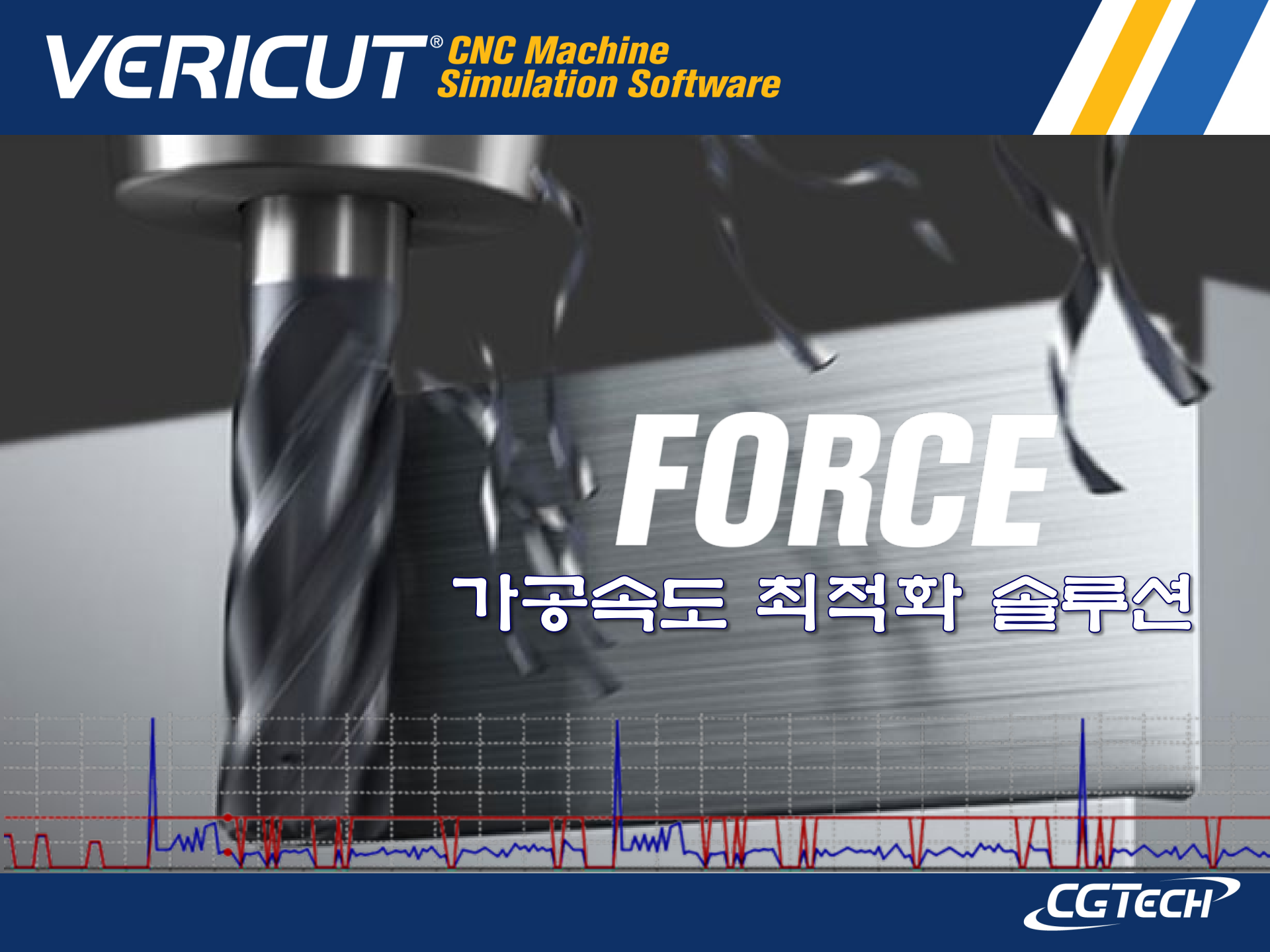
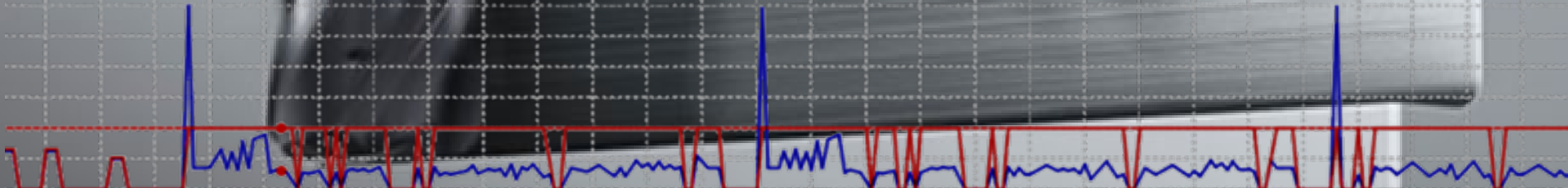


VERICUT® *CNC Machine
Simulation Software*



FORCE

가공속도 최적화 솔루션



CGTECH

Reducing waste in the machine shop



**Pre-machining
productivity**



**In-machining and
system utilization**



**Energy flow
through machinery**



Degree of automation



Traceability

No way to optimize
process and
operation planning
due to poor input
data quality

<50% utilization of
individual machines

Only 1/3 of energy
used for actual forming
of manufactured parts

Key intelligence captured
by experienced industrial
practitioners who can't
process data as effectively
as algorithms

Only a fraction of data is
recorded – and even if it
is, it's not often analyzed
or used for improvement
and prediction



장비 활용도 50% 미만!!!

FORCE가 필요한 이유

부적절한 **가공속도**는 현장에서
발생하는 가장 흔한 3대 낭비요소의
하나일지도 모른다.

– Pete Haas

- 
- 1- 불량, 과식, 재가공
 - 2- 안전만을 고려한 접근 속도, 프로그래밍 방식
 - 3- 부적절한 절삭력과 속도

VERICUT의 역할

1. 충돌, 파손, 과삭, 재가공
2. 안전만을 고려한 접근속도,
프로그래밍 방식
3. 부적절한 가공속도

CNC 프로그래머가 공구 파라미터에
적합하지 않게 공구를 사용하거나
CAM 시스템이 다양한 절삭 조건에 맞추어
가공속도를 조정해 줄 수 없기 때문에
발생



확인

가능한 문제



1. 충돌, 파손, 과삭, 재가공

2. 안전만을 고려한 접근속도,
프로그래밍 방식

3. 부적절한 가공속도

CNC 프로그래머가 공구 파라미터에
적합하지 않게 공구를 사용하거나
CAM 시스템이 다양한 절삭 조건에 맞추어
가공속도를 조정해 줄 수 없기 때문에 발생

숨겨진, 확인이 어려운 문제



Force



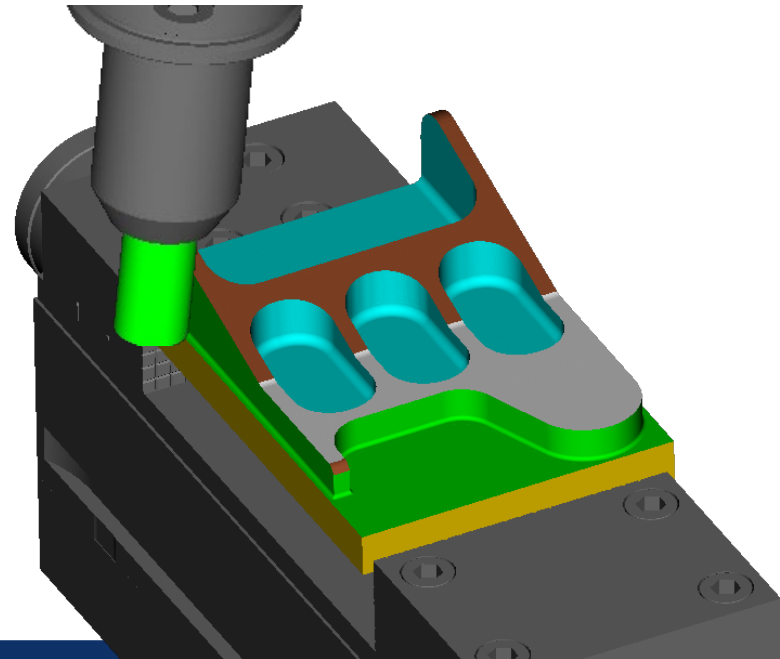
Force 사용의 예



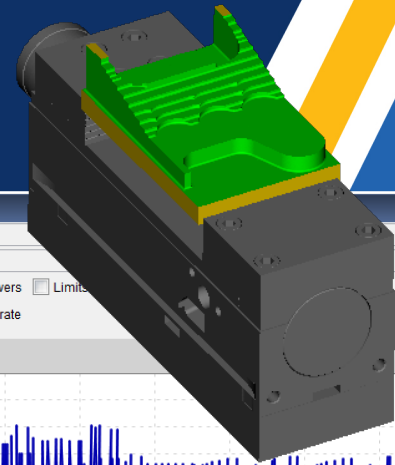
항공우주부문 브라켓

Ti-6al4v HRC37(티타늄) 소재

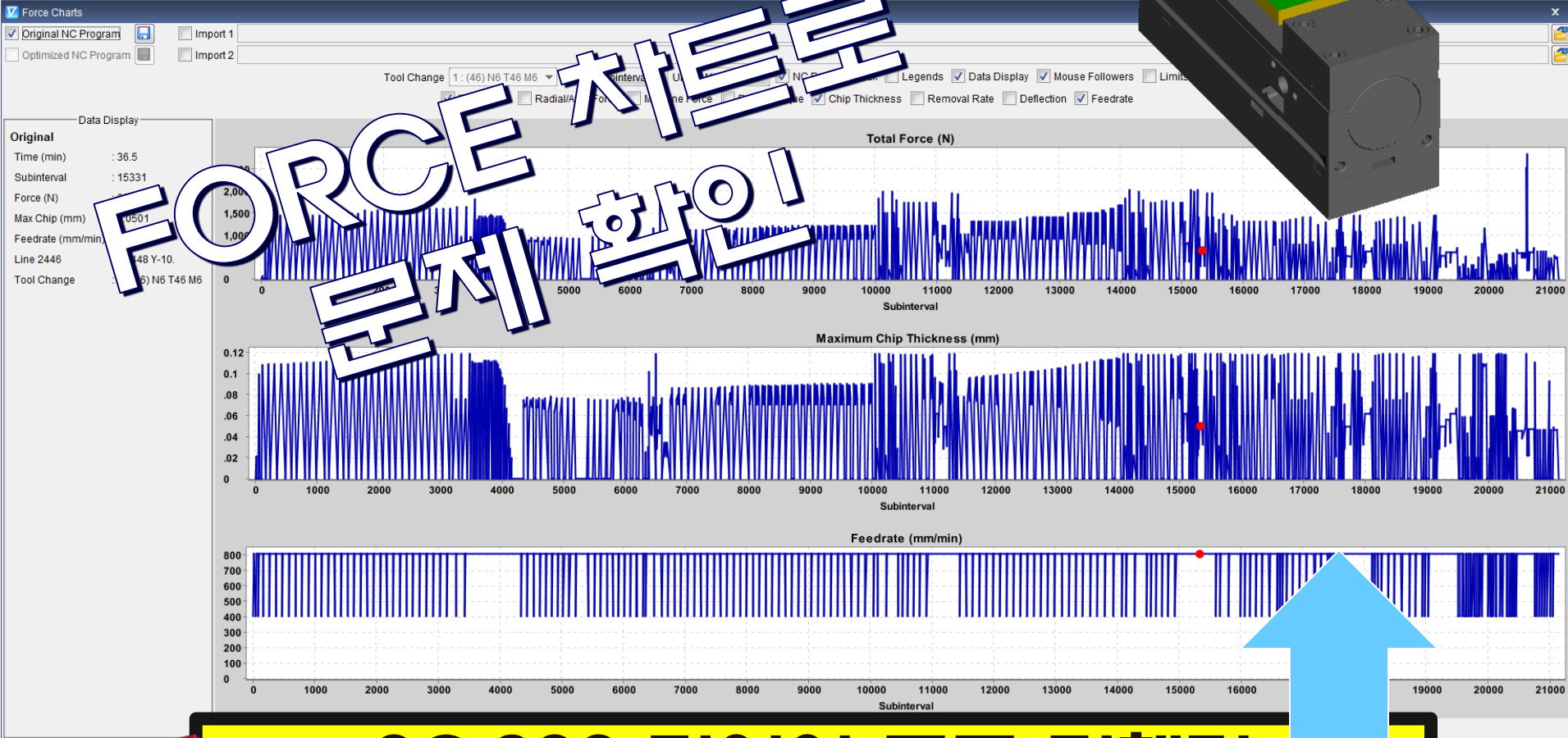
1" 5(38.1mm) 카바이드 엔드밀



● 절삭 조건 변화



FORCE 차트로
문제 확인

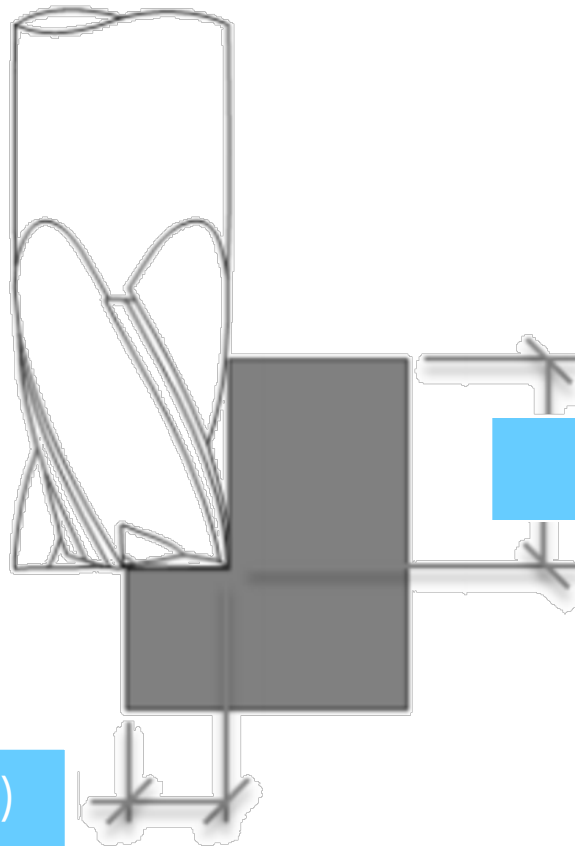


20,322 라인의 코드 전체가
단일 가공속도(808mm/M)로 절삭

ap & ae

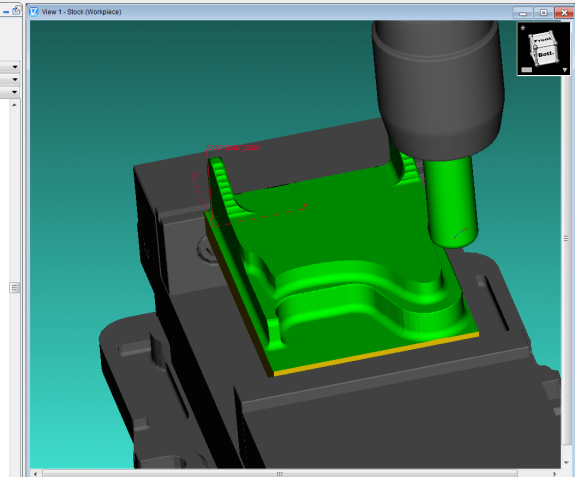
Legend

ap = Axial depth of cut (mm)
ae = Radial depth of cut (mm)
vc = Cutting speed (m/min)
n = Spindle speed (rev/min)
vf = Feed speed (mm/min)
f = Feed per rev (mm/rev)
z = Number of teeth
fz = Feed per tooth (mm/tooth)
D = Cutter diameter (mm)
hm = Average chip thickness (mm)
hex = Maximum Chip Thickness
Q = Material removal rate (cm³ /min)

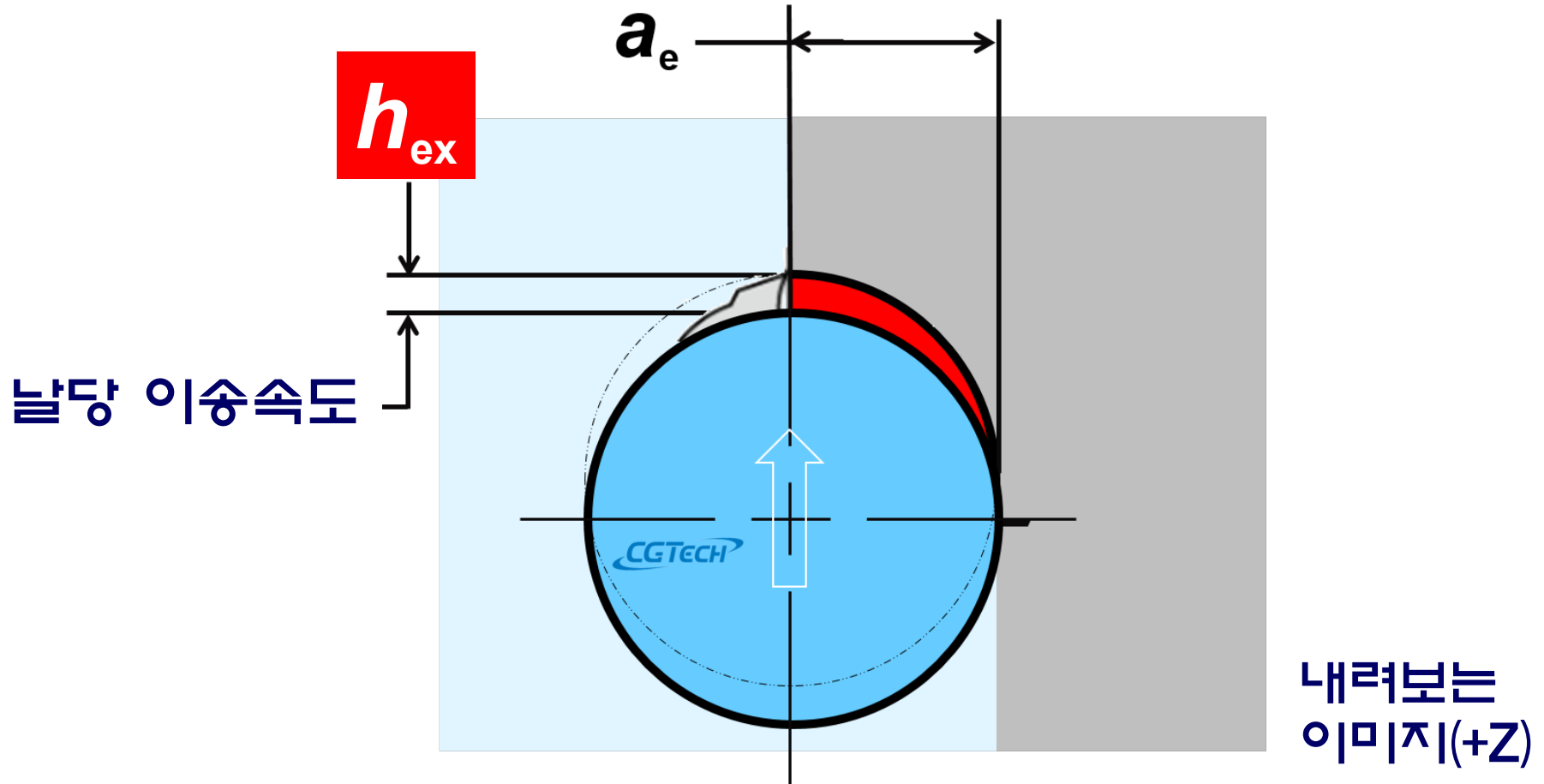


ap = 가공 깊이

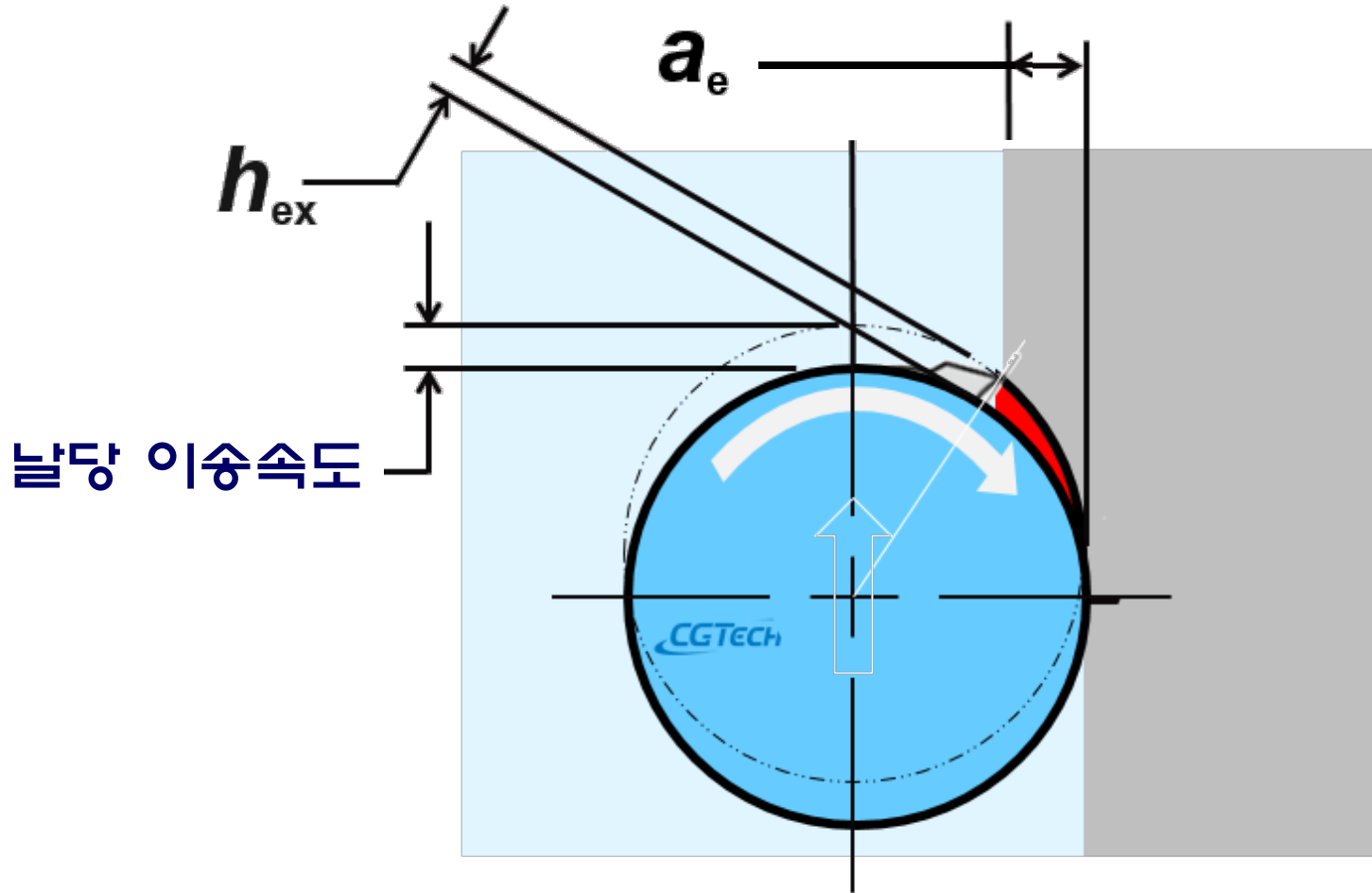
ae = 가공 넓이(공구의 반경)



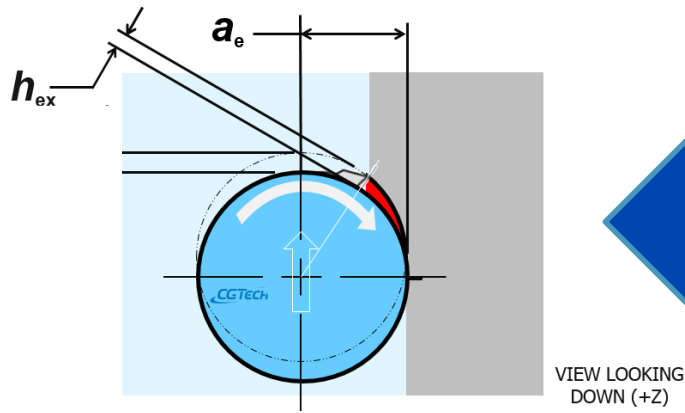
최대 칩두께 = h_{ex}



최대 칩두께 = h_{ex}



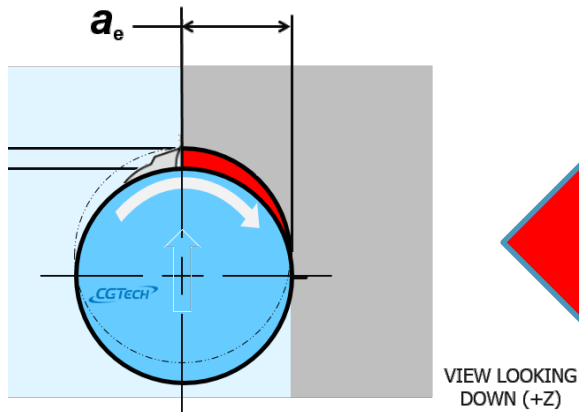
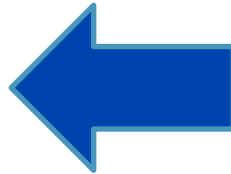
Force 의 역할



최적화

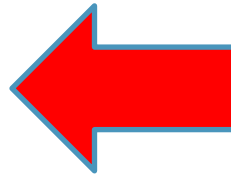
칩 씨닝(chip thinning) 현상은 a_e 가 공구 지름의 50%보다 낮을 때 발생

FORCE가 가공속도 상향 조정



제한값(리미트)

FORCE가 최대 칩두께를 계산하여 제한 값을 넘지 않도록 가공속도 조정



목표: 최대 칩두께

h_{ex}

최대 칩두께는 안정적인 밀링 가공의
가장 중요한 파라미터다.

효율적 가공은 밀링 공구에 가장
적합한 최대 칩두께가 일정하게
유지될 때 가능하다.



OPTIMAL Cutting

Maximize the
chip thickness



Matched
to the tool



Keep it
constant



Limit
Excesses

최대 칩두께

h_{ex}



- h_{ex} 값이 너무 낮은, 얇은 칩은 낮은 생산성의 흔한 원인이다. 공구 수명과 칩 생성에도 안 좋은 영향을 준다.
- 너무 두꺼운 칩은 공구 과부하의 원인으로 공구가 파손될 수 있다.

최대 칩두께

h_{ex}

최대 칩두께를 일정하게 유지하는 것은
매 순간 **공구**를 **최대한** 사용할 수 있게
해준다.

그 외의 장점

- 가공시간 단축
- 소재 제거율 향상
- 마찰과 열 발생 감소
- 공구 수명 연장



평균 칩두께(hm) 채택이 문제

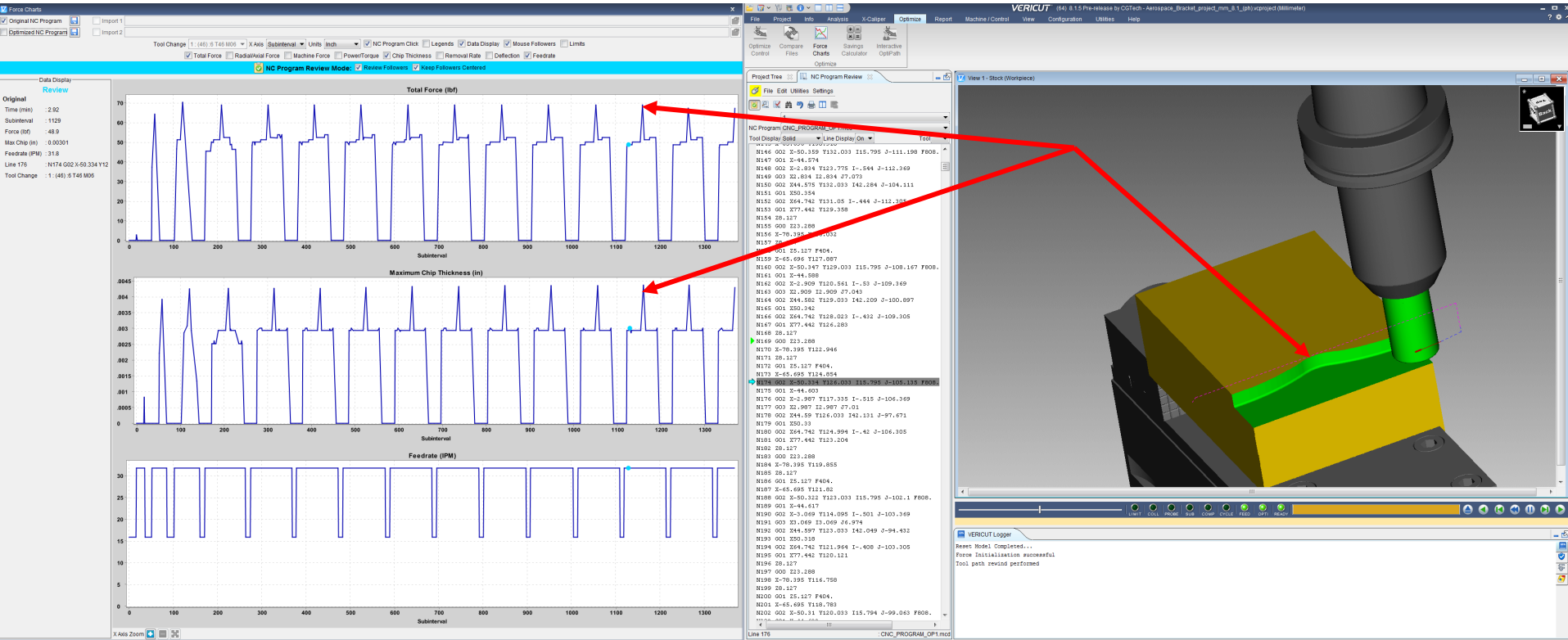
- CAM 시스템은 칩 컨트롤에 취약하다.
- 밀링 가공 시 NC 프로그램은 평균 칩두께를 채택하여, 공정의 대부분의 시간 동안 공구 활용 효율이 떨어지는 결과를 가져온다.
- VERICUT Force 는 NC 프로그램을 최적화 한다.

AVERAGE

OPTIMAL



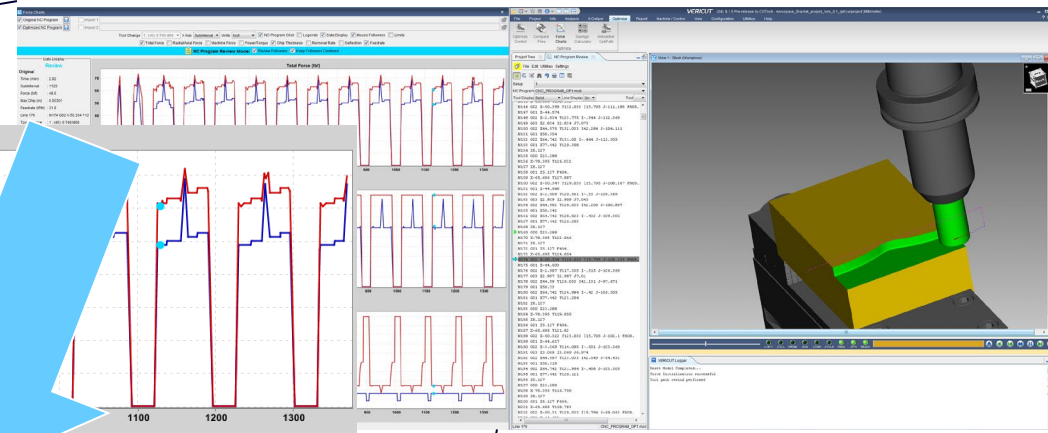
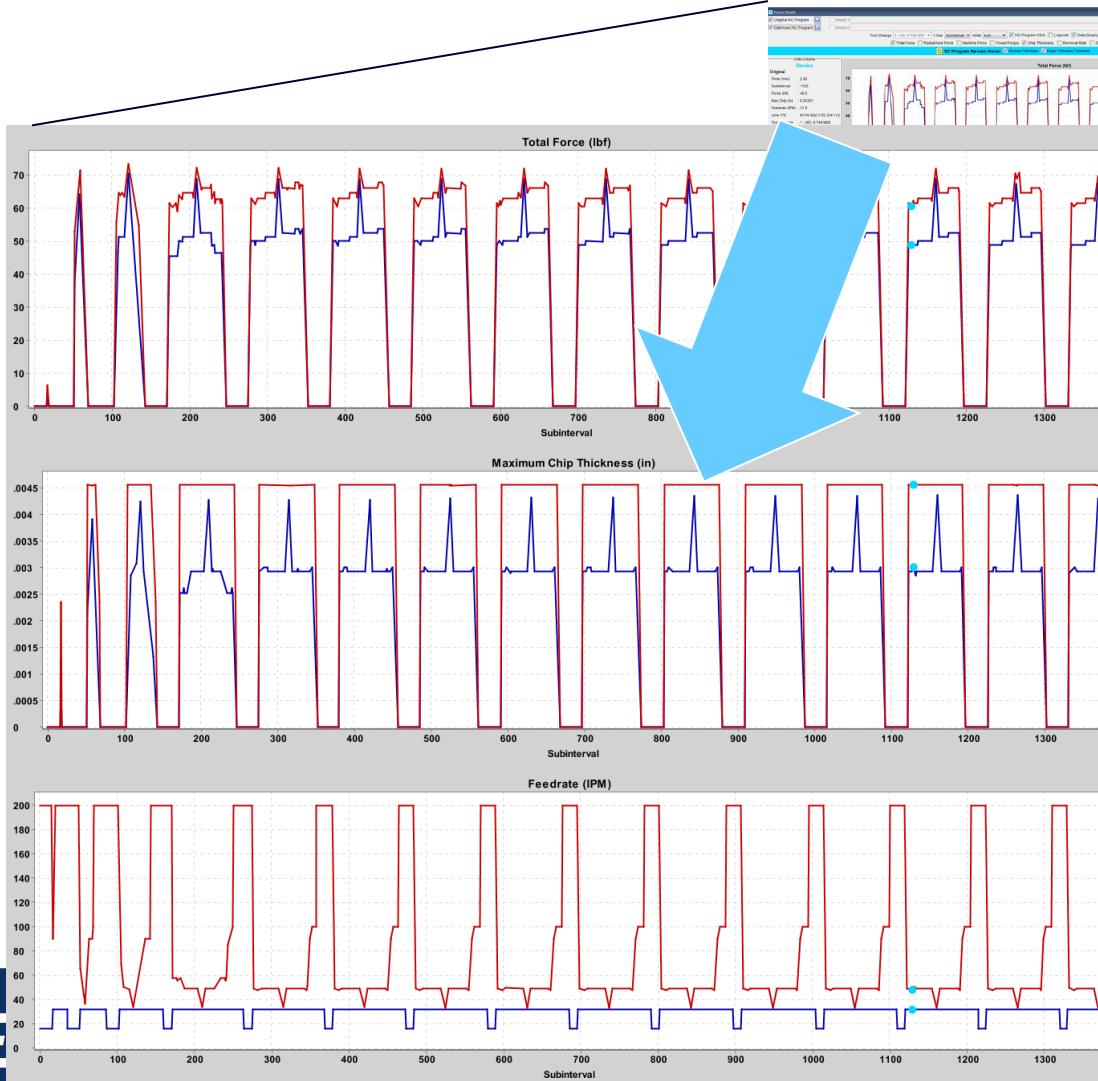
VERICUT FORCE



FORCE 차트

Tool Change 1 : (46) :6 T46 M06 X Axis Subinterval Units Inch ☒ NC Program Click ☒ Legends ☒ Data Display ☒ Mouse Followers ☐ Limits

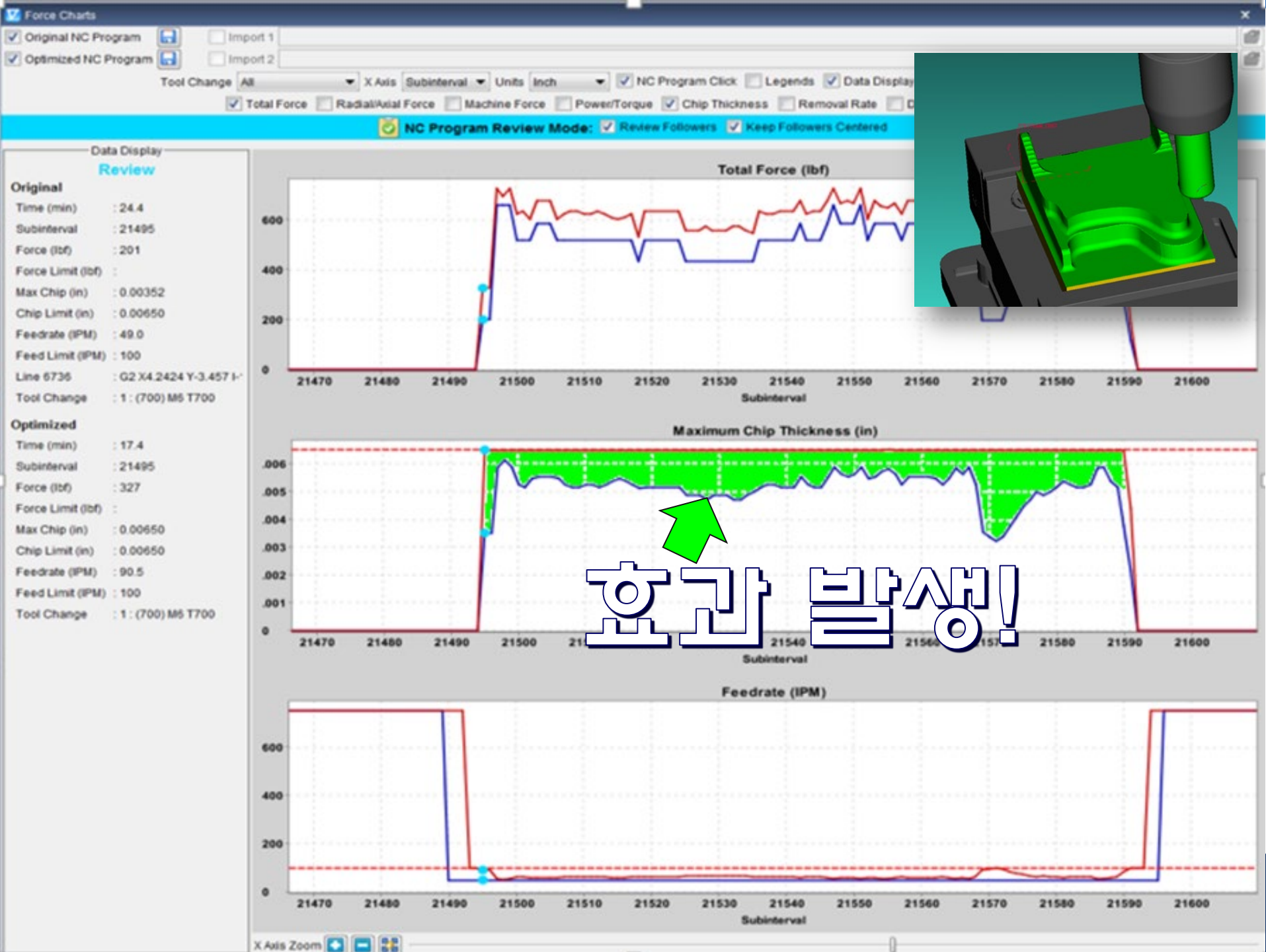
☒ Total Force ☐ Radial/Axial Force ☐ Machine Force ☐ Power/Torque ☒ Chip Thickness ☐ Removal Rate ☐ Deflection ☒ Feedrate



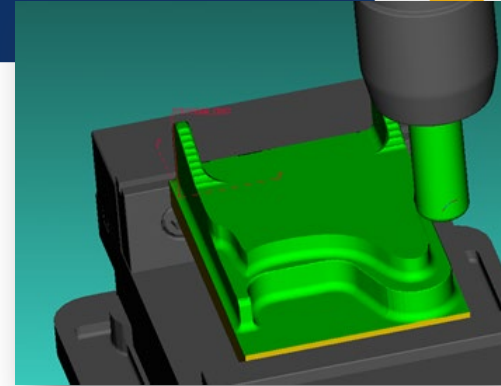
일반가공 프로그램

Force 최적화 프로그램

프로그램 리뷰
팔로워



일반가공 최적화 가공



Compare NC Program

NC Program Type: G-Code Data

Original NC Program: 'art\Okuma Event Dec 2017 Chris Davala - mastercam\Unoptimized_Force_Aerospace_Part.MIN'

Optimized NC Program: 'Unoptimized_Force_Aerospace_Part.Opti'

Original NC Program Code:

```

X4.5651 Y-3.2365 I-.2552 J0.
X4.4577 Y-3.2603 I0. J-.2552
G1 X4.4361 Y-3.2716 Z.9434 F49.01
X4.3016 Y-3.3725 Z.9291
X4.2756 Y-3.4063 Z.9255

G2 X4.2424 Y-3.457 I-1.2449 J.7777
G3 X4.2403 Y-3.4602 I.0619 J-.0423

X4.1273 Y-3.7485 I.5323 J-.3751

X4.0731 Y-4.4476 I4.4908 J-.6998

X4.0682 Y-4.701 I55.8392 J-1.2046
G2 X4.0683 Y-4.7172 I-2.4409 J-.0162

X4.0117 Y-5.2398 I-2.441 J0.
X3.6492 Y-5.7672 I-.8424 J.1907
X3.2671 Y-5.8786 I-.3821 J.5998

X2.8279 Y-5.7268 I0. J.7112

X2.4689 Y-5.3062 I.8054 J1.0511

X2.3283 Y-5.0594 I9.3896 J5.5141

G3 X2.0524 Y-4.7202 I-.9491 J-.49

X1.5923 Y-4.5319 I-.6325 J-.8893
X1.177 Y-4.4883 I-.4153 J-1.9565
    
```

Optimized NC Program Code:

```

X4.5651 Y-3.2365 I-.2552 J0.
X4.4577 Y-3.2603 I0. J-.2552
G1 X4.4361 Y-3.2716 Z.9434 F750.
X4.3016 Y-3.3725 Z.9291
X4.2756 Y-3.4063 Z.9255 F100.
G2 X4.2593 Y-3.4318 I-1.2443 J0.7786
G2 X4.2424 Y-3.457 I-1.228 J0.8041 F90.5
G3 X4.2403 Y-3.4602 I.0619 J-.0423
X4.1992 Y-3.5266 I0.5324 J-0.375 F54.2
X4.1423 Y-3.6718 I0.5734 J-0.3085 F51.9
X4.1273 Y-3.7485 I.5323 J-.3751
X4.1273 Y-3.7485 I.5323 J-.3751
X4.1146 Y-3.8353 I4.4908 J-.6998 F61.9
X4.1036 Y-3.9224 I4.5035 J-0.613 F58.3
X4.0765 Y-4.2722 I4.5145 J-0.526 F57.6
X4.074 Y-4.3599 I4.5416 J-0.1761 F58.3
X4.0731 Y-4.4476 I4.5441 J-0.0884 F60.5
X4.0713 Y-4.5321 I55.8392 J-1.2065 F61.9
X4.0682 Y-4.701 I55.8409 J-1.122 F60.5
G2 X4.0683 Y-4.7172 I-2.4409 J-.0162 F61.9
X4.0667 Y-4.8051 I-2.441 J0. F60.5
X4.062 Y-4.8926 I-2.4394 J0.0878 F59.1
X4.0431 Y-5.0671 I-2.4347 J0.1754 F58.3
X4.0289 Y-5.1537 I-2.4158 J0.3499 F59.1
X4.0117 Y-5.2398 I-2.4016 J0.4365 F60.5
X3.6492 Y-5.7672 I-.8424 J.1907 F61.9
X3.2671 Y-5.8786 I-.3821 J.5998 F65.3
X3.1106 Y-5.8612 I0. J0.7112
X3.0348 Y-5.8396 I0.1565 J0.6938 F67.4
X2.9618 Y-5.8097 I0.2323 J0.6722 F65.3
X2.8925 Y-5.772 I0.3053 J0.6423 F63.7
X2.8279 Y-5.7268 I0.3746 J0.6046 F61.9
X2.6262 Y-5.5354 I0.8055 J1.0511 F60.5
X2.5159 Y-5.3862 I1.0072 J0.8597 F61.9
X2.4689 Y-5.3062 I1.1174 J0.7104 F57.6
X2.3978 Y-5.1833 I9.3902 J5.513 F60.5
X2.3628 Y-5.1214 I9.4613 J5.39 F61.9
X2.3283 Y-5.0594 I9.4963 J5.3282 F57.6
G3 X2.235 Y-4.9103 I-0.949 J-0.4901 F54.2
X2.1184 Y-4.7785 I-0.8557 J-0.6393 F56.7
X2.0524 Y-4.7202 I-0.7391 J-0.7711 F54.2
X2.052 Y-4.6744 I-0.6325 J-0.8893 F58.3
X2.093 Y-4.6341 I-0.5626 J-0.9351 F57.6
X2.32 Y-4.5995 I-0.4894 J-0.9754 F55.5
X2.6743 Y-4.5483 I-0.4133 J-1.01 F54.8
X1.5923 Y-4.5319 I-0.2544 J-1.0612 F56.7
X1.177 Y-4.4883 I-.4153 J-1.9565 F57.6
X1.0821 Y-4.4801 I0. J-2.001 F60.5
    
```



VERICUT Force는 프로그램을 작은 구간으로 나누고 칩두께를 일정하게 유지할 수 있는 가공속도를 자동으로 프로그램에 추가한다.

FORCE로 균형 잡힌 최적화

1. 최적화

최적의 가공

- 최대 칩두께
- 일정한 칩두께



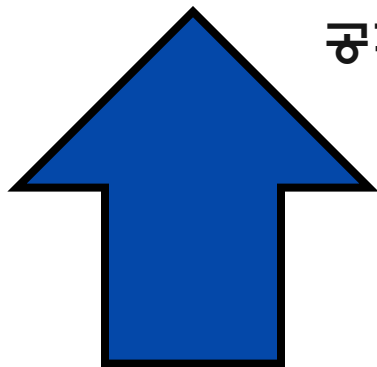
2. 리미트

실패 예방을 위한 리미트

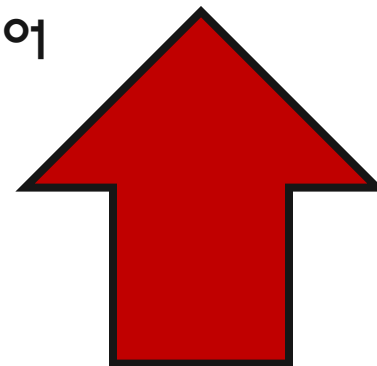
- 최대 가공속도
- 최대 절삭력
- 최대 공구 힘



공격



방어



공격



방어

1. 최적화

최적의 가공

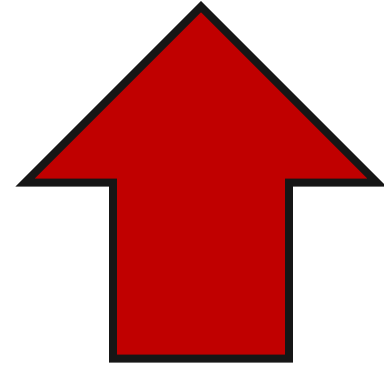
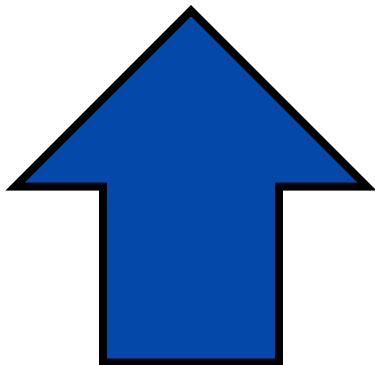
- 최대 칩두께
- 일정한 칩두께



2. 리미트

실패 예방을 위한 리미트

- 최대 가공속도
- 최대 절삭력
- 최대 공구 힘





OPTIMAL Cutting

Maximize the
chip thickness



Matched
to the tool



Keep it
constant



Limit
Excesses



40% 가공시간 단축



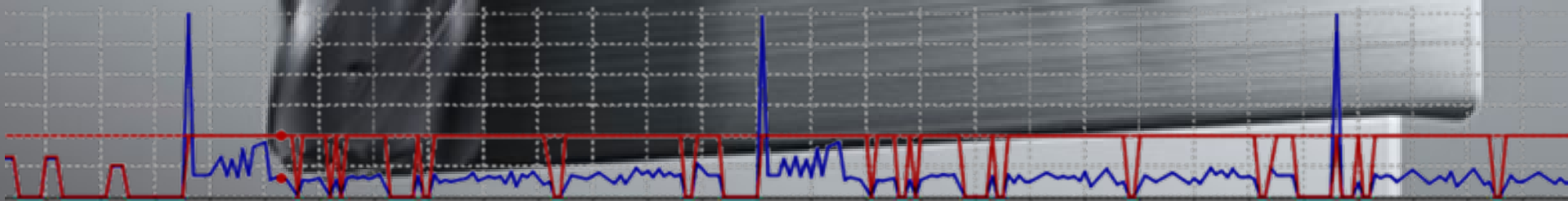
VERICUT[®] FORCE

CGTECH



FORCE

최적화 방법



VERICUT[®] FORCE

CGTECH

절삭력 계산을 위한 정보 입력

밀링

- 공구 지름
- 날 수
- 헬릭스 각
- 래디얼 레이크 각

선반

- 레이크 각

공구 정보

공구지름

날 수

헬릭스 각

레이크 각

공구 제조사에서

공구 정보

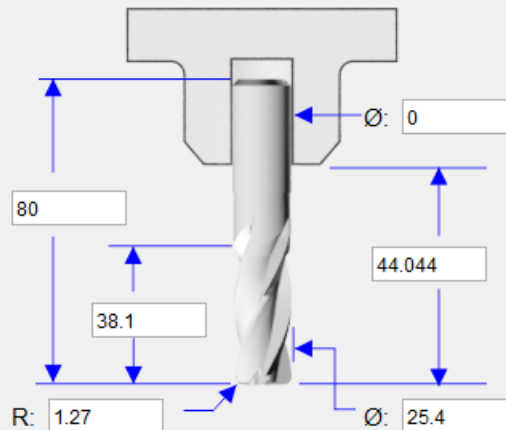
Tool Component Assembly

Revolved Cutter

Insert Cutter



Bull Nose End Mill



Color



☒ Default

Teeth

4

Spindle Direction



CW



CCW

☐ Alternate

Force Settings

☐ Treat Cutting Portion as Insert

Helix Angle(Degree)

30

Radial Rake(Degree)

5

Cutter Material

Carbide



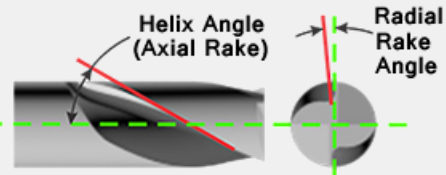
+

Edge Type

Straight



+



VERICUT® FORCE

제한값(리미트) – 경고 발생

Cutting Limits

Optimization

Stock Material : Titanium+6AL+4V+HRC37

Machine : Default

Tool/Operation Description : T46

Teeth : 4

Cutting Limits

☐ Spindle Speed

Min : 100

Max : 20000

RPM

☒ Default

☒ Feedrate

Min : 25

Max : 2286

mm/min

☒ Default

☐ Chip Thickness

Min : 0.0003

Max : 5.715

mm

☒ Default

☐ Axial Depth of Cut

Max : 38.1

mm

☒ Default

☐ Radial Width of Cut

Max : 25.4

mm

☒ Default

☐ Surface Speed

Min : 664.9704

Max : 132994.089

meter/min

☒ Default

☐ Volume Removal Rate

Max : 2212253.64

mm³/min

☒ Default

☐ Ramp Angle

Max : 0

degree

Tool Wear

☐ Cut Time

Max : 0

min

☐ Cut Distance

Max : 0

mm

☐ Cut Volume

Max : 0

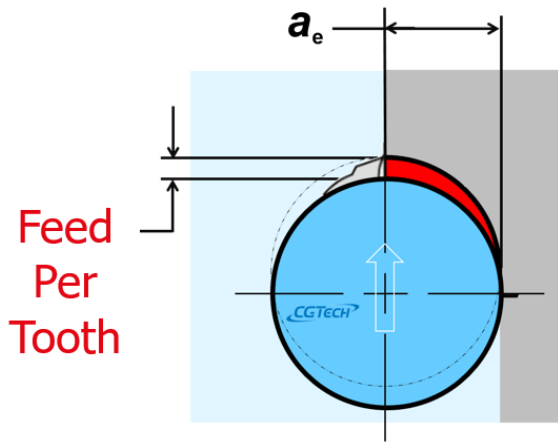
mm³

칩두께 산출

공구 제조사의 가공
데이터에서 칩두께
정보 취득

공구가 디자인 된
날당 이송속도

다음 장에 예시



Optimization

Stock Material: Aluminum+7075+T651+HRB77
Machine: Default
Tool/Operation Description: APR-3 25x43 /R3 Ripper 60mm reach Z3
Teeth: 3

Optimization Method: ☒ Chip Thickness & Force

Force Material File: ☒ Auto Select ☐ Choose File
minum+7075+T651+HRB77_Carbide_Serrated_020752.vcfm

Optimize: ☐ Stock Cuts ☐ Air Cuts ☒ Both

Motion Breakup: ☐ Modify Existing Cuts Only ☒ Add More Cuts

Resolution: Auto mm 25

Minimum Feedrate Change: 25 mm/min ☒ Default

Minimum Cut Feedrate: 25 mm/min ☒ Default

Maximum Cut Feedrate: 2250 mm/min ☐ Default

Air Cut Feedrate: 4000 mm/min ☐ Default

Clean-up Feedrate: 18001 mm/min ☐ Default

Combined Chip and Force Method:
Feedrate is adjusted to maintain either: 1) specified Chip Thickness, or 2) Force Limit, whichever produces a lower Feedrate.

Optimization Settings

Chip Thickness: mm

Force Limit: 4000 N

Maximum Tool Deflection: 0.0254 mm

☐ Warn when Max Tool Deflection is exceeded.

Calculator

- Adjust Entry/Exit
- Adjust Plunge/Retract Feed
- Adjust Channel Cut
- Adjust Hard Material
- Adjust Ramp Feed/Angle

날당 이송속도의 예

지름 1"

날장 수 4

밀링 소재 티타늄 6al4v

날당 이송속도 .0055" = 0.1397mm

Material Guide		Hardness	SFM	Inches per Tooth (IPT)																				
				1/8			3/16			1/4			3/8			1/2			3/4			1		
				Slot	Rph	Fin	Slot	Rph	Fin	Slot	Rph	Fin	Slot	Rph	Fin	Slot	Rph	Fin	Slot	Rph	Fin	Slot	Rph	Fin
TITANIUM ALLOY	Ti 3Al-2.5V, Ti 6Al-4V, Ti 10V-2Fe-3Al	21 - 38 HRC	200	.0005	.0007	.0004	.0008	.0010	.0005	.0007	.0012	.0007	.0015	.0020	.0011	.0020	.0028	.0015	.0030	.0040	.0022	.0040	.0055	.0028
		38 - 50 HRC	140	.0004	.0006	.0003	.0006	.0008	.0004	.0006	.0010	.0006	.0012	.0018	.0009	.0018	.0022	.0012	.0025	.0035	.0018	.0035	.0045	.0025

Optimization Settings

Chip Thickness

mm

Force Limit

N

Maximum Tool Deflection

mm

☐ Warn when Max Tool Deflection is exceeded.

절삭력 리미트

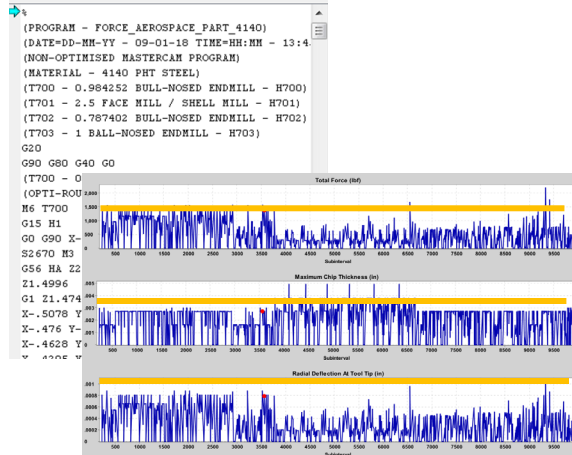
- 꼭 필요한 경우가 아니라면 절삭력 리미트는 설정하지 않아도 된다.
- 일반적인 절삭 조건과 적절한 칩두께 설정에서는 절삭력이 문제가 되지 않는다.
- 포스 차트에 극단적인 스파이크가 보인다면 절삭력 리미트를 설정한 필요가 있을 수 있다.

Force 최적화 방법



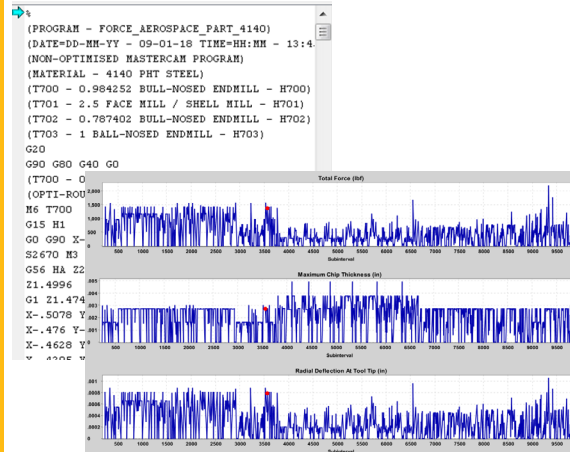
Good

NC PROGRAM 기반



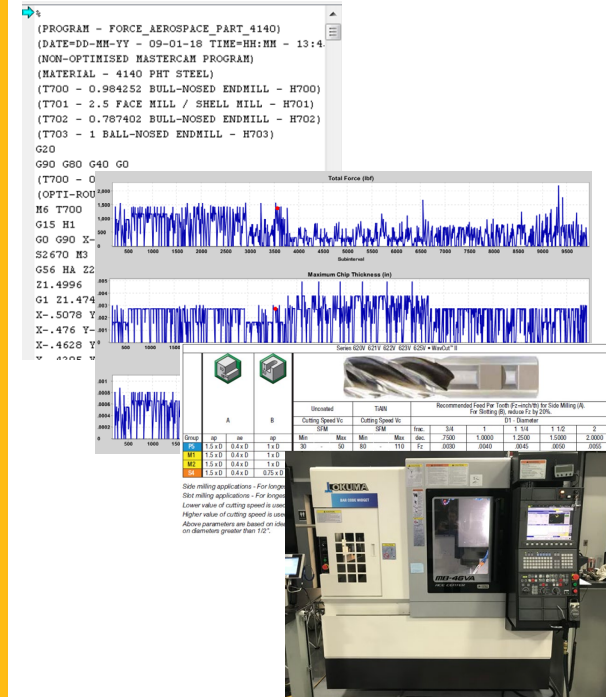
Better

공구 데이터 기반



Best

실 가공 테스트 기반



FORCE를 사용해야 하는 이유



FORCE가 필요한 이유

부적절한 **가공속도**는 현장에서 발생하는 가장 흔한 **3대 낭비요소**의 하나일지도 모른다.

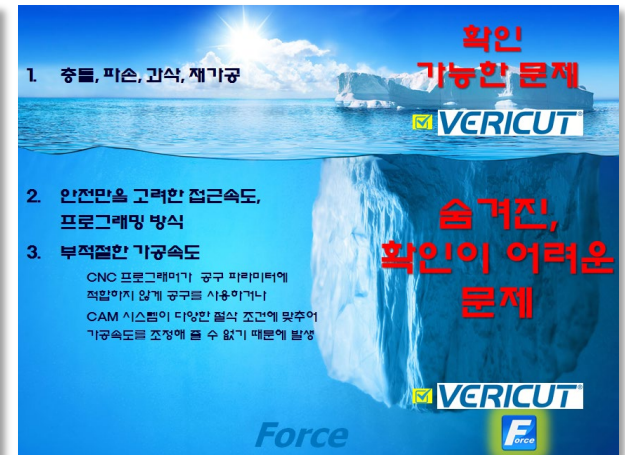
- Pete Haas

- 1- 불량, 과식, 재가공
- 2- 안전만을 고려한 접근 속도, 프로그래밍 방식
- 3- 부적절한 절삭력과 속도



VERICUT FORCE

CGTECH



목표: 최대 칩두께

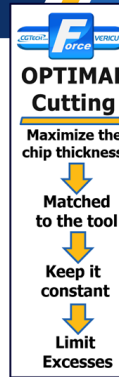
h_{ex}

최대 칩두께는 안정적인 밀링 가공의 가장 중요한 파라미터다.

효율적 가공은 밀링 공구에 가장 적합한 최대 칩두께가 일정하게 유지될 때 가능하다.



VERICUT FORCE



CGTECH

FORCE로 균형 잡힌 최적화

1. 최적화

- 최적의 가공
- 최대 칩두께
 - 일정한 칩두께



2. 리미트

- 실패 예방을 위한 리미트
- 최대 가공속도
 - 최대 절삭력
 - 최대 공구 힘



VERICUT FORCE

CGTECH

VERICUT® FORCE

CGTECH

Force 하이라이트

- VERICUT 소프트웨어 하나로 시뮬레이션, 검증, 최적화 모두 가능
- FORCE로 데이터 기반 가공 실현. 제조 과정의 결정은 과거 경험, 이론, 의견이 아닌 사실에 근거하여 내릴 수 있게 된다. 실 데이터로 올바른 의사결정과 최적의 결과 도출이 가능해진다.
- VERICUT의 검증 그래픽, NC 프로그램 정보, 포스 차트 덕분에 데이터 기반의 제조 관련 결정이 쉬워진다.
- 최대 칩두께 (h_{ex}) 가 일정하게 유지된다 .
- 절삭력, 파워, 과도한 가공속도 등 무리한 절삭 조건을 예방한다.
- 과도한 공구 휨, 토크, 파워 등 시각화 하여 경고 해 준다.
- NC 프로그램의 문제가 되는 부분을 쉽고 빠르게 찾을 수 있다 (NC 프로그램 리뷰)
- NC 프로그램 차트와 G코드의 전/후 비교를 빠르고 쉽게 시각화하여 보여준다.
- 시간과 비용 절감 효과를 계산해 보여준다.
- 각 공구 별 가공시간 단축을 보고서로 확인할 수 있다.
- FORCE는 절삭력과 파워, 최적의 절삭 조건을 실 가공 전에 예측해 준다. 물리적 기반의 FORCE 예측은 적극적 최적화이다.
- FORCE는 공구가 소재를 접촉하는 순간을 분석하여 공정 처음부터 끝까지의 최적 가공속도를 산출한다.
- FORCE는 필요에 따라 NC 코드를 작은 구간으로 나누고 칩두께가 일정하게 유지될 수 있도록 가공속도를 조정한다. CAM 시스템은 할 수 없거나 하지 않는다.
- FORCE는 CNC 프로그램을 개선하여 무인가공 실현이 가능하게 한다. 작업자가 장비를 지켜보고 있을 필요가 없다.
- VERICUT 검증과 FORCE는 가공 최적화와 충돌방지, 불량 방지, 과부하 방지의 균형을 찾아준다. 프로그래머와 담당자가 좋은 결과를 자신할 수 있다.
- 새로운 NC 프로그래머를 교육하는 최적의 분석 및 최적화 도구이다.

효과/장점:

사용 기업이 느끼는 실질적 효과/장점은?

- 납기 준수 (단축)
- 역량 강화 (처리량 증가)
- 수익증대
- 경쟁력 강화 (비용 절감)
- 효율적인 가공 인력 활용 (무인가공 실현)
- 공구 마모 감소 (공구 수명 증가 및 성능 향상)
- 장비 활용도 향상 (성능 향상 및 유휴 시간 단축)
- 파트 및 직무의 일관성 향상 (NC 프로그래머와 무관)
- 안전한 무인가공

그 외의 FORCE 사용으로 인한 이익

- 무리한 가공을 제거하고 보다 안전하고 개선된 NC프로그램 생성
- NC 프로그래머가 실 가공 전에 문제점 확인할 수 있도록 도움
- NC 프로그래머가 개선의 여지를 파악할 수 있도록 도움
- 신규 혹은 낮은 경력의 NC 프로그래머 교육을 위한 훌륭한 도구로 활용

– 문의

- (031) 389-6070
- info.Korea@cgtech.com
(자료 요청 등)
- www.cgtech.co.kr

