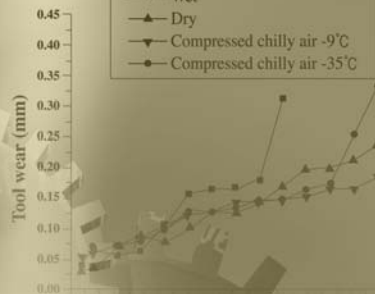


# 특 집



## 고속가공을 위한 환경친화형 압축냉각공기시스템 및 가공시스템 평가기술개발



이 득 우

□부산대학교  
나노기술학부 교수  
□dwoolee@pusan.ac.kr



김 상 기

□테크맥(주)  
□techmac@techmac.co.kr



이 우 영

□한국기술교육대학교  
기계공학부 교수  
□wylee@kut.ac.kr

### 관심 분야

- 고속가공을 이용한 고속 고정밀 가공
- Air spindle, Air guide 제작 및 이를 이용한 초정밀 시스템 제작
- Nano imprinting을 이용한 Nano공정기술

- 초정밀 가공시스템 제작
- Laser sensor를 이용한 비접촉 3D Scanner

- 고속가공기술을 적용한 정밀금형의 설계 및 가공
- 소형정밀 전기, 전자부품 제조 자동화장비의 설계 및 제작

### 1. 서 론

최근 절삭가공은 고속화와 공구재료의 개발, 코팅 기술의 발전 등으로 인해 절삭속도의 고속화가 가능하게 되었으며, 난삭재의 가공이나 초고속, 초정밀 가공과 같은 특수한 가공기술도 개발되고 있다. 그러나 절삭속도가 증가할수록 공구의 수명은 상대적으로 감소하며 특히 고속가공에서는 공구 수명의 지배적인 요인이 되는 절삭온도가 증가하여 공구수명을 급격하게 감소시킨다. 절삭온도 상승은 공구의 수명을 단축시킬 뿐만 아니라 피삭재의 표면에 가공변질층이나 잔류응력과 같은 결함을 발생시켜 제품의 품질을 격하시키므로 고속가공을 실현하기 위해서 꼭 해결되어야 할 문제 중의 하나로 여겨진다. 일반적인 절삭가공에서는 윤활과 냉각을 목적으로 절삭유를 사용하고 있다. 절삭속도가 낮은 영역에서는 윤활을

주목적으로 공급하며, 절삭속도가 증가할수록 절삭력은 감소하고 절삭온도가 증가하므로 윤활보다는 냉각에 더 큰 목적을 가지고 절삭유를 공급한다. 그러나 절삭유의 사용은 환경오염을 초래하며 강화된 법적 규제에 의한 관리비 등이 문제시되고 있다. 최근에는 고속가공시 절삭유제를 대체할 수 있는 가공환경 시스템으로 오일미스트장치, 압축냉각공기 시스템, 세미드라이가공 등에 대한 관심이 고조되고 있다. 환경 친화적인 가공기술은 크게 나누어 드라이가공과 세미드라이가공으로 나눌 수 있다. 드라이가공은 절삭유를 사용하지 않는 순수한 건삭가공으로서 주로 코팅공구가 이용된다. 세미 드라이가공은 -30℃정도의 압축냉각공기에 의한 가공과 환경 친화적인 식물성 오일을 미스트로 만들어 아주 적은 미량을 이용하는 극미량 절삭유 (Minimum Quantity Lubrication)에 의한 가공, 그리고 이들 두 가지가 함



및 가공면 품질 향상의 가능성이 확인되었으며, 압축 공기의 절삭점 분사에 의한 칩의 원활한 배출, 냉각 공기에 의한 절삭부위의 냉각으로 절삭온도의 상승을 억제하는 기능을 수행할 수 있기 때문이다. 절삭유를 대신하여 공기를 사용함으로써 절삭유에 의한 폐유발생이나 절삭유 관리 및 처리 비용을 절감할 수 있다.

그림 1은 본 연구과제에서 선정 압축냉각공기시스템의 냉각방식 및 재원을 선정하기 위한 실험결과를 나타낸 것이다. 그림 1(a)는 난삭재 재질로 알려진 Inconel 718을 절삭속도 90m/min에서 건식, 미스트와 26bar, 70bar의 압축공기하에서 플랭크마멸 0.3mm를 기준으로 절삭길이를 비교한 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이, 70bar의 고압상태에서 분사되는 공기가 건식, 미스트와 비교할 때 오히려 공구수명을

향상시킬 수 있음을 알 수 있다. 그림 1(b)는 STD11을 절삭속도 210m/min에서 건식, 습식, -9℃, -35℃ 압축냉각공기하에서 절삭길이를 비교한 것이다. 실험 결과 압축냉각공기가 고속가공에서는 건식, 습식과 비교할 때 공구수명을 향상시킴을 명백히 알 수 있으며, 고속가공하에서는 절삭유의 사용이 오히려 공구수명을 단축시킬 수도 있음을 나타내고 있다. 또한 매우 낮은 온도의 냉각공기는 과도한 냉각작용에 의해 공구가 열적충격을 받아 오히려 공구수명이 단축되는 것을 그림 2에서 볼 수 있다. 따라서, 가공조건 및 절삭조건에 따라 공구수명과 가공면 품질을 향상시킬 수 있는 압축냉각공기의 분사온도가 존재함을 알 수 있다. 일반적으로 냉각공기를 생성하는 장치는 크게 Vortex tube를 이용한 방법과 냉매를 이용하여 공기를 냉각시키는 두 가지 방법으로 나눌 수 있다.

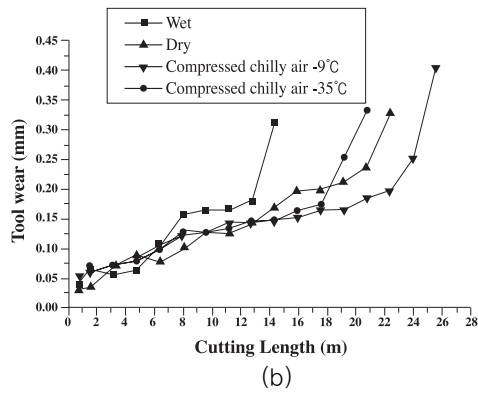
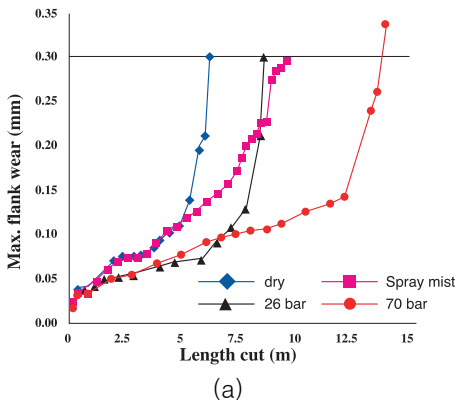


그림 1. 가공환경에 따른 절삭길이 비교

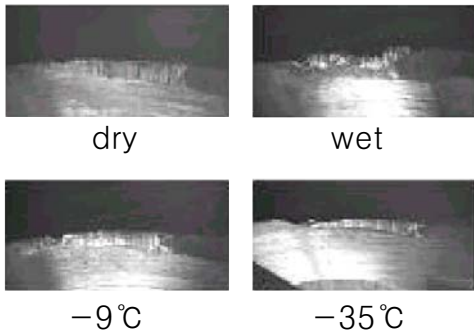


그림 2. 가공환경에 따른 공구마멸 형태

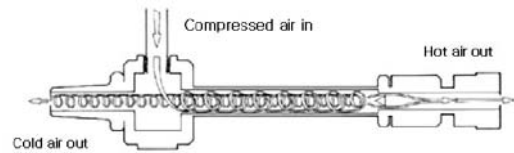
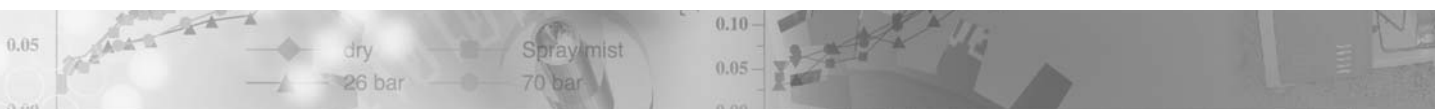


그림 3. Vortex tube를 이용한 냉풍장치



전자의 경우는 낮은 온도의 공기를 쉽게 생성할 수 있으나 흡입된 공기 중 더운 공기를 외부로 방출함으로써 토출되는 공기의 압력은 흡입되는 공기압보다 낮아지게 된다. 그림 1의 결과에서도 알 수 있듯이 고압의 압축공기는 공기수명을 향상시킬 수 있으며 고압공기에 의한 원활한 칩 배출을 기대할 수 있다. 본 과제에서는 앞서의 실험결과를 바탕으로 냉매를 이용한 압축냉각공기시스템을 선정하였으며 가공조건에 적합한 냉각온도를 조절할 수 있도록 하였으며 최고 -30℃의 압축냉각공기를 발생시킬 수 있는 가공환경 시스템을 제작하였다.

그림 4와 표 1은 본 연구과제에서 제작된 압축냉각공기시스템의 실제 모습과 구조도, 재원을 나타낸 것이다. 제작된 시스템은 크게 냉매가 순환하는 부분과

공급된 공기와 냉매가 상호 열교환을 하는 두 부분으로 구성되어 있다. 냉매는 압축, 응축, 단열팽창의 과정을 거쳐 공급된 공기와 열교환을 한 후 순환하는 방식으로 되어 있으며 흡입된 공기는 압력강하 없이 단지 냉매와 열교환을 한 후 토출되어 질소점에 분사하게 되어 있다. 냉매를 이용한 압축냉각공기 시스템의 경우 공급되는 공기의 온도, 외부의 온도에 따라 냉각효율에 상당한 차이를 나타낼 수 있다. 본 연구과제에서 제작된 압축냉각공기 시스템의 성능평가를 위하여 서로 다른 외부 온도하에서 토출되는 압축냉각공기의 압력 및 온도를 측정하는 실험을 수행하였다.

그림 5(a)는 외부온도가 25.7℃, 실험실 온도는 24℃일때 압축냉각공기시스템의 가동시간에 따른 토출



- ① REF. COMPRESSOR
- ② LOW PRES. GAUGE
- ③ DUAL PRES. SWITCH
- ④ HI PRES GAUGE
- ⑤ DOND' FAN SWITCH
- ⑥ CONDENSER
- ⑦ RECENER TANK
- ⑧ FILTER DRYER
- ⑨ SOLENOID VALVE(LIQUID)
- ⑩ EXPANSION VALVE(TE2-#2)
- ⑪ SOLENOID VALVE(HOT GAS)
- ⑫ AIR COOLER (BRAZIED TYPE-CB52-66HX)
- ⑬ AIR FILTER
- ⑭ DRAIN TRAP
- ⑮ AIR FLOW SWITCH
- ⑯ ACCUMULATOR

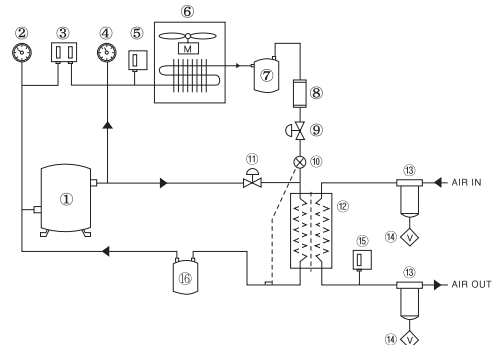
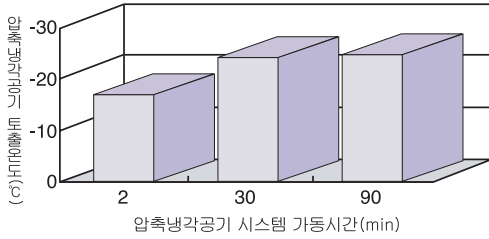


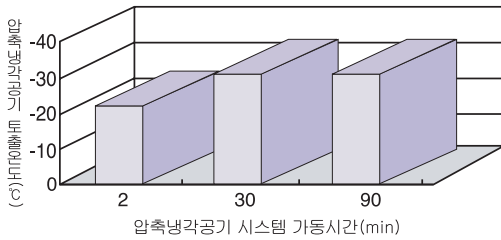
그림 4. 제작된 압축냉각공기시스템 및 구조도

표 1. 압축냉각공기시스템 재원

AIR COOLER(AC-3000)					
항 목		단 위	형 식	항 목	
전 원			AC 3Ø380V 60Hz	전 원	
열교 환기	형식		BRAZIED TYPE	냉 동유	종류
	외형치수	mm(LxWxH)	165×110×530		FUCHS RENISO SP 46(SUNISO-3GS)
압 축 기	형식		밀폐형(MT-36)	배관 치수	초기 총진량
	전동기 출력	Kw	2.25(직입기동방식)		Liter
	운전전류	Amp	5		0.8
응 축 기	열교환기 형식		PLATE FIN&TUBE	운할방식	강제 급유식
	송풍기 형식		PROPELLER FAN(400φ)	가스배관	Inch 1/2
	전동기 출력	Kw	0.1×6P	액배관	Inch 3/8
	풍량	m <sup>3</sup> /min	50	AIR 배관	(A) 15A(INLET,OUTLET)
외형치수		mm/(LxWxH)	630×200×530	냉매제어장치	EXPANSION VALVE
보호장치			고.저압차단스위치 (CUP:22Kg/cm <sup>2</sup> ,2Kg/cm <sup>2</sup> )OCR	냉매 및 사용증발 온도	℃
제품중량		Kg	120	냉매 총진량	Kg
				내장부품	입력계(고압,저압),필터드라이어 액분기,전자변,수액기,기타
				외형치수	mm(LxWxH) 900×800×1,100



(a) 압축냉각공기 시스템 가동시간(min)



(a) 압축냉각공기 시스템 가동시간(min)

그림 5. 외부온도 변화에 따른 냉각 성능

공기의 온도를 측정하는 것이다. 토출온도를  $-30^{\circ}\text{C}$ 로 설정하였으나 외부공기 온도가 높아 약 30분 동안 가동하였으나  $-24^{\circ}\text{C}$ 까지 공기가 냉각되었다. 그림 5(b)는 외부온도  $21^{\circ}\text{C}$ , 실험실 온도  $18^{\circ}\text{C}$ 일 때 토출되는 냉각공기 온도를 측정하는 것이다. 외부온도의 차가 실제 토출되는 냉각공기의 온도에 상당한 영향을 미치는 것을 알 수 있으며 약 30분 정도의 가동시간에 최고설정온도  $-30^{\circ}\text{C}$ 까지 토출 공기가 냉각되었다.

## 2.2.2 고속가공시스템 성능평가를 위한

### 표준모델 형상

공작기계의 고정밀화, 고속화로 되어가는 과정에서 최종 공작물의 가공오차를 줄이는 것은 매우 중요하다. 실제 고속절삭에 있어서는 가공에 따른 절삭력 및 기계의 내외에서 전달되는 진동 등 여러 가지 외부환경이 가해져 피가공물의 표면조도, 표면형상 등의 가공 정밀도가 저하되며, 제어계에 있어서는 NC data의 입력치로 공구경로가 생성되나 여러 요인으로 가공오차가 발생한다. 따라서, 이러한 오차를 측정 및 평가할 수 있는 방법으로서 자유곡면을 가진 표준형상 및 평가방법의 제정이 필요하다.

형상 가공 정밀도를 평가하는 방법으로서 그림 6.(a)와 같이 공작물을 Z축에 대하여 의 경사로 테이블에 설치하고 공구경로를 등간격으로하여 한 방향(Down cutting)으로 다듬질 가공을 한다. 이때 의 경사각을 주어 가공하는 것은 실제 금형을 가공하는 것처럼 공구날의 접촉각을 유지하면서 3축(X,Y,Z축)의 운동 정밀도를 평가하기 위해서이다. 여기서의 주요 측정항목으로는 형상 정밀도 및 공구경로간의 표면거칠기이다. 그림 6.(b)와 같이 직선과 원호로 이루어진 윤곽(counter) 형상을 한 방향 절삭 가공하여 운동 및 형상정밀도를 평가한다. 이때, 기계의 고속가공 능력을 평가하기 위하여 3방향의 절삭력, 토크, 표면 거칠기, 형상 정밀도, 공구마모, 칩의 형태 및 색깔 등을 측정한다. 그 외에 운동 및 형상

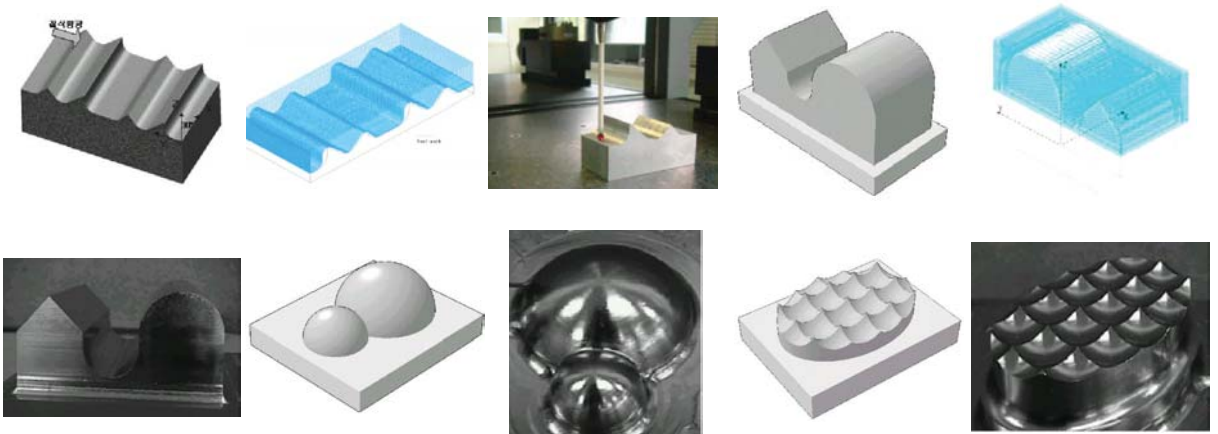
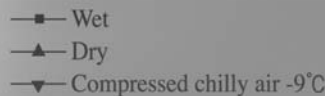


그림 6. 형상정밀도 평가용 표준모델 및 CMM 측정



공 정밀도를 평가하는 방법으로서 그림 6.(c)의 반구형상이나 (d)의 자유곡면을 가진 형상을 가공하여 형상정밀도, 회전운동정밀도 및 다축제어 성능을 평가한다.

절삭공구에 의한 미세가공은 임의의 3차원 형상을 제작하는 것이 가능하고, 중~소의 분해능으로 보다 큰 가공속도와 다양한 피삭재를 가공할 수 있다. 하지만, 치수효과에 의한 절삭력 증가, 재료 결정립계 (grain boundary)의 영향으로 소성변형과 재료의 국부적 변형이나 탈락 등을 유발할 수 있으며 이로 인하여 버(burr)의 발생, 가공형상의 변형에 의한 형상품위의 저하를 가져온다. 따라서, 이러한 점들을 고려할 때 고속가공 시스템에서 미세 가공정밀도 평가는 주요 평가 항목으로 설정되어야 한다.

평가방법은 그림 7과 같이 미세가공에 의한 운동 및 형상정밀도 등을 평가하는 것으로, 형상정밀도, 직선 및 회전 운동 정밀도, 상호차, 직각도, 진직도를 측정 및 평가항목으로 한다.

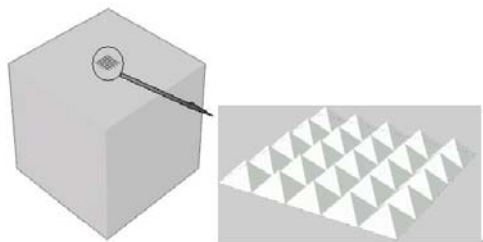


그림 7. 미세가공성 평가용 표준모델 형상

### 3. 결론

본 연구과제에서는 기존의 절삭유 시스템의 환경오염, 관리비용 문제, 고속가공 적용의 난점 등을 해결하고 공구수명, 가공면 품위의 향상을 도모하기 위한 새로운 가공환경시스템에 대한 연구를 수행하여 압축냉각공기를 이용한 환경친화적인 가공환경 시스템을 제작하였다. 압축냉각공기시스템은 최고냉각온도가  $-30^{\circ}\text{C}$ 까지 가능하며 냉매를 이용한 냉각방식을 채택함으로써 토출되는 공기의 압력강하현상을 방지하였다. 또한 고속가공시스템의 성능평가를 위한 표

준모델을 개발하여 고속가공시스템의 성능을 평가하는데 사용하고자 한다. 고속가공시스템의 다양한 성능평가를 위하여 평가항목에 적합한 형상을 선정하였으며 표준화된 형상을 통하여 가공시스템별 상호 비교평가를 수행할 수 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] R.Kovacevic, C.Chelukuthota and M.Mazurkiewicz, 1995, "High Pressure Waterjet Cooling/Lubrication to Improve Machining Efficiency in Milling, Int. J. Mach. Tools Manufact., vol 35, pp.1459-1473.
- [2] Z.Y.Wang, K.P. Rajurkar, J. Fan, 1996, "Turning Ti-6Al-4V ally with cryogenic cooling", Trans. NAMRI/SME, vol.24, pp.3-8.
- [3] R.R. Lindeke, F.C. Schoenig Jr., A.K. Khan, J. Haddad, 1991, "Machining of  $\alpha,\beta$  titanium with ultra high pressure through the insert lubrication/cooling", Trans. NAMRI/SME, pp.154-161.
- [4] 황준, 정의식, "환경 친화적 기계가공 기술에 관한 연구," 한국정밀공학회지 제19권 제3호, pp73~79, 2002.
- [5] 이종향, 이상조, 이석우, 최현중, "환경 친화적인 세미드라이 선삭가공 특성," 한국정밀공학회지 제 19권 제10호, pp221~226, 2002.
- [6] David A. Stephenson, John S. Agapiou, "Metal Cutting Theory and Practice," MARCEL DEKKER, INC, US, 1996.
- [7] 한국표준협회, 공작계의 시험 방법 통칙, 1990.
- [8] ISO 230, "Machine Tool Test Standards," Second edition, 1996.
- [9] ISO 10791, "Test Condition of Machining Centers," First edition, 1998.

