

건식 저온 압축 공기를 이용한 절삭유 대체형 가공 공정 방식에 관한 연구

강재훈*, 송준엽, 박종권, 노승국 (한국기계연구원 지능형정밀기계연구부)

A Study on the Environment Conscious Machining Process Using Compressed Dry Cooling Air

J. H. Kang*, J.Y. Song , J.K. Park , S.K. No (KIMM Intelligent Precision Machine Dept.)

ABSTRACT

Used cutting fluid from machining processes is harmful to both environment and human health. Chemical substances that provide the lubrication function in the machining process are toxic to the environment if the cutting fluid is released to soil and water and caused serious health problems to workers who are exposed to the cutting fluid in both liquid and mist form. Recently, cost of using cutting fluid is increasing as the number and the extensiveness of environmental protection laws and regulations increase. Therefore, the use of cutting fluid in machining processes place an enormous burden on manufacturing companies to cover the additional costs associated with their use and protection of our environment.

Current trends in manufacturing are focused on minimizing or eliminating the use of metalworking fluids in machining processes. And the increased costs for the disposal of waste products (swarf, coolants and lubricants), especially in industrially developed countries, has generated interest in dry machining. A variety of new techniques are testimony that new technology has rationalized further efforts to research and implement dry machining processes.

This paper presents the developed equipment, the process optimization and the applications in the field of surface grinding for the new cryogenic dry machining using a compressed cooling air. The investigated new machining process method shows many advantages compared to conventional techniques with cutting fluid.

Key Words : Cutting Fluid(절삭유), Dry Machining (건식 가공), Compressed Cooling Air(압축 냉각 공기), Cutting Force(절삭 저항), Machining Heat(가공 열)

1. 서언

최근에 환경성과 경제성을 고려한 청정 생산 기술의 도입이 전세계적으로 활성화되면서 기계적인 제거 가공 공정에 있어서도 절삭유의 사용을 대체 혹은 억제하기 위한 관련 연구들이 경쟁적으로 진행되고 있다. 습식 가공시의 절삭유는 불가피하게 비산, 분무되어 열악한 작업 환경을 조성하는 주요 요인이 될 뿐만 아니라 부패되어 악취가 발생됨으로써 작업자의 직무 기피 현상이나 산업 재해 발생의 원인으로서도 작용되므로, 가능하다면 절삭유의 기능을 대체할 수 있는 방식을 적용하여 건식 가공 공정으로 변환시키는 것이 바람직하다.

기존에도 공구 성형 연삭 등의 경절삭 가공

분야에 있어서 간단하게 Vortex tube를 이용한 건식 가공 방식이 적용되는 한편, 특수한 노즐을 채택한 오일 미스트 방식을 이용하여 최소한의 절삭유만을 공급하는 방식 등이 최근에 다양하게 전개되고 있으나 폭넓은 범위의 기계 제거 공정에 유연성 있고 효율적으로 적용하기는 곤란하다는 문제점이 따른다.¹⁾

따라서 본 연구에서는 초저립 연삭 훈을 이용한 난삭재의 중절삭 가공 범위까지 폭넓게 적용할 수 있는 한편, 단위 가공 셀에서 단일 시스템으로 활용할 수 있도록 하기 위하여 건식 저온 압축 공기를 이용한 중앙 공급형 절삭유 대체형 장치를 설계, 제작한 후 다양한 성능 평가 실험을 수행함으로써 실효성에 대한 검증을 수행하였다.

2. 절삭유 사용상의 문제점과 대체화 필요성

절삭유를 사용하는 습식 가공과 건식 가공의 공정을 비교하여 Fig.1에 나타내었다. 최근에 있어서 난삭재의 적용과 고속 가공의 도입에 따라서 작업자의 단순한 경험에 의존하여 일반적으로 과다하게 절삭유를 사용하는 실정이다.

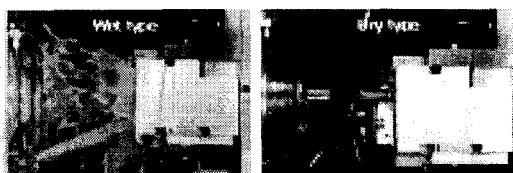


Fig.1 Comparison of wet and dry type machining

그러나 폐절삭유의 수집 및 사후 처리 등의 체계적인 관리가 미흡하여 배수 및 방류 등에 의한 대지, 수질 오염이 문제로 되고 있는 한편, 폐절삭유의 정상적인 청정 방류는 많은 양의 물과 부대 장치 시설 등을 필요로 하고 완벽한 처리도 거의 불가능하며, 소각 처리에 의해서도 황, 인, 납, 일산화탄소 등이 다량 방출됨으로써 대기 환경 오염의 주요인으로 제기되고 있다.

또한, 대다수의 생산 가공 작업 현장 작업자들은 분무 상태의 절삭유에 노출됨으로써 Fig.2와 같이 절삭유에 흔재된 각종 유독 성분에 의하여 각종 피부 질환 및 폐, 간암 등의 질병에 걸리게 되어 작업 재해의 주요인으로도 작용하고 있다.

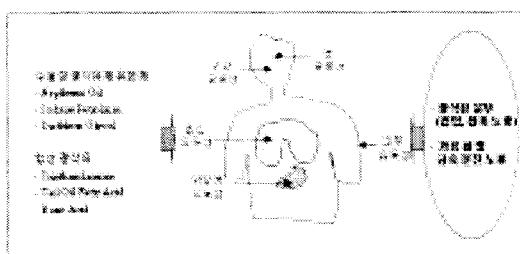


Fig.2 Harmful toxicity to human health

따라서 폐절삭유 등으로부터 환경을 보존하며 작업자의 재해를 방지하는 한편, 각종 난삭재의 고농률화 가공 및 경취성 신소재의 효율적인 가공을 달성하기 위해서는 환경 친화형 대체 절삭 가공 공정 기술의 적용이 시급히 요구되고 있는 실정이다.

일반적으로 사용되고 있는 절삭유의 절반 정도는 Fig.3에 나타낸 바와 같이 수용성 절삭유가 차지하고 있는 한편, 절삭유와 관련된 비용은 생산

제조 비용의 약 20%를 상회하고 있으므로 절삭유의 사용을 배제한다는 것은 생산 제조 비용 측면에서도 유리할 뿐만 아니라 회식 및 사후 처리에 따른 공업수의 절감, 인체 위해성과 환경 오염 억제 효과를 기대할 수 있다.



Fig.3 Sorts of cutting oil and oil related cost

3. 절삭유 대체화 기법의 적용을 위한 실험

3.1 실험 장치의 설계 및 제작 구성

다양한 기계적인 제거 가공 공정에 적용할 수 있는 절삭유의 대체화 기법을 정립하기 위한 특수 전용 시스템의 개발을 수행하였으며, 최종적으로는 중절삭 및 일반 연삭 가공 공정 등의 분야에 걸쳐서도 활용할 수 있도록 하기 위하여 약 -80°C ~ -100°C 정도의 저온 건식 냉각 공기를 공급할 수 있는 Proto type의 장치 및 구성 요소들을 설계하고 핵심 유니트들을 제작하였다.

연삭기를 기준으로 하여 약 3 대 이상의 공작 기계에 중앙 공급 처리할 수 있도록 하기 위하여 약 1,000 liter/min 이상의 토출량 사양이 되도록 각 구성 요소의 용량을 설계하였다.

본 연구에서 목표로 하는 저온 건식 냉각 공기 공급형 절삭 가공 기구는 공작물과 공구의 가공 접촉 부위에 노즐을 통하여 적정한 양을 공급함으로써 절삭유가 지닌 가공 열 냉각 효과를 얻을 수 있는 가공 방식을 설정하여, 일반 공기를 2 단 압축 냉각 및 에어 필터링, 레귤레이팅하는 한편, 오일레스 컴프레서를 이용함으로써 적정량의 건식 냉각 공기를 열손실 저감화 효과로 공급하는 형태를 이용하는 것이며 토출량 및 공급 노즐의 사양, 공급 위치 등을 적절히 설계하여 추진하였다.

Fig.4에는 특수 전용 시스템의 핵심 유니트라고 할 수 있는 저온 냉각 공기 발생 장치의 제작된 사진을 나타내었다. 발포 우레탄 등을 이용하여 실내 온도와의 단열화를 위한 고리를 충분히 함으로써 열손실이 억제되도록 하였다.

Fig.5에는 이와 같은 핵심 장치에 대한 성능 평가 실험의 결과를 나타내었다. 열전대 센서를 Evaporator 및 토출 부위 등의 5 곳에 각각 설치하고 온도 기록계를 통하여 냉각 온도를 측정하고 비교하는 방식을 적용하였다. 약 20 분의 시간이 경과

된 시점부터는 목표한 바대로 최종 토출 부위에서의 공기가 약 -100°C 정도의 저온을 유지한다는 것을 확인할 수 있다.



Fig.4 Cooling air generation unit

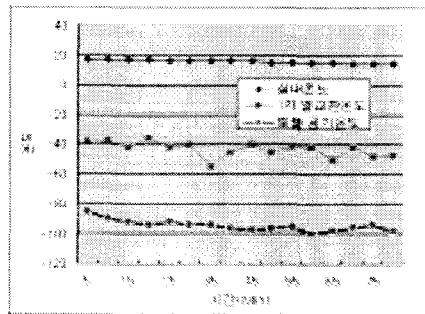


Fig.5 Comparison of cooling air temperature

또한, 냉각 과정 중 발생할 수 있는 수분의 영향을 최대한 억제하기 위하여 드라이어를 다수 활용하여 토출시의 습도가 거의 형성되지 않도록 고려하는 한편, 다단계의 필터를 적용함으로써 Fig.6에 나타낸 바와 같이 저온 건식 냉각 공기의 공급 장치를 구성하였다.

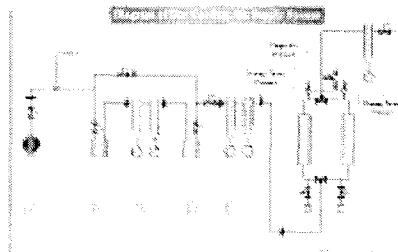


Fig.6 Dry cooling air supply unit

Fig.7에는 이와 같은 건식 냉각 공기 발생 장치 및 공급 장치를 평면 연삭 가공 실험 장치에 연

계하여 장착한 실험용 시스템의 사진을 나타내었다.

저온 건식 냉각 공기를 공급하는 한편, 윤활 성능을 고려하여 경우에 따라서는 인체 위해성과 관련이 없는 극소량의 비광물성 절삭유도 분무식으로 부여하기 위하여 오리피스 노즐을 채택한 특수 노즐을 적용하였으며, 실험 현장에 대한 환경 분위기를 고려하여 전식 가공 공정의 청정성 유지를 위한 밀폐식 가이드 커버를 제작하여 장착하였다.

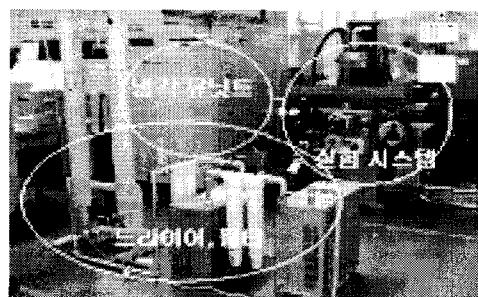


Fig.7 Experimental system

3.2 실험 방법 및 조건

본 실험에서는 우선 평면 연삭 가공을 대상으로 하여 건식과 습식의 가공 공정 중에 발생되는 가공 열과 절삭 저항 성분, 가공면의 거칠기 등을 다양하게 측정, 비교 분석함으로써, 제반 문제점을 신뢰성있게 도출하는 한편, 저온 냉각 공기의 공급량 등을 포함한 적정한 공급 방식을 설정하고자 하였다. Fig.8에는 실험용 측정 장치의 구성에 대한 개략도를 나타내었다.

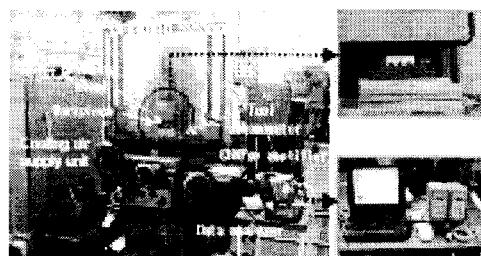


Fig.8 In-process measuring unit

가공 열의 발생량은 열전대 센서를 사용하여 측정하였고 공작물에 부가되는 절삭 저항을 측정하기 위한 공구 동력계(Tool dynamometer)로는 스위스 Kistler 사제의 모델명 9257A 기종을 사용하였으며, 신호 증폭기(Amplifier: 스위스 Kistler 사제, 모델명 5011B)를 통하여 충분히 증폭하는 한편, Low pass filtering 을 거친 후 변환기(A/D Converter: 모델명

DAQ Card- AI_16XE-50)에 의하여 노트북 PC 내장형 Data acquisition system에 전송함으로써 각 가공 조건별 실험의 진행에 따른 절삭 저항의 경향을 In-process 방식으로 파악하고 데이터 분석 프로그램을 활용하여 결과들을 도표로 작성, 비교하였다.

3.3 실험 결과 및 고찰

Fig.9,10에는 입도 80의 WA 계 일반 연삭 훈을 사용하여 테이블을 이송 속도 10 m/min, 절입량 5~30 $\mu\text{m}/\text{pass}$, 연삭 훈 주속도 950 m/min의 가공 조건으로 플린지 컷팅 방식의 건식과 습식 가공을 수행한 경우에 측정한 가공면의 온도와 연삭 저항값을 비교하여 각각 나타내었다.

건식 가공 공정 중에 있어서는 절입량이 클수록 연삭 불꽃이 많이 발생하며 이로 인하여 지립의 열화 현상 및 가공 표면의 연삭 놀음 현상이 발생되어 공구 마모나 가공 변질층, 가공 결함층이 야기될 수 있다는 것을 유추할 수 있다.

이러한 경향은 가공면 온도와 가공면 거칠기의 측정 결과가 거의 일치하는 것으로써, 일반 건식 가공의 적용 한계를 추정할 수 있는 중요한 결과라고 할 수 있다.

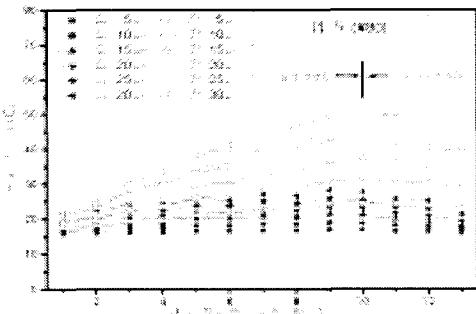


Fig.9 Comparison of generated machining heat

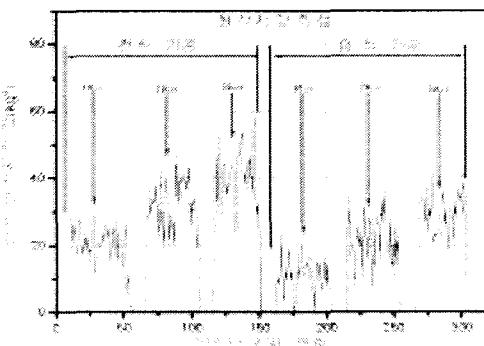


Fig.10 Comparison of grinding force

건식 저온 냉각 공기만을 공급하는 경우에 있어서는 절삭유가 자리는 냉각 작용만을 수행할 수 있으므로 윤활 작용을 부가하기 위한 오일의 혼입을 고려하였다. 오일은 환경 친화성을 고려하여 환경성에 위배되는 광물성 오일을 배제하고 식물성 오일을 적용하였으며, 오리피스 노즐을 사용하여 분무 형태로 혼입되어 공급되도록 구성하였다.

Fig.11에는 동일한 가공 조건하에서 건식 저온 냉각 공기의 공급량이 미치는 가공 열 발생량의 억제 효과를 비교하여 나타내었다. 약 300 liter/min의 냉풍량보다 적은 경우에는 상대적으로 가공면 온도가 두드러지게 저하되다가 이후부터는 거의 가공면 온도가 더 이상 낮아지지 않는다는 것과 식물성 오일을 부가하는 경우에 있어서 다소 가공면 온도가 낮게 나타난다는 것을 알 수 있다. 또한, 동일한 가공 조건으로 일반 건식 및 습식 가공을 수행한 경우에 비하여 가공면의 온도가 낮게 나타난다는 것도 알 수 있다.

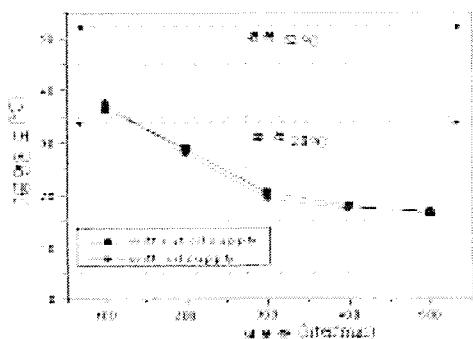


Fig.11 Effect of dry cooling air quantity on machining heat

4. 결론

건식 냉각 공기의 공급에 의한 냉각 작용과 미량의 식물성 오일에 의한 윤활 작용이 수반되어 절삭유를 사용하지 않고도 효율적으로 가공이 이뤄질 수 있다는 것과 적정한 임계 공급량이 설정될 수 있다는 것을 확인할 수 있었으며, 향후 지속적인 연구를 통하여 다양한 가공 D/B 화를 구축할 예정이다.

참고문헌

- Z. Zhao and S.Y. Hong, "Cooling Strategies for Cryogenic Machining from a Materials Viewpoint" Journal of Materials Eng. and Performance, Vol. 1, No. 5, pp.615-619, 1992