



FOM-Tool Monitoring 활용 절삭공구 최적 교체 주기 설정으로 손실비용 저감

장재훈^a, 장선준^b, 김수영^{a*}

Reducing the Loss Cost by Setting the Optimal Replacement Cycle for Cutting Tools using FOM-Tool Monitoring

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

ARTICLE INFO

Article history:

Received	8	April	2023
Revised	15	May	2023
Accepted	18	May	2023

Keywords:

FOM(smart-factory operation management)

Data file set

QPR(quick plan result)

Tool monitoring

Daq(data acquisition)

ABSTRACT

In precision machining, the condition of cutting tools deteriorates the product quality, defect rate, and productivity. Most small- and medium-size enterprises set the cutting tool replacement cycle through experience; however, this significantly differs from the actual number of tool replacements. To solve this problem, in this study, based on tool replacement data, FOM-Tool Monitoring, a smart factory operation management system, was used to perform 4M multi-dimensional analysis to analyze Min-Max and deviation in the number of times of tool use. The tool load waveform trend was also analyzed to verify the suitability of replacement, optimal replacement cycle, and conduct verification.

1. 서 론

1.1 연구목적 및 배경

4차 산업의 화두인 스마트공장구축이 빠르게, 다양한 산업 분야로 확산 되고 있다. 중소기업에서도 경쟁적으로 스마트팩토리에 동참하고 있다. 스마트공장은 제조현장의 데이터 기반으로 생산성 저해요인 즉 비가동 및 불량률 제거하며 부가가치를 창출하는 공장이다.

본 연구에 참여한 S사와 같이 자동차 부품을 절삭가공 하는 회사의 경우 비가동 및 불량률에 가장 많은 점유율을 보이는 것은 바로 절삭공구이다. 절삭공구의 상태는 제품의 품질과 불량률에 큰 영향을 미친다^[1]. 그러므로 공구 마모에 따른 교체 주기를 이해하는

것은 제품뿐만 아니라 설비 및 공정을 이해한다는 것이다. 경험이 많은 숙련자들은 가공할 때 발생하는 소음, 진동, 그리고 가공 부위 제품의 표면 상태, 육안 검사 등으로 교체 시점을 판단하여 교체하고 있다. 이러한 경험치 데이터를 기준으로 공구 수명을 설정 표준화하여 운영하고 있다. 그러나 실제 공구 교체 이력 데이터를 분석해보면 설정된 수명과는 많은 차이를 보인다. 공구 수명은 설비상태, 공구 상태, 작업제품 상태, 그리고 작업자 숙련도 등이 변수가 적용된다. 이러한 현상 때문에 실제 현장에서는 경험치와 일부 데이터를 기반으로 강제 교체 주기를 설정하여 운영하고 있으나 설정된 강제 교체 주기의 적합성 검증이 없을 뿐만 아니라 강제 교체 주기보다 짧은 교체할 때 적합성을 검증하여야 하나 중소기업 실상에서는 어려운 일이다.

* Corresponding author. Tel.: +82-70-8600-5336

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

이러한 문제를 해결하고자 본 연구에서는 절삭 작업 공정에서 발생한 공구 교체 이력을 기반으로 스마트공장운영관리 시스템인 FOM(smart-factory operation management) 솔루션을 활용하여 공구 명칭과 설비, 제품별 절삭공구 사용회수와 교체 시점에 대한 트렌드를 분석하고 Min-Max 및 편차를 파악하여 공구 부하 파형 분석 대상을 선정하고 선정된 대상을 기준으로 tool monitoring을 활용 교체 시점의 파형과 교체 이력 데이터를 수집 및 분석으로 사용회수와 교체에 대한 적합성을 분석했다.

또한 절삭 공정에서 돌발 파손으로 인하여 발생하는 불량 유출을 방지하기 위해 설비에 tool check 장치를 부착하여 사용하고 있다. Tool check 장치는 공구의 현상을 직접적으로 검증하는 방법이므로 검증에 필요한 최소시간이 필요하다. 대략 7~9초가 소요되므로 모든 공구에 적용하기에는 생산성에 미치는 영향이 크므로 중요 공구에 한정적으로 설치하고 운영하고 있다. 그러므로 tool check 장치가 설치되지 않은 공구에서 돌발 파손이 발생하는 경우 대량 불량 발생과 불량품 유출로 인해 손실 비용이 극대화된다.

이를 개선하기 위해 본 연구에서는 tool monitoring 알림을 tool check 장치 앞으로 설치하여 모든 공구의 돌발 파손 및 정상 파손이 발생하는 경우 설비를 강제 정지하게 하였다.

이러한 연구 활동으로 공구파손에 의한 불량 유출을 예방할 수 있으며 tool check 장치 제거로 설비기준 약 10% 정도 cycle time 단축으로 생산성 향상을 얻을 수 있을 것이다.

2. 문헌 연구

2.1 절삭공구 모니터링

절삭공구 모니터링은 절삭 작업을 할때 발생하는 진동, 힘, 속도, 온도 등을 측정하여 공구의 상태를 모니터링 하는 기술이다^[2]. 절삭공구 모니터링 방법은 크게 직접적인 방법과 간접적인 방법으로 나눌 수 있다.

직접적인 방법은 절삭공구에 센서를 부착하여 절삭 부하를 측정하는 방법으로 센서를 부착하는 위치는 절삭공구와 스핀들을 선택하여 공구의 부하를 측정한다. 정확하고 신뢰성이 높지만, 센서를 부착할 때 불편한 점이 있다.

간접적인 방법으로는 센서 부착 없이 절삭 작업에서 발생하는 진동, 소음 등의 간접적인 신호를 측정하는 방법이다. 비용이 적게 드는 반면에 정확도가 낮을 수 있다.

대표적인 절삭공구 모니터링에는 3가지 방법이 있다.

첫째, 진동 모니터링 방법은 공구의 진동 패턴을 분석하여 공구의 상태를 판단하는 방법으로 공구의 축 방향 진동을 측정하여 분석하여 공구 내부의 불량을 탐지하는 것이 가능하며 비교적 간단하게 측정할 수 있으므로 고장 발생 시 즉각적으로 대응할 수 있다.

그러나 공구의 전체 진동을 측정하지 못하는 경우가 있고, 데이터를 해석하기가 어려울 수 있다.

둘째, 힘 센서 모니터링 방법은 공구에 부착된 힘 센서를 통해 발생하는 힘의 크기 즉 공구 부하와 방향을 측정하는 방법으로 공구의 칩 브레이크, 칩 불, 블랭크 스페이스 등의 문제를 감지하는 것이 가능하다. 그리고 측정 결과가 정확하며, 고장 발생 시 즉각적으로 대응할 수 있다. 그러나 고장을 감지하기 위해서는 공구에 힘 센서를 부착해야 하므로 초기 투자비용이 높다.

마지막으로 온도 모니터링 방법은 공구에서 발생하는 열의 크기와 방향을 측정하는 방법으로 공구의 마모, 마찰, 온도 변화 등을 감지하는 것이 가능하다^[3]. 그리고 초기 투자 비용이 상대적으로 적으며 측정 결과를 쉽게 해석할 수 있다. 그러나 측정 결과의 정확도가 낮고, 고장 발생 시 대응이 어려울 수 있다.

2.2 Tool monitoring 장치

절삭공구의 마모 및 파손 감지를 위한 연구는 많은 분야에서 이루어지고 있으나, 중소기업의 절삭 공정에서 절삭공구의 마모 및 파손을 예방하기 위해 가장 많이 사용하고 있는 절삭공구의 강제 교체 주기를 설정하는 방법 연구는 찾기가 어렵다. 공구의 마모 및 파손에는 여러 가지 작업환경 즉 절삭공구의 내구성과 경도, 절삭 조건으로 절삭 속도, 절삭 깊이, 절삭유, 압력 등이 있으며, 설비의 상태와 작업자의 기술 수준이 낮거나 경험이 부족한 경우 등이 영향을 미친다.

김수영 외(2021년)의 연구에서는 공구 마모에 따른 스핀들 부하를 측정하기 위해 스핀들 모터에 전력을 공급하는 인버터 출력단에 홀 센서 타입의 전류/전압 센서를 설치하여 스핀들이 동작할 때 전류/전압을 측정하였다^[3].

이런 경우 가공 부하가 작은 end mill 등에 대해서는 공구의 모니터링에 정확도와 정밀도에 한계점을 가지고 있다.

본 연구에 사용한 tool monitoring 장치는 정밀가공 설비(Fanuc) 내부에 있는 Daq-value(data acquisition value, 센서와 컴퓨터를 이용하여 전기적, 화학적 신호를 측정값)를 사용한다. Daq-value는 전류를 디지털로 변환한 값으로 15bit-resolution을 사용하여 초당 1,000개의 값을 생성한다. 생성된 데이터를 수집하여 48 m sec 단위로 실시간 평균을 구하고 이 값을 기반으로 내부 프로세스를 수행한다. 초당 20개의 tick을 가지고 비교하며 비교 대상은 표준을 설정하고 실시간 생성되는 data를 표준과 비교하여 실시간 과부하 및 무부하로 공구의 마모 및 파손을 감지한다.

이런 방법으로 공구의 교체에 대한 이력을 기반으로 교체의 적합성을 확인했으며, 공구 마모에 따른 교체 시점을 예측할 수 있었으며, 공구파손에 대해서는 무부하를 측정하여 공구의 파손 징후 알림과 설비정지를 수행하므로 공구파손에 의한 품질 불량 유출을

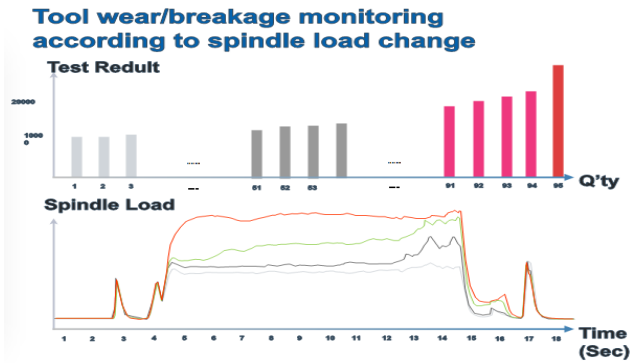


Fig. 1 Tool load waveform type

예방함으로써 손실 비용을 저감할 수 있을 것이다.

스핀들 부하는 설비 자체 부하 즉 설비가동 때에 발생하는 부하와 피가 공물을 가공하면서 발생하는 부하를 실시간 분석을 통해 설정된 표준 파형과 비교하여(Fig. 1) 공구의 마모도를 측정하므로 공구의 최적화를 통해 설비 비가동 감소 및 공구 마모에 연관된 불량 발생을 예방할 수 있으며, 공구 수명 증가로 공구 사용 비용을 최소화할 수 있다.

파형의 형성은 수학적 특징 및 변수를 활용하였으며 파형의 종류는 아래와 같이 4가지로 구성되어 있다.

첫째, 표준 파형은 검사구간에 형성된 평균 파형으로 스핀들 부하가 많은 경우에 사용한다.

둘째, 편차 파형은 표준 파형을 기준으로 검사구간의 편차값이며 주로 CNC 선반 공구에 사용한다.

셋째, 형상 파형은 표준 파형을 기준으로 검사구간의 형성도 값이며 미세공구 검출용으로 사용된다.

마지막 넷째, 실시간 파형은 표준 파형에 최대/최소 스트레스홀드를 설정하며 급격한 스핀들 부하 상승을 검출한다.

2.3 FOM 솔루션

본 연구에서 사용한 FOM 솔루션은 제조 현장의 raw data를 수집하여 Fig. 2와 같이 생산성 저해 요인에 대해 4M 기반 다차원 분석으로 의사 결정을 지원하는 시스템이다^[4].

FOM 솔루션은 일반 분석, 비교 분석, 상급자 분석으로 구분되

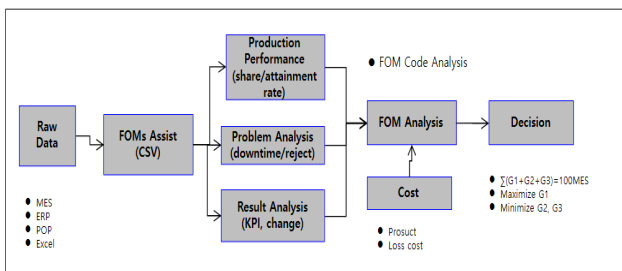


Fig. 2 FOM solution process

Table 1 Production indicators management list

Level 1	Level 2
Product volume (1000)	Total(1100), Product(1200), Machine(1300), Worker(1400)
Downtime (2000)	Total(2100), Product(2200) Machine(2300), Worker(2400), Factor(2500)
Defect (3000)	Total(3100), Product(3200) Machine(3300), Worker(3400), Factor(3500)
Abnormal (4000)	Total(4100), Product(4200) Machine(4300), Worker(4400), Factor(4500)

어 진행하고 있으며 아래와 같다.

일반 분석에서는 첫째, 생산실적을 기준으로 4M별 점유율과 달성성을 분석한다. 둘째, 비가동 및 불량, 부적합에 4M별 점유율을 분석한다. 셋째, 비가동 및 불량, 부적합의 유형을 분석한다.

비교 분석에서는 첫째, 문제해결 전/후에 대한 성과를 비교한다. 둘째, 문제해결을 위한 타당성에 대해 시뮬레이션한다.

상급자 관리에서는 첫째, 경영성과 즉 KPI를 관리한다.

둘째, 생산실적 달성률에 대한 분석과 미확인 분석을 한다.

또한, 4M 기반 다차원 분석을 code 별로 실시한다^[5](Table 1).

FOM 솔루션 활용 분석 방법은 첫째, 현장 데이터 수집 및 정제, 둘째, FOM data file set 구성, 셋째, FOM code flow 수행 순으로 진행된다.

FOM data file set은 Table 2와 같다^[5-7].

3. 실증연구

3.1 연구 프로세스

본 연구는 활동 과정은 첫째, 공구 교체 이력 데이터 수집 및 분석. 둘째, 분석된 결과를 기준으로 공구명칭(공구명)별 교체주기를 Min-Max와 편차를 도출하고, 셋째, Min-Max일자에 대해 공구 부하 파형의 추이도를 분석, 마지막 넷째, 교체 시 설비환경 이벤트를 검토하여 교체의 적합성을 검토한다.

본 연구 결과를 기준으로 공구교체 주기를 표준화하여 운영함으로써 경험과 감각에 의해 교체되는 공구비용을 절감할 수 있다.

3.2 공구교체 이력 데이터 수집 및 분석

본 연구활동에서 수집된 공구교체 이력은 2022년 9월부터 2023

Table 2 FOM data file set registration

Item	Detail	
Manual qpr file	Product type	Convert to CSV file
Manual downtime file	Downtime type	
Manual cost file	Product cost	
Manual abnormal file	Abnormal type	
Manual reject file	Reject type	

Table 3 Tool change history

Machine	Tool		Q'ty use	Q'ty limited	Tool change
	No	Name			
MQB IS 118	T01	∅10.0 E/M	1,404	1,200	2023/01/13 20:22
MQB IS 118	T01	∅10.0 E/M	1,516	1,200	2023/01/15 9:32
MQB IS 118	T01	∅10.0 E/M	3,192	1,200	2023/02/04 12:10
MQB IS 118	T01	∅6.0 C/F	5,332	1,200	2023/02/13 04:30
MQB IS 118	T01	∅6.0 C/F	644	1,200	2023/02/18 10:26

년 3월 20일까지 약 6개월 데이터(1,721건)를 연구활동의 기본 데이터로 활용하였다(Table 3).

Table 3과 같이 설비별 공구교체이력은 설비, 공구번호, 공구명, 사용회수, 제한회수 즉 강제교체 수량이며 공구교체 시각이 기록되어 있다, 공구교체 시각은 공구교체의 적합성을 검증하는 매우 중요한 기준이 된다. 즉 공구교체 및 시각을 기준으로 tool monitoring의 공구 부하 파악추이도와 설비 이벤트를 확인하여 교체에 대한 적합성을 평가한다.

3.3 FOM data file set 구성 및 code 분석 step

(1) FOM data file set 구성

FOM 솔루션을 운영하기 위해 필요한 데이터 구성을 Table 4와 같이 수행했다.

Manual qpr data에는 기존의 19가지 항목중 공구교체 주기를 분석하는데 필요한 항목 11가지를 Table 5와 같이 등록하였다.

(2) FOM code 분석 step

구성된 FOM data file set을 FOM 솔루션 입력하며 FOM code 분석 7 step을 수행한다^[7].

Step 1, 분석기간 설정(연간/월간/주간)

Step 2, 분석범위 설정(대/중/소)

Step 3, 생산 점유율(분석범위 및 4M) 및 실적분석

Step 4, Code 분석 및 추이도 분석

Step 5, 공구교체 적합성 분석

Step 6, 문제해결을 위한 개선 방안 도출

Step 7, Q-jump 목표달성 및 지속적 개선 단계 중에 step 5 까지 수행했다.

(3) FOM code 분석

각 step별 분석내용과 결과는 Table 6과 같다.

FOM code step 3 수행내용은 Fig. 3과 같으며 code step 4 수행내용은 Table 7과 같다.

Table 4 FOM data file set registration

Item	Detail	Choose
Manual qpr file	Product type	o
Manual downtime file	Downtime type	x
Manual cost file	Product cost	x
Manual abnormal file	Abnormal type	x
Manual reject file	Reject type	o

Table 5 Manual qpr data

Item	Detail	Note
Data	Tool change data	
SHift	Change time	
Main category	Tool marker	
Middle category	Tool name	
Small category	Tool no	
Machine name	Machine name	
Product	Part name	
Worker	Worker	
Performance	Number of uses	Production volume
Plan	Limited q'ty	Replacement quantity
Time	20 hr	
Efficiency	100%	
C/Time	x	No connection to tool replacement
Downtime	x	
Downtime	x	
Reject	x	
Reject quantity	x	
Abnormal	x	
Abnormal quantity	x	

Table 6 FOM code step

Step	Content	Analysis results	Note
Step 1	Analysis period	2022.09 ~ 2023.03	
Step 2	Analysis scope	Tool name, Tool Number	
Step 3	Share	Share of tool use	
Step 4	Code analysis	Machine, Workers, Products	
Step 5	Factor analysis	Top 3 factor analysis	

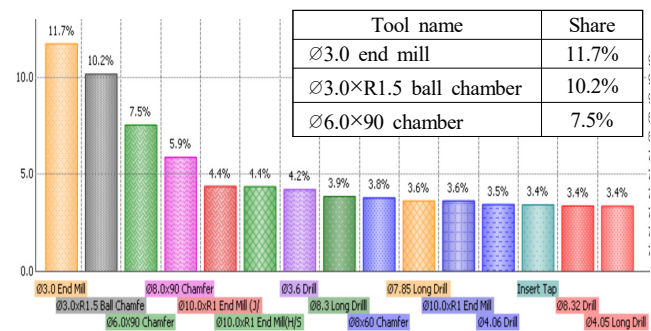


Fig. 3 Share of tool use

Table 7 FOM code analysis

(a) Production(machine, product, worker) share

Code	Share		
Machine(2000)	F110(19.7%)	F120(15.2%)	F109(12.6%)
Product(2000)	Kappa.0EX (28.6%)	Lambda 2 IN(28.0%)	MQB IS(8.3%)

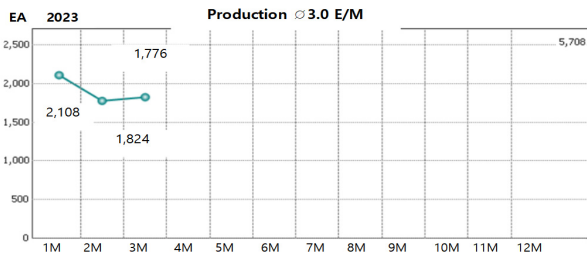
(b) Production(tool name, no, marker) share

Type	Share		
Tool name	∅ 3.0 E/M (8.7%)	∅ 3.0×R1.5 C/F (6.7%)	∅ 6.0×90 C/F (6.2%)
Tool no	T09 (12.0%)	T02 (9.2%)	T06 (9.1%)
Tool marker	Tool plus (27.8%)	OSG (22.2%)	Jang tool (13.8%)

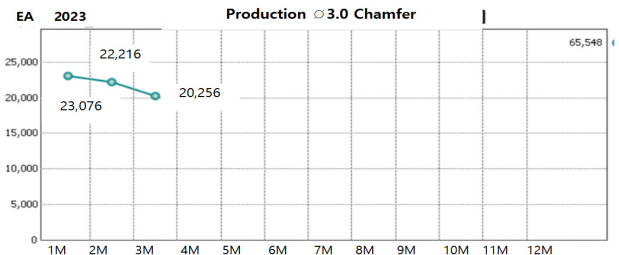
제품 생산량 기준 점유율 즉 사용량이 많은 공구를 파악하여 top 3를 대상으로 공구의 교체주기에 대한 현황을 파악하고자 step 4를 수행했다. 분석결과에 따라 공구명칭으로는 ∅3.0 end mill(11.7%), ∅3.0×R1.5 ball chamfer(10.2%), ∅6.0×90 chamfer(7.5%)로 분석되었으나 동일공구명칭인 2건으로 ∅

Table 8 Sudden break (2022)

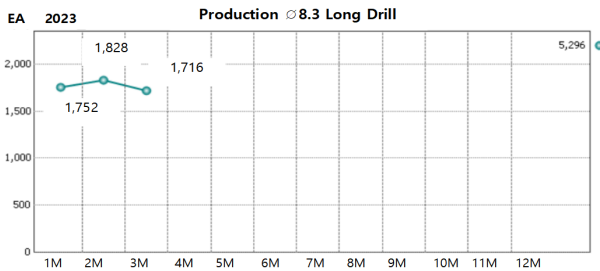
Tool name	Sudden break	Share	Select
∅4.05 long drill	28 occurrence	17.8%	
∅8.30 long drill	36 occurrence	22.9%	o
M5 tap	15 occurrence	9.6%	
∅10.0 end mill	3 occurrence	1.9%	o
∅3.30 drill	12 occurrence	7.6%	
∅3.60 drill	4 occurrence	2.5%	
∅3.7 reamer	1 occurrence	0.6%	
∅3.973 reamer	3 occurrence	1.9%	
∅4.08 reamer	5 occurrence	22.3%	
∅4.6 drill	8 occurrence	5.1%	
∅4.3 drill	2 occurrence	1.3%	
∅5.0 drill	1 occurrence	0.6%	
∅7.85 drill	3 occurrence	1.9%	
∅8.0 end mill	4 occurrence	22.3%	
∅7.5 step	22 occurrence	14.0%	
∅8.0 reamer	9 occurrence	5.7%	o
∅9.0 reamer	1 occurrence	0.6%	
Total	157 occurrence	100%	



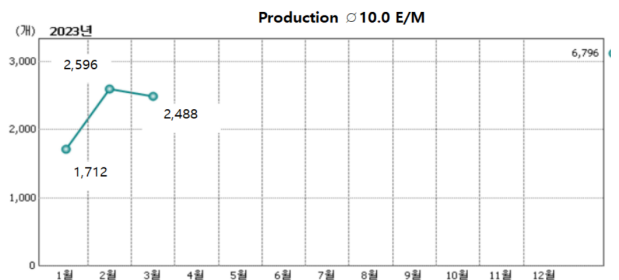
(a) ∅3.0 end mill



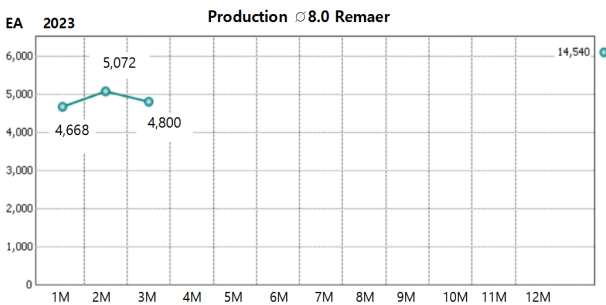
(b) ∅3.0×R1.5 ball chamfer



(c) ∅8.30 long drill



(d) ∅10.0 end mill



(e) ∅8.0 reamer

Fig. 4 Tool change (1 M~3 M)

6.0×90 chamfer(7.5%)을 제외하고 2022년 공구의 돌발파손(절삭 공구의 수명 즉 마모에 의한 파손이 아니라 다른 원인으로 인해 파손 되는 것)이 많이 일어나는 top 3 공구를 추가하였다. Table 8에서 돌발파손 점유율과 공구 종류를 고려하여 Ø8.30 long drill (36건), Ø10.0 end mill(1.9%), Ø8.0 reamer(5.7%)을 선택했다.

3.4 공구교체 Min-Max와 편차 도출

공구교체주기 적합성을 파악하는 대상은 Ø3.0 end mill (11.7%), Ø3.0×R1.5 ball chamfer(10.2%), Ø8.30 long drill(36 건), Ø10.0 end mill(1.9%), Ø8.0 reamer(5.7%) 등 총 5종류의 공구를 대상으로 선택했다.

Fig. 4는 FOM 솔루션의 트렌드 분석을 활용하여 선택된 공구의 3개월(1월, 2월, 3월)간 사용회수 추이도와 월별 일일 사용 회수 추이도를 파악하여 Min-Max와 사용률을 보여준다.

Fig. 4(a)에서 1월 2,108, 2월 1,776, 3월 1,824이며 Min- Max 편차는 322이며 Min(최소값)은 Max값의 약 84.3%를 사용함을 보여주며, (b)는 1월 23,076, 2월 22,216, 3월 20,256로 Min-Max 편차는 2,820이고 Min도 Max 값의 약 87.8%이다.

또한 (c)는 Min-Max 편차는 110로 Min은 Max 값의 약94.0%를 사용하며, (d)의 Min-Max 편차는 884, Min은 Max 값의 약 66.0%, 마지막으로 (e)는 Min-Max 편차 404이며 Min이 Max 값의 약 92.0%를 사용하고 있다.

Table 9는 사용하는 공구의 날짜별 사용회수 및 Min/Max의 비율을 보여준다.

(a)는 3개월간 날짜별 공구 사용회수를 비교하여 Min 36, Max 320도 284의 편차로 Min이 Max 값의 약11.3%를 사용하였음을 보여준다. 또한 (b)에서 Min 48, Max 6,288이며 편차는 6,240이며 Min은 Max 값의 약0.76%였다.

(c)는 3개월간 날짜별 공구 사용회수를 비교해보면 Min 24, Max 320이며 편차는 296이며 Max 값의 약7.5%를 사용하고 교체되었다.

(d)와(e)는 Min과 Max의 비율이 약 6%와 약4.9%를 보여준다.

3.5 공구 가공 부하 파형 분석

절삭공구 사용회수에 대한 적합성을 평가하기 위해 각 공구 명칭별 최소(min), 최대(max) 사용교체 시각을 조사하고 tool monitoring을 활용 공구 부하의 파형과 설비의 이벤트를 조사하여 공구 교체에 대한 적합성을 평가한다(Table 10).

3.6 공구 교체 적합성 검토

Table 10의 대상에 대해 tool monitoring의 공구 부하 파형을 분석한 결과 Fig. 5와 같다.

Table 9 Tool replacement status by date

(a) Ø3.0 end mill

Tool name	Month	Date											Min	Max	Rate
Ø3.0 end mill	January	1/4	1/6	1/10	1/13	1/17	1/18	1/19	1/20	1/29	1/30	36	320	11.3%	
	(Q'ty)	316	320	232	288	200	132	100	164	320	36				
	February	2/1	2/7	2/9	2/13	2/17	2/21	2/24	172	320	53.8%				
(Q'ty)	228	184	240	172	320	312	320								
March	3/2	3/7	3/8	3/10	3/14	3/17	3/20	3/22	148	320	46.3%				
(Q'ty)	320	200	188	236	184	148	240	308							

(b) Ø3.0×R1.5 chamfer

Tool name	Month	Date													Min	Max	Rate
Ø3.0 chamfer	January	1/3	1/5	1/9	1/11	1/12	1/14	1/16	1/19	1/20	1/26	1/27	1/31	48	2,504	1.9%	
	(Q'ty)	468	1,436	1,904	1,544	48	968	1,472	2,504	472	1,068	232	1,604				
	February	2/1	2/3	2/7	2/8	2/10	2/11	2/13	2/14	2/16	2/18	2/21	2/23	2/24	304	2,164	14.0%
(Q'ty)	1,456	1,892	1,720	304	484	92	900	476	752	2,164	404	384					
March	3/1	3/6	3/9	3/21	3/23	1,060	6,288	16.9%									
(Q'ty)	2,332	2,460	1,060	2,420	6,288												

(c) Ø8.30 long drill

Tool name	Month	Date											Min	Max	Rate
Ø8.3 long drill	January	1/3	1/4	1/13	1/17	1/19	1/20	1/29	100	320	31.3%				
	(Q'ty)	316	100	288	200	228	164	320							
	February	2/1	2/7	2/9	2/11	2/13	2/14	2/17	2/18	2/21	2/23	2/24	40	276	14.5%
(Q'ty)	260	168	276	132	40	132	188	156	156	176	144				
March	3/2	3/3	3/7	3/8	3/10	3/14	3/16	3/17	3/20	3/22	24	320	7.5%		
(Q'ty)	320	116	84	80	224	184	24	140	236	308					

(d) Ø10.0 end mill

Tool name	Month	Date											Min	Max	Rate
Ø10.0 end mill	January	1/4	1/13	1/19	1/20	76	536	14.2%							
	(Q'ty)	76	536	444	168										
	February	2/1	2/11	2/17	2/21	2/22	2/24	128	1,000	12.8%					
(Q'ty)	592	1,000	368	316	128	192									
March	3/2	3/7	3/8	3/10	3/14	3/17	3/20	3/21	3/23	60	1,000	6.0%			
(Q'ty)	328	204	96	228	188	156	228	60	1,000						

(e) Ø8.0 reamer

Tool name	Month	Date											Min	Max	Rate
Ø8.0 reamer	January	1/9	1/12	1/13	1/18	1/30	108	1,500	7.2%						
	(Q'ty)	1,440	880	108	928	1,500									
	February	2/3	2/6	2/8	2/21	2/22	2/24	2/28	284	2,128	13.3%				
(Q'ty)	812	492	456	2,128	324	284	500								
March	3/2	3/7	3/8	3/9	3/11	3/14	3/15	3/16	3/18	3/22	128	1,476	8.7%		
(Q'ty)	356	1,476	1,476	200	484	544	168	128	560	524					

Fig. 5는 tool monitoring 장치로 측정된 MCT설비(Fanuc)의 가공부하값 즉 Daq-value(data acquisition value), 센서와 컴퓨터를 이용하여 전기적, 화학적 신호를 측정값, 전류를 디지털로 변환한 값으로 15bit-resolution을 사용하여 생성된 데이터를 48 m sec 단위로 실시간 평균을 구하고, 초당 20개의 tick을 도표에 나타낸 것으로 T04 Ø3.0 end mill 공구의 파형을 분석한 그림이다 그림에서 공구파형을 분석하면 Max 즉 tool monitoring max 선에 근접해 있다. 그러므로 공구교체가 적합한 것으로 분석되었다. 이러한 방법으로 공구교체 시점의 파형을 분석한 결과는 Table 11

Table 10 Tool waveform analysis target

Type		1 Jan	2 Feb	3 Mar	
T04 (∅3.0 end mill) (DN8 IS-F124)	Min	Quantity used	36 ea	172 ea	148 ea
			1/30	2/13	3/17
	Max	Replacement time	8:33AM	8:58AM	9:01PM
		Quantity used	320 ea	320 ea	320 ea
T23 (∅3.0 chamfer) (Lm 2 IN-F110)	Min	Quantity used	48 ea	304 ea	1,060 ea
			1/12	2/8	3/9
	Max	Replacement time	11:26PM	1:21AM	4:37PM
		Quantity used	1,904 ea	1,600 ea	2,460 ea
T03 (∅8.3 long drill) (DN8 IS-F124)	Min	Quantity used	100 ea	40 ea	24 ea
			1/4	2/13	3/16
	Max	Replacement time	9:05PM	8:58PM	10:50PM
		Quantity used	316 ea	276 ea	320 ea
T01 (∅10.0 end mill) (DN8 IS-F124)	Min	Quantity used	76 ea	128 ea	60 ea
			1/4	2/22	3/21
	Max	Replacement time	9:05PM	8:39PM	4:46PM
		Quantity used	536 ea	1,000 ea	1,000 ea
T08 (∅8.0 reamer) (MQB IS-F111)	Min	Quantity used	108 ea	76 ea	128 ea
			1/13	2/21	3/16
	Max	Replacement time	8:52PM	8:50AM	4:41AM
		Quantity used	1500 ea	2,128 ea	1,476 ea
Max	Replacement time	8:55PM	12:10AM	7:04AM	
		1/30	2/21	3/7	

Table 11 Tool waveform analysis result

Tool name	Suddenly break	Normal wear	Note
T04 (∅3.0 end mill) (DN8 IS-F124)	36 ea, 172 ea 148 ea	320 ea, 320 ea 32 ea	320 ea
T23 (∅3.0 chamfer) (LD IS-F1110)	48 ea	-	-
T03 (∅8.3 long drill) (DN8 IN F124)	40 ea	100 ea, 326 ea 24 ea	326 ea
T01 (∅10.0 end mill) (DN8 IN F124)	128 ea	76 ea, 536 ea 60 ea, 1,000 ea	1,000 ea
T08 (∅8.0 reamer) (MQB IS F111)	-	1,500 ea 76 ea, 2,128 ea 128 ea, 1,464 ea	1,500 ea

다. 그러나 실제 공구 교체 이력 데이터를 분석해보면 설정된 수명과는 많은 차이를 보이고 있다. 표준 수명과 차이를 보이는 경우 절삭공구, 설비상태, 제품 표면 상태 등을 분석하여 공구 교체의 적합성을 검토하여야 하나 중소기업의 현실에서는 실현이 어렵다.

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 공구 교체 데이터를 기반으로 스마트공장운영관리 시스템인 FOM-tool monitoring을 활용하여 공구 사용회수에 Min-Max 및 편차를 분석하고, 교체 시각의 가공 부하 파형 추이도를 분석한 결과 T04(∅3.0 end mill, DN8 IS-F124)의 공구 교체표준은 320개로 적합하며, T03(∅8.3 long drill, DN8 IN F124)의 공구 교체표준은 326개로 적합하다. 또한 T01(∅10.0 end mill, DN8 IN F124)의 공구 교체표준은 1,000개로 적합하며, T08(∅8.0 reamer, MQB IS F111)의 공구 교체표준은 1,500개로 적합한 것으로 분석되었다. 그러나 T23(∅3.0 chamfer, 램다 IS-F110)은 공구 교체 이력 부족으로 분석이 되지 못하였으나 연구 방법을 일반화 한대는 한계가 있다.

본 연구에서 분석한 결과를 기준으로 공구별 표준교체 주기를 설정하고 tool monitoring의 검사범위를 설정하여 교체 시점에서 발생하는 알람을 통해 공구를 교체함으로써 불필요한 공구 교체로 발생하는 설비가동 감소와 공구비용을 절감할 수 있을 것이다.

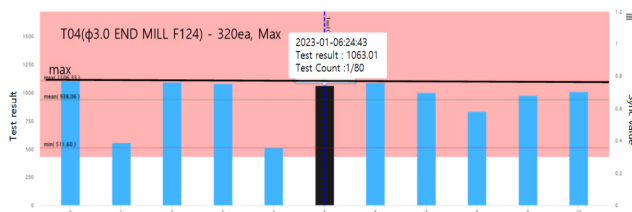


Fig. 5 Tool waveform analysis result

과 같다.

4. 결 론

정밀가공에서 절삭공구의 상태는 제품의 품질, 불량률뿐만 아니라 생산성을 저하 시킨다. 이를 위해 중소기업에서는 숙련자의 경험을 기반으로 공구 수명을 설정, 표준화하여 운영하고 있

후 기

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

References

- [1] Kim, Y. T., Kang, Y. S., Kim, H.-J., Seo, Y. H., Kim, B. H., 2019, Implementation of Wireless Condition Monitoring System in a Cutting Tool Using Accelerometer, *J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng.*, 28:3 198-202, <https://doi.org/10.7735/ksmte.2019.28.3.198>.
- [2] Song, K. H., Lee, D. Y., 2015, The State of the Art in Monitoring Technology of Machining Operations, *J. Korean Soc. Precis. Eng.*, 35:3 293-304, <https://doi.org/10.7736/KSPE.2018.35.3.293>.
- [3] Kim, S. Y., Kim, S. G., Yang, G. D., Park, K. H., Lee, S. W., Lee, D. Y., 2016, Characteristics of Machining Monitoring Signals in Accordance to Tool Wear Progression, *Proc. Korean Soc. Mech. Eng. Fall Conf.*, 2634-2637.
- [4] Jang, J. H., Park, Y. R., Kim, J. H., Bae, B. S., Kim, S. Y., 2021, Manufacturing Data Gathering Methods and 4M Data Analysis to Improve Process-productivity of Auto-parts using FOM Solution, *Proc. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng. Autumn Conf.*, 129.
- [5] Kim, S. Y., 2018, A Case Study of the Introduction of Smart Factory Operation Management(FOM) in the fourth Industrial Revolution Era, *Korean Association of Computers and Accounting*, 16:1, 43-62, <http://doi.org/10.32956/kaoca.2018.16.1.43>.
- [6] Jang, J. H., Jeoung, Y. Y., Kong, Y. G., Jo, M. S., Lim, H. Y., Bae, B. S., Kim, S. Y., 2021, Correlation Analysis and Problem Solving between 4M and Productivity using FOM solution, *Proc. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng. Spring Conf.*, 61.
- [7] 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>.



Jae Hoon Jang

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: fomsre@naver.com



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



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