

• 특집 • 직선·회전모터 구동 이송·회전체 연구 XVI

중고 수직형 머시닝센터의 재제조 공정 표준화 기술 개발에 관한 연구

A Study on the Development of Standardization Technology for Remanufacturing Process of Used Vertical Machining Center

하재현¹, 우완식¹, 노영화², 이춘만^{1,#}

Jae Hyeon Ha¹, Wan-Sik Woo¹, Young Hwa Roh², and Choon-Man Lee^{1,#}

¹ 창원대학교 기계공학부 (School of Mechanical Engineering, Changwon National University)

² 창원대학교 클러스터사업단 (R&D Cluster Agency, Changwon National University)

Corresponding Author / E-mail: cmlee@changwon.ac.kr, TEL: +82-55-213-3622, FAX: +82-55-267-1160

KEYWORDS: Remanufacturing (재제조), Machining center (머시닝센터), Work operation sheet (작업표준서), Remanufacturing process chart (재제조 공정도), Performance evaluation (성능평가)

The recent crisis of environmental pollution and resource depletion has become a major global issue, resulting in an increasing interest in remanufacturing in many countries. However, manufacturing for environmental protection is considered an additional cost factor by most companies. Therefore, governments worldwide have actively implemented remanufacturing policies to encourage the participation of numerous companies in the remanufacturing industry. As an eco-friendly technology, remanufacturing has impacted the environmental improvement and resource savings by reducing raw materials and production processes. In particular, the effect of machine tool and automobile part remanufacturing is very remarkable, since most parts are reusable. In this study, the standardization technology for remanufacturing process of machine tools is developed by remanufacturing of used vertical machining center. Based on the work operation sheet for establishing the process, the remanufacturing process chart and program were developed. The performance evaluation of machining centers before and after remanufacturing was also executed, to check the performance improvement of the remanufactured product. The performance evaluation criteria were established to improve reliability.

Manuscript received: May 12, 2017 / Revised: May 26, 2017 / Accepted: June 11, 2017

1. 서론

최근 지속 가능한 산업의 중요성이 부각됨에 따라 장비의 재활용, 재사용의 필요성이 증가하고 있다. 특히 자원의 고갈과 이에 따른 자원 확보를 위한 각국 간의 분쟁증가 및 환경보전을 위한 환경규제 강화가 확대 되면서 재제조(Remanufacturing) 기술의 중요성은 더욱 증가되고 있다. 재제조란 장기간 사용으로 인해 노후화된 장비 또는 폐기된 제품을 해체·분해한 후 부품의 세척·검사·진단을 통해 성능이 저하된 부품을 교체 및 재가공한 후 재조립하여 신제품에 가까운 성능을 나타낼 수 있도록 하는 일련의 과정을 의미한다. 재제조제품은 신제품 생산에 사용되는 생산요소의

상당 부분을 재사용하기 때문에 생산요소에 들어가는 비용을 절감할 수 있으며, 이로부터 환경개선의 효과 또한 얻을 수 있다. 재제조품 생산에 소요되는 비용은 신제품 생산 대비 40-65%까지 절감할 수 있으며, 특히 공작기계의 대부분을 차지하고 있는 수직형 머시닝센터의 경우, 베드(Bed), 컬럼(Column), 테이블(Table) 및 주축(Spindle) 등 구조물의 크기가 크기 때문에 자원 및 에너지 절감효과를 크게 얻을 수 있다. Fig. 1은 제품이 생산되어 폐기 되기까지의 순환 사이클을 나타낸다.^{1,2}

재제조 산업은 저탄소 녹색성장에 기여할 수 있는 분야로써, 각국에서는 재제조 기술을 적용할 수 있는 분야 및 시장을 점차 확대해 나가고 있는 추세이다. 미국, 영국 등의 선진국에서는

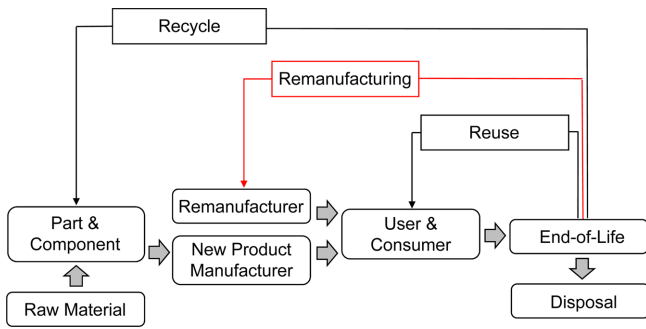


Fig. 1 Diagram of resource circulation

현재 70년 이상 다양한 분야에서 재제조 산업이 발달하고 있으며, 미국은 재제조 산업이 가장 발달한 나라로서 1920년대 자동차 분야에서 시작하여 공작기계, 선박, 건설중장비, 기계류, 전자제품 등 다양한 분야로 관련 산업이 발전해왔다. 우리나라는 2005년부터 관련 산업의 발전을 위한 토대가 마련 되었으나, 재제조 산업의 수준은 여전히 초기 단계에 머물러 있으며 자동차, 잉크 토너 등 한정적인 분야에서 발전해왔다. 이에 따라 재제조품의 신뢰성 확보를 위한 기술개발과 재제조품에 대한 인식 개선뿐만 아니라 다양한 분야로 재제조 산업의 확대가 필요한 실정이다.^{3,6}

Mook등⁷은 국내 재제조 산업의 기술 수준 및 문제점을 파악하고, 이를 극복하기 위한 재제조 산업의 발전과 활성화 방안에 대한 연구를 진행하였다. Du등⁸은 각국의 공작기계 재제조 시장 발전 현황을 분석하고, 실제 재제조가 진행된 기어 호빙기계(Gear Hobbing Machine)의 사례를 통해 재제조의 경제성과 환경적 측면에 관한 이점을 분석하였다. Cao등⁹은 공작기계 재제조 공정을 분석하여 중공 공작기계의 재제조에 대한 효율성을 평가하고, 실제 재제조가 진행된 장비의 사례를 통해 경제성과 환경적 측면의 이점을 분석하였다. Seo등¹⁰은 재제조된 자동차 파워스티어링용 오일펌프의 제품 성능 및 내구성 평가를 위한 평가기준을 확립하여 재제조 시험 표준화 방안을 제시하였다.

본 연구에서는 장기간 사용으로 노후화된 중공 수직형 머시닝센터의 재제조를 통해 공작기계의 재제조를 위한 공정 표준화 기술을 개발하고자 한다. 머시닝센터를 구성하고 있는 구성품들의 재제조 공정 확립을 위한 작업표준서를 작성하고, 이를 토대로 재제조 공정도를 개발하여 이를 전산프로그램으로 개발하였다. 또한 재제조 전/후의 머시닝센터 성능평가를 진행하여 재제조 품의 성능개선을 확인하였다. 본 연구를 통해 공작기계의 재제조 공정을 확립함으로써 누구나 쉽게 재제조할 수 있는 표준화된 공정도를 제공하고자 한다. 또한 재제조 품의 신뢰성을 확보하기 위해 성능평가를 실시하였다.

2. 수직형 머시닝센터의 재제조

2.1 수직형 머시닝센터의 구조

Fig. 2는 본 연구에서 재제조를 진행하고자 하는 수직형 머시닝

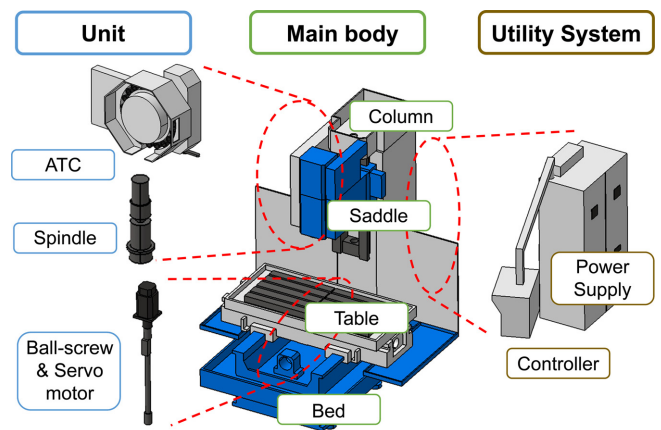


Fig. 2 The structure of vertical machining center

센터의 구조를 나타낸다. 수직형 머시닝센터는 베드, 컬럼, 테이블, 새들(Saddle) 등의 본체 구조물과 주축, ATC, 볼스크류(Ball-Screw), LM가이드(LM Guide) 등 공작물의 가공을 위한 유닛(Unit)으로 구성된다. 또한 절삭유 공급장치와 윤활유장치, 수치 제어를 위한 조작반 및 강전박스, 커버류 등의 유틸리티 설비(Utility System)가 구성되어 있다.

2.2 본체 재제조









머시닝센터의 대부분을 차지하는 베드, 컬럼, 테이블, 새들 등의 본체 구조물은 재제조를 진행할 시, 그대로 재사용되기 때문에 자원 및 에너지 절감효과가 매우 크다.

본체 구조물의 노후화는 대부분 테이블, 새들과 같은 구조물의 이송 과정에서 발생하는 마모 현상이 주원인이 된다. 이러한 노후화로 인해 10-20년 정도 사용된 머시닝센터는 공작기계에서 가장 중요한 요소 중 하나인 정밀도가 보장되지 못하는 문제가 발생하므로 재제조가 필요하다. Table 1은 본체 구조물의 재제조 진행 순서를 나타낸다. 재製조를 위해 입고된 장비는 가장 먼저 외관 및 구동 상태 확인, 정도 감사를 실시하게 되며, 장비 상태의 확인이 완료되면 머시닝센터의 주변기와 커버, 본체, 유닛 순으로 분해 및 세척이 진행된다. 본체 구조물의 경우, 이송에 의해 마모된 부분을 중심으로 재제조가 이루어지며, 슬라이드면 가공, 타가이드(Turcite) 재부착 후 도장, 스크래핑(Scraping) 작업, 조립, 성능평가로 재제조 작업이 마무리된다.¹

2.3 유닛 및 유틸리티 설비 재제조

머시닝센터의 주축 및 이송장치는 고속·고정밀도·고기능화에 직접적인 영향을 주는 핵심요소라 할 수 있다. 따라서 각 유닛별로 재제조 공정을 확립하여 가공 신뢰성을 갖추는 것이 중요하다. 또한 최근에는 고정밀·고기능화뿐만 아니라 친환경 기술과 연계되는 공작기계의 에너지 저감기술이 중요시 되고 있다. 자동차 및 항공기, 가전제품 등 필수 제조업에서 이용되는 머시닝센터는 절삭가공을 진행할 시 매우 높은 에너지가 소비된다. 따라서 유럽 등의 선진업체에서는 에너지 저감기술을 접목시켜 세계시장에

Table 1 Remanufacturing process of main body structure

Process	Process picture	Process summary
Equipment in stock		<ul style="list-style-type: none"> - Check the appearance of equipment - Check operation of driving part - Performance evaluation
Disassembly		<ul style="list-style-type: none"> - Disassembly of peripheral and covers - Disassembly of bed, column, table, saddle - Disassembly of unit
Cleaning		<ul style="list-style-type: none"> - Bed, column, table, saddle cleaning - Removal of paint
Working of slide faces		<ul style="list-style-type: none"> - Removal of turcite - Slide faces machining
		<ul style="list-style-type: none"> - Reattachment of turcite - Oil groove machining - Slide faces grinding machining
Painting		<ul style="list-style-type: none"> - Painting of bed, column, table, saddle - Slide faces scraping
Assembly		<ul style="list-style-type: none"> - Installation of pipe - Adjustment of gib - Assembly of bed, column, table, saddle - Assembly of unit
Performance evaluation		<ul style="list-style-type: none"> - Machining precision evaluation - Check the noise - Check the spindle run-out

대응하고 있으며, 국내에서도 이와 관련된 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 본 연구에서도 노후화된 머시닝센터 컨트롤러의 교체를 통해 NC 사양 업그레이드, 대기 전력 저감 등으로 기존 강전반의 개수 및 사용전력량 감소를 이룸으로써 에너지 저감을 실시하였다.

Table 2 Remanufacturing process of unit and utility system


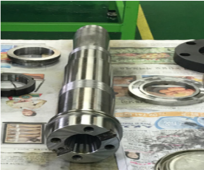
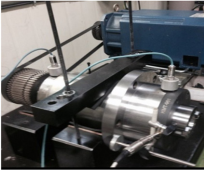

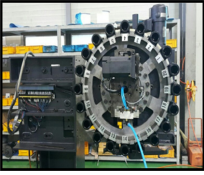
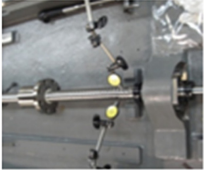

Unit	Process picture	Process summary
		<ul style="list-style-type: none"> - Disassembly of spindle - Spindle cleaning - Check the bearing
Spindle		<ul style="list-style-type: none"> - Replacement of bearing - Spindle grinding machining - Assembly of spindle
		<ul style="list-style-type: none"> - Check the spindle vibration, noise and balance
ATC		<ul style="list-style-type: none"> - Disassembly of ATC - Check the magazine and replacement of tool pot - Dram, bracket, cam box cleaning and grinding
		<ul style="list-style-type: none"> - Painting of bracket, cam box - Installation of pipe, power - Assembly of ATC and performance evaluation
Ball-Screw		<ul style="list-style-type: none"> - Check performance using indicator - Measurement of ball-screw vibration - Replacement of ball-screw in case of necessity
NC		<ul style="list-style-type: none"> - Disassembly of cable, connector and power box - Replacement of NC system - Check the operation

Table 2는 유닛 및 유틸리티 설비의 재제조 공정을 나타낸다.

3. 재제조 공정도 및 전산프로그램 개발

3.1 머시닝센터 재제조 작업표준서 작성

노후 제품을 신제품에 가까운 수준으로 복원하기 위한 재제조 공정 순서는 분류, 분해, 세척, 검사, 조정, 재조립 기술까지 크게 6가지 기술로 분류할 수 있다. Table 3은 공작기계 재제조의 각

Table 3 National development situation of remanufacturing process

Process	Process technology	Commercial technology	Systems technology
Classification	4	4	4
Disassembly	1	2	2
Cleaning	4	3	1
Inspection	4	2	1
Adjustment	3	4	4
Reassembly	3	3	1

*1- Excellent, 2- Good, 3- Normal, 4- Bad

Process	Operation sequence	Work content	Operation method	Input the measurement
2. Equipment inspection	2-1. Check equipment status	2-1. Position precision(X, Y, Z)	2-1-1. Indicator, Laser range finder	Measurement of position precision (X, Y, Z)
		2-2. Repeatability (X, Y, Z)	2-2-1. Indicator, Laser range finder	Measurement of repeatability (X, Y, Z)
		2-3. Spindle run-out	2-3-1. Indicator	Measurement of spindle run-out
		2-4. Noise level	2-4-1. Phone meter	Measurement of noise level
		2-5. Machining accuracy of workpiece	2-5-1. Roundness tester	Measurement of machining accuracy

Fig. 5 Remanufacturing process chart of performance evaluation

Type VMC-650 Date 17.00.00		Work Operation Sheet		Work Operation Sheet Number	
Name Grade		Number of Worker 3 Working Hours		Drafter Reviewer Authorizer	
Process Number		Process Name		No. Work Content Tool	
Movement of heavy parts using hoist		Disassembly of cover			
Check the parts		Disassembly of parts			
Classification of parts		Disassembly of utility system			
No. Precautions of Working		Change		Rev. Revised content Date	
1 Always be careful when moving heavy parts using hoist					

Fig. 3 Work operation sheet for disassembly of main body structure

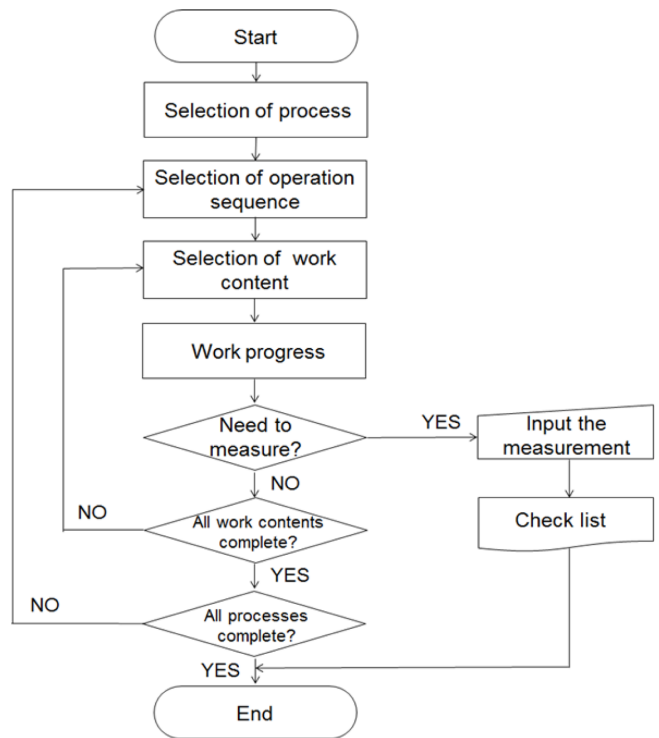


Fig. 6 Flow chart of the developed program

Process Number		Type TNV-80	Work Operation Sheet		Rev/Revised content	Date	Draft	Approve
Process Name		Working Hours	No. Management Standard Check Method Note					
1. Disassembly of cover								
2. Disassembly of magazine motor								
3. Disassembly of barrel cam								
4. Disassembly of pot drum								
5. Disassembly of pot guide								
6. Disassembly of twin arm motor								
7. Disassembly of cam box								
8. Disassembly of tool pot								
Operation Method / Operation Sequence		Quality Verification						
1. The use of sling bar for ATC fixation		No.	Management	Standard	Check Method	Note		
2. Disassembly of magazine motor and barrel cam		1	CRANE	ton	Visual inspection			
3. Disassembly of torque nuts and pot drum		2	ATC Fixture		Measurement			
		3	Rubber plate	ton	Visual inspection			
Procedures in case of nonconformity								

Fig. 4 Work operation sheet of ATC

공정단계별 국내 기술개발 현황을 나타내며, 기술개발 현황은 공정기술, 상용기술, 설비기술 별로 분류하여 나타내었다. 국내 공작기계 재제조 공정에서 분해와 재조립 기술은 비교적 선진국 수준으로 성장하고 있으나, 분류와 조정 기술은 현재도 미흡한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 머시닝센터의 재제조 공정 표준화를 위해 본체 구조물 및 유닛, 유틸리티 설비의 분해에서부터 최종 성능평가까지 일련의 과정에 대한 작업표준서를 작성하였다. 주

축, ATC와 같은 머시닝센터의 핵심 유닛은 유닛별 작업표준서를 추가로 작성하였다. Fig. 3은 6 가지의 재제조 공정 기술 중, 본체 분해작업의 작업표준서 일부를 나타내었으며, Fig. 4는 ATC 전용 작업표준서의 일부를 나타낸다.

3.2 재제조 공정도 개발

노후화된 머시닝센터의 입고에서부터 재제조 완료 후 최종 성능 평가에 이르기까지의 각 공정에서 확립한 기술을 바탕으로 작업표준서를 작성하였으며, 이를 이용하여 재제조 공정도를 개발하였다. 본 연구에서는 재제조 공정을 장비 입고에서부터 최종 장비 성능 평가까지 총 7가지의 공정으로 분류하였으며, 각 공정에 따라 작업 순서, 작업내용, 작업방법 및 필요에 따라 측정값을 입력할 수 있도록 재제조 공정도를 개발하였다. 재제조 공정도를 개발함으로써 각



Fig. 7 Windows by remanufacturing process of program

공정별 기술을 표준화하여 보다 더 효율적이고 신제품에 가까운 성능을 가질 수 있는 재제조 머시닝센터를 제작할 수 있으며, 나아가 머시닝센터뿐만 아니라 선반, 드릴링 머신 등 모든 공작기계에서도 적용할 수 있는 재제조 공정 표준화 기술을 확립할 수 있다.¹

Fig. 5는 재제조 공정도의 일부분인 성능평가 공정에 대해 나타내었다.

3.3 재제조 전산프로그램 개발

3.3.1 전산프로그램의 흐름도

작업표준서를 바탕으로 개발한 재제조 공정도를 작업자가 보다 더 관리하기 쉽고 효율적으로 사용할 수 있도록 하기 위해 전산화 작업을 진행하였다. Fig. 6은 재제조 공정도를 기반으로 개발한 전산화 프로그램의 흐름도(Flow Chart)를 나타낸다. 각 공정에 따라 작업순서, 작업내용, 작업진행을 체계적으로 수행할 수 있도록 전산화하였으며, 작업진행 간 측정값 또는 입력내용이 있을 시, 내용을 입력하고 이를 체크리스트(Check List)에 기록할 수 있도록 구성하였다.¹¹

3.3.2 프로그램 윈도우 설계

전산프로그램은 상용프로그램인 ‘Visual Basic 2008’을 이용하였으며, Fig. 7은 재제조 전산프로그램의 각 공정 단계에 따른 윈도우 및 전체적인 흐름을 나타낸다. 메인 윈도우에는 본 연구를 진행하면서 표준화한 7가지의 공정을 재제조 진행 순서에 맞게

Check List				
CHECK LIST	Division		Person in charge	
Measurement process	Checked	Date	Value	Note
1-1-1 Visual inspection	Pass	17/00/00		
1-1-2. Check of condition	Pass	17/00/00		
1-2-1 Measurement of level		17/00/00	10	
1-3-1. Operation	-	-		
2-1. Measurement result of position precision		17/00/00	10	
2-2. Measurement result of repeatability	-	-		
2-3. Measurement result of run-out	-	-		
2-4. Measurement result of noise	-	-		
2-5. Measurement result of roundness	-	-		
5-5. Measurement result of precision				
5-6. Measurement result of precision				
5-7. Measurement of precision				
7-1 Measurement result of position precision				
7-2. Measurement result of repetitive position precision				
7-3. Measurement result of run-out				
7-4. Measurement result of noise				
7-5. Measurement result of roundness				

Fig. 8 Window of check list

선택할 수 있도록 설계하였다. 메인 윈도우의 공정 중 하나를 선택하게 되면 각 공정에 따라 진행하게 되는 작업순서 윈도우가 나타나며, 작업순서를 선택하게 되면 그에 맞는 작업 내용이 나타

Table 4 Measuring equipment of performance evaluation

Equipment	Manufacturer	Model name
Laser range finder	RENISHAW	XL-80
Indicator	Mitutoyo	513-405
Phone meter	SVAN	SVAN971

Table 5 Measurement result of position precision and repeatability

Position precision				
Classification	Position	Forward	Reverse	Both
Before remanufacturing	X axis	39	53	93
	Y axis	76	97	103
After remanufacturing	X axis	11.6	5.6	11.9
	Y axis	11.6	6	11.8

Repeatability				
Classification	Position	Forward	Reverse	Both
Before remanufacturing	X axis	17	8	92
	Y axis	31	53	53
After remanufacturing	X axis	9.9	3.9	10.3
	Y axis	6.2	3.2	6.7

Table 6 Measurement result of spindle run-out

Classification	Number of measurement				
	1st	2nd	3rd	4th	5th
Before remanufacturing	42	40	42	40	42
After remanufacturing	20	22	20	20	20

난다. 전산프로그램의 마지막 윈도우에는 각 공정에 따라 필요시 측정값 및 참고사항을 입력할 수 있도록 하였다. 장비 점검이나 성능평가를 진행하면서 측정한 값을 입력칸에 입력하게 되면 입력값은 자동으로 체크리스트에 입력이 된다. Fig. 8은 자동으로 입력된 체크리스트 윈도우를 나타내며, 체크리스트는 전산 프로그램의 메인 화면에서 ‘Check List’ 버튼을 통해 확인할 수 있도록 설계하였다. 또한 체크리스트 윈도우 상에서 작업자의 부서 및 이름을 입력할 수 있으며, 체크리스트를 인쇄할 수 있도록 인쇄 버튼을 만들어 놓았다. 각 공정단계별로 나타나는 윈도우는 ‘이전화면’ 버튼으로 이전 단계의 공정으로 이동할 수 있으며, ‘종료’ 버튼을 통해 프로그램을 어느 윈도우에서도 종료할 수 있도록 설계하였다.

4. 수직형 머시닝센터의 성능평가

4.1 재제조 머시닝센터의 성능평가

재제조된 머시닝센터의 성능향상을 검증하기 위해 재제조 전/후의 성능평가를 진행하였다. 성능평가 항목은 직선운동의 위치

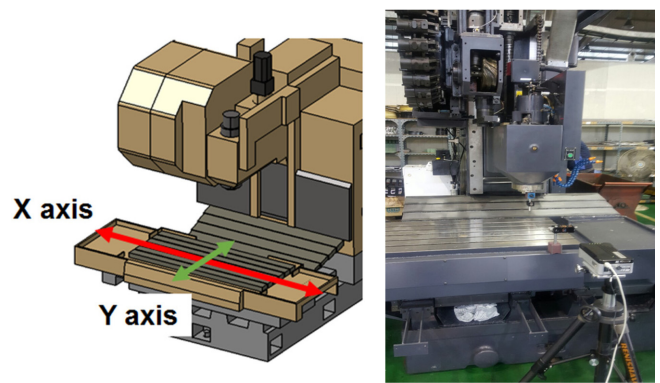


Fig. 9 Measurement environment of position precision and repeatability



Fig. 10 Measurement environment of spindle run-out

결정정밀도 및 반복정밀도(X, Y축), 주축의 런아웃(Run-Out), 머시닝센터의 소음레벨 측정으로 총 4가지 항목을 측정하였다.^{1,12,13} Table 4는 각 측정항목의 측정장비 제조사 및 모델명을 나타낸다.

4.1.1 직선운동의 위치결정정밀도 및 반복정밀도 측정

직선운동의 위치결정정밀도 및 반복정밀도의 측정은 5개의 측정포인트를 지정하고, 이송축 왕복을 5회 실시하여 측정된 평균값을 확인하는 방법으로 진행하였다. Fig. 9는 측정 환경을 나타내며, Table 5는 재제조 전/후의 측정 결과값을 나타낸다. X축의 측정길이는 800 mm, Y축의 측정길이는 500 mm이며, 측정 결과값의 단위는 μm 이다.

4.1.2 주축의 런아웃 측정

주축의 런아웃은 300 mm 테스트바(Test Bar)를 주축선단에 장착하고, 인디게이터의 축침을 테스트바의 끝단에 접촉시켜 주축의 회전에 의해 변화하는 인디게이터의 눈금 최대 변화량을 기록하는 방법으로 진행하였다. 측정을 위한 입력 회전수는 50 rpm으로 설정하였으며, 총 5회 반복측정을 진행하였다. Fig. 10은 측정 환경을 나타내며, Table 6은 재제조 전/후의 측정 결과값을 나타낸다. 측정 결과값의 단위는 μm 이다.

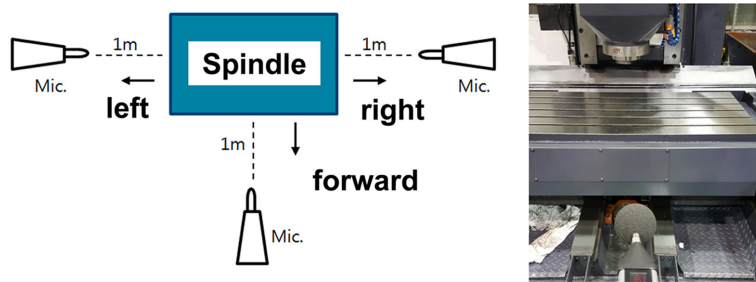


Fig. 11 Measurement environment of noise level

Inspection item	X, Y, Z-axis straightness			Inspection item	Measurement of vibration level (KS B ISO 10816-3)																						
Schematics of measurement method				Schematics of measurement method																							
Measurement of X-axis	Measurement of Y-axis	Measurement of Z-axis		< Position of acceleration sensor >																							
Measuring equipment				Acceleration sensor																							
◆ Measurement method				◆ Measurement method																							
<ul style="list-style-type: none"> Record the scale change amount of the dial gauge installed parallel to each axis. (Refer to the above figures) Recording method (example) 				<ul style="list-style-type: none"> Continuous rotation of spindle Installation of acceleration sensor Record of vibration according to the velocity 																							
Measurement section		Measurement		- Recording method																							
$X \leq 500$		0.010		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Item</th> <th>No.</th> <th>1st sensor</th> <th>2nd sensor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">rpm</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Item	No.	1 st sensor	2 nd sensor	rpm	1			2			3			4			5		
Item	No.	1 st sensor	2 nd sensor																								
rpm	1																										
	2																										
	3																										
	4																										
	5																										
$500 < X \leq 800$		0.015																									
$800 < X \leq 1250$		0.020																									
$1250 < X \leq 2000$		0.025																									

Fig. 12 Standard of performance evaluation

Table 7 Measurement result of noise

Classification	Forward	Left	Right
Before remanufacturing	81.3	84.5	83.7
After remanufacturing	75.8	77.5	73.2

4.1.3 소음레벨 측정

머시닝센터의 소음레벨 측정은 주축을 기준으로 동일한 높이의 1 m 거리에 마이크로폰을 설치하여 최대 소음레벨 값을 측정하는 방법으로 진행하였으며, 측정 방향은 주축의 전면, 좌측면, 우측면으로 총 3면을 측정하였다. 소음 측정을 위한 주축의 회전 속도는 최대 속도인 4,000 rpm으로 측정을 진행하였으며, 측정 단위는 dB이다. Fig. 11는 측정 환경을 나타내며, Table 7은 재제조 전/후의 측정 결과값을 나타낸다.

4.1.4 성능평가 결과

재제조된 머시닝센터의 신뢰성 확보를 위해 재제조 전/후의 위치결정정밀도 및 반복정밀도, 주축의 런아웃, 소음레벨을 측정하였다. 각 측정 항목의 결과를 살펴보면 위치결정정밀도의 경우, 약 3-16배의 성능개선이 이루어 졌으며, 반복정밀도의 경우에도 약 2-16배 성능이 향상된 것을 확인할 수 있다. 또한 주축 런아웃의 경우, 측정값을 통해 약 2배의 성능개선이 이루어진 것을 확인할 수 있으며, 머시닝센터의 소음도 7% 정도 감소한 것을 확인하였다.

4.2 머시닝센터의 성능평가 기준확립

재제조 공정의 표준화를 위한 공정도 개발에 이어, 성능평가의 표준화를 위한 성능평가 기준을 확립하였다. 측정 항목은 머시닝센터의 핵심 부품에 대한 정적 정밀도 측정, 회전체 측정, 성능 테스트로 분류하였으며, ‘KS B ISO 10791-2’와 ‘KS B ISO 230-2’ 규격을 참고하여 작성하였다. 재제조를 진행하는 머시닝센터에 동일한 성능평가 기준을 적용함으로써, 재제조를 통해 향상되는

성능에 대한 신뢰성을 높일 수 있다. Fig. 12에 정적 정밀도 측정 및 성능 테스트에 관한 성능평가 기준 일부를 나타내었다.¹⁴

5. 결론

본 연구에서는 중고 수직형 머시닝센터의 재제조 공정 표준화를 위한 기술개발을 수행하였다. 각 공정에 따른 표준 기술을 확립하기 위한 작업표준서, 재제조 공정도 및 전산프로그램을 개발하였다. 또한 머시닝센터 재제조 전/후의 성능평가를 진행하여 재제조를 통한 성능향상을 확인하였으며, 재제조 머시닝센터 성능의 신뢰성을 높이기 위해 성능평가 기준을 확립하였다. 본 연구를 통해 얻은 결론은 아래와 같다.

(1) 수직형 머시닝센터의 재제조를 수행하였으며, 각 공정단계에 따라 공정 기술을 표준화하기 위한 작업표준서를 작성하였다.

(2) 작업표준서를 바탕으로 재제조 공정을 장비 입고에서부터 최종 성능평가까지 총 7단계의 공정으로 분류하였으며, 이를 체계화하기 위한 재제조 공정도를 개발하였다.

(3) 재제조 작업의 효율적이고 체계적인 관리를 위해 재제조 공정도를 전산화하여 재제조 전산프로그램을 개발하였으며, 체크리스트를 통해 작업자가 재제조 진행 상황을 한 눈에 알 수 있도록 하였다.

(4) 재제조 전/후의 성능평가를 통해 위치결정정밀도 약 3-16배, 반복정밀도 약 2-16배, 주축 런아웃 약 2배의 성능개선을 확인하였으며, 소음은 7% 가량 감소한 것을 확인하였다. 이를 통해 가공정밀도 향상 및 소음저감 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단되며, 성능평가 기준 확립을 진행하여 재제조 머시닝센터에 대한 성능평가 방법의 신뢰성을 높였다.

본 연구의 결과는 수직형 머시닝센터 재제조를 위한 표준화된 공정도 및 성능평가 기준을 제시함으로써 누구나 제시된 공정도에 따라 효율적인 재제조를 할 수 있는 가이드라인으로 활용될 수 있을 것이다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술 평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 201650203 01270).

REFERENCES

1. Research Report of the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP), Vertical Machining Center Remanufacturing Technical Development, No. 20165020301270, 2016.

2. Lee, C.-M., Woo, W.-S., and Roh, Y.-H., "Remanufacturing: Trends and Issues," *Int. J. Precis. Eng. Manuf.-Green Tech.*, Vol. 4, No. 1, pp. 113-125, 2017.

3. Jung, W. and Lee, H. J., "Industrialization Trend of Remanufacturing and Recycling Technology in Korea and Overseas," *Journal of Applied Reliability*, Vol. 10, No. 3, pp. 199-211, 2010.

4. Rha, W. Y., "Remanufactured Technology of Diesel Injector and Automatic Transmission Valve Body for Automotive," *Journal of the Korea Society of Automotive Engineers*, Vol. 37, No. 11, pp. 28-33, 2015.

5. Rha, W. Y. and Choi, D. S., "The Study of Standard Remanufacturing for Automotive Chassis Parts," *Journal of the Korea Society of Automotive Engineers*, Vol. 35, No. 12, pp. 25-36, 2013.

6. Bae, J. H. and Chang, Y. S., "Development of Cleaning System of Electronic Components for the Remanufacturing of Laser Copy Machine," *Clean Technology*, Vol. 18, No. 3, pp. 287-294, 2012.

7. Mook, H. S., Jeon, C. S., Han, C. H., Kwak, H. S., and Park, S. J., "Development Method of Remanufacturing Industry for Resources Recycle," *Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. 17, No. 1, pp. 120-129, 2009.

8. Du, Y. B. and Li, C. B., "Implementing Energy-Saving and Environmental-Benign Paradigm: Machine Tool Remanufacturing by OEMs in China," *Journal of Cleaner Production*, Vol. 66, pp. 272-279, 2014.

9. Du, Y. B., Cao, H. J., Liu, F., Li, C. B., and Chen, X., "An Integrated Method for Evaluating the Remanufacturability of Used Machine Tool," *Journal of Cleaner Production*, Vol. 20, pp. 82-91, 2012.

10. Seo, Y. K., Jung, D. H., Yu, S. S., and Rha, W. Y., "The Optimization Study on the Test Method of Remanufactured Power Steering Oil Pump by Using FMEA," *Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. 24, No. 1, pp. 90-98, 2016.

11. Jang, J. W., Shin, H. S., Youn, C., Lee, Y. H., Kim, H. D., et al., "Development of a Computation Program for Automatic Processing of Calibration Data of Radiation Instrument," *Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing*, Vol. 26, No. 4, pp. 246-254, 2006.

12. Lee, J. H., Woo, W. S., and Lee, C. M., "A Study on the Performance Test of the Used Vertical Machining Centers," *Proc. of KSPE Autumn Conference*, p. 80, 2016.

13. Kim, G. B., Kwon, Y. G., Kim, J. H., and Lee, C. M., "Static Test Method Vertical Machining Center Remanufacturing," *Proc. of KSPE Autumn Conference*, p. 343, 2016.

14. Yi, H. C. and Chang, Y. S., "Development of the Disassemblability Evaluation Methods of the Products for Remanufacturing," *Clean Technology*, Vol. 13, No. 2, pp. 134-142, 2007.