송속도 0.15mm/rev인 조건으로 절삭하였을 때의 수농도의 발생 특성을 나타낸 것이 Fig. 8이다. 비절삭 및 절삭시 모두 공작물의 원주(절삭)속도의 증가와 더불어 수농도는 증가하였으며, 비절삭중과 절삭중에 비하여 비절삭후 및 절삭후의 수농도가 많았다. 또한 비절삭시 대비 절삭시의 수농도가 절삭속도의 증가와 더불어 그 차이는 증가되었으며 절삭속도 200m/min에서 약16배 정도로 절삭시의 수농도가 많게 나타났다. 이러한 비절삭과 절삭시의 수농도의 발생량의 차이는 기존의 비절삭 이론에 근거한 미스트의 발생특성을 절삭시에 적용할 수 없음을 확인시켜주는 것이라 할 수 있다. 위의 제반특성은 절삭유량 20 및 0.5 l/min에서도 유사하게 나타났다. 따라서 이후의 자료에서는 실 작업시 작업자에게 직접적이고도 많은 영향을 줄 수 있는 절삭 후의 데이터에 대하여 언급하도록 한다.

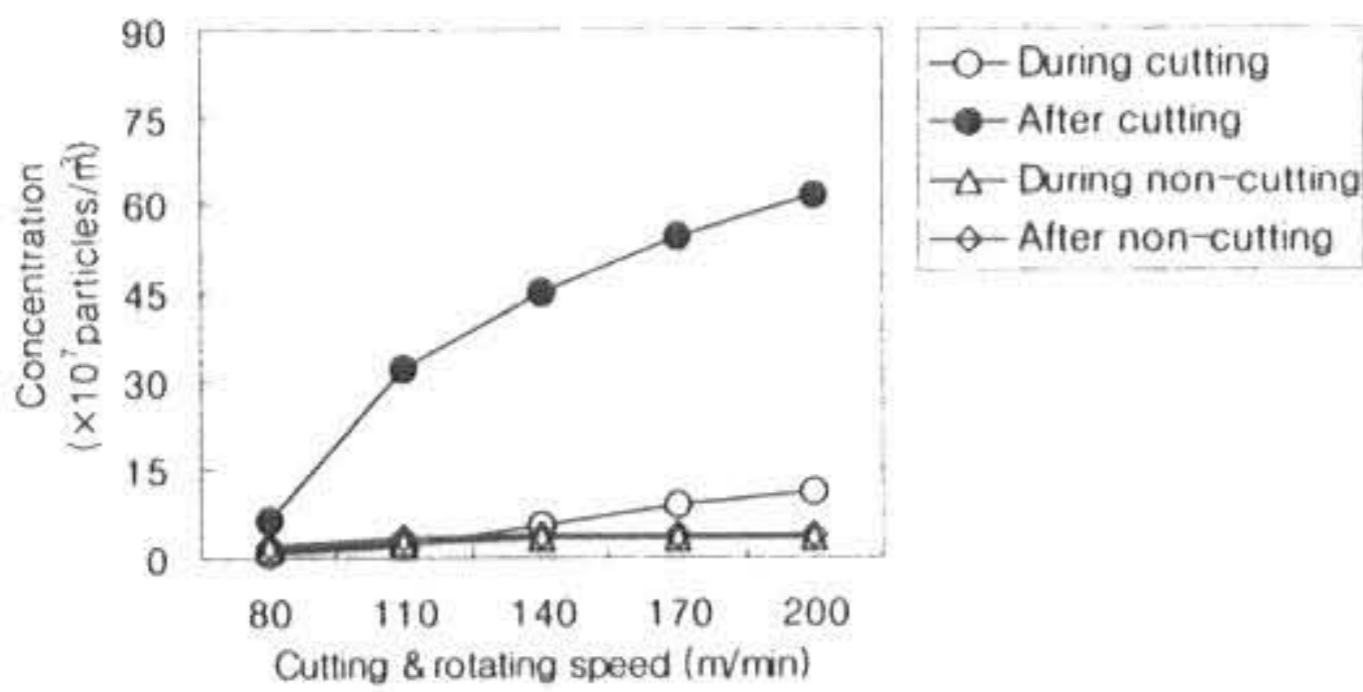


Fig. 8 Generating characteristics of number concentration of mist during and after the cutting and non-cutting for workpiece diameter of 80mm, feed rate of 0.15mm/rev, depth of cut of 1.5mm, flow rate of 10 l/min, ratio of weight concentration of cutting fluid of 1.2%.

Fig. 9는 직경 60mm시의 절삭유량의 변화에 따른 수농도 발생특성을 나타낸 것이다. 절삭속도의 증대에 따라서 수농도는 증대하였으나 절삭유량이 많을수록 절삭속도 140m/min이하의 저속구간에서는 수농도가 적고 그 이상의 영역에서는 특성의 변화가 발생하는 것을 알 수 있다. 즉, 절삭속도의 영역이 저속인 경우는 절삭유량의 양이 많은 것이 고속영역에서는 절삭유량의 양이 적을수록 수농도의 발생량을 줄일 수 있는 방안인 것으로 판단된다.

절삭유의 중량농도비의 변화가 수농도의 발생 특성에 미치는 영향을 파악하기 위하여 직경

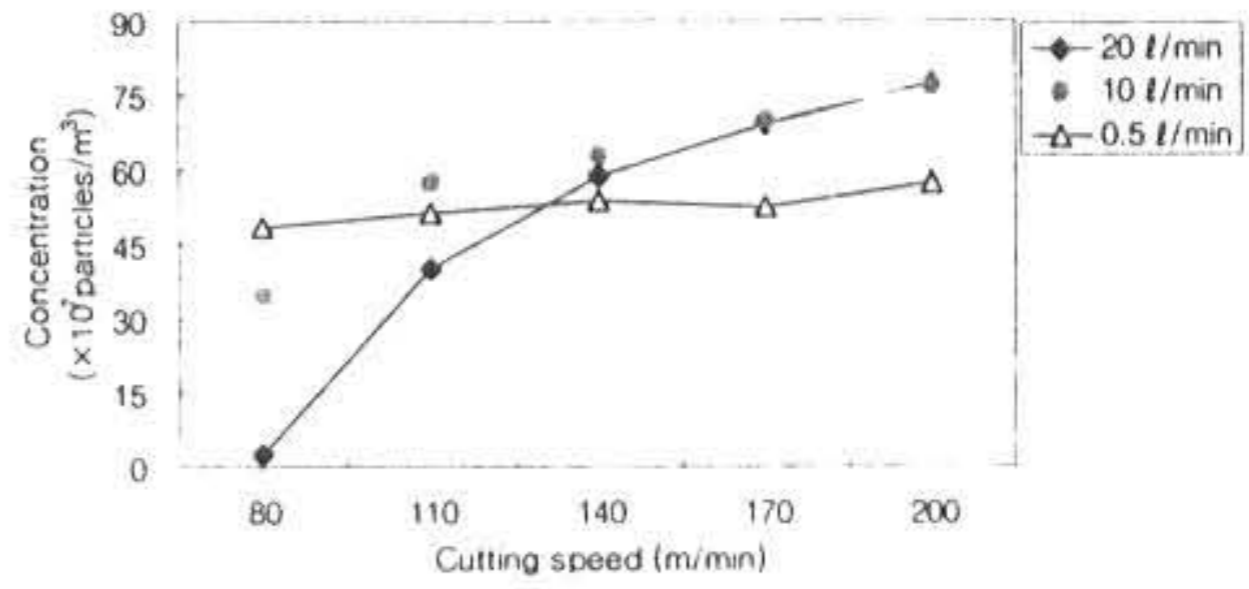


Fig. 9 Dependence of number concentration of mist upon flow rate at workpiece diameter of 60mm, feed rate of 0.15mm/rev, depth of cut of 1.5mm, ratio of weight concentration of cutting fluid of 3.2%.

60mm인 공작물에 대하여 절삭유량 10 및 0.5 l/min의 공급조건에서 실험한 결과를 나타낸 것이 Fig. 10이다. 그림으로부터 절삭유의 중량농도비에 관계없이 절삭속도의 증가에 따라서 수농도가 증가함을 알 수 있으며, 절삭유량 10 l/min인 조건에서는 절삭속도 140m/min이하의 저속구간에서는 절삭유의 중량농도비율이 클수록 수농도가 증가하였으나 그 이상의 속도영역에서는 거의 차이가 없음을 알 수 있다. 절삭유량 0.5 l/min인 조건에서는 절삭유의 중량농도가 높은 쪽이 수농도가 약간 높게 나타났으나 그 차이는 거의 무시할만한 수준인 것으로 사료된다.

어느 경우이던 절삭유의 중량농도비율이 증가하더라도 현저한 수농도의 감소가 보이지 않는 것은 작업장의 미스트 발생량의 억제에 의한 작업환경개선과 절삭유의 유지 관리비용측면에서 바람직하지 못함을 나타내는 것이라 할 수 있다.

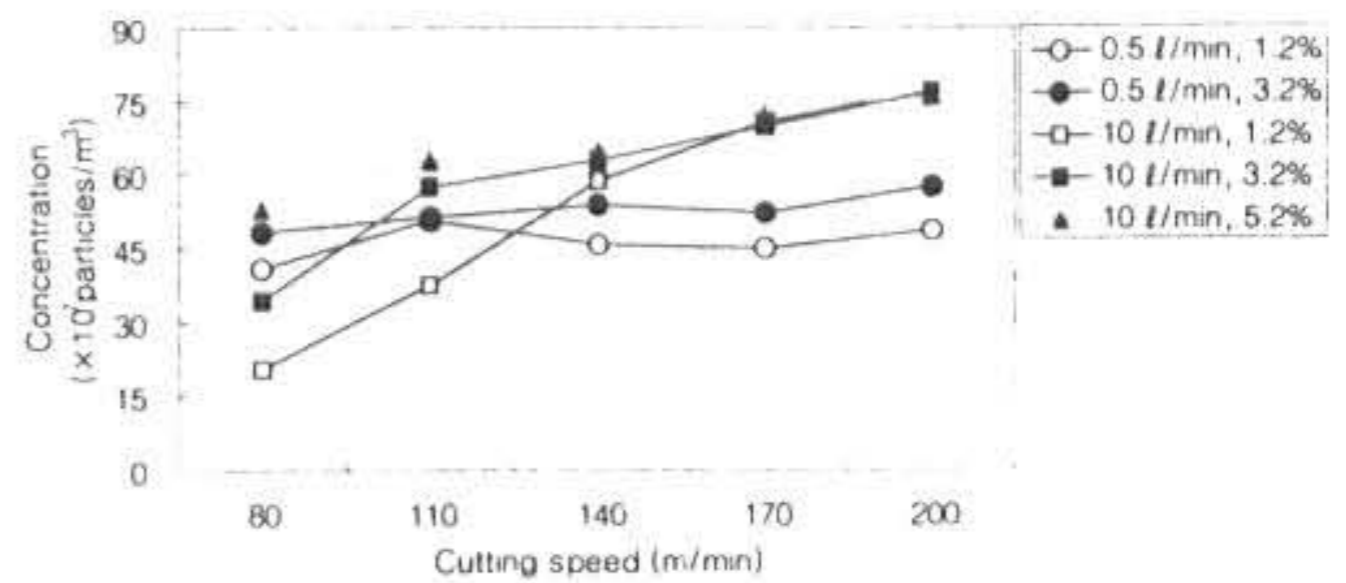


Fig. 10 Dependence of number concentration of mist upon flow rate and rate of weight concentration of cutting fluid at workpiece diameter of 60mm, feed rate of 0.15mm/rev, depth of cut of 1.5mm.

3.2 질량농도(mass concentration)

미스트의 영향을 평가하는 기준으로서 입자의 크기, 수농도 및 질량 농도 등이 관심항목으로 되고있으나 각종 산업안전 규격에서 미립자

물질에 대한 건강 위험 안전도의 척도로서 입경 크기에 대한 질량 농도로 규정하고 있기도 하여서 질량 농도가 평가의 가장 일반적인 차원으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서도 질량 농도의 발생 특성 및 이에 미치는 제반 절삭변수의 영향인자에 대하여 고찰하도록 한다.

Fig. 11은 공작물 직경(D)의 영향을 파악하기 위하여 절삭유량(Q) 10 l/min을 공급한 경우, 절삭후의 질량 농도의 발생 특성을 나타낸 것이다. 직경의 크기에 따라서 약간의 차이가 발생되는 것은 미스트 포집관의 위치를 일정한 위치에 고정하여 미스트를 포집, 측정함에 따른 공작물과 미스트 포집관과의 상대적인 위치의 차이에 의한 것 등으로 사료된다. 이러한 점을 감안한다면 공작물 직경의 크기가 질량농도에 미치는 영향은 미소하다고 할 수 있다.

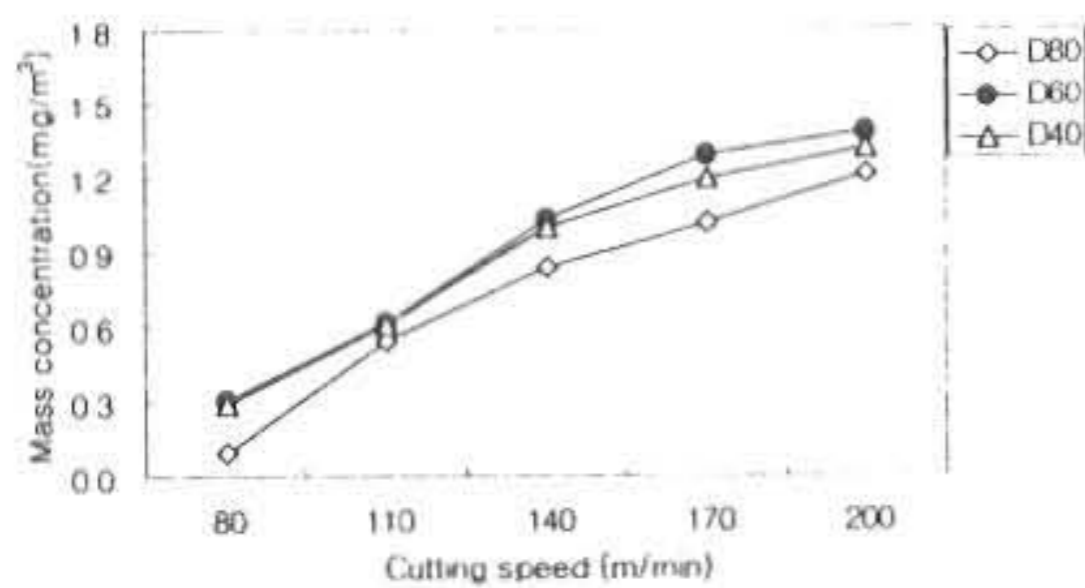


Fig. 11 Dependence of number concentration of mist upon workpiece diameter at flow rate 10 l/min, feed rate of 0.15mm/rev, depth of cut of 1.5mm, ratio of weight concentration of cutting fluid of 1.2%.

Fig. 10의 수농도에 대응하는 질량농도특성을 나타낸 것이 Fig. 12이다. 그 발생특성은 수농도와 유사하지만 절삭유량 10 l/min인 조건에서 절삭속도 140m/min이하인 영역에서의 질량농도의 변화의 폭이 수농도의 변화의 폭에 대비하여 그 차이가 현저히 작음을 알 수 있다. 이는 저속구간에서 절삭유의 중량농도비가 클수록 입경이 작은 미스트가 많이 발생되었음을 의미하는 것이라 할 수 있다. 이는 질량농도만으로 미스트를 규제하는 현재의 산업안전법규에 의문을 제시하는 것으로 사료되며 수농도에 대한 규제의 필요성을 검토하는 것이 필요하다고 생각된다. 또한 어느 경우나 25초 동안 절삭하였을 때 발생하는 질량농도가 미국의 NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health)에서의 안전허용기준치 0.5 mg/m^3

이하¹¹⁾의 값을 상회하므로 CNC선반 작업을 하는 산업현장에서 이에 대한 대책이 필요하다고 할 수 있다.

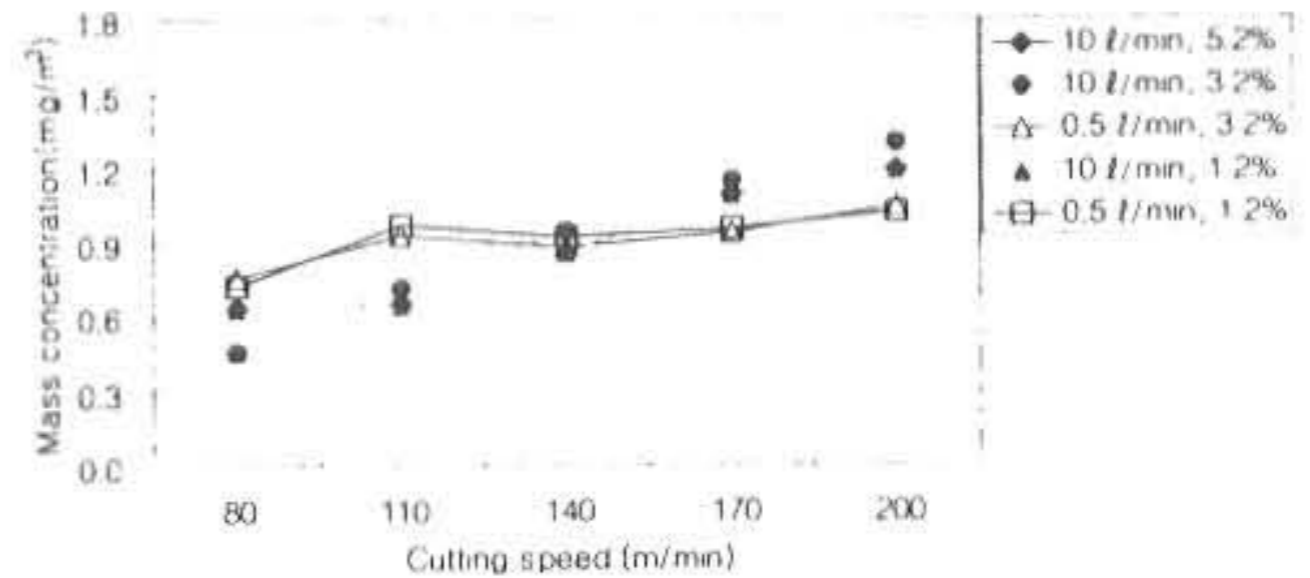
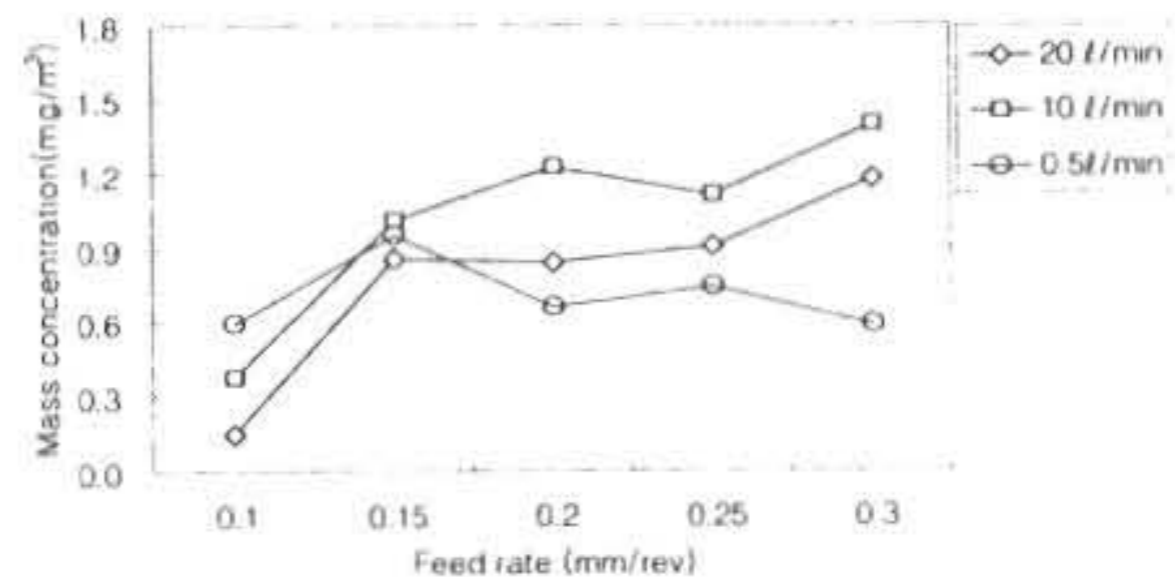
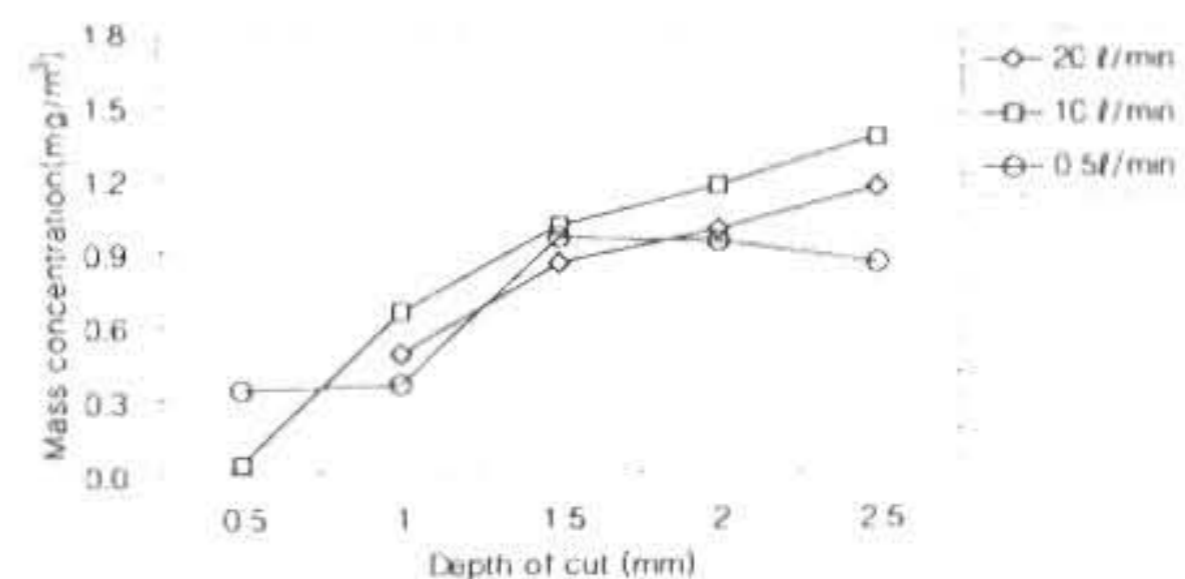


Fig. 12 Dependence of mass concentration of mist upon flow rate and rate of weight concentration of cutting fluid at workpiece diameter of 60mm, feed rate of 0.15mm/rev, depth of cut of 1.5mm.

절삭소요동력의 크기에 영향을 미치는 이송속도와 절삭깊이의 크기가 미스트의 질량농도에 미치는 영향을 조사한 것을 Fig. 13(a) 및 (b)에 나타내었다. 그림으로부터 이송속도 및 절삭깊이의 증대와 더불어 미스트의 질량농도가 증가하는 특성을 나타냄을 알 수 있다. 이는 절삭부하의 크기가 증가 할 수록 미스트 발생량이 증가함을 의미하는 것이며, 절삭부하량의 증대에 따른 절삭열량의 증대에 기인한 증발에 의한 미스트 발생이 많은 영향을 미친 것으로 판단된다.



(a) Effect of feed rate at depth of cut of 1.5mm



(b) Effect of depth of cut at feed rate of 0.15mm/rev

Fig. 13 Dependence of mass concentration of mist upon feed rate and depth of cut at workpiece diameter of 80mm, cutting speed of 170m/min, ratio of weight concentration of cutting fluid of 1.2%.

3.3 평균입경(Sauter mean diameter ; SMD)

에어로졸 관련 분야에서 주로 관심 있는 입자의 크기는 0.01~100 μm 정도의 범위이다. 여기에서 최저한계인 0.01 μm 는 분자에서 입자로 변하는 전이역이다. 약100 μm 또는 그 이상의 입자는 대기 중 체류시간이 매우 짧아 문제가 되지 않는다. 따라서 이것보다 작거나 혹은 큰 입자가 중요한 경우도 있지만 보통 공기 중에 부유하는 대부분의 입자 직경은 0.01 μm 에서 100 μm 사이이다. 5~10 μm 보다 큰 입자는 보통 상부 기관지에서 제거되고, 5 μm 이하의 작은 입자는 폐의 폐포 속으로 깊숙히 침투한다. 따라서 5~10 μm 이하의 입자는 보통 생리학적으로 문제가 되는 에어로졸에 대한 상한직경으로 간주된다¹²⁾. 특히 2.5 μm 이하의 입자는 인체에 중대한 영향을 주는 것으로 판단되어 미국의 EPA(Environment Protection Agency)에서 설립한 NAAQS(National Ambient Air Quality Standards)에서는 1997년에 PM2.5에 대한 규정을 추가하도록 규정을 개정하였고 PM1.0 및 PM0.5에 대한 규정의 필요성을 논의하기 시작하였다⁷⁾.

대기 중에 부유하는 질량 농도도 중요하지만, 발생하는 큰 입자는 질량 농도에 많은 영향을 주게되고 발생하는 아주 작은 입자는 수농도에 많은 영향을 주지만 질량 농도에 미치는 영향은 작다. 그러나 미세한 입자는 인체의 깊숙한 곳까지 침투하여 건강에 치명적인 영향을 줄 수 있으므로 입자의 크기에 대한 연구도 중요하다 할 수 있겠다.

따라서 절삭과정 중에 발생하는 미스트 입경의 발생 특성을 분석하는 것 또한 미스트 제거용 집진 장치의 설계 및 건강 위험성을 파악함에 있어서 중요한 자료가 될 수 있다.

절삭 실험시의 실내 및 선반내의 여러 가지 절삭조건에 대한 SMD의 크기를 조사한 결과, 실험실내 및 절삭 실험 전에 측정된 선반 내의 SMD의 크기는 1.1~1.5 μm 이었으며, 그 크기가 비교적 작았다. 또한 입경 데이터의 산포도 비교적 작은 값이었으며, 비교적 안정된 조건으로 실험을 하였다.

절삭유량별, 절삭유의 중량농도비 및 절삭속도의 변화에 따른 SMD의 발생특성을 나타낸 것이 Fig. 14이다. 절삭속도 80m/min에서의 SMD의 변화폭은 1.5~2.5 μm 의 변화로서 약간 큰 변화를 보였으나 나머지 절삭속도 영역에서의

SMD의 크기는 최소 1.5 μm , 최대 1.85 μm 로서 변화량이 작음을 알 수 있다. 또한 모든 조건에서의 SMD의 평균 크기는 1.73 μm 로서 인체에 매우 유해한 크기였다.

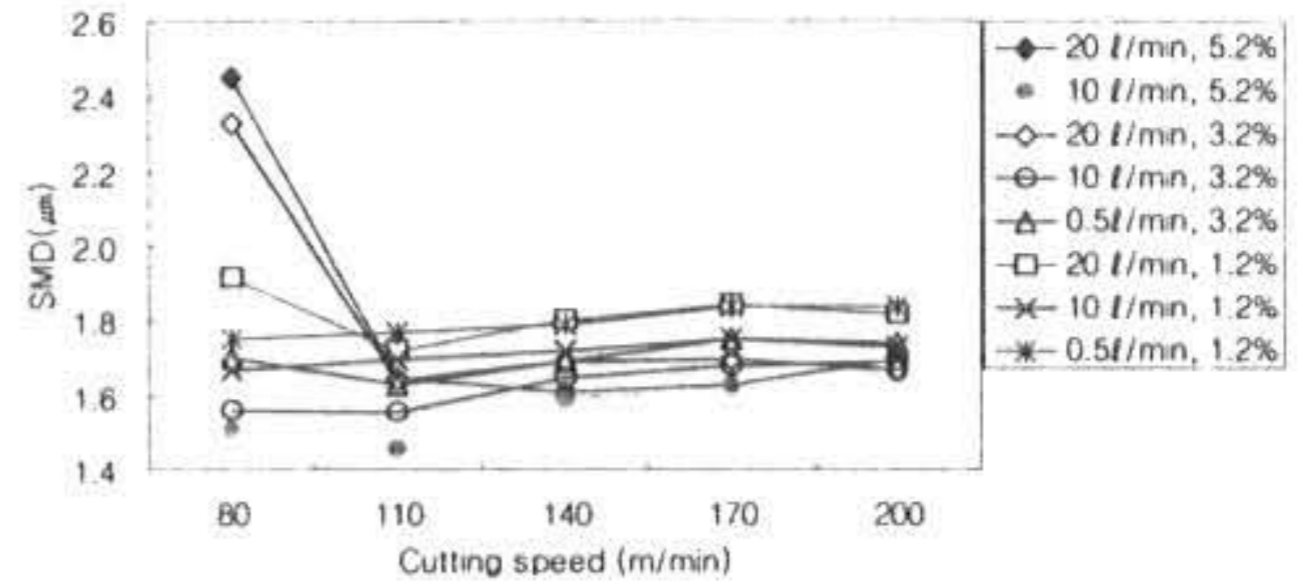
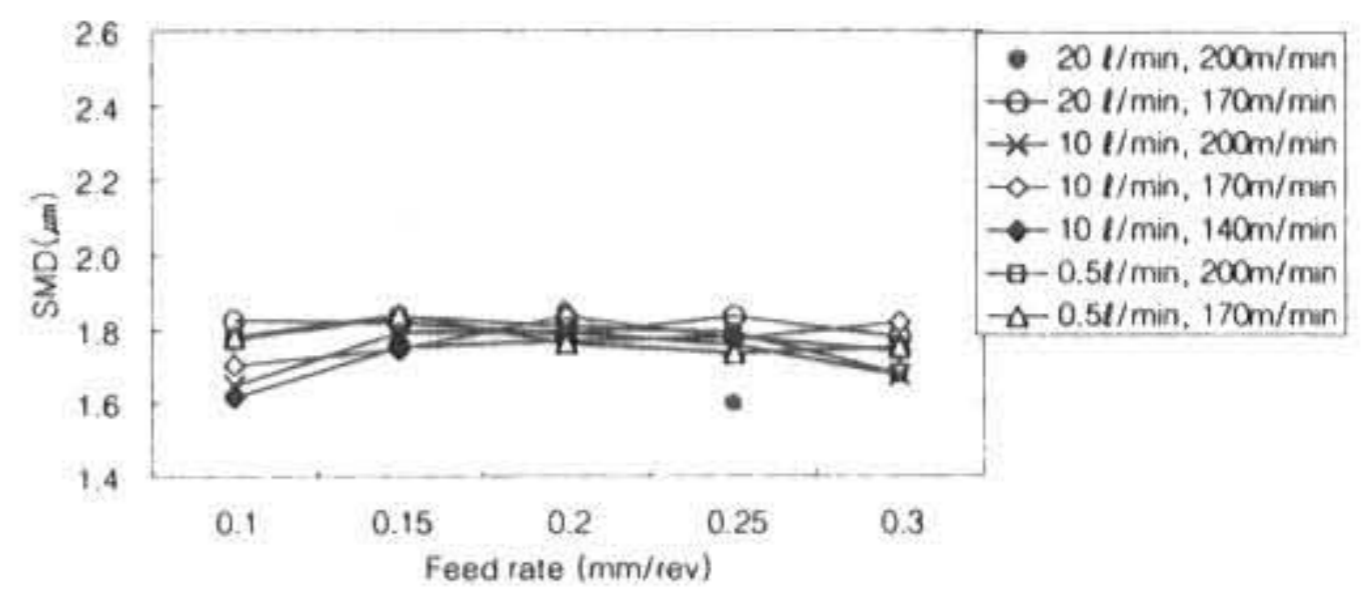
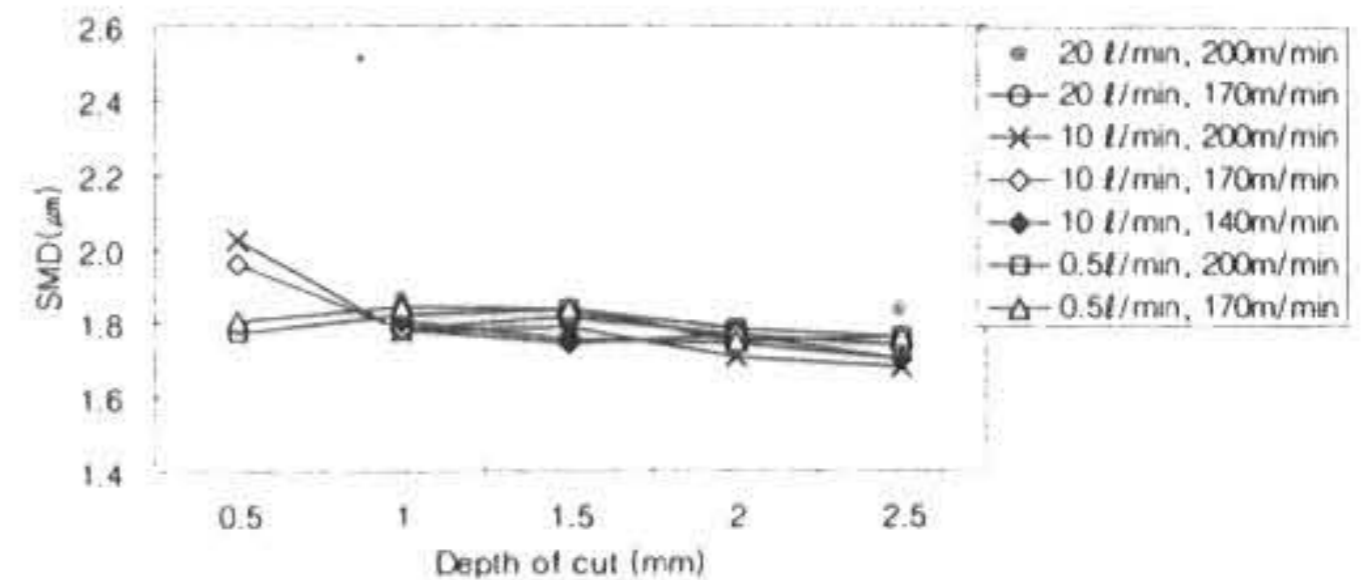


Fig. 14 Dependence of SMD on flow rate and ratio of weight concentration of cutting fluid at workpiece diameter of 60mm, feed rate of 0.15mm/rev, depth of cut of 1.5mm.

Fig.15(a) 및 (b)는 이송속도와 절삭깊이의 변화에 대한 SMD의 발생특성을 나타낸 것이다. 이송속도별 SMD의 크기는 최대 1.86 μm , 최소 1.6 μm , 평균치는 1.77 μm 였으며, 절삭깊이의 변화에 따른 SMD의 크기 변화는 최대 2.02 μm , 최소 1.68 μm , 평균치는 1.79 μm 로서 이송속도 및 절삭깊이는 SMD의 발생특성에 거의 영향을 미치는 않음을 알 수 있다.



(a) Effect of feed rate at depth of cut of 1.5mm



(b) Effect of depth of cut at feed rate of 0.15mm/rev

Fig. 15 Dependence of SMD on feed rate and depth of cut at workpiece diameter of 80mm, ratio of weight concentration of cutting fluid of 1.2%.

4. 결론

1. 절삭유로 인한 미스트의 수농도 및 질량농도의 크기는 절삭속도, 절삭깊이, 이송속도 및 유량에 따라서 영향을 받으나, 공작물의 직경 및 절삭유와 물과의 혼합 중량농도비에는 거의 영향을 받지 않는다.
2. 미스트의 SMD는 제반 절삭조건에 영향을 받지 않으나, 그 평균크기가 약 $1.76\mu\text{m}$ 정도로서 인체에 매우 유해한 크기임을 알 수가 있다.

참고문헌

- 1) Osamu Takada : Our business vision for the 21st century, KOBELCO TOOL & TECHNOLOGY No2, pp.1-17,(1999)
- 2) F. H. Schneider, G. Seixas, H. W. Rossmore : Occupational health effects of metalworking fluids, Conference ASME/Proc. Int. Stamp. on Metalworking Lab. Emerging Tech.,pp241-244, (1980)
- 3) E.O.Bennett, D.L. Bennett : Occupational airway diseases in the metalworking industry, Tribology international, Vol 18, No 3, pp.169-176, (1985)
- 4) C. R. Mackerer : Health effects of oil mists-A brief review, Toxicology and Industrial Health, Vol. 5, pp. 429-440, (1989)
- 5) Y. Yue, J.W. Sutherland, W.W. Olson, : Cutting fluid mist formation in machining via automization mechanisms, ASME Design for Manufacturing and Assembly, DE-Vol. 89, pp.37-46, (1996)
- 6) K. Bhunia Sourav , J. H. Lienhard V : Splattering of turbulent liquid jets impinging on solid targets: Parametric studies, ASME General Paper in Heat Transfer, HTD-Vol. 204, pp165-171, (1992)
- 7) Y. Yue, K.L. Gunter, D.J. Michalek, J.W. Sutherland : An examination of cutting fluid mist formation in turning, Transaction of NAMRI /SME Vol.X XVII, pp.221-226, (1999)
- 8) 황준, 정의식, 황덕철 :환경 친화적 기계가공 기술에 관한 연구, 한국정밀공학회지, 제20권, 제2호, pp.50-57, (2003)
- 9) 박태준, 양승환, 이영분, 김희술, : 다중비교를 이용한 선삭가공시 절삭유량에 따른 온도변화분석, 한국정밀공학회, 제18권, 제20호, pp.110-115, (2001)
- 10) 고태조, 오명석, 박성호, 김희술 : 선삭에서 절삭유 미립화 생성메카니즘의 실험적 검증, 한국정밀공학회, 제19권, 제12호, pp.93-99, (2002)
- 11) D. D. Bell, J. Chou, L. Nowag, S.Y. Liang : Modeling of the Environmental Effect of Cutting Fluid, Tribology Transactions, Vol.42, pp.168-173,(1999)
- 12) 김신도, 김종호, 김태식, "에어로졸," 도서출판 동화기술, pp.23, (1995)

(2003년 10월8일 접수, 2004년 2월20일 채택)