

플래너 밀러 재제조를 위한 역설계 및 마모 분석에 관한 연구

A Study on the Reverse Engineering and Wear Analysis for Remanufacturing Planner Miller

최두한¹, 공석환², 변정원³, 김태우⁴, 홍대선^{5*}

Doo-Han Choi¹, Seok-Hwan Kong², Jeong-Won Byeon³,
Tae-Woo Kim⁴, Dae-Sun Hong^{5*}

〈Abstract〉

The old machine tools that have been used for a long time cause both increase in defective rate and decrease in productivity compared to new machines due to wear and failure of their components. In order to improve productivity and quality of machined components through remanufacturing, it is necessary to analyze the wear and failure of major components of old machine tools. In this study, the process for reverse engineering is designed for the remanufacture of planner millers, which belong to a very large machine tool. Also, the suitability of the designed process is verified through the analysis of the selected remanufactured components. In the first step of the process, some major components of the aging planner miller are scanned using a 3D laser scanner. In the next step, reverse engineering is performed using the data obtained through 3D scanning. Finally, wear and failure analysis is performed by comparing the reverse engineering data with the scan data. As a result, this reverse design and wear analysis can complement the insufficient design database and reduce costs in the maintenance of remanufactured products.

Keywords : Planner Miller, Reverse Engineering, Wear Analysis, Remanufacturing, Machine Tools

1 주저자, 창원대학교 메카트로닉스연구원 전임연구원

1 Main Author, Research Institute of Mechatronics, Changwon National University, Researcher

2 창원대학교 메카트로닉스연구원 전임연구원

2 Research Institute of Mechatronics, Changwon National University, Researcher

3 창원대학교 창원산단제조업혁신인프라조성사업단 연구원

3 Manufacturing Innovation Infrastructure Development in Changwon Industrial Complex Center, Changwon National University, Researcher

4 창원대학교 메카트로닉스공학부 석사과정

4 School of Mechatronics Engineering, Changwon National University, Graduate Student

5* 교신저자, 창원대학교 기계공학부 교수

5* Corresponding Author, Department of Mechanical Engineering, Changwon National University, Professor

E-mail: dshong@changwon.ac.kr

1. 서 론

최근 전세계적으로 환경규제가 강화됨에 따라 기업에서는 산업 폐기물로 인한 환경오염을 감소시키고 자원을 재활용할 수 있는 친환경 생산기술에 대한 연구개발이 필수적으로 요구되고 있으며, 그 중 재제조 기술은 기업으로부터 관심을 받고 있다[1-2]. 재제조는 사용 후 제품이나 부품을 회수하여 분해, 세척, 검사, 보수·조정, 재조립 등 일련의 과정을 거쳐 원래의 성능을 유지할 수 있도록 만드는 것으로 수명이 다한 제품 및 부품을 재사용하므로 친환경적이다[3]. 재제조 기술을 기반으로 한 재제조 산업은 기존 제품이나 부품을 회수해 분해와 재조립을 거쳐 신제품 수준으로 만든 후 다시 판매하는 산업으로 해외 선진국들은 이미 활성화된 산업이다[4]. 국내 재제조 산업 환경은 매우 열악하며, 일부 업체를 제외한 대부분의 재제조업체들은 음성적으로 재제조를 하고 있다. 또한 국내 재제조업체는 그 수가 정확하게 파악되지 못하고 있으며, 국내 재제조업체의 재제조 기술 또한 선진국에 비해 어느 정도의 수준인지 정확하게 파악이 되지 못하고 있는 실정이다[5].

기계산업 전반에서 중추적 역할을 하는 공작기계는 노후로 인하여 매년 대량으로 폐기되며 폐기되는 과정에서 높은 비용이 발생하고, 자원의 낭비가 크다. 노후 공작기계는 재제조를 통하여 사용불능 상태의 공작기계를 신품 수준으로 만들거나 더 성능이 향상된 장비로 개량할 수 있으며 폐기물 발생으로 인한 환경오염, 자원 낭비 등의 문제를 동시에 해결할 수 있다[6]. 또한 재제조된 제품을 사용하는 소비자 입장에서는 높은 품질의 제품을 낮은 가격으로 사용할 수 있다는 장점도 있다[7]. 장기간 사용된 노후 공작기계의 재제조를 위해서는 제품의 도면이 요구되는데 국내 도입된 공작기계는 대부분 30년 이상되어서 재제조가 요

구되는 부품의 도면이 소실된 경우가 많다. 재제조부품의 도면을 갖추지 못한 경우 도면 확보를 위하여 역설계(reverse engineering)를 실시하며, 확보된 도면을 통하여 부품의 재제조를 위한 공정을 진행한다. 역설계란 도면이 존재하지 않는 대상물로부터 형상 정보를 획득하여 2D 또는 3D 도면제작, 모형제작 등을 함으로써 제품 생산 등에 활용하는 일련의 과정을 말한다. 기계산업에서 발전하기 시작한 역설계 분야는 레이저 스캐너의 출현으로 비약적인 발전을 하게 되었으며 건물이나 토목건축물의 변형 모니터링, 문화재 보존 분야 등으로 응용분야를 확장하고 있다[8].

오랜 시간 사용된 노후 공작기계의 경우 부품의 마모 및 파손으로 인하여 신규 설비에 비해 불량률 증가 및 생산성 감소가 발생된다. 특히 국내 사용되고 있는 공작기계는 대부분 도입 시기가 오래되어 주요 부품이 마모 및 파손이 발생했을 가능성이 상당히 높다. 재제조를 통하여 노후 공작기계의 정밀도 및 생산성을 향상시키고 가공품의 품질을 높이기 위해서는 재제조 단계에서 주요 부품의 마모 및 파손 검사가 필요하다. 파손의 경우 대부분 육안으로 검사가 가능하지만 마모의 경우 정밀한 검사가 요구되기 때문에 육안으로는 검사가 충분하지 못하다. 따라서 노후 공작기계의 재제조부품의 품질을 향상시키기 위해서는 정밀한 마모 검사 및 분석이 요구된다.

본 연구에서는 대형 공작기계인 플래너 밀러(planner miller)의 재제조를 위하여 역설계에 대한 프로세스를 설계하고, 선정된 재제조부품을 통하여 제안한 프로세스를 확인하고자 한다. 역설계가 요구되는 플래너 밀러의 부품은 3D 레이저 스캐너를 이용하여 스캐닝을 진행하며, 스캐닝을 통해 얻은 데이터로 역설계를 수행한다. 또한 재제조부품의 역설계 데이터와 스캔 데이터를 활용하여 마모 분석을 수행한다. 이러한 역설계 및 마모 분석은 부족한

설계 데이터베이스를 구축할 수 있으며 재제조 제품의 유지관리에 있어서 비용 절감을 꾀할 수 있다.

2. 역설계 방법

2.1 프로세스 수립

공작기계의 재제조부품 역설계를 위해서 Fig. 1과 같이 역설계 프로세스를 수립하였다. 역설계 프로세스는 재제조부품에 적합하도록 설계하였으며 총 5단계로 수립하였다. 1단계에서는 재제조부품을 3D 레이저 스캐너를 이용하여 3D Scanning을 진행한다. 2단계에서는 스캔 데이터를 이용하여 Segment를 수행하며, 3단계에서는 Segment 단계의 결과물을 이용하여 Alignment를 수행한다. 4단계에서는 Sketch를 수행하며, 마지막 단계인 5단계에서는 Sketch 단계에서 도출된 데이터를 바탕으로 3D Modeling을 수행한다[9].

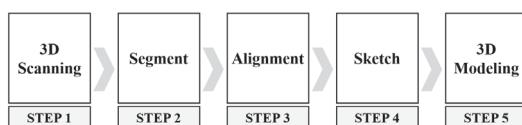


Fig. 1 Reverse engineering process

2.2 역설계 절차

역설계는 이미 완성되어 있는 완제품으로부터 형상 정보를 추출하는 기술로 3D 스캐너를 활용하기 전에는 기본적인 측정장치를 이용하여 사람이 직접 측정 데이터를 산출했으나, 3D 스캐너를 역설계에 활용하게 되면서 스캔 데이터와 역설계 전용 소프트웨어를 이용하여 모델링이 가능하게 되었다. 3D 레이저 스캐너는 레이저를 물체에 투

사하여 거리를 측정하고 물체의 형상이나 색상 정보를 디지털 정보로 전환하는 것으로 카메라와 같이 짧은 시간에 물체의 형상 정보를 정확하게 제공할 수 있다. 3차원 스캐닝은 물체 표면의 2차원 정보에 물체의 표면으로부터 거리 정보를 더하여 3차원의 기하정보가 샘플링된 점군의 형태로 물체를 스캐닝하게 된다[10].

Fig. 2(a)는 재제조 대상인 플래너 밀러로 6000mm(X-Axis)×2600mm(Y-Axis)×1400mm(Z-Axis)의 크기를 가지고 있어 대형물 스캐닝에 적합한 트래커타입 레이저 스캐너인 Creaform사의 MetraScan 750(Fig. 3(a))을 사용하였다. Fig. 2(b)는 플래너 밀러의 핵심부품인 스피드 유니트로 1940mm(W)×500mm(L)× 440mm(H)의 크기를 가지고 있어 핸디타입 3D 레이저 스캐너인 Creaform 사의 HandyScan 700(Fig. 3(b))을 사용하였다.

재제조를 위해서 스피드 유니트를 플래너 밀러에서 분해하였으며, 3D 스캐닝을 위하여 스피드 유니트를 부품 단위로 분해하였다. 분해된 부품은 램



Fig. 2 The object of remanufacturing

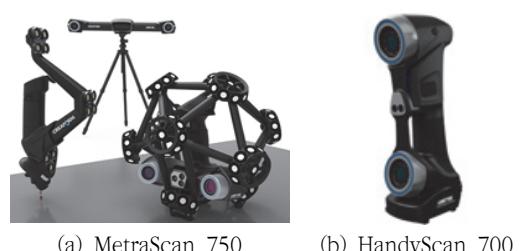


Fig. 3 3D Laser scanner

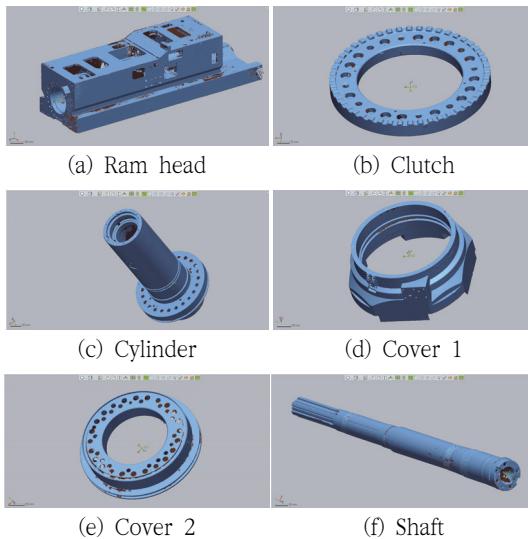


Fig. 4 Scan data of spindle unit

헤드(ram head), 클러치(clutch), 실린더(cylinder), 커버 1(cover 1), 커버 2(cover 2), 샤프트(shift)로 총 6개이며, Fig. 4는 분해된 부품을 3D 레이저 스캐너를 이용하여 스캐닝한 스캔 데이터를 나타낸다. 스캔 데이터는 형상 정보를 포함하지 않은 점군 형식의 STL 데이터로 형상의 표면 좌표점을 통해 크기, 치수 등과 같은 정보들을 얻을 수는 있다. 일반적으로 많이 사용되고 있는 3D CAD 프로그램은 점군 데이터만으로 원하는 크기, 치수 등과 같은 정보를 얻을 수 없어 스캔 데이터를 다루기 위해서는 전용 프로그램이 요구된다. 본 연구에서 취득한 스캔 데이터는 3D Systems사의 Geomagic Design X를 사용하여 부품의 역설계를 수행하였다.

3. 결과 및 분석

3.1 역설계된 플래너 밀러 재제조부품

Geomagic Design X를 이용하여 스캔 데이터

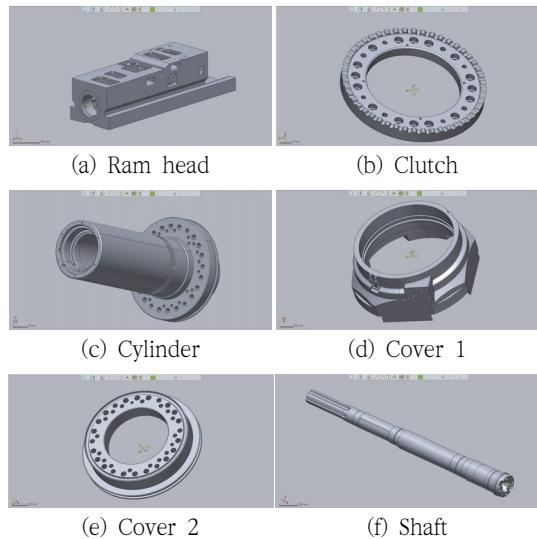


Fig. 5 3D modeling of spindle unit

의 Segment를 수행하는데 본 단계에서는 비슷한 속성을 가진 점군 데이터를 묶어 영역을 나누는 작업을 수행한다. 데이터 영역은 색으로 구분이 가능한데 동일한 색을 가지면 속성이 같음을 의미 한다. Segment 단계를 통하여 평면(Plane), 구(Sphere), 원기둥(Cylinder), 원추(Cone), 회전체(Revolve), 토러스(Torus), 자유면(Freeform) 등으로 속성이 구분한다.

Alignment 단계에서는 Segment 단계가 완료된 스캔 데이터로 작업을 수행하는데 본 단계에서는 기준 축을 스캔 데이터 쪽으로 이동시키는 작업을 수행한다. 스캐닝을 실시할 때 공간에 임의의 기준을 축으로 설정한 후 작업을 진행하므로 기준 축을 이동시켜 정렬하는 단계가 요구된다.

Sketch 단계에서는 Alignment 단계가 완료된 스캔 데이터의 임의의 면을 선정하여 스케치를 수행한다. 일반적으로 많이 사용되고 있는 3D CAD 프로그램은 선택된 면에 임의의 스케치를 하지만 역설계의 경우 선택한 면의 단면에 스케치한다는 차이점 있다.

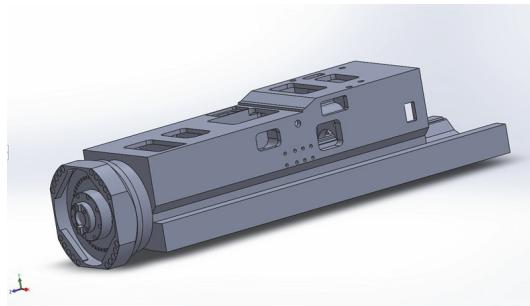


Fig. 6 Assembly model of spindle unit

3D Modeling 단계는 스케치 단계가 완료된 스캔 데이터를 기준으로 수행한다. 본 단계에서는 스케치 데이터를 솔리드 데이터로 만들어 주며, Fig. 5(a)는 램 헤드, Fig. 5(b)는 클러치, Fig. 5(c)는 실린더, Fig. 5(d)는 커버 1, Fig. 5(e)는 커버 2, Fig. 5(f)는 샤프트의 3D Modeling 결과를 나타낸다. Fig. 6은 스팬들 유니트 부품을 어셈블리 작업을 통해 취득한 모델링 결과를 나타낸다.

3.2 플래너 밀러 재제조부품의 마모 분석

마모 분석은 대상물의 설계 데이터인 3D 모델링 데이터를 기준으로 스캔 데이터를 정렬하여 마모된 정도를 분석한다. 따라서 마모 상태 분석을 위해서는 대상물의 3D 모델링 데이터와 스캔 데이터가 요구된다. 본 연구에서 다루는 플래너 밀러의 스팬들 유니트는 도면이 소실되어 3D 모델링 데이터가 부재한 상태이다. 3D 모델링 데이터 부재를 해결하기 위하여 3D 모델링 데이터를 역설계 데이터로 대체하였으며, 역설계 데이터와 스캔 데이터를 이용하여 마모 상태를 분석하였다. 마모 상태를 평가하기 위해서는 검사 전용 소프트웨어가 필요하며, 본 연구에서는 3D System사의 Geomagic Control X를 사용하여 마모 상태를 분석하였다.

Fig. 7은 램 헤드의 마모 상태를 분석한 결과이다. 마모량에 대한 기준을 0.5mm로 하여 컬러맵

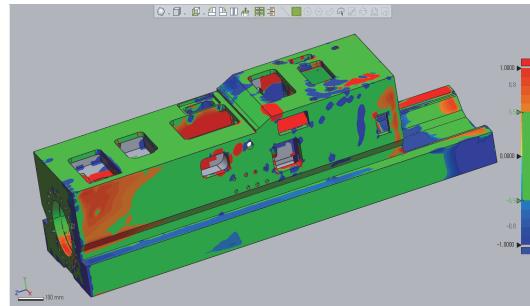


Fig. 7 3D inspection result of ram head

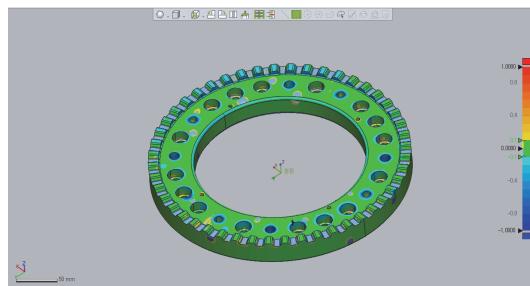


Fig. 8 3D inspection result of clutch

으로 표현했으며, 0.5mm를 초과하여 마모가 발생한 부분은 전체 체적의 28.9%로 나타났다. 전체적으로 슬라이드 면에서 마모가 많이 발생했음을 알 수 있다.

Fig. 8은 클러치의 마모 상태를 분석한 결과이다. 클러치의 경우 기계적 동작이 일어나는 부분이기 때문에 마모량에 대한 기준을 0.1mm로 하여 컬러맵으로 표현했으며, 0.1mm를 초과하여 마모가 발생한 부분은 전체 체적의 11.0%로 나타났다. 마모는 대체적으로 샤프트와 결합되는 부분에서 많이 발생했으며 클러치 외부는 마모가 거의 발생되지 않았다.

Fig. 9는 실린더의 마모 상태를 분석한 결과이다. 실린더의 경우 기계적 동작이 일어나지 않는 부분이기 때문에 마모량에 대한 기준을 0.3mm로 하여 컬러맵으로 표현했으며, 0.3mm를 초과하여 마모가 발생한 부분은 전체 체적의 3.7%로 나타났다. 전체

적으로 마모가 거의 발생되지 않았음을 알 수 있다.

Fig. 10은 커버 1의 마모 상태를 분석한 결과이다. 커버 1의 경우 기계적 동작이 일어나지 않는 부분이기 때문에 마모량에 대한 기준을 0.3mm로 하여 컬러맵으로 표현했으며, 0.3mm를 초과하여 마모가 발생한 부분은 전체 체적의 7.1%로 나타났다. 마모는 대체적으로 체결 부위에서 발생되었는데 기계적 동작이 없음을 감안하면 체결에 따른

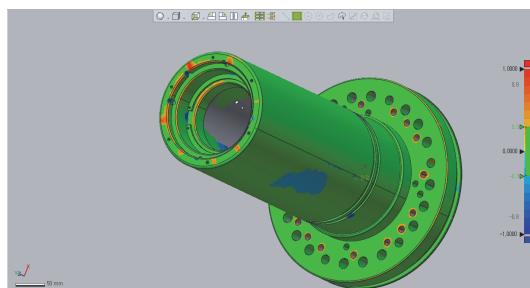


Fig. 9. 3D inspection result of cylinder

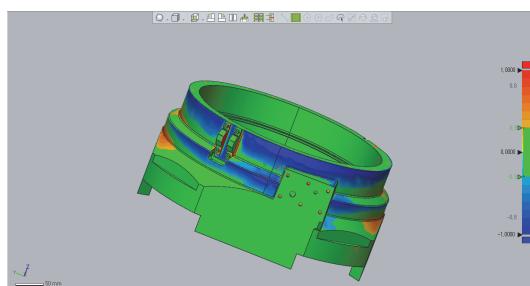


Fig. 10 3D inspection result of cover 1

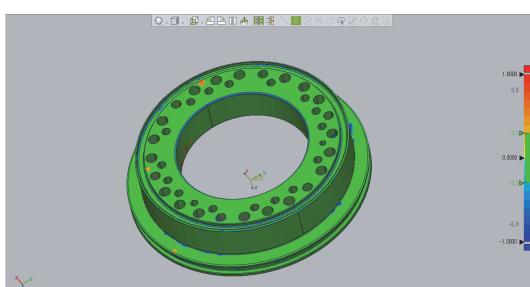
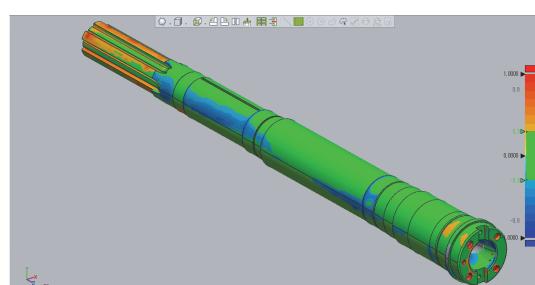


Fig. 11 3D inspection result of cover 2

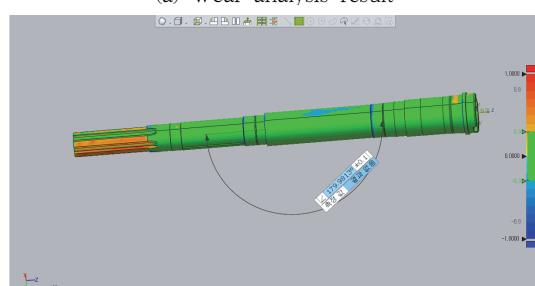
압착으로 인한 변형일 것으로 판단된다.

Fig. 11은 커버 2의 마모 상태를 분석한 결과이다. 커버 2의 경우 기계적 동작이 일어나지 않는 부분이기 때문에 마모량에 대한 기준을 0.3mm로 하여 컬러맵으로 표현했으며, 0.3mm를 초과하여 마모가 발생한 부분은 전체 체적의 5.1%로 나타났다. 마모는 대체적으로 체결 부위에서 발생되었으며 스플인들 유니트 부품 중 가장 적은 마모량을 보였다.

Fig. 12(a)는 샤프트의 마모 상태를 분석한 결과이다. 샤프트의 경우 기계적 동작이 많이 일어나는 부분이지만 베이링과 결합된 상태에서 회전 운동을 하기 때문에 마모량에 대한 기준을 0.3mm로 하여 컬러맵으로 표현했으며, 0.3mm를 초과하여 마모가 발생한 부분은 전체 체적의 9.7%로 나타났다. 마모는 체결 부위에서 다수 발생되었으며 전체적으로 적은 마모량을 보였다. 샤프트의 경우 회전 운동을 하는 부품이기 때문에



(a) Wear analysis result



(b) Torsion analysis result

Fig. 12 3D inspection result of shaft

축의 뒤틀림이 발생할 가능성이 높다. 축의 뒤틀림 여부를 확인하기 위하여 분석을 진행하였으며, 그 결과는 Fig. 12(b)와 같다. 뒤틀림 분석 결과 축이 0.02° 틀어져 있음을 확인하였다[11].

4. 결 론

본 연구에서는 장기간 사용된 노후 플래너 밀러 부품을 3D 레이저 스캐너를 통해서 역설계하고 확보된 데이터를 통해 마모 분석을 수행하였다. 재제조부품의 역설계를 위하여 프로세스를 수립하였으며, 플래너 밀러에서 분해한 부품으로 역설계를 진행하여 프로세스를 확인하였다. 역설계 프로세스를 적용하여 플래너 밀러 부품인 스플린 유니트의 역설계를 진행하였으며 역설계가 가능함을 확인하였다. 역설계로 확보된 3D 모델링 데이터와 스캔 데이터의 통하여 마모 분석을 실시하였으며, 총 6개의 부품에 대한 마모량을 확인하였다. 동일한 유닛의 부품이지만 마모 발생 정도는 차이가 있었으며 가장 많은 마모가 발생한 램 헤드의 경우 마모가 전체 체적의 28.9% 발생했음을 확인하였다. 회전 운동을 하는 샤프트의 경우 축의 뒤틀림 분석을 진행하였으며 축이 0.02° 틀어져 있음을 확인하였다.

재제조부품을 대상으로 3D 스캐닝 기술을 활용하여 역설계와 마모 분석이 가능함을 확인했으며, 제안된 공작기계 재제조를 위한 역설계 프로세스는 노후된 공작기계의 재제조에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 2022년도 산업통상자원부의 재원으

로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다(No. 20206310200010).

참고문헌

- [1] W. S. Woo, and C. M. Lee, "Trend for latest machine tool remanufacturing industry and technology," Proceedings of the KSPE Conference, pp. 31-32, (2017).
- [2] I. H. Park, S. S. Seol, J. W. Byeon, J. H. Cha, and D. S. Hong, "3D scanning of a planner miller for remanufacturing using a reverse engineering," Proceedings of the KSPE Conference, pp. 432-432, (2021).
- [3] H. S. Song, D. H. Jung, C. H. Sung, M. H. Shon, and E. K. Kim, "Study on improvement of remanufacturing process of the alternator stator and rotor for automobile," Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, vol. 26, no. 5, pp. 494-502, (2017).
- [4] S. K. Youm, and K. S. Shin, "Imaging inspection systems for the remanufacturing industry," Proceedings of the KIICE Conference, pp. 574-575, (2021).
- [5] H. S. Mok, C. S. Jeon, C. H. Han, M. J. Song, B. S. Park, H. S. Kwak, and S. J. Park, "A study on remanufacturing industry for automobile parts," Transactions of the Korean Society Automotive Engineers, vol. 16, no. 6, pp. 184-191, (2008).
- [6] S. W. Yoo, J. H. Lee, C. M. Lee, and D. H. Kim, "A study on the thermally stable design of a worn lathe spindle for remanufacturing," Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, vol. 31, no. 1, pp. 48-54, (2022).
- [7] 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).
- [8] S. B. Lee, S. C. Auh, and Y. H. Kim, “A study on reverse engineering method of stone cultural assets by 3-dimensional laser scanning surveying” Proceedings of the KSIS Conference, pp. 111-112, (2014).
- [9] T. W. Kim, I. H. Park, E. J. Ha, S. H. Kong, D. H. Choi, and D. S. Hong, “A design of the remanufacturing process for the main frame and the tool magazine of planner millers using 3D scanning and reverse engineering,” Proceedings of the KSPE Conference, pp. 323-323, (2022).
- [10] H. G. Ryu, and S. J. Kim, “Implications deduction through analysis of reverse engineering process and case study for prefabrication and construction of freeform envelop panels,” Journal of the Korea Institute of Building Construction, vol. 16, no. 6, pp. 579-585, (2016).
- [11] E. W. Lee, “Advanced remanufacturing of industrial machinery based on domestic CNC and building infrastructure for remanufacturing industry,” Progress Report, (2021).

(접수: 2022.10.31. 수정: 2022.11.23. 게재확정: 2022.11.30.)