

## 환경친화적 가공을 위한 냉풍시스템의 성능평가

강명창\*, 김정석, 이득우(부산대 ERC/NSDM), 이승상(부산대 대학원)

### Performance Evaluation of Compressed Cold Air System for Environmentally Conscious Machining

M. C. Kang, J. S. Kim, D. W. Lee(ERC/NSDM, Pusan Univ.), S. S. Lee(Graduate School, PNU)

#### ABSTRACT

In industrially advanced countries, environmentally conscious machining was eagerly studied because of ecological and economical reasons. As the environmental regulations become stricter, new machining technologies which takes environmental aspects into consideration are being developed. Industry and research institutions established applications for dry, semi-dry, oil-mist and compressed cold air machining. This paper investigates the performance of new compressed cold air system for environmentally conscious machining and evaluates machinability of dry and new compressed cold air machining. A series of tests are carried out using measuring equipments under dry and compressed cold air machining.

**Key Words** : Environmentally conscious(환경친화적), Environmental regulations(환경규제), Dry machining(건식절삭), Oil-mist(오일-미스트), Compressed cold air(압축냉각공기)

#### 1. 서론

최근 들어 환경문제의 대두와 함께 절삭공정에서도 환경에 영향을 덜 주는 많은 장치와 기술들이 활발히 연구되어지고 또는 실용화되고 있다. 그것을 총칭하여 환경친화적절삭이라 할 수 있는데, 이런 경향은 선진국의 환경보호정책인 그린 라운드(Green Round)나 ISO 14000과 같은 규제가 더욱 강화되어지는 것과 발맞추어 생각해 볼 수 있다. 절삭공정에서의 환경친화적인 접근은 이미 10여년 전부터 제조업 선진국이라 할 수 있는 일본과 독일에서 먼저 시도되어졌다<sup>(1)</sup>. 1990년 독일에서는 절삭유 처리기술이 연구되어 졌고, 일본에서는 1996년 냉풍을 이용한 가공기술을 처음으로 개발하였고, 최근에는 극압 첨가제를 절삭유에 첨가하지 못하도록 JIS 규격의 고정작업도 아울러 실시하였다.

현재 연구되고 있는 환경친화적절삭기술을 살펴보면 먼저, 절삭유의 개선인데, 기존의 절삭유는 작업장의 환경오염 문제, 작업자 건강문제, 폐유의 처리 문제 등을 발생시키므로 현재 인체에 무해한 식물성

절삭유의 개발이라든지, 절삭유를 필터시스템을 통해 리사이클링 하는 기술 등이 연구되고 있다. 절삭기술은 기존의 절삭유제를 사용하는 가공기술에서 극미량의 매우 작은 입자크기의 오일미스트(Oil-mist)를 사용하는 MQL(Minimal Quantity Lubrication) 가공이라든지, 절삭유를 사용하지 않는 건식가공 그리고 고압의 차가운 공기를 분사하며 가공하는 압축냉각 공기시스템 등이 이용되고 연구되어지고 있다<sup>(2)</sup>. 이런 환경친화적인 가공기술이 실제 작업장의 환경개선을 가져올 뿐만 아니라 상당부분 기존의 절삭유 시스템과 비교해서 상당한 경제적 이점이 있는 것도 환경친화적절삭기술 연구의 또 하나의 이유이기도 하다<sup>(3)</sup>.

실제 국내의 가공현장에서는 아직도 냉풍가공에 대한 관심도 적고, 유효효과보다 냉각효과가 필요한 연삭가공에서는 그 적용성에 대해 활발한 연구가 진행되고 있지만 단속절삭과 같은 형태의 절삭에서는 아직 미약한 형편이며, 절삭작업에 적합한 절삭유 시스템을 적용하고 있다고 볼 수 없겠다. 따라서 본 논문에서는 실험실에서 제작한 냉풍시스템의 성능을

온도, 압력, 유량에 대해서 기존의 작업과 비교, 평가를 실시하고 아울러 실제 현장에서 가공하는 헤드폰 금형을 통해 가공성 평가까지 실시해 그 실용성을 연구하였다.

## 2. 압축냉각공기시스템

### 2.1 압축냉각공기시스템

압축냉각공기에 의한 냉풍절삭은 일본의 요코가와가 최초로 선삭에서 시도하였고, 이후 해외뿐만 아니라 국내에서도 활발한 연구가 진행되고 있는 분야 중의 하나이다.<sup>(4)</sup>

본 연구에서는 절삭유를 사용하지 않는 환경친화적인 절삭을 위해 자체로 압축냉각공기시스템을 제작하였다. 본 장치의 구조는 Fig. 1과 같다.

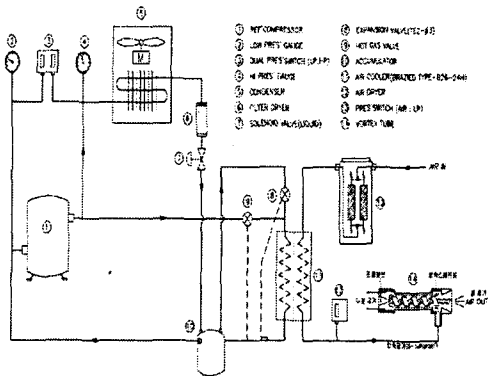


Fig. 1 Schematic diagram of compressed cold air system

압축냉각공기시스템은 공기중의 수분의 영향으로  $-15^{\circ}$  이하로 냉각하면 쿨러 내부에서 수분의 결빙으로 쿨러의 막힘현상을 초래한다. 따라서 본 시스템은 유입된 압축공기는 먼저 수분을 제거하는 제습단계를 거치고, 제습된 압축공기는 냉매를 사용한 압축식 냉동사이클에 의한 간접냉각방식을 통해 냉각되어 보텍스 튜브를 거쳐 더 낮은 초저온의 온도로 냉각된 압축공기가 되는 것이다. 압축기에서 공급된  $8\text{kgf/cm}^2$  고압의 압축공기는 관로를 따라 Air dryer(12)에서 수분이 제거되고, Air cooler(11)로 유입되어 냉매(R22)가 흐르는 관로와 교차되면서 열교환이 일어나고 여기에서 열을 빼앗긴 압축공기는 보텍스 튜브(14)를 거치면서  $-20\sim-50^{\circ}$ 의 초저온의 압축공기가 노즐을 통해 분사된다. 한편 냉매는 응축기(10)와 콘덴서(5) 그리고 냉동 압축기(1)에서 재생되어 계속 Air cooler로 공급된다.

자체 제작된 압축냉각공기시스템은 Fig. 2와 같이 설치하였다.

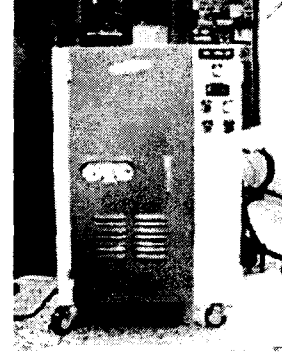


Fig. 2 Overview of compressed cold air system

### 2.2 실험장치 및 실험방법

실험은 먼저 제작한 압축냉각공기시스템의 성능 평가를 실시하고, 헤드폰 금형을 가공하면서 가공성 평가를 아울러 행하였다.

압축냉각공기시스템의 성능평가는 온도, 압력, 유량의 세가지 항목에 대해서 실시하였다. 온도는 바이메탈 온도계를 사용하여 셋팅온도의 도달시간과 냉각온도 그리고 지속성에 대해서 조사하였고, 압력은 유입압력, 출구압력, 시간에 대한 압력의 변화에 대해 알아보았고, 마지막으로 유량은 유량계(피토투브관, Micromanometer)를 통해 시간당 유량변화에 대해 평가해 보았다. 성능평가의 장치는 Fig. 3에 나타내었다.

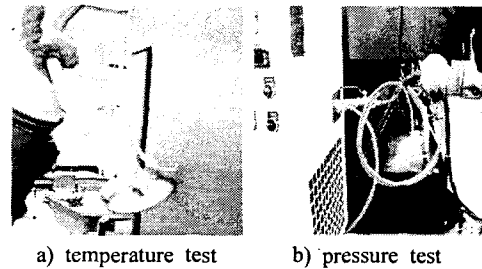


Fig. 3 Performance evaluation setup

본 시스템의 가공성평가는 TiAlN 코팅한 직경 8mm, 2날의 볼앤드밀을 사용하여 수행하였다. 실험에 사용된 시편은  $80 \times 150$ 의 STD11(HRC 25)을 사용하였으며, 공작기계는 최대 주축 회전수 20000rpm인 고속 머시닝센터 MAKINO-V55를 이용하였다. 대상은 헤드폰 금형을 절삭유제 공급방식에 따라 가공하는데 이는 실제로 현장에서 헤드폰 금형을 건식으로 가공하고 있으므로 이와 연관시켜 자체 제작한 압축

냉각공기시스템의 성능을 평가할 수 있다고 판단하여 실시하였다. 절삭유 공급방식은 건식과 제작한 압축냉각공기시스템에서 나오는  $-30^{\circ}$  의 압축냉각공기를 공급하며 가공을 하였다. 가공성 평가에 관한 조건은 Table 1과 같고, 실험장치는 Fig. 4과 같이 구성하였다.

Table 1 Experimental setup and cutting conditions

Machining center	MAKINO V55
Tool	$\phi$ 8 Ball Endmill (2-flute, TiAlN coated)
Workpiece	STD 11 (H <sub>R</sub> C 25) 80× 150
Cutting Speed(rpm)	8000
Feed Rate(mm/min)	1500
Axial depth of cut	1.3(Rough cutting) 0.28(Finish cutting)
Coolant	Dry, Compressed cold air( $-30^{\circ}$ )

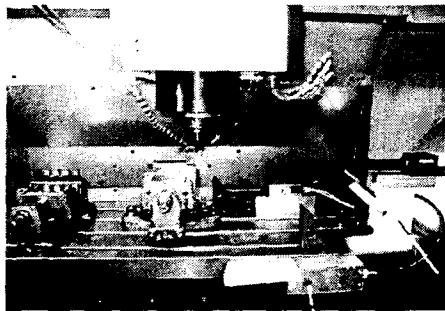


Fig. 4 Experimental setup

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 성능평가

압축냉각공기시스템의 온도는 바이메탈 온도계를 가지고 시간에 대한 온도변화를 관찰하였다. Fig. 3에 압축냉각공기시스템의 온도변화에 대해 나타내었다. 시스템을  $-30^{\circ}$  에 셋팅을 하고 가동하면 온도는 급하강하여 20분이 지나면  $-30^{\circ}$  의 온도를 나타내고, 시간이 지나도 거의 변하지 않는다. 이것은 압축냉각공기시스템이 실험에 적합한 온도인  $-30^{\circ}$  의 온도를 내는데는 20분의 시간지연이 있음을 의미한다. 이 결과에 따라 가공성평가를 실시할 때는 시스템을 가동한 뒤 20분이 지나고 적정온도에 이르렀는지 확인하고 실험을 하였다.

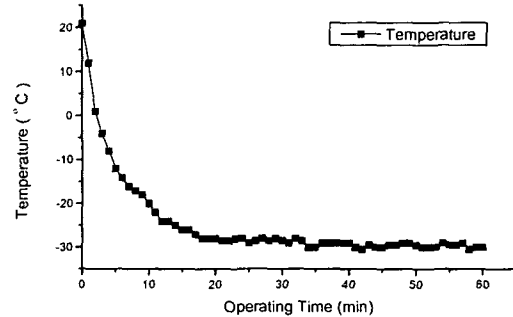


Fig. 5 Temperature variation of compressed cold air

압력은 압축기에서 공급되는 압축공기와 압축냉각공기시스템을 통해 나오는 출구와 노즐 부분의 압력을 측정하였다. Table 2는 그 결과를 보여준다.

Table 2 Output of pressure measurement

Input Pressure	Output Pressure	Nozzle Pressure
8kgf/cm <sup>2</sup>	8kgf/cm <sup>2</sup>	3kgf/cm <sup>2</sup>

압축기에서 공급되는 압축공기와 압축냉각공기시스템을 통해 나오는 압축냉각공기의 압력은 8kgf/cm<sup>2</sup>으로 동일하였으나, 노즐부분에서의 압력은 3kgf/cm<sup>2</sup>으로 상당히 떨어진다. 이는 보텍스 튜브를 거치면서 상당량의 압력손실이 있기 때문이다.

유량의 측정은 피토투브관과 마이크로 마노메타(Micromanometer)를 통해서 측정하였다. Fig. 6에 시간에 대한 유량의 변화를 나타내었는데 유량을 측정 한 결과 분당 600ℓ 의 균일한 유량을 공급하는 것으로 측정되었다.

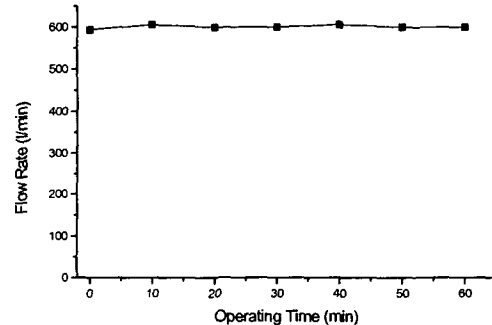


Fig. 6 Flow rate of compressed cold air system

따라서 압축냉각공기시스템은 20분이 지나면 가공성 평가실험에 적합한 성능을 유지할 수 있음을 확인할 수 있었다.

### 3.2 가공성평가

STD 11과 같은 금형강을 고속가공하는데 실제 작업 현장에서는 절삭유보다는 건식으로 작업을 많이 하고 있다. 그 이유는 절삭유를 사용하여 고속으로 금형을 가공할 시 마찰로 인한 고온의 열발생과 절삭유에 의한 급냉이 반복적으로 일어나고 고속회전으로 인한 원심력으로 인하여 절삭유가 가공점에 투입되는 것이 어렵기 때문이다. 따라서 STD 11 헤드폰 금형을 가공하는 건식절삭과 제작한 압축냉각공기시스템에서 공급하는 냉풍을 이용한 냉풍절삭을 비교 평가하였다.

헤드폰 금형은 UG로 모델링하여 NC Data를 획득하여 가공하였는데 황삭, 정삭 각각 30분이 소요되었다. 건식과 냉풍절삭으로 가공한 금형을 비교해보면 Fig. 7과 같다.

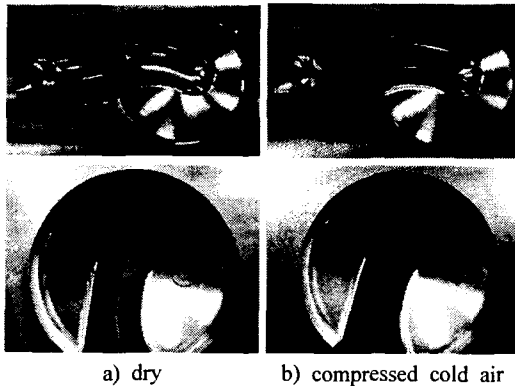


Fig. 7 Headphone die machined by dry and cold air

Fig. 7에서 관찰할 수 있는 것은 건식이 냉풍절삭보다 볼 엔드밀 가공하면서 문질러진 흠집이 상대적으로 많다는 것이다. 그것은 건식으로 절삭을 할 때 높은 온도가 공구의 표면에 발생하게 되고, 이 온도를 냉각시켜주지 못하기 때문에 높은 온도와 압력에 칩이 공구에 미세하게 달라붙게 되고 이런 공구가 절삭에 관여하면서 가공표면에 흠집을 남기게 된다. Fig. 8은 헤드폰 금형의 원호부분을 공구현미경을 사용하여 관찰하였다.

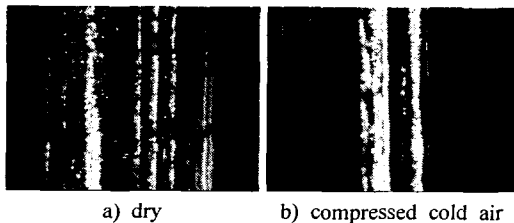


Fig. 8 Surface shape of dry and cold air cutting

Fig. 8에서 압축냉각공기를 이용한 냉풍절삭은 절입방향에 대해서 아주 규칙적인 절삭을 한 것으로 관찰이 되나, 건식절삭은 절입방향에 대해서 냉풍절삭과 같은 규칙성을 보여주지 못하며 또한 가로방향의 미세한 흠집을 관찰할 수 있다. 이로 인해 냉풍절삭이 건식절삭에 비해서 더 좋은 표면과 광택을 가지게 된다. 실제로 이 금형은 자유곡면으로 된 형상이므로 표면조도를 측정하기가 곤란하여 동일한 소재의 시편에 대해서 같은 공구로 건식과 냉풍에 대한 평면절삭을 실시하고 그 표면조도를 측정식 표면조도기로 측정하였다. 건식의 중심선 거칠기( $R_a$ )가 0.27이고 냉풍절삭의 중심선 거칠기값이 0.19을 나타내어 표면조도 또한 냉풍이 양호한 특성을 보였다.

### 4. 결론

압축냉각공기시스템에 대한 성능평가를 실시한 결과 일정한 시간의 경과 후 온도와 압력 그리고 유량에 대해서 안정된 성능을 보여주었다. 이를 통해 가공성 평가실험에도 동일한 성능을 유지할 수 있음을 확인하였다. 또한 금형을 가공하는 가공성 평가에 있어서도 기존의 건식절삭보다 표면광택, 표면조도 등에서 더 나은 품질을 보여주었다. 따라서 기존의 고경도 소재의 절삭에 냉풍절삭이 건식절삭이나 절삭유를 이용한 절삭을 대체할 수 있는 좋은 환경친화적인 가공기술임을 알 수 있었다.

### 후기

본 연구는 2001년 생산기술연구원 국가청정생산지원센터의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 横川和産, 横川宗産, "ISO14000取得のための冷風旋削 研削技術," 機械技術, pp. 52-73, 1997
2. 최현중, 이석우, "압축냉각공기를 이용한 환경친화적 연삭 가공기술," 한국정밀공학회지, 제 18권, 제 6호, 2001.
3. F. Klocke and G. Eisenblatter. "Dry cutting," Keynote paper, Annals of CIRP, Vol. 46, No. 2, pp. 519-526, 1997
4. 横川宗産, 島ノ江洋司, "環境やさしい冷風旋削加工に関する研究(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