

CNC 그라인딩 센터의 개발 Development of CNC Grinding Center

유 정 봉*(부산대 대학원), 정 해 도(부산대),
최 현 종, 이 석 우(생산기술연구원), 이 군 석, 박 천 국(한화기계)

J. B. Yoo(Graduate School, Pusan Univ.), H. D. Jeong(Pusan Univ.)
H. J. Choi, S. W. Lee(KITECH), G. S. Lee, C. G. Park(Hanhwa Mach. Co.)

Abstract

CNC Grinding Center is developed to improve the flexibility of grinding process and to obtain the high machine accuracy in grinding processes. It consists of a built-in type spindle with max. 25,000 rpm, ATC(automatic tool changer) for quick and reliable loading/unloading of tools, a rotary dresser for trueing, dressing, and personal computer based CNC controller, etc.

This research concentrates on the machine structure, the evaluation of efficiency, and the machining technology of the developed prototype CNC grinding center. Experimental results are achieved that the roughness of surface ground SKS(HRC 50~60) is $0.5\mu\text{m}$ R_{max} , and the roundness of cylindrical and internal ground S45C(HRC 25~30) are $4.64\mu\text{m}$ and $7.2\mu\text{m}$, respectively. From these results, it is verified that the developed prototype

CNC grinding center is effective to high precision and flexible grinding processes.

1. 서론

NC화가 현저하게 진전된 기계가공분야에서 연삭가공은 다른 제거가공에 비해 자동화가 늦어

진 분야이지만, 80년대 후반부터 연삭가공의 머시닝센터라고도 할만한 그라인딩센터가 등장하여 급속하게 시장을 확대해 가고 있다. 또한 담금 질강이나 세라믹스 등과 같은 난삭재의 가공수요가 증대되고 종래의 가공시스템과는 다른 고능률화, 무인화가 가능한 가공기의 출현이 요구되고 있다. 이에 대응하기 위해 최근 머시닝센터의 기능과 정밀도를 이용한 절삭가공에 연삭가공의 기능이 포함된 그라인딩센터(Grinding Center)가 개발되었다.

그라인딩센터는 1대의 기계로 평면연삭, 내면연삭, 홈연삭, 챔연삭 등의 복잡한 형상을 거의 모두 연삭가공할 수 있도록 개발된 연삭공정의 집약화가 이루어진 가공기이다. 최근 정밀가공 분야의 기술개발 연구동향은 난삭재, 신소재의 고능률 고정밀 가공기술과 고정밀 가공기계의 개발에 관심을 기울이고 있다. 플라스틱 사출금형, 다이캐스트 금형, 고무나 유리의 성형 금형 등의 수요가 점차 다양화되고 증대되고 있으며, 이러한 다품종 소량생산과 고정밀도를 충족시켜주기 위한 가공기술의 개발이 시급히 요구되고 있다. 또한 생산성과 품질 향상을 동시에 고려한다면 종래의 가공기술로는 실현이 곤란하므로 이 분야에 대한 많은 연구가 필요한 실정이다.

본 논문에서는 연삭공정의 집약화와 가공정밀도를 향상시키기 위해 국내 최초로 개발된 CNC 그라인딩센터의 기본 구조에 대한 소개와 시제품

에 대한 연삭성능평가를 하는 것에 목표를 두고 있으며, 성능평가에 있어 주축의 회전속도, 연삭 깊이, 가공물의 이송속도 등의 가공조건과 드레싱 조건을 변화시키면서 가공결과를 분석하였다.

2. CNC 그라인딩센터의 구성

2.1. 가공기의 체원

개발된 그라인딩센터의 외형도를 Fig. 1에 나타내었다. 시제품의 가공대상은 주로 각종 공작물을 대상으로 하기 때문에 머시닝센터를 베이스로 한 형태로, 구조는 베드면에 강성을 높이기 위해 Box형 Rib구조의 컬럼을 부착하고 칼럼 상에 Z축과 Spindle Head를 설치하여 상하구동방식으로 설계를 하였다. 또한 기계의 자중에 대한 균형과 열변형 저감을 위해 베드 구조물과 칼럼의 Rib구조를 대칭성을 고려하여 배치하고 다양한 연삭공정에 대응하도록 ATC에 의하여 자동적으로 공구를 교환하도록 설계되었다. 개발된 그라인딩센터의 주요제원은 Table 1과 같다.

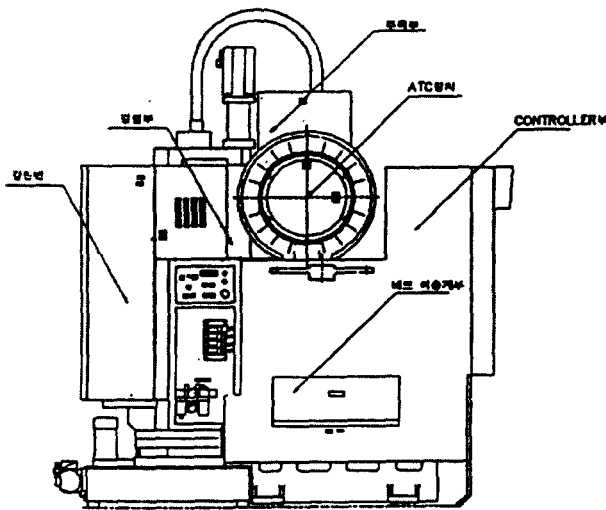


Fig. 1. Schematic of CNC Grinding Center

2.2. 가공기의 주요부

2.2.1. 고속주축 개발

시제품의 주축은 가공의 유연성을 높이고 연삭가공에 대한 공정집약을 피하기 위해 모터내장형 주축구조를 채용하였다. Fig. 2는 모터내장형

Table 1. Specification of CNC Grinding Center

항 목	사양	
Table Work Area		410×900
Travel (mm)	X-axis	610
	Y-axis	410
	Z-axis	450
Rapid Speed (m/min)	X-axis	12
	Y-axis	12
	Z-axis	10
Spindle	Nose Taper	BT30
	Max. RPM	25,000
	Motor Power(Kw)	5.5/7.5
	Lubrication	Air-oil
ATC	Tool수	20
	Max.Tool Dia(mm)	50
	Tool Length(mm)	150
	Tool Weight(Kg)	5
	Tool to Tool(sec)	3
	Tool Select	Random
가공대상	열처리부품, 세라믹 등 난삭재	

주축의 조립도를 나타낸다. Table 2의 고속주축의 주요 설계사양을 살펴보면 Max 25,000rpm에 DmN치 1,700,000을 그 한계로 설정하고 고속운전에서 나타나는 발열문제를 해결하기 위해 세라믹 볼베어링을 채용한 후 에어오일이 공급되도록 하여 열적 안정화가 이루어지도록 하였다.

주축 스피들에 적용된 냉각 시스템은 PID 제어된 유체가 스피들 하우징에 설치된 나선형 그루브 홈을 따라 강제 순환되어 냉각을 수행함으로써 고속회전시 온도상승에 주된 원인인 모터축 발열을 억제하도록 하였다.

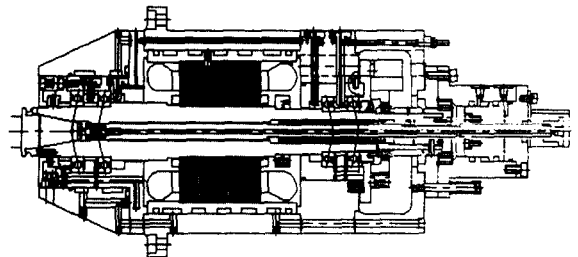


Fig. 2. Assembly of a built-in spindle

Table 2. Specification of high speed spindle

구 분		사 양
구동 모터의 출력		5.5/7.5 Kw
최대 사용속도		100~25,000 rpm
Spindle Nose		NT30
주축강성		10.5Kgf/ μ m
베어링(전.후) 형태		Ceramic Bearing
전.후베어링 예압방식		전:정위치예압, 후:정압 예압
Tool	Clamp Force	420Kgf
	Unclamp Force	500Kgf
윤활 방식		Air-oil lubrication
냉각 방식	하우징	강제 순환냉각
	스핀들	축심 Air-blow 냉각

2.2.2 ATC장치와 공구교환 시스템

개발된 ATC(Automatic Tool Changer)장치는 다종의 스톱공구를 교환하는 기능을 갖으며 그라인딩센터에서는 절대적으로 필요한 것이다. 공구메거진과 신,구의 공구를 동시에 파지할 수 있는 반송 Arm으로 구성되어 있다. 공구의 장착수는 20개이며, 공구교환시간은 1.8초이다. 공구교환방법은 현재 가장 폭넓게 사용되고 있는 방식인 Arm방식을 채택하였다. Arm방식은 사용이 끝난 공구와 다음 공구를 동시에 교환할 수가 있어 공구교환시간을 단축시킬 수가 있다. 그러나 Arm구동계의 백래쉬나 Arm선회시의 관성에 의한 자세변화가 공구교환정도에 커다란 영향을 미치게 되기 때문에 이를 최소화하기 위해 CAM을 사용한 NON-Backlash기구를 채택하였다. Fig. 3는 ATC장치의 Arm part를 나타낸다.

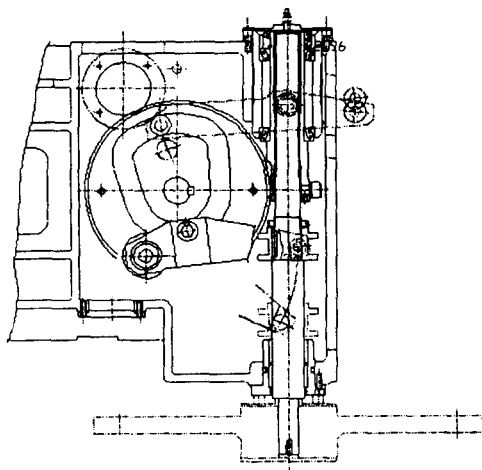


Fig. 3. Arm part of ATC device

2.2.3 Trueing/Dressing 장치

그라인딩센터의 공구로서 수명이 길고 형상의 변화가 적은 CBN스톱들이 일반적으로 사용되며 종래의 스톱들 적정보다 작게 만들 수 있고 공구교환도 쉽게 할 수 있으므로 신소재나 열처리강 등 난삭재 가공에 가장 적합하다.

CBN스톱들의 트루잉/드레싱하는 방법으로는 기상 트루잉/드레싱을 하기 쉽고, 능률이 좋으며, 마모량이 적은 다석다이아몬드의 Rotary Dresser를 채택하였다. Rotary Dresser는 회전속도를 가변시키면서 최적의 드레싱을 할 수 있기 때문에 여러 가지 가공조건 및 스톱들에 적절히 대응시킬 수 있는 장점을 가진 형태이다.

Fig. 4는 개발된 드레싱 장치를 나타낸다. 이 장치는 스톱들의 측면과 단면을 동시에 드레싱할 수 있고, 적절한 작업조건에 맞는 회전수 설정과 드레서의 교환이 용이하며, 드레서 장착과 작업영역의 확보가 쉽다.

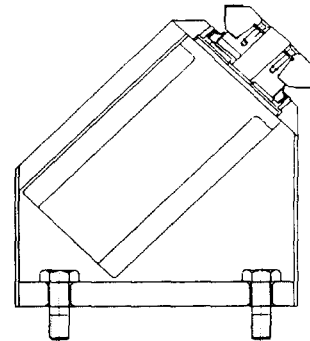


Fig. 4. Developed Trueing/Dressing device

2.2.4 CNC CONTROLLER

그라인딩센터 CNC는 PC기반 H/W와 S/W에 대한 확장성과 호환성을 확보하였으며, 일관되고 친밀한 MMI(Man Machine Interface)를 제공하므로 조작이 매우 쉽다. NC Kernel은 486 프로세서에서 실시간 운영체제하에 동작하며, MMI는 X-윈도우를 사용하였다. 실시간 운영체제(LynWOS)는 POSIX 규격을 만족하는 UNIX 계열의 운영체제를 사용하여 기존의 UNIX에서 사용하던 모든 Utility 프로그램을 사용할 수가 있고, NC의 소스 레벨에서의 호환성도 높였다. Fig. 5는 MMI의 한 부분인 POS 화면을 나타낸다.

다. POS(Position)화면에는 크게 좌표값 및 FEED, RAPID, SPINDLE RPM, DRESSER RPM을 실시간으로 보여주며, HOMING상태 및 MODE, STATUS 등을 나타낸다.

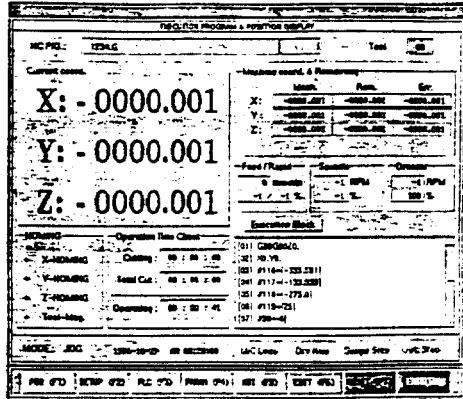


Fig. 5. Display of POS

3. 연삭성능평가

3.1 실험방법

내경, 외경 연삭실험 및 편치의 외주 연삭실험에 있어 공작물의 X, Y의 중심을 측정하기 위해 RENISHAW의 터치 프로브를 사용하였다. Fig. 6는 터치 프로브를 사용하여 편치 금형의 X, Y의 중심을 측정하는 모습으로, 가공시 공구 오프셋 보정기능에 이용하기 위한 것이다.

터치 프로브를 사용하여 X, Y의 중심을 측정하고, 기상에서 슷들의 트루잉 및 드레싱을 한 후 실제 가공을 하였으며, 표면조도(MITUTOYO SURFTEST 301), 진원도(TAYLOR-HOBSON)를 측정하여 가공결과를 얻었다.

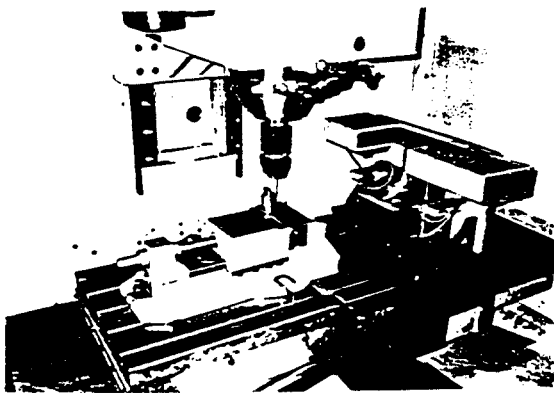


Fig. 6. Measurement of workpiece using touch probe

내경, 외경 및 편치의 외주 연삭가공시 휠 진입에 의한 어프로치부에서 미연삭잔량으로 보이는 돌기가 발생되어 휠 진입과 종료시 패스패턴을 수정하면서 실험하였다. 미연삭잔량은 가공물의 형상정밀도에 악영향을 주므로, 이를 감소시키기 위해서 휠 진입과 종료시 패스패턴의 적절한 선택이 매우 중요하다.

3.2. 실험결과 및 고찰

3.2.1 평면가공

숫들의 사양은 CBN230J150VC이고 $\phi 50\text{mm}$ 의 컵형 슷들을 사용하였다. 공작물은 합금공구강(SKS)으로서 HRC 50~60이고, 연삭유는 에멀션형을 사용하였다. Table. 3에 평면연삭조건들을 나타내었다.

Table 3. Surface grinding conditions

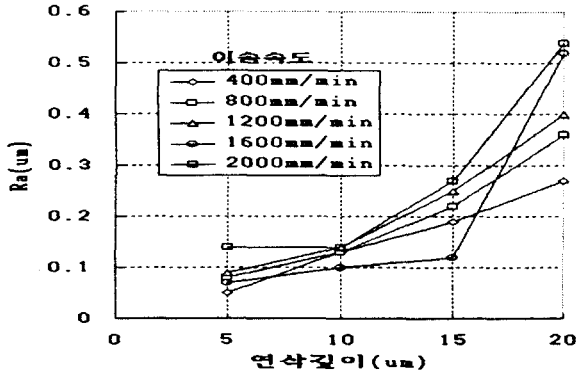
가 공 조 건		
숫 들	종 류	CBN230J150VC
	치 수	$\phi 50$, 컵형
연삭 조건	주축회전수(rpm)	7,600
	이송속도(mm/min)	400~2,000
	절입량(μm)	5~20
	스파크 아웃	있음
드레싱 조건	주축회전수(rpm)	9,500
	드레서 회전수(rpm)	1,500
	드레서 이송속도(mm/min)	380
	드레싱 절입량(μm)	3

평면연삭 실험에서 이송속도는 400mm/min에서 2,000mm/min까지 변화시키고, 연삭깊이는 5 μm 에서 20 μm 까지 변화를 주면서 연삭깊이와 이송속도에 따른 표면거칠기의 변화를 관찰하여 Fig. 7과 같은 실험결과를 얻었다.

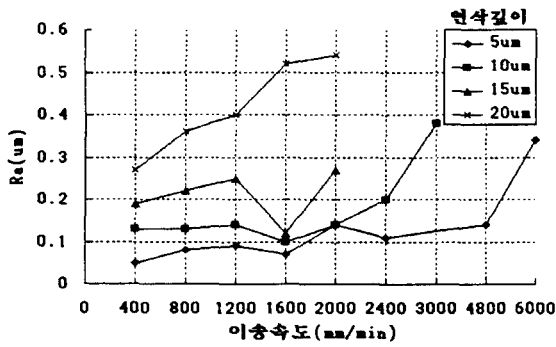
Fig. 7(a)은 연삭깊이가 표면조도에 미치는 영향을 나타낸 것으로, 연삭깊이가 증가할수록 표면조도가 나빠지는 것을 알 수 있으며 이송속도가 1,600mm/min과 2,000mm/min의 경우, 연삭깊이가 15 μm 이상이면 표면거칠기가 급속히 나빠지고 있다.

Fig. 7(b)는 공작물의 이송속도가 표면조도에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 이송속도가 2,000mm/min이하일 때, 연삭깊이 5 μm 와 15 μm 사이에서 각각의 연삭깊이에 대해 표면거칠기가 거의 일정

한 것을 알 수 있었다. 하지만 연삭깊이가 $20\mu\text{m}$ 일 때, 이송속도가 증가할수록 표면거칠기가 급속히 나빠지고 있다. 이것은 가공능률을 올리기 위해 연삭깊이와 이송속도를 너무 크게 했기 때문에 생긴 결과이다.



(a)



(b)

Fig. 7. Roughness of surface grinding

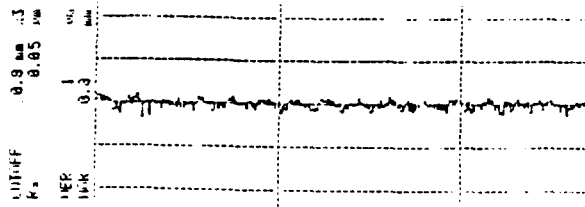


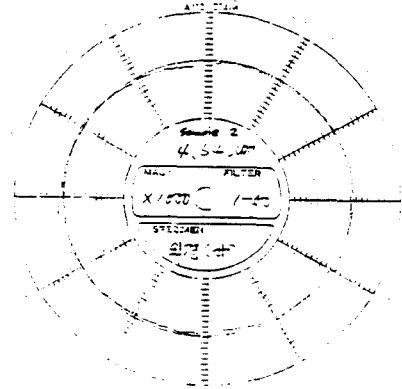
Fig. 8. Measured roughness

Fig. 8은 평면연삭시 표면거칠기의 측정결과를 나타낸 것으로, 주축회전수 7,600rpm, 테이블 이송속도 400mm/min, 연삭깊이 $5\mu\text{m}$ 에서 최고 $0.05\mu\text{mRa}$ 의 표면거칠기를 얻을 수 있었다.

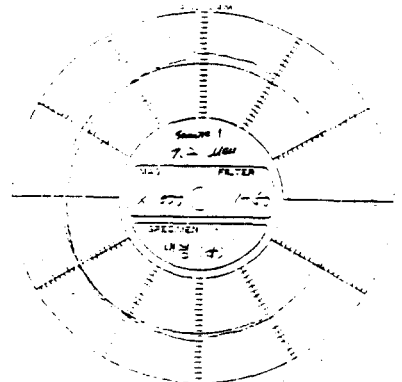
3.2.2 외경, 내경가공

외경가공에서 숫들은 43A80L4V인 $\phi 50\text{mm}$ 의 스트레이트형 숫들을 사용하였다. 공작물은 기계구조용 탄소강인 S45C로 조질 처리를 한 재료로서 HRC25~30이며 $\phi 70\text{mm}$ 이다. 드레싱 절입깊이 $5\mu\text{m}$ 이고 드레싱 속도비는 0.3으로 하였다. 연삭조건은 주축회전수 11,400rpm, 테이블 이송속도 200mm/min, 연삭깊이 $3\mu\text{m}$ 로 헬리칼 보간을 하였다. Fig. 9(a)는 그 결과를 나타낸 것으로, $0.57\mu\text{mRa}$ 의 표면거칠기와 진원도 $4.64\mu\text{m}$ 을 얻을 수 있었다.

내경가공에서 숫들은 43A100L4V인 $\phi 30$ 을 사용하였다. 공작물은 외경가공하였을 때와 같은 기계구조용 탄소강인 S45C이다. 드레싱 절입량 $5\mu\text{m}$ 이고 드레싱 속도비는 0.3으로 하였다. 연삭조건은 주축회전수 12,800rpm, 테이블 이송속도 100mm/min, 연삭깊이 $3\mu\text{m}$ 로 헬리칼 보간을 하였다. Fig. 9(b)는 그 결과를 나타낸 것으로, $0.69\mu\text{mRa}$ 의 표면거칠기와 진원도는 $7.2\mu\text{m}$ 을 얻을 수 있었다.



(a) Cylindrical grinding



(b) Internal grinding

Fig. 9. Measured roundness

4. 결과

본 연구는 개발된 CNC 그라인딩센터의 기본 구조에 대한 소개와 시제품에 대한 성능평가 및 가공결과에 관해 연구보고 하였다. 평면가공결과에서 최고 표면거칠기 $0.5\mu\text{m Rmax}(0.05\mu\text{m Ra})$ 의 가공면을 얻을 수 있었으며 타사와 비교하여 (YASDA: $0.56\mu\text{mRmax}$, OKK: $0.12\mu\text{mRa}$) 매우 양호한 가공결과를 얻을 수 있었다.

따라서 개발된 CNC 그라인딩센터는 성능평가 측면에서 우수하므로 연삭공정의 집약화와 가공정밀도를 향상시킬 것이며, 열처리부품 및 세라믹과 같은 난삭재의 고능률, 고정밀가공에 널리 활용될 것이라 기대된다. 향후 다품종 소량생산 및 고정밀도에 적극적으로 대처하기 위해서는 연삭기술을 지속적으로 연구하여 정립할 필요가 있다.

후기

본 논문은 통상산업부와 과학기술처에서 시행한 선도기술개발사업(G7 Project)의 기술개발 결과입니다. 이번 연구를 위해 아낌없는 도움을 주신 한화기계와 KITECH 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] "CNC 그라인딩센터 개발에 관한 연구" 상공자원부 연구보고서, HWMC GC96-1.C, 1996.
- [2] 恒野義昭 外 "グラインディングセンダ" 日刊工業新聞社, 1993.
- [3] H.Schulz, "Current State of Art Concerning HSC-Machine Tools", 5-th IMEC Session II, 1992.
- [4] 井上英夫, "CNC 연삭기의 의의와 과제", 월간 기계기술 제 36권, 1993 4월호, 18-25.
- [5] Nigata Grinding Center Brochure, Nigata Engineering Co. Ltd, Tokyo.
- [6] Mitsubishi Grinding Center M-V50C-GC Brochure, Mitsubishi Heavy Industry Co. Ltd.
- [7] 小林,西岡 : 超砥粒ホイールのツル-イングとドレッシング, (1987) 10, 35
- [8] 山田 : CBN 砥粒のツル-イング,ドレッシングと研削性能,機械と工具, (1982) 10, 80
- [9] 高橋 : ロータリドレッサの特性と効果, (1988) 9
- [10] 横川, 古川, 今井, 海野 : 초지립휠용 다이아몬드 드레사의 개발, 1989년도 정밀공학회 추강론집, 307
- [11] 大門, 石川, 北林 : CBN 지식의 연삭성능 (제 4 보) 58년도 정밀공학회지 춘강론집
- [12] GE Superabrasives : Man made diamond and borazon CBN for industrial grinding applications (1981)
- [13] CNC 연삭기의 기술 동향, '93, 기계기술잡지, 기술정보(주)