

국내 공작기계 재제조 기술개발 현황 및 표준공정 개선방안 연구

A Study on Status of Domestic Machine Tools Remanufacturing Technology Development and Improvement of Standard Process

신성우¹, 설상석¹, 노영화¹, 김현수², 박민성², 정원지^{3*}

Sung-woo Shin¹, Sang-Seok Seol¹, Young-Hwa Roh¹,
Hyun-Su Kim², Min-Seong Park², Won-Jee Chung^{3*}

〈Abstract〉

This study analyzes trends and characteristics of the machine tool remanufacturing industry and proposes a standard process that considers environmental impact assessment during the remanufacturing process. First, trends in remanufacturing and environmental regulations are reviewed. And the current status of the machine tool remanufacturing industry and cases of national R&D projects related to machine tools are analyzed. Machine tool remanufacturing has a high resource saving effect, and remanufacturing is carried out as a finished product rather than as a part. And the scope of remanufacturing work is very wide due to the performance improvement of the machine and the addition of features. In order for the machine tool remanufacturing industry to be competitive, it is necessary to create products with high added value. In addition, in order to respond to international environmental regulations, it is necessary to secure related data by conducting an environmental impact assessment together during remanufacturing.

Keywords : Machine Tools, Resource Recycling, Remanufacturing, Environment Impact Assessment, Standard Process

1 국립창원대학교 메카트로닉스연구원

2 국립창원대학교 기계공학부

3* 교신저자, 국립창원대학교 기계공학부, 정교수

E-mail: wjchung@changwon.ac.kr

1 Mechatronics Research Center, Changwon National University

2 Dept. of Mechanical Engineering, Changwon National University

3* Corresponding Author, Dept. of Mechanical Engineering,

Changwon National University

1. 서론

자원 고갈 및 폐기물 처리 문제로 효율적인 자원 관리의 필요성이 강조되고 있는 가운데 자원순환의 방법 중 하나인 재제조의 중요성이 확대되고 있으며, 점차 심화되고 있는 국가 간의 자원 확보 경쟁과 환경규제 강화로 인해 그 필요성이 더욱 증가되고 있다. 국내 재제조 시장은 현재 자동차 부품 분야가 주도하고 있으나, 가전, 중장비, 산업기계류 등으로 확대해 나가고 있다. 산업기계 중 하나인 공작기계는 대형 구조물이 사용되어 재제조의 효과를 크게 얻을 수 있는 제품으로 중대형 공작기계의 경우 구조물을 이루는 주조품의 무게가 수 톤에서 수십 톤에 이르러 재製조를 통한 자원 및 에너지 절감 효과가 매우 크다.

재제조 산업은 신제품 생산과 비교해 에너지 및 자원을 80% 이상 절감시키는 효과가 있는 것으로 알려져 있으며[1], 재제조의 효과를 파악하고 품질 및 성능에 대한 균일성 확보를 위한 공정 표준화 연구 등이 수행되고 있다[2]. 국내에서는 교류발전기 등 자동차 부품을 대상으로 한 공정 연구들과 적층 및 용접 접합 기술 등 재제조 대상으로 필요한 성능복원 기술이 연구되고 있으며, 이 외에도 최근 국제적으로 이슈화되고 있는 탄소규제와 관련하여 재製조를 포함한 여러 산업 분야의 탄소배출 및 환경영향평가에 대한 연구도 수행되고 있다[3,4]. 자동차 부품이 재제조 산업에 가장 큰 비중을 차지하는 만큼 가장 많은 연구가 이루어지고 있고 타 산업 분야로도 연구 범위가 확대되고 있으나, 자원재활용으로서의 가치가 높은 공작기계 재제조에 대해서는 아직 관련 연구가 일부 해석 및 작업절차 등으로 제한적이다[5].

본 연구에서는 아직 국내에서 활성화되지 못한 공작기계 재제조 산업의 현황과 특성을 분석하고, 공작기계 재제조 특성과 환경영향평가를 고려한 표준 재제조 공정을 제안하였다.

2. 재제조와 환경규제 동향

2.1 재제조 개념

재제조는 사용 후 제품을 신제품과 유사한 상태로 만들어 재상품화하는 것으로 재활용에 비해 제품완성에 이르는 과정이 효율적이고 재사용에 비해 완성 제품의 성능을 월등히 높일 수 있다. 재제조는 제품에 새로운 수명주기를 부여하는 것으로, 단순히 환경규제에 대한 방어적 대응 차원을 넘어서 가격경쟁력 확보 등 변화하는 시장 메커니즘에 효과적으로 대응할 수 있는 방법이다. 일반적인 재제조의 주요 단계는 Fig. 1과 같이 크게 5단계로 나누어지며, 신제품 생산과 비슷한 일련의 제조공정 및 기술을 필요로 한다. 또한 어느 특정 부분의 결함문제만 해결하는 수리와 달리 신제품과 같은 수준의 품질과 성능을 보증하는 것은 물론이며, 재製조를 진행하는 시점의 최신 기술을 활용할 수도 있다.

재제조 산업은 제품의 제조 단계에서 재제조 부품을 투입하여 새로운 제품을 생산하므로 신제품 생산 시 투입되는 에너지와 원재료를 대부분 그대로 사용하기 때문에 신제품 생산에 비하여 에너지와 자원 소모량을 절감시키는 효과가 있지만, 재제조

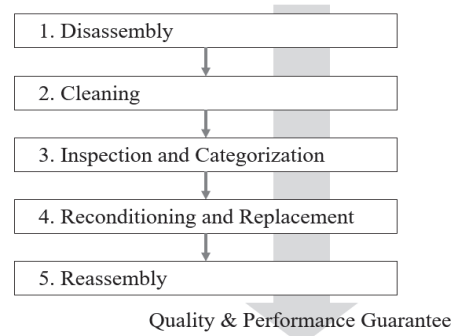


Fig. 1 General process of Remanufacturing[1]

산업의 특성상 대상 품목 및 노후 제품의 상태에 따라 공정 및 재제조 적용 범위에 차이가 있고 그 효과 역시 상이할 수 있으므로 재제조를 통한 경제적, 환경적 효과를 정확히 파악할 필요가 있다.

2.2 환경규제 동향

기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)는 2018년 IPCC 총회에서 2030년까지 이산화탄소 배출량을 2010년 대비 최소 45% 이상 감축하고, 2050년경에는 탄소중립(Netzero)을 달성하여야 한다는 경로를 제시하였다. 이에 우리나라는 2020년 장기 저탄소발전전략(LEDs)을 수립하여 2050년 탄소중립을 목표로 비전 및 전략을 마련하였으며, 온실가스 감축 목표 달성을 위한 이행점검·평가 체계를 구축하였다.

선진국을 중심으로 탄소중립 달성과 동시에 이를 근간으로 하는 경제 체제 및 경쟁력 확보를 위해 탄소 배출량 산정에 대한 중요성이 부각 되고 있으며, 특히 특정 제품이나 서비스의 전생애주기와 관련된 배출량을 산정하는 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)가 주목받고 있다[6]. EU, 미국 등 주요국들은 탄소배출 비중이 높고 통제가 용이한 자동차(수송) 부문을 중심으로 규제를 강화하고 있으며, 최근 자동차 산업의 탄소중립이 주행 과정의 온실가스 배출량 규제에서 공급망 전주기에서 발생하는 배출량을 규제하는 방향으로 전환되고 있다. EU의 자동차 온실가스 관리 강화로 자동차 공급망에 걸쳐 있는 부품사들은 완성차 업체로부터의 LCA 기반 제품 탄소발자국 결과 제출 요구가 거세질 전망이며, 이와 같은 글로벌 탄소규제 및 공급망 관리 강화에 따른 다양한 요구가 국내 기업들에게도 현실화되고 있다.

이러한 탄소규제는 앞으로 자동차 산업뿐만 아니라 원재료, 소재, 부품 등을 가공하는 공작기계

와 같은 전방산업 및 타 산업 분야로 확대될 것에 대비할 필요가 있다. 재제조 산업 역시 환경영향에 대한 객관적이고 정량적인 평가가 필요하나 아직 기술개발 전략 수립 및 관련 정책추진 시 활용할 수 있는 데이터가 부족한 실정이다. 재제조를 통해 높은 부가가치의 제품을 생산하여도 환경규제에 원활히 대응하지 못한다면 해외 수출을 통한 시장 확대에 제약받을 수 있다.

LCA 연구들은 전과정의 평균적 영향을 산출하기 위한 많은 노력을 기울이고 있지만, 제조 과정에서 수많은 부품과 재료, 다양한 생산경로와 기술적 환경적 조건에 따른 데이터의 불확실성(Uncertainty)과 다양성(Variability)의 문제가 있다. LCA의 체계를 규정하고 있는 ISO 14040 시리즈에도 세부 계산 방법에 합의된 표준은 없으며, 현재 이를 위한 다양한 연구와 방법론들이 검토되고 있다[7].

3. 공작기계 재제조

3.1 공작기계 재제조 산업 현황

공작기계는 프레임을 구성하기 위해 중량의 구조물을 사용해야 하므로 재제조를 통한 자원의 절감 및 환경 개선의 효과가 매우 큰 산업 분야이다. 베드(Bed), 컬럼(Column), 테이블(Table), 주축(Spindle) 등을 구성하는 재료인 주철 및 특수강 등 대부분 재생 가능한 재료로 제작되어, 재사용 시 자원 절약을 통한 비용 절감과 환경 부담을 개선할 수 있는 이점이 있다. 또한 재제조 시 핵심부품인 볼스크류나 베어링, 컨트롤러 등 해외 의존도가 높은 부품을 일부 국산품으로 대체 가능하여 해외 기술 선진국의 수출규제에 대한 대응과

국내 소재부품 산업 활성화에도 기여할 수 있다.

국내 공작기계 중 가장 많은 양을 차지하고 있는 NC 선반의 경우, 1970년 중반 개발되어 80년대 상품화보급, 90년대부터 본격 대량 보급했던 점을 고려하면 수명이 다한 NC 선반이 2020년대 이후부터 대량 폐기물로 나올 가능성이 높으므로 이를 활용할 수 있는 재제조 기술개발이 필요하다. 현재 노후된 CNC 선반의 경우 대부분 저가 중고품 또는 고철 판매로 처리되고 있으며, 베어링 교체, 제어기 일부 수리 등 단순 수리를 통해 사용하는 경우가 대부분이다. 이로 인해 내구성 부족, 고객신뢰도 저하로 중고 기계 수리라는 인식이 강하게 자리 잡아, 국내 재제조 시장형성이 잘 이루어지지 않고 있다.

국내 공작기계 재제조의 경우 대신엔지니어링, 스마트공작기계코리아, 대영테크, 은우하이텍 등의 업체에서 재제조품을 생산하고 있으며, 중고 장비를 매입 후 재제조하는 경우도 있지만 대부분 고객의 사업장에서 수리 또는 업그레이드가 필요한 기계를 의뢰받아 재제조 후 공급하고 있다. 공작기계 재제조품의 경우 코어(Core)를 확보하는 것이 주요사업 제한요인으로 작용하고 있으며, 재제조품에 대한 홍보 및 소비자 인식 부족으로 회수율이 극히 떨어지는 실정이다. 한국기계거래소에서는 2021년까지 5년간 정부 지원으로 재제조 산업을 시범 사업으로 진행하여 자체 공장에서 부품 수리 등을 진행하였으나 현재는 사업을 하지 않고 있으며, 이는 공작기계 재제조 사업이 경제성이 떨어진다는 이유였다. 공작기계는 기계 자체의 부피가 커 작업공간 및 보관 비용 문제가 있으며, 수리를 담당하는 인원별로 전문 분야가 다르고 기술자가 부족해 어려움이 있었다. 또한 기계 물량 자체가 많이 없어 재제조로 규모의 경제가 실행되기 어려운 조건이었으며, 수리된 기계의 경우 소비자의 선호가 떨어져 판매에 어려움이 있었다.

이와 같은 문제를 해결하고 공작기계 재제조시장을 활성화하기 위해서는 기존의 단순 수리 개념을 탈피할 필요가 있다. 일반적인 재제조 공정 기술뿐만 아니라, 최신의 복원 기술 적용 및 IoT, 지능형 생산, 에너지 효율 향상 등 최신 공작기계의 기술 고도화에 따른 첨단 기술 대응능력 향상을 통해 효율적 자원재활용을 실현할 뿐만 아니라 시장에서의 경쟁력을 갖추어야 한다. 하지만, 국내 재제조 업체가 대부분 중소기업 및 영세기업으로 이러한 기술개발을 위해서는 체계적인 정부 지원 정책이 필요하다.

3.2 공작기계 재제조 기술개발 현황

정부의 공작기계 재제조 기술개발 지원은 2016년부터 머시닝센터를 대상으로 시작되었으며, 2020년에는 7대 산업기계인 프레스, 선반, 밀링, 연삭, 사출기, 압출기, 인발·신선기에 대한 재제조 기술개발 사업이 진행되었다. 그리고 재제조 제품의 성능평가 기술개발과 대형 가공 기계인 플래너 밀러를 대상으로 데이터를 수집하여 7대 산업기계와 연계하는 재제조 플랫폼 구축 과제도 진행 중이다. Table 1은 2016년부터 수행된 공작기계 재제조 관련 국가연구개발 현황을 나타낸다.

먼저 2016년부터 2018년까지 수행된 ‘수직형 머시닝센터 재제조 기술개발’ 사례를 살펴보면 국내에서 진행된 첫 번째 공작기계 재제조 기술개발로서 머시닝센터를 대상으로 분해·세척, 베어링 등의 소모품 교체, 스크래핑, 도장, 컨트롤러 교체, 장비 정밀도 측정 등을 수행하였다. 하지만 이는 노후 장비의 상태 진단 및 재제조 공정 정립에만 그쳐 최신 기술 적용에는 부족한 모습을 보여준다[8].

반면 2020년 ‘노후 선반의 수명 연장을 위한 재제조 기술개발’의 경우, 기획 단계부터 고객사와의 협의를 통해 동급의 신품 수준의 성능과 정밀

Table 1 Status of Technology Development for Machine Tool Remanufacturing

Period	Project Name
2016~2018	Vertical machining center remanufacturing technical development
2020~2022	Remanufacturing and system technology development of large presses over 15,000 tons/30 years
2020~2022	Development of an IoT-based remanufacturing technology to extend life of decrepit lathe which can be directly applied for smart factory
2020~2022	Development of ICT convergence spec-up manufacturing technology for aging universal milling machine
2020~2022	A development of remanufacturing technology on the grinding system of complex-function for high-precision
2020~2022	Development of remanufacturing technology for more than 50% energy saving injection molding machine
2020~2022	Development of remanufacturing thchnology of old used extruder for extrusion of Aluminum Alloy
2020~2022	Development of drawing/drawing machine remanufacturing technology for nonferrous metal wire
2020~2024	Advanced Remanufacturing of industrial machinery based on domestic CNC and building infrastructure for remanufacturing industry
2021~2024	Development of performance evaluation technology for industrial machine remanufactured products



(a) Before Remanufacturing (b) After Remanufacturing

Fig. 2 Remanufacturing of Machining Center

도를 가지면서 신문의 70% 이하의 판매 가격을 목표로 수행하였다. 또한 일반적으로 수요가 많고 구조적으로 차이가 큰 3종의 선반을 선정하여 다양한 타입의 선반에 대한 재제조 기술을 축적하였다. 여기서 장비 정밀도 및 성능에 직접적인 영향을 미치는 주축 및 이송계의 경우 노후 장비에 적용된 20년 전 사양으로는 목표성능을 만족하고 내구성을 유지하기 어려워 새롭게 설계된 최신 사양으로 교체하였다. 그리고 원제품 생산 당시 적용하지 못했던 IoT 실시간 모니터링 기능 등을



(a) Before Remanufacturing (b) After Remanufacturing

Fig. 3 Remanufacturing of CNC Lathe

추가하여 스마트팩토리 및 외부자동화에 대응을 위한 기능들을 탑재하고, 국산 NC 장치(Sentrol)의 적극적인 사용으로 가격경쟁력을 높였다. 또한 앞선 머시닝센터 사례와 달리 재제조 제조사의 브랜드로 판매하기 위해 커버리를 자사 디자인에 맞춰 전면 신규로 제작하여 적용하였다. 이를 통해 주축, 이송계, 컨트롤러를 포함하는 전장품, 커버리 등 대부분의 부품이 교체되었다[9].

상기 두 과제를 살펴보면 같은 공작기계 재제조이나 그 범위와 형태의 차이가 매우 큰 것을 알

수 있다. 머시닝센터 재제조 사례는 최소한의 작업으로 기존의 노후 장비를 원제품의 성능에 준하는 상태로 복원 작업을 했다고 볼 수 있으며, 선반 재제조의 경우 가장 자원 절감 효과가 큰 구조물만을 활용하여 향상된 성능과 기능을 가진 새로운 장비를 만들었다고 볼 수 있다. 후자의 경우 앞서 설명한 자원순환 측면에서는 상대적으로 그 효과가 감소 될 수 있으나, 높은 비용과 자원이 소모되는 목형 및 대형 주물 작업 없이 새로운 제품을 개발하고 실제 수요가 있는 제품을 만들어 판매 가능성을 높일 수 있다는 점에서는 실질적인 자원순환 효과가 크다고 볼 수 있다.

이는 앞서 공작기계 재제조 산업의 문제점으로 지적된 규모의 경제가 이루어지기 어려운 부분과 부정적인 소비자 인식 문제에 대해서도 해결책이 될 수 있다. 보다 부가가치가 높은 상품으로 업그레이드하고 제조사에서 품질을 보증할 수 있는 완전히 새로운 상품으로 재탄생시킴으로써 수리된 장비와는 확연한 차별성을 통해 시장에서 경쟁력을 가질 수 있는 좋은 참고 사례라고 생각된다.

3.3 공작기계 재제조 특성

연구 개발 사례들에서 볼 수 있듯이 자동차 분야의 경우 원제품이 아닌 부품 단위로 진행되고 있는 반면 공작기계는 하나의 완성된 장비로 재제조가 진행되고 있으며 대부분 20~30년이 지난 장비를 대상으로 이루어지고 있다.

자동차 부품의 경우 코어의 사용기간이 그리 길지 않고, 그 수요가 충분하므로 부품 단위의 재제조를 통해 별다른 기능 추가 및 성능개선 없이 현재 운용되고 있는 자동차의 교체용 부품으로 사용이 가능하다. 하지만 공작기계의 경우 20~30년이 지난 시점에서 원래의 성능을 복구하는 수준의 부품 단위의 재제조로는 제한된 시장 규모에서 사

업성을 가지기 어렵다.

자동차 부품 기준 재제조된 제품의 가격은 제품 및 제조 메이커에 따라 그 차이가 크지만, 해외 선진국의 경우 원제품 가격의 50~60% 수준이나 국내의 경우 신제품 대비 20~30%의 저가격에 시장가격이 형성되어 있다[10]. 품질보증 문제와 소비자 인식이 점차 개선되어 가고 있지만, 중소기업의 열악한 작업조건 및 투자의 어려움으로 인해 여전히 낮은 공급가격이 경쟁력이 되고 있다.

공작기계는 높은 사용 연수 및 수입 부품들로 인해 설계 및 기술자료 확보에 어려움이 있으며, 역설계 등을 통해 이를 해결하고 있으나 이는 추가 비용으로 이어진다. 최소한의 비용으로 원래 성능만 복원하였을 경우 어느 정도 가격경쟁력을 가질 수는 있겠지만, 20~30년 전 사양의 공작기계에 대한 수요는 제한적일 것이다. 개발도상국 및 저개발국으로의 수출을 고려할 수 있지만, 요즘은 저개발국에서도 성능은 우수하면서 가격은 저렴한 제품을 선호하고 있다.

베트남, 필리핀 등의 주요 개도국은 자국 산업 발전을 위한 기계산업 육성 방안으로 생산설비의 고도화에 대한 필요성을 인지하고 있으며, 고가의 신규 장비보다 저렴한 중고기계 수입 및 재제조를 통한 생산설비를 선호하고 있다. 개도국 및 저개발국의 공작기계 시장은 우리에게 좋은 재제조 제품의 수출 시장이 될 수 있지만 우리가 생산하는 재제조 제품은 향후 중국의 신규 제품과 경쟁하게 되며, 단순히 낮은 가격만으로는 경쟁이 어렵다. 우위를 위한 방안 중 하나로 앞선 선반 재제조 사례처럼 노후 장비의 자원을 최대한 활용한 새로운 제품을 통해 공작기계 재제조 산업이 고부가가치산업을 지향할 필요가 있다.

일반적으로 재제조 기술개발은 품질 검사 기술, 재제조 공정관리, 오염물질 처리기술 그리고 조립 기술 등의 개발이 필요하며, 공작기계의 재제조는

사용 후 공작기계의 재설계를 바탕으로 기능 회복, CNC 재탑재, 에너지 효율 향상 등을 위한 업그레이드를 거쳐 진행된다. 여기서 사용자의 요구나 필요에 따라 장비 성능 및 정밀도를 향상시키고, 최신 디자인 및 사용자 인터페이스, ICT, 예지보전 시스템 등 현지점에서의 최신 기술들을 추가할 수도 있다. 이를 통해 스마트 팩토리나 자동화 생산 라인에 적용이 가능한 수준으로 보다 높은 활용도를 가진 제품을 만들 수 있다. 또한 노후 장비에 적용된 수입 부품에 대한 국산화 검토 역시 중요한 부분이다. NC 공작기계의 핵심부품인 CNC 시스템은 거의 대부분을 수입에 의존하는 품목으로 해당 국가의 수출규제 등의 위험 요소뿐만 아니라 가격경쟁력에도 큰 영향을 미친다. 원제품의 생산 당시보다 국내 요소 부품 기술 및 산업이 비약적인 발전을 이룬 만큼 베어링, 볼스크류 등의 핵심부품과 컨트롤러의 국산화 적용 검토는 필수적이라고 할 수 있다.

재제조 업체는 재제조된 제품을 자신의 회사 이름 및 브랜드로 판매하고, 해당 장비의 유지보수 및 A/S를 수행하게 된다. 이때 재제조 업체가 핵심 부품 및 구조에 대한 정확한 설계 데이터를 가지고 있지 않다면, 향후 발생 되는 고장 및 고객 요청에 대응이 어렵게 되며, 이는 사실상 제조사가 품질을 보증할 수 없는 상황을 의미한다. 이를 위해서는 역설계를 통해 정확한 도면과 함께 장비 전체에 대한 설계 데이터를 확보해야 하며, 완성된 장비의 구동 특성 및 사용자에게 최적의 사용조건을 제공하기 위한 운전 데이터도 확보할 필요가 있다.

3.4 공작기계 재제조 환경영향평가

공작기계와 같은 많은 부품과 기능을 가지는 대형 기계 장비는 재제조 시 노후 상태나 고객 요구 사항에 따라 재제조 작업 범위의 차이가 크며 이는 하나의 제품임에도 환경부하 및 탄소 배출량을

일관되게 적용하기 어렵고, 재제조 목적인 에너지 및 자원 절감 효과 역시 그 차이가 크다는 것을 의미한다. 재제조를 포함한 여러 산업 분야의 탄소배출 및 환경영향평가에 대해서는 여러 연구가 수행되고 있으나, 국내 공작기계 재제조에 대한 환경영향 관련 연구는 최근에서야 이루어지고 있다. Lee 등은 공작기계인 연삭기, 플래너 밀러, 프레스, 선반 총 4개의 기계의 재제조에 따른 환경부하 저감 효과를 분석하기 위해 LCA 기법을 이용한 연구를 수행하였다[11]. 하지만 장비 크기에 따라 투입되는 자원량의 차이, 추가되는 기능 및 부품, 세척 및 복원 작업 과정에서의 영향 등은 고려되지 않아 해당 연구의 환경영향평가 결과를 재제조 공작기계 장비에 일반화시키기는 어렵다.

앞으로 확대될 탄소규제에 대응하고 재제조로 인한 효과 및 이점을 내세우기 위해서는 이를 평가하기 위한 가능한 많은 사례의 기초 데이터 확보가 필요하며, 이를 위해서는 관련 데이터를 도출할 수 있도록 표준화된 재제조 프로세스가 필요하다.

4. 공작기계 재제조 공정 개선 연구

4.1 연구 동향

국내 공작기계 재제조 공정 관련 연구는 2017년부터 머시닝센터, 플래노밀러 등 정부 지원 연구개발과제와 함께 진행되어 해당 장비에 대한 표준공정도 및 작업 표준서를 체계적으로 정리한 바 있다. 이들 재제조 공정 연구들도 일반적인 재제조 5단계를 기준으로 하고 있으며, 장비 전체에 대한 작업이 진행되는 만큼 완성품의 성능평가와 역설계를 강조하고 관련 공정을 추가하거나 세분화하는 모습을 볼 수 있다.

특정 제품의 사례로 실제 재제조를 수행하는

절차를 정리한 연구자료는 많으나, 세부 부품의 분해 순서나 세척 방법 등 상세 작업절차는 기술 발전에 따라 업데이트되고 재제조 대상 장비의 종류나 상태, 생산 시기에 따라 상이할 수 있는 부분이므로, 이는 해당 기업에서 보유하고 있는 장비 및 환경에 따라 가장 효율적인 방법으로 진행하게 되는 부분이다. 물론 특정 기업이나 기관에서 진행한 작업 사례가 좋은 참고 자료가 될 수 있으나 모든 재제조 제품 및 기업에 동일하게 적용하기는 어려워 공작기계 분야 내에서도 범용성을 가지는 못한다.

지금까지 연구된 일반적인 재제조 공정 자체가 성능평가 부분 외에는 기존의 유지보수 및 수리 공정과 사실상 크게 다르지는 않다. 공작기계 재제조 특성인 노후 장비에 대한 업그레이드 및 넓은 적용 범위임을 고려할 때, 특정 제품을 위한 공정 연구도 필요하지만 대부분의 공작기계에 공통적으로 적용할 수 있는 표준공정도 필요하다.

또한 재제조가 자원순환을 목적으로 하는 만큼 제조 과정에서 투입되는 자원과 배출되는 오염물질 등 환경영향 요인을 추적·관리할 수 있는 환경적 측면도 고려하여 기존의 유지보수 공정과 차별화할 필요가 있다.

4.2 공작기계 재제조 공정 개선 방안

공작기계 재제조는 단일 기능을 가지는 여러 재제조 부품들과 신규 부품들을 조립하여 복합적인 기능과 성능을 구현할 수 있는 새로운 제품을 만드는 공정이다. 이 과정에서 발생하는 폐기물과 새롭게 투입되는 자재와 부품, 그리고 각 공정에서 발생하는 환경에 영향을 미치는 요인들을 파악하기 위해 Fig. 4와 같이 표준공정도를 작성하였다.

재제조 범위 설정 단계에서 사용자가 요구하는 사양이 기존 사양과 다르다면 단순한 수정작업으로는 개선이 어려우므로 해당 유닛 전체를 교체

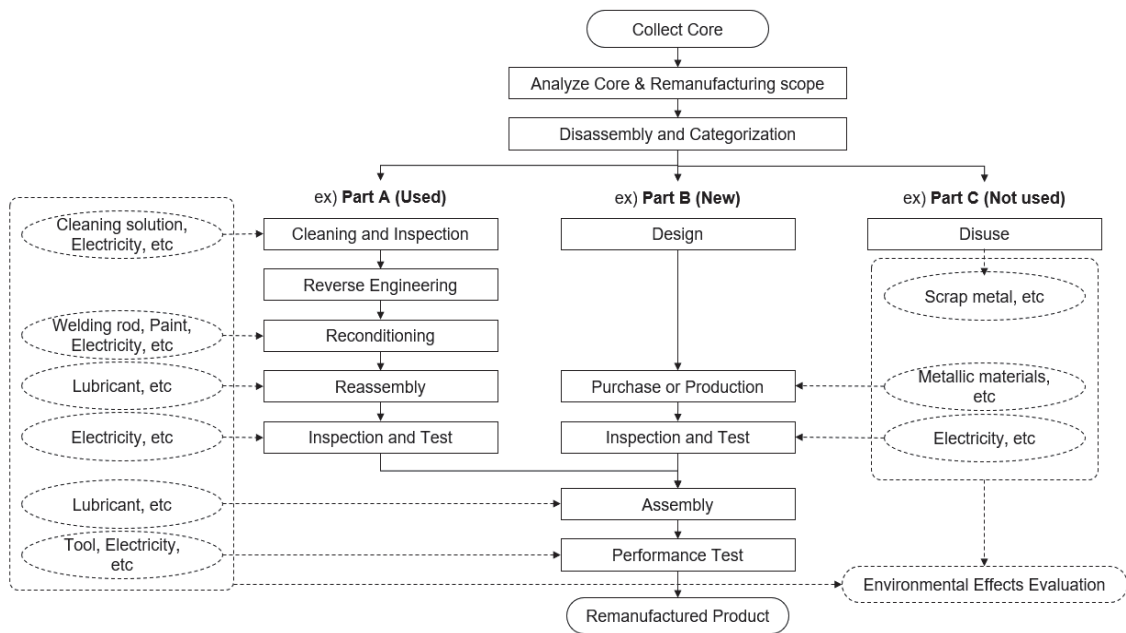


Fig. 4 Flow Chart for Machine Tools Remanufacturing

적용해야 한다. Fig. 4의 표준공정도는 공작기계 재제조 관련 선행 연구의 공정도와 작업 절차서를 기반으로, 각각의 품목별로 재제조 공정을 수행하고 각 공정의 결과를 조합하는 형태로 구성하였다. 이를 통해 제품의 업그레이드를 위한 추가 및 제거 품목을 표현할 수 있으며, 각 품목의 단위 공정별로 나누어 관리할 수 있다. 그리고 재제조 과정에서 환경에 영향을 줄 수 있는 요소들을 추가하였다. 이러한 요소들은 폐기, 세척, 용접 및 가공, 시운전, 부품 교체 공정 등에서 발생하며, 해당 항목은 세척 용액, 페인트, 전기, 용접봉, 공구, 시편, 추가 또는 교체되는 부품에 사용되는 재료 및 에너지 등이 있다. 각 단위 공정에서 투입물과 산출물을 선정하고 이를 관리하면 이후 각 공정에서 발생하는 탄소 배출량 등을 산출하는데 사용할 수 있다.

4.3 공정 개선 기대효과 및 고찰

기존의 일반적인 재제조 공정에 환경영향평가 절차를 추가함으로써 재제조 범위 및 제조공정에 따라 크게 변화할 수 있는 공정별 환경영향을 분석하여 그 영향을 비교할 수 있고, 그 결과를 환경규제에 대응할 수 있는 보고자료 작성에 활용할 수도 있다. 현재 여러 산업 분야에서 재제조 산업 활성화를 위해 정부 지원 사업이 추진되고 그 과정에서 해당 재제조 산업에서의 필요성과 효과를 뒷받침할 근거 자료가 요구되고 있으나 관련 데이터가 부족한 실정이다. 공작기계 재제조 산업의 활성화를 위해서는 가능한 많은 공작기계 재제조 사례에 대한 환경영향평가가 수행될 필요가 있으며, 이를 위해 재製조를 실제 수행하는 과정에서 관련 데이터를 수집하고 관리할 수 있는 프로세스가 필요하다.

5. 결론

본 연구에서는 공작기계 재제조 산업의 현황 및 특성을 국가연구개발사업 사례를 통해 분석하였고, 공작기계 재제조시 환경영향평가를 고려한 표준공정을 제안하였다. 본 연구의 결론은 아래와 같다.

- (1) 공작기계 재제조는 20~30년이 지난 제품을 코어로 사용하여, 하나의 완성된 기계로 상품화가 된다. 하지만 작은 시장 규모와 소비자 인식 문제로 사업화에 어려움이 있는 실정이다. 또한 원제품 이상의 성능을 위한 업그레이드 및 부품국산화 등으로 재제조의 범위가 넓고, 이를 통해 부가가치를 높일 수 있는 방향으로 진행되고 있음을 확인하였다.
- (2) 재제조의 주요 목적이 환경부하를 줄이기 위함이고 공작기계가 재제조의 범위가 넓은 만큼 동일 제품에서도 환경영향의 변화가 커지게 된다. 이를 위해 재제조 범위 검토 결과에 따라 각 품목을 분류하고, 환경영향평가 수행을 위한 데이터를 수집하는 공정을 추가하여 개선된 표준공정을 제안하였다.

본 연구에서 제안한 표준공정은 아직 기초적인 단계로 실사용을 위해서는 보완해야 할 부분이 많은 것으로 생각된다. 하지만 이러한 과정을 통해 공작기계 재제조 시의 환경영향 데이터를 확보하고 재제조 범위에 따른 차이를 체계적으로 분석한다면, 향후 환경규제 대응을 위한 데이터베이스 구축 및 관련 연구를 위한 기초 자료로 활용할 수 있을 것이다.

사 사

이 논문은 2023~2024년도 창원대학교 자율연구과제 연구비 지원으로 수행된 연구 결과임.

참고문헌

- [1] H. Y. Kang, Y. C. Kim, and I. S. Lee, "Current Status and Promotional Measures of Domestic and Overseas Remanufacturing Industry", J. of Korean Inst. of Resources Recycling, vol. 21, no. 4, pp. 3-15, (2012).
- [2] S. J. Park, W. H. Son, K. C. Lee, H. S. Mok, "Performance Improvement through the Remanufacturing Process Analysis of Industrial Hydraulic Pumps", J. of the Korean Society of Industry Convergence, vol. 23, no. 2, pp. 181-189, (2020).
- [3] C. G. Lee, J. H. Lee, H. H. Lee, M. H. Son, and D. Y. Lee, "A Study on Remanufacturing Technology of Commercial Diesel Engine Cylinder Block", Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 27 No. 4, pp. 383-390, (2018).
- [4] S. J. Hong, K. M. Jeong, J. H. Hong, J. H. Yun, and T. Hur, "Life Cycle Assessment on the End-of-Life Vehicle Treatment System in Korea", Transactions of KSAE, vol. 13, no. 6, pp. 105-112, (2005).
- [5] J. H. Ha, W. S. Woo, Y. H. Roh, and C. M. Lee, "A Study on the Development of Standardization Technology for Remanufacturing Process of Used Vertical Machining Center", J. Korean Soc. Precis. Eng., vol. 34, no. 8, pp. 517-524, (2017).
- [6] H. H. Song, "Introduction to International Discussion on Automotive LCA and Life Cycle Assessment of Greenhouse Gas Emissions of Passenger Vehicle in 2030", Auto Journal, vol. 45, no. 5, pp. 39-42, (2023).
- [7] H. H. Kim, "Climate Change and Life Cycle Assessment of Automobiles", Auto Journal, vol. 43, no. 5, pp. 23-27, (2021).
- [8] Research Report of the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP), "Vertical Machining Center Remanufacturing Technical Development", (2019).
- [9] Research Report of the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP), "Development of an IoT-based remanufacturing technology to extend life of decrepit lathe which can be directly applied for smart factory", (2023).
- [10] H. S. Mok, C. S. Jeon, C. H. Han, H. S. Kwak, and S. J. Park, "Development Methods of Remanufacturing Industry for Resources Recycle", Transactions of KSAE, vol. 17, no. 1, pp. 120-129 (2009).
- [11] S. W. Lee, J. H. Park, and M. S. Park, "Analysis of environmental Road and Greenhouse Gas Reduction Effects through LCA of the 4 Major Machine Tool Remanufacturing", Korean Journal of LCA, vol. 22, no. 1, pp. 15-21, (2021).

(접수: 2024.03.11. 수정: 2024.04.04. 게재확정: 2024.04.09.)