



FOM을 활용한 문형 오면가공기계의 가공 리드타임 단축 연구

이남은^a, 장선준^b, 김수영^{a*}

Study on Reduction of Machining Lead Time of Double Surface Machining Machine using FOM

Nam Eun Lee^a, Seon Jun Jang^b, Su Young Kim^{a*}^a Department of AI Smart Factory Convergence Engineering, Hoseo University^b Division of Mechanical and Automotive Engineering, Hoseo University

ARTICLE INFO

Article history:

Received	8	April	2023
Revised	10	May	2023
Accepted	23	May	2023

Keywords:

FOM(smart-factory operation management)
4M data analysis
Machining lead time
Machining innovation

ABSTRACT

The digital transformation of small and medium enterprises is necessary for the improvement of quality and productivity through the collection and analysis of manufacturing data and to improve delivery compliance for competitiveness. For example, it implements a smart factory operation management solution by analyzing data to reduce long lead times in machining processes and efficiently operate machines in manufacturing large vacuum chambers. The improvement effect is improved after the loss reduction for the long processing lead time of the processing machine. Therefore, many processing companies that manufacture small quantities of small items must achieve the process optimization of custom-made products and continuously promote activities to improve productivity, cost reduction, the total lead time, and profitability through fast manufacturing-level smart factory data flexibility.

1. 서론

최근 ICT와 스마트폰 등의 영향으로 세상이 급속히 변화하고 있다. 제조업에 있어서의 현장에서도, 디지털 기술의 발전이나 향후의 DX(디지털전환, digital transformation) 추진 등에 주목하여 향후의 방침 등을 결정해 가는 것이 중요하다^[1].

최근, 중소기업에 있어서 DX(디지털 트랜스포메이션)를 추진함으로써 업무의 편리성과 생산성 등의 변화가 일어나 제조 경쟁력 등을 유지할 수 있기 때문이다. 다시 말하면 중소기업현장의 DX 도입은 생산성을 향상시킬 뿐만 아니라 새로운 고객 가치를 창출하기 위한 무기가 된다. 그러나 도입이 좀처럼 진행되지 않고, 생각하는 결과가 나오지 않는 등 국내의 많은 중소기업이 DX

추진에 고민이 많은 것이 현실이다.

한 가지 기계가공시간이 많이 걸리는 중소기업에서 생산성을 향상시키려면, 가공기계의 관리가 중요하다. 특히 지속적으로 치열해지는 환경에서 제조경쟁력을 확보하려면 기존 가공기계의 운영 효율화에 따라 결국 비용절감을 통해 수익성을 더 창출할 수가 있다.

중소기업 S사는 대형 진공 챔버를 제조하는 전문기업으로, 현재 ERP와 MES를 함께 운영하고 있으나 공정의 수집, 관리 및 분석을 처리, 생산성 향상에 저해 요인(비가동, 불량, 부적합)이 되는 가공 리드타임이 긴 요인을 항목별로 다차원 분석하여, 문제해결, 개선실행을 거쳐 가공 리드타임을 20~30% 줄이고자 한다^[2].

또한 생산 메커니즘으로 인한 보이지 않는 비용의 주요 원인은

* Corresponding author. Tel.: +82-2-3473-5336

E-mail address: df2030@hoseo.edu (Su Young Kim).

생산 시작 후 계획된 변경이며, 가공 리드타임을 줄여 전체 제조 리드타임을 단축하는 것은 이러한 계획 변경을 줄이는 효과적인 수단이다. 이를 알아차리고 짧은 리드타임으로 제품을 만들 수 있는 시스템을 구축한다면 갑작스러운 사용자 계획의 변화에 대응할 수 있는 확정적인 계획으로 제품을 제조할 수 있고, 현재 도처에서 발생하고 있는 보이지 않는 비용을 획기적으로 줄일 수도 있을 것이다.

결국 가공 리드타임을 줄이는 것은 생산량을 향상시키기 위해 기계 가동 중지 시간 및 불량률을 줄임으로써 생산량을 늘리려는 노력, 즉 “전반적인 기계 효율”을 향상시키는 활동이다.

생산성이 낮은 생산 라인에는 종종 병목 현상이 발생한다. 병목 현상 프로세스는 생산 라인에서 특히 오랜 시간이 걸리거나 생산 능력과 작업 효율성이 좋지 않은 프로세스이다. S사를 사례로 검토해 보니 가공공정과 용접공정인데, 그중 가공공정의 병목 현상을 제거함으로써 생산 라인이 원활하게 흐르고 전체 라인의 리드타임을 줄여 생산성을 향상시킬 수 있다.

스마트팩토리 운영관리(FOM, smart-factory operation management) 솔루션은 제조 공정에서 발생한 4M data를 활용하여 공정 별로 발생하는 여러 가지 생산성 손실요인들의 분석을 수행하고 문제점에 대한 원인분석 및 여러가지 개선 방안을 시뮬레이션으로 검증하여 최적의 방안과 생산성 향상 효과를 예측하며 기존작업의 손실을 줄여야 한다^[3].

MES를 통해 수집된 제조 공정 data를 수집하고 분석할 수 있는 data 관련 솔루션의 도입이 중소 제조 기업의 생산성 향상을 위해 절실하다. 특히 치수 및 공차 변화 요인이 많고 복잡하며, 후 공정에 비해 불량률이 높은 공정을 개선할 수 있도록 기계설비 운영 data, 운영 통합 data 등의 공정 관리에 필요한 data 분석시스템이 필요하다^[4].

제조 공장은 매일 뿐만 아니라 생산성 향상을 위해 노력하고 있다. 제조 산업에서는 매년 가격이 개정되고 판매 가격이 기본적으로 인하된다. 제조비용을 줄이지 않으면 이익은 계속 감소할 것이며 제조회사의 이익을 높이려면 총 리드타임을 줄여, 생산성 향상이 필수적이다.

매년 고객사로부터 수주가격이 만약 다운된다면 그 이상으로 비용절감을 해야 한다. 비용절감효과(이익증대 일부)를 얻기 위해서는 비용절감을 하지 않을 경우, 매출을 4배 이상 증대시켜야 하므로 비용절감을 하려면 꾸준히 가공기계의 가공 리드타임 단축 등 생산 효율성을 올리는 것이 지름길이다^[5].

본 연구에서는 FOM 솔루션을 적용하여 고객의 니즈에 맞춰 소품종 소량의 프로젝트형 제조를 수행하는 중소기업형 data 기반 사례를 분석하고 검증하여 가공 및 제조 리드타임 경쟁력을 향상시키기 위해 병목, FOM 솔루션 운영인자를 포함한다. 따라서 텍

트타임과 사이클타임인자도 포함하는 넓은 의미의 리드타임으로 정의하고 효율 향상을 위한 연구를 진행하고자 한다.

2. 스마트팩토리 공장운영관리(FOM) 시스템

기초 수준의 스마트팩토리를 구축하여 시스템 활용이 미흡한 중소 제조 기업은 제조공정관리용 IT(information technology), AT(automation technology), OT(operation technology)를 기반으로 제조의 핵심 요소(4M)가 유기적으로 가동될 수 있는 지능형 신생산시스템(meta intelligence-new production system, MI-NPS) 기술이 적용되어야 한다^[6].

본 연구에서 사용하는 FOM 솔루션은 제조 공정에서 수집한 data로 부터 생산운영 관리 목표 및 생산성, 비가동, 불량, 부적합에 대한 세부 원인분석을 하여 개선 대책을 도출하고 개선 방안의 전후 생산 시나리오에 대한 data 시뮬레이션 결과를 비교분석하여 개선 전과 후의 효과를 비교하며 최적의 문제 해결 방법을 제시함으로써 중소기업의 특성상 수시로 변화에 대응하는 제조환경의 변화관리가 가능하다^[2].

아래 2.1절에서는 FOM 솔루션을 적용하여 분석하는 프로세스를 설명한다.

2.1 FOM 솔루션 적용한 분석 프로세스

본 연구에서 적용한 FOM 솔루션으로 data를 분석하려면 현장에서 수집한 data를 FOM-logic/algorithm으로 전처리하고 FOM에서 요구하는 CSV(comma separated value) 파일형식으로 변환하여야 한다. 이 data는 제조일자 별로 공정, 작업자, 설비, 제품, 계획 및 실적, 비가동, 불량 등으로 구성된 19개의 변수를 갖는 실적정보관리(manual qpr)와 불량(manual reject), 부적합(manual abnormal), 비가동(manual downtime), 한도설정(manual limit) 및 단가(manual cost)의 6종류 파일로서 FOM 솔루션 적용하여 생산성, 비가동 등의 관리지표를 분석하기 위하여 사용된다.

FOM 솔루션을 적용하여 data를 분석하여 문제 요인을 도출하고 개선 data를 적용한 결과와 비교 분석하는 프로세스는 아래 Fig. 1과 같다.

이러한 코드별 분석 결과를 개선 전과 개선 후의 data에 대해

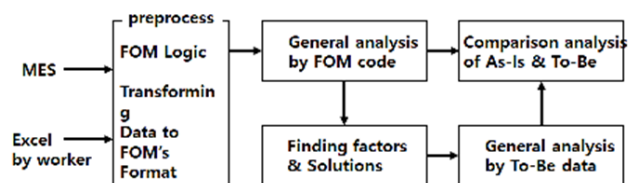


Fig. 1 Data acquisition & analysis sequence of FOM solution

수행하고 두 결과를 비교 분석함으로써 4M에 대한 변화관리가 가능하다^[7]. 변화 관리는 적용 사례 기업과 같은 프로젝트형 주문제작을 수행하는 제조현장에서는 동일한 공정이 작업자에 따라 발생되는 품질 차이를 파악하고 관리하여 품질을 높일 수 있는 방안이 될 수 있다. 또한 기계별 고장, 가공 리드타임과 같은 가동률에 영향을 미치는 요인을 파악하고 대응할 수 있도록 한다.

3. 문형 오면가공기계의 사례 연구

3.1 4M data 및 FOM 솔루션 적용 분석

반도체용 진공 챔버는 단일 유닛 형태로 소재 절단부터 가공 및 검사 완료까지 제작기간이 20일 가량 소요되며, 일체형 원재료를 오면 가공 기계로 가공함으로써 생산성 향상을 위한 공정개선이나 가공 리드타임 줄이기가 쉽지 않다.

이와 달리 대형 진공 챔버는 고객의 요구 규격에 따라 여러 개의 분할 유닛으로 구성되고 소재 가공, 1차 1.5차 2차가공, 용접, 변형 보정, 사상, 검사 등과 같은 복잡한 공정을 통해 제조하므로 품질을 확보하기 위해 숙련된 작업자의 경험과 지혜에 의존한다. 그러나 이러한 품질 확보 방법은 data 기반의 스마트팩토리를 구축하고 생산성을 향상시키는데 장애요인이 되며 공장운영관리 관점에서도 세부 가공 공정 방법의 차이만 있을 뿐 큰 공정흐름에서는 동일하다.

본 연구에 적용한 S사는 대형 진공 챔버 제작 과정의 가공 기계별 생산 현황, 가동률, 기계 비가동 등과 같은 전체 제조 현황 파악이 어려우며 제품에 문제가 발생하였을 경우에 작업 일시, 작업자, 가공기계 등의 생산이력 조사가 불가능하다.

Fig. 2의 제조공정 흐름도에 따라 대형 챔버를 가공하는 경우, 외주에 발주한 소재가 가공되고 부품 창고에 입고된 시점부터 제품을 완성하여 출하하는 데까지 평균 60일의 리드타임이 필요하나, 1차, 1.5차, 2차 기계가공은 평균 25일의 리드타임이다. 가공 월간 프로젝트 실적 및 기계별 가동률 등을 집계하고 분석하기 위하여 약 16시간, 이 자료를 기준으로 경영자에게 보고하기 위한

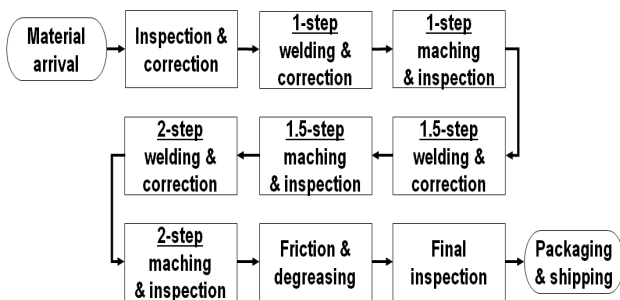


Fig. 2 Manufacturing process of vacuum chamber

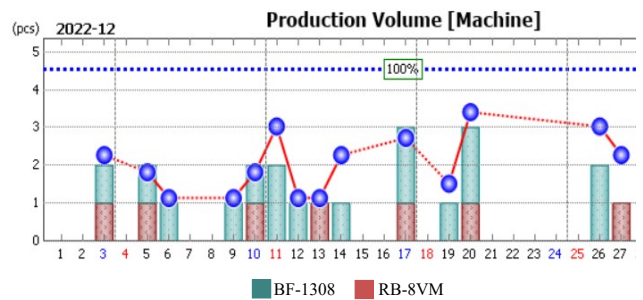


Fig. 3 Production achievement rate of machine

실적 보고서 작성에 8시간이 소요되고, 이와 별도로 해당 월에 발생한 부적합과 조치결과 data를 평균 3~4시간을 투입하여 정리하여 프로젝트별 월간 불량 및 조치 실적 보고서에 8시간을 투입하고 있다.

이런 상황 속에서 대형 진공 챔버의 크기에 대한 확대 요구, 6세대가 8세대로 전환되고 있으며, 크기의 변화는 전체 제조 리드타임의 40% 이상을 차지하는 가공 공정(1차+1.5차+2차 가공)의 리드타임을 크게 증가시키게 되므로 제조 흐름의 병목(bottle neck) 공정에 해당된다.

본 연구에 사용한 제조 공정별 특정 기간 data는 수기로 입력되어 가공기계별 생산 달성도, 가공리드타임, 비가동시간에 대해서 분석하였다.

2022년 12월 제품 생산 계획은 67시간이었으나 생산 실적은 23시간으로 생산량 달성율 34.3%를 보였으며, 가공 기계별로 분석하면 아래 Fig. 3에 보는 바와 같이 가공 공정에 사용되는 BF-1308 #2번(청색) 기계 47.1%이며 RB-8VM #3번(적색) 기계는 21.2%로서 개선이 시급하다. 현재 대형 진공 챔버의 가공에 소요되는 시간(리드타임) 중에서 1차, 1.5차, 2단계 가공 공정이 전체 일정의 40%를 차지하며 가공 기계의 가공 리드타임이 낮다는 것은 효율적인 기계 운용을 하지 못하여 공정 투입 시간이 길다는 것이다. 따라서 리드타임의 요소중에서 가공 공정을 단축시켜야 한다^[8].

작업자별 생산 실적을 분석하면 Fig. 4와 같이 5명 가운데 3명의 작업자가 1.5% 이하의 생산실적을 달성하고 있으며, 특히 G.Kim(청색)과 D.Jang(녹색)은 3.51%미만의 실적을 보이고 있다.

또한 비가동률 분석을 통해 제품별, 가공 기계별, 작업자별 및 요인별 비가동에 대한 4M을 상세 분석하여 작업 계획 917.6시간의 8.3%인 76.3시간이 비가동임을 확인하였다. 가공 기계의 비가동을 유발하는 주요 요인으로는 Fig. 5의 비가동 분석 결과와 같이 stop-by-plan(계획정지, 가공기계 이상에 의한 정지 포함) 1% 등 비가동 시간 합이 8.3%를 차지했다.

이 요인들은 리드타임 요소 중에서 공정별 가공 기계 운용 효율에 직접적 영향을 주므로 주야간 교대 작업으로 하루 약 20.5시간을 가공 공정에 투입하고 있음에도 실질적인 기계 가동률은 평균

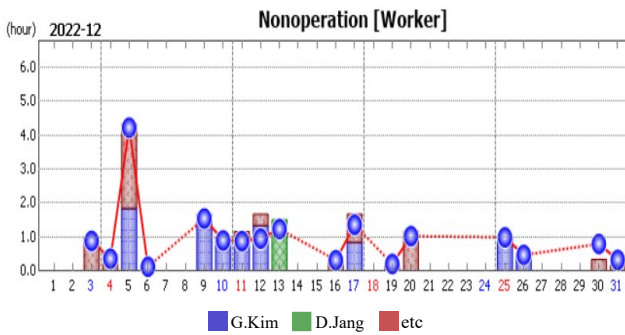


Fig. 4 Production achievement rate of worker

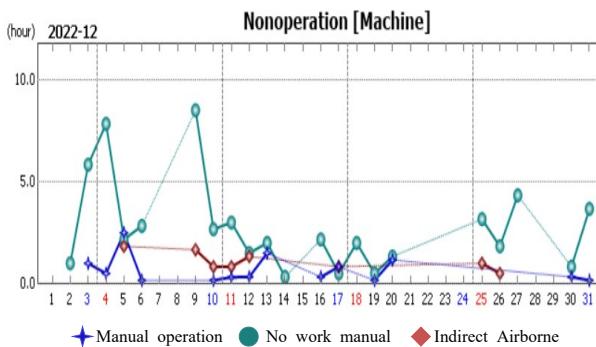


Fig. 5 Non-operation rate by factors

50% 이하이다.

따라서 발생 요인별 비가동 시간을 줄이거나 제거하여 가공기계의 택트타임을 줄여주면 가동율이 올라가고 생산성을 향상시킬 수 있을 것으로 예측한다.

3.2 FOM 솔루션의 개선 전 후 효과 분석

FOM 솔루션의 비교분석은 4M data의 생산 프로세스의 개선을 통한 최적의 조건을 도출하도록 했다.

기존방식에서 도출된 결과를 바탕으로 개선실행 방안을 수립하며, 제조 현장/가공공정 리드타임에서 로스에 해당하는 공정을 중점 개선하여 비가동 시간 8.3%를 7.5%로 단축 하였다. 개선 전 data를 기반으로 비가동 요인인 계획정지는 가공 기계 고장에 따른 정지 시간을 최소화하고 공구 교환 및 준비 교체 시간을 개선하여 단축하고, 셋업은 소재 고정용 치구 작업 방법과 주축의 가감속 시간 조정 방법을 개선 단축하였다. 비가동 누락은 비가동 항목을 세분화하여 작업자가 입력하기 용이하도록 하여 개선했다. FOM 시뮬레이션으로 생산 달성률 및 비가동을 code별로 분석하고 개선 전 결과를 비교하여 Fig. 6과 같이 요인별 비가동율 7.5%, 유작업공수 중에 셋업(클램핑, 스톱퍼, 원점)의 비가동율은 0.7%, 수동가공 비가동율은 0.1%, 무작업공수 중 작업대기(소재대기, 크레인대기)의 비가동율이 0%

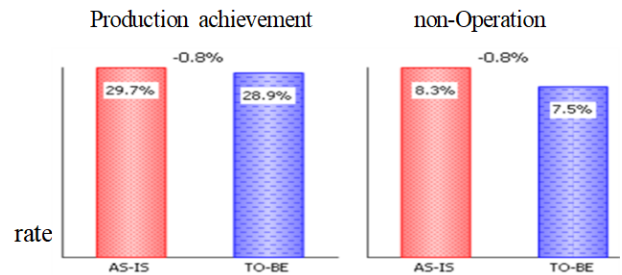


Fig. 6 Enhanced result by simulation of To-Be scenario

로 개선되었다.

4. 결론

본 연구에서는 프로젝트형 극소량 제조를 하는 중소기업 S사의 4M data를 사례로 분석 및 검증 하였다. 수집된 data를 취합하여 전처리하고 FOM 솔루션을 적용하여 종합적인 생산실적, 가공 택트타임, 비가동 등의 data와 4M 기반의 통합적인 관리 분석을 수행하였다. 6세대 챔버 2차가공의 리드타임 개선후 FOM분석을 보면 지난 12월 설비 비가동율 8.3%, 안산공장 BF-130B 2호기 비가동율 3%, BF-130B 1호기 비가동율 18%, RB-8VM 3호기 비가동율 3.2% 이다. 1월에는 설비 비가동율 2.8%, BF-130B 2호기 비가동율 2.7%, RB-8VM 3호기 비가동율 2.9% 이다.

그래서 작년대비 가공 리드타임이 5.5%가 줄어들었다. 비가동 요인 항목을 세분화하여 data를 분석, 문제해결, 개선실행이 필요하나 개선실행에는 돈이 들어가는 개선실행부분도 투자해서 집행한다면 가공 리드타임은 현저히 감소된다고 생각한다. 비가동 시간 단축으로 인한 짧은 사이클 타임은 다른 회사를 압도하는 경쟁력과 리드타임 효율을 높이는 방법이 될 수 있다⁹⁾.

즉, 기계 비가동요인의 가시화, 기계정지의 로스 감소, 기계가동율의 향상으로 생산성 향상, 생산효율성 증가, 가공리드타임 단축, 가공기계 작업방법 개선, 기종교체 준비시간 단축이 가능하며 6세대 진공챔버의 경우에는 가공기계의 리드타임 단축, 생산성 향상으로 추가 오더를 받을 수 있으며, 8세대 진공챔버의 경우에는 협력업체의 참여가 없이도 기존 Capa.로 제작이 가능하게 된다. 즉, 빠른 가공은 단지 가공 리드타임을 단축하는 것이 아니다. 공작물을 쉽게 고정할 수 있도록 하여 공작물 교체시간을 최대한 단축하거나 기계가 작동하는 동안 다른 기계를 순차적으로 교체하는 등 독창성의 여지가 있어 생인화가 가능하고 또한 2교대가 1교대로 가능하다고 생각한다.

본 연구를 기반으로 프로젝트형 제조 현장의 가공공정 최적화 연구를 계속한다면 data 기반으로 관리되는 스마트한 공장 운영과 기업의 생산성을 보다 향상시킬 수 있는 기반을 조성할 수 있을

것이다^[10].



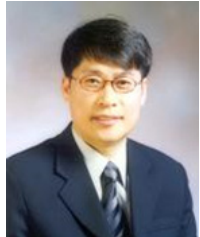
후 기

이 논문은 중소벤처기업부 ‘중소기업연구인력지원사업’의 재원으로 한국산학협회(AURI)의 지원을 받아 수행된 연구임. (2023년 기업연계형연구개발인력양성사업, 과제번호: RS-2023-00259258)

References

- [1] Salesforce, 2022, viewed 30 May 2023, How Small Businesses Can Succeed With Digital Transformation, <<https://www.salesforce.com/kr/hub/business/small-business-dx/>> .
- [2] Kim, J. H., Kim., S. Y., 2021, Productivity Analysis Method based on Manufacturing Big-data using the FOM System in the FOMs Package, J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng., 30:4 259-268, <https://doi.org/10.7735/ksmte.2021.30.4.259>.
- [3] Kim, S. Y., 2015, Study of Digital Factory FOM Solution on Software-based : Applied Case to Heat-Treatment Company, Korean Institute of Industrial Engineers, Spring Joint Conf., 2855-2863.
- [4] Kim, J. S., Cho, W. S., 2015, Data Analysis of 4M Data in Small and Medium Enterprises, Journal of the Korean Data and Information Science Society, 26:5 1117-1128, <https://doi.org/10.7465/jkdi.2015.26.5.1117>.
- [5] ProSharing Consulting, 2019, viewed 30 May 2023, Points for Reducing Lead Times ~Thoughts Needed for Proper Production Planning~, <<https://circu.co.jp/pro-sharing/mag/article/3057/>>.
- [6] Kim, S. Y., Song, M. K., 2014, Application of MI-NPS Digital Factory Methodology for Production Ability Improvement and Optimal Layout Design : Applied Case to Vehicle Shaft Manufacturing Line, Productivity Review, 28:1 47-73, <http://doi.org/10.15843/kpapr.28.1.201403.47>.
- [7] Oh, S. S., Yang, H. S., Bae, B. S., Kim, S. Y., 2021, Application of FOM Methodology for 4M Optimization Based on the Data of Manufacturing Process of Mechanical Parts, J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng., 30:6 456-464, <https://doi.org/10.7735/ksmte.2021.30.6.456>.
- [8] Lee, J. Y., 2015, A Study on Lead-time Reduction Based on Advanced Planing and Scheduling(APS) System, Master thesis, Hanbat University, Republic of Korea.

- [9] Cho, D. H., Lee, J. S., Lee, K. W., 2018, A Case Study of Setup Time Reduction in an Injection Process Using SMED Technique, Journal of the Korean Society of Facility Management, 23:3 5-17.
- [10] Kim, J. D., Song, Y. W., Cho, W. S., 2016, The Usage Needs and Adoption Intention of Manufacturing Big Data Technology in Small and Medium-sized Manufacturing Companies, Korean Corporation Management Review, 23:5 47-68.

	<p>Nam Eun Lee Graduate Student in Department of AI Smart Factory Convergence Engineering, Hoseo University. His research interest is FOM (smart-Factory Operation Management) with AI. E-mail: leenameun00@naver.com</p>
	<p>Seon Jun Jang Associate Professor in Division of Mechanical and Automotive Engineering, Hoseo University. His research interest is Vibrational Energy Harvesters and Wave Energy Converters. E-mail: mweagle@hoseo.edu</p>
	<p>Su Young Kim Professor in Department of AI Smart Factory Convergence Engineering, Hoseo University. His research interest is Applications of FOMs (smart-Factory Operation Managements). E-mail: df2030@hoseo.edu</p>