

이송률 제어 기법을 이용한 항공기 Wing Rib의 5축가공기술 개발

The Development of 5-Axis Control Machining for Wing Rib of Aircraft using Feedrate Control

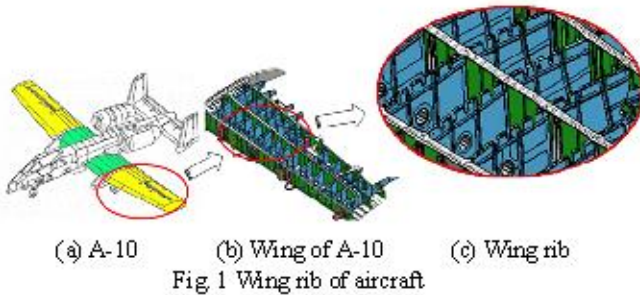
*정현철¹, 박기범², 황종대³, 정운교⁴, 정해영⁵

¹H. C. Jung¹, ²K. B. Park², ³J. D. Hwang³, ⁴Y. G. Jung(ygjung@changwon.ac.kr)⁴, ⁵H. Y. Jung⁵
^{1,4} 창원대학교 기계공학과, ²창원대학교 대학원 기계공학과, ³창원대학교 TIC, ⁶(주)포렉스

Key words : 5 axis Control Machining, Feedrate Control, Optipath Control, Wing Rib, Post Processor

1. 서론

항공기의 Wing Rib 부품은 날개 구조를 지지하는 핵심부품으로 하중을 최소화하면서 강성을 최대화하기 위한 목적으로 Fig 1에서 보는 바와 같이 알루미늄 플레이트의 체적을 제거한 후 골격만 유지한 Rib 형상을 갖는 부품이다. 이와 같은 부품을 3축 제어가공할 경우 여러 개의 부품으로 분할하여 조립제작해야 하므로 여러 문제점을 내포하고 있다. 이러한 문제들을 해결하기 위해 하나의 부품으로 일체형 가공을 수행하는 5축 제어 가공 기술이 큰 호응을 얻고 있다.



그러나 5축 제어가공에 있어서도 Fig 2 와 같이 얇고 평편한 Wing Rib과 같은 박판 구조물은 절삭부하의 변동에 매우 취약하여 휨이나 비틀림이 상존하므로 가공 시 변형을 최소화하기 위한 방안이 필요하다. 이를 위하여 본 연구에서는 공구 끝에서 일정한 이송률을 제어한 후 소재 제거율을 고려한 이송률 제어 기법을 적용함으로써 효율적인 5축가공 기술을 개발하고자 한다.

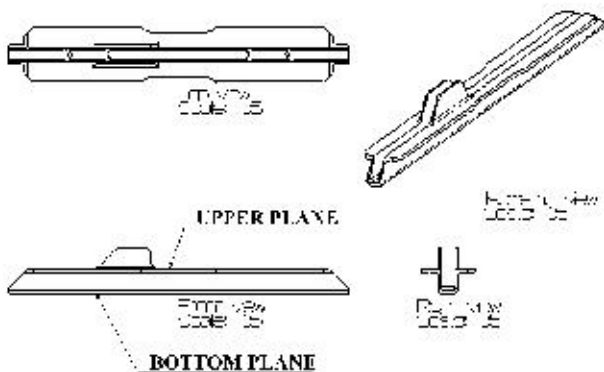


Fig 2. Drawing of wing rib

2. 이송률제어의 원리

자유곡면의 5축가공에서 곡면의 곡률이 몰수록 역기구해로 구한 NC 데이터와 가공물을 실제 절삭하는 공구 끝점인 CL 데이터간의 이송률은 큰 차이를 보인다. 이는 5축제어가공에서의 이송속도는 CL 데이터의 이송속도가 아니라 역변환한 NC 데이터에 의한 이송속의 이송속도를 나타내기 때문이다. Fig. 3 은 이에 대한 개념도를 나타낸다 Fig 3의 (a)는 임펠러 허브부에 대한 5축가공과 같이 오목한 형상을 가공할 때 이송률의 오차를

나타내는 개념도로써 CL 데이터의 이송거리가 피봇길이와 제어 지길이를 합한 거리(PL+GL) 만큼 움직인 공구 틸팅축에서의 NC 데이터의 거리보다 길어지게 되어 주어진 NC 데이터의 이송률에 비해 속도가 빨라지게 되므로 절삭부하가 커지는 경우이다. 반면 Fig 3의 (b)는 블레이드 곡면 가공과 같이 볼록한 형상의 경우로서 이 때는 오목한 경우와 반대로 CL 데이터의 이송거리가 NC 데이터의 이송거리보다 짧아지게 되어 불필요한 가공시간의 지연이 예상된다.

따라서 NC 데이터로 지정한 이송률을 실제가공 경로인 CL 데이터의 이송거리에 맞게 재설정해주어야 하며 식 (1)과 같이 구할 수 있다.

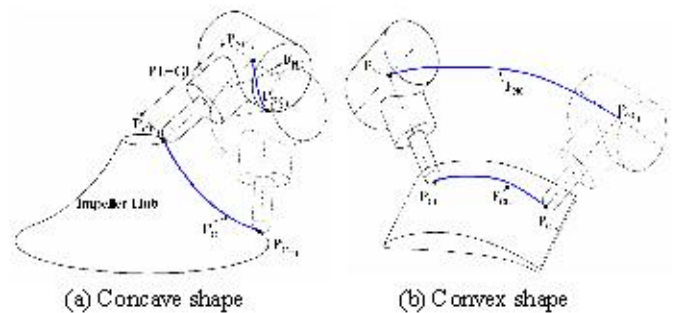


Fig 3 Schematic of feedrate deviation in 5-axis machining

$$D_{CL} = |P_{CL1} - P_{CL2}|, \quad T_{CL} = D_{CL} / F_b \quad (1)$$

$$F^i = (P_{NC}^i - P_{MC}^i) / T_{CL}, \quad F_a = \sqrt{\sum_{i=1}^6 (F^i)^2}$$

여기서, D_{CL} : CL 데이터 P_{CL1} 과 P_{CL2} 간의 거리
 F_b : 지형 이송속도, T_{CL} : D_{CL} 거리를 F_b 로 갈 때 소요시간
 F^i : 각 축에서의 보정 이송속도, F_a : 축보정 이송속도

3. 이송률 제어 기법을 이용한 5축 가공

3.1 공구 끝에서의 일정 이송률 제어

앞서 언급한 바와 같이 Pivot Point와 공구 끝점의 이송률을 일정하게 제어해주기 위한 Post-Processor의 개발에 대한 연구가 이루어진 바 있고, 이를 토대로 5축가공용 Post-Processor인 E-POST의 개발 및 검증에 대한 연구³ 수행한 결과 공구 끝의 일정 이송률 제어를 통하여 표면 조도가 향상되는 결과를 얻은 바 있다.

본 연구에서는 공구 끝에서의 일정 이송률 제어가 가능하도록 개발되어진 Post-processor인 E-POST를 활용하여 Wing Rib의 5축가공을 위한 NC Data 를 생성함으로써 1차적인 이송률 제어를 수행하였다.

3.2 소재 제거율을 고려한 이송률 제어

가공곡면의 형상에 따라 공구가 시간당 제거하는 소재의 부피는 계속하여 변화하며 이 때 공구에 발생하는 부하의 변동은

초래하여 파손 및 조기 마모의 원인으로 작용한다. 제품에 있어서도 소재에 가해지는 부하가 일정하지 않으므로 표면조도 및 형상정밀도를 저하하는 원인으로 작용한다. 또한 소재제거율이 낮은 구간에서도 느린 이송속도로 진행함으로써 생산성 역시 저하된다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 가공 중에 변화하는 소재제거 체적에 따라 이송률을 변화시켜줌으로써 소재제거율을 일정하게 제어하고자 하며 이를 통하여 공구와 소재에 일정한 부하를 발생시킴으로써 공구의 수명 증가 및 제품의 품질을 향상시키고, 가공시간도 단축시켜 생산성을 증대시킬 수 있다.

이를 적용하기 위하여 CGTech 사의 VERICUT 소프트웨어의 Opti-Path 기능을 활용하였다. 모의가공을 통하여 각 구간에서 발생하는 소재제거율을 계산한 후, 이송률 제어를 통하여 소재제거율을 일정하게 제어함으로써 공구 및 소재에 발생하는 최대 부하는 줄이고, Air Cut 및 소재제거율이 낮은 구간에서의 이송률은 높여줌으로써 가공시간을 단축시키는 결과를 얻을 수 있었다.

4. 이송률 제어 결과 분석

Table 1은 각 공정에서의 초기 NC data(이하, Original Data)와 이송률을 최적화하여 소재제거율을 일정하게 제어한 NC data(이하, Optimized Data)의 가공시간을 비교하여 출력한 결과이다. 소재 제거율이 높은 부분에서는 이송률을 낮추어 공구의 부하를 줄였지만 소재 제거율이 낮은 부분에서는 이송률이 높아져 결과적으로는 가공시간이 줄어들게 되어 생산성이 향상되었음을 알 수 있다.

Table 1 Result of optimization for NC code

Process	Tool Distance	Original Time (min)	Optimized Time (min)	Time Difference	Material Removed (mm ³)
Roughing	φ20, 150L	38.0216	31.5936	16.9061%	1345346.6638
Semi-Finishing	φ12, 190L	20.6462	15.747	23.7292%	430978.5837
Finishing	φ12, 200L	3.0352	2.2408	26.1728%	11674.5173
Total		61.703	49.5814	19.6451%	1787999.764

Fig 4는 Original Data와 Optimized Data의 소재제거율 변화 곡선을 비교한 그래프로써 (B) 영역 안의 그래프가 Original Data이고 (A) 영역 안의 그래프는 Optimized Data로서 계속하여 변동하던 소재 제거율이 최적화를 통하여 소재 제거율이 높지만 고르게 분포 되어 있음을 확인 할 수 있다 (C) 영역 안의 그래프는 실제 가공이 이루어지지 않는 Air Cut이 발생하는 부분이다.

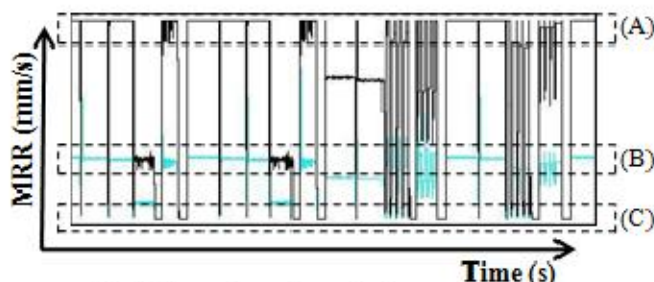


Fig 4 Comparison of material removal rate curve between original data and optimized data

5.5축가공 및 측정

이송률제어를 수행한 경우와 수행하지 않았을 때 실제 가공에서의 차이를 비교하기 위하여 CMI사의 T35 5축가공기에서 절삭가공을 수행하고 생산성 향상 효과를 검증하기 위하여 실제 가공에 걸린 소요시간을 Original Data와 Optimized Data에 대하여 각각 타이머를 사용하여 측정하였다. 측정결과 Table 2에서 보는 바와 같이 약 20분 가량 가공시간이 단축되어 약 18%의 생산성 향상 효과가 있음이 검증되었다.

Table 2 Machining Time

Element	Original data	Optimized NC data
Mach. Time (min)	110	90

또한 이송률 제어에 따른 부하변동의 억제를 통한 품질 향상 효과를 검증하기 위하여 각 경우에 따라 가공한 가공품에 대하여 표면조도를 측정하였다. 각각 상면과 하면에 대하여 반복 측정된 결과 Table 3에서 보여주듯 Optimized Data에 의한 표면조도가 Original Data에 비하여 약 Ra 0.12(μm) 정도 향상되었음을 알 수 있었다.

결과적으로 이송률 제어를 통하여 생산성 향상과 표면조도 향상 결과를 동시에 얻을 수 있음이 검증되었다.

Table 3 Measured Result

Element	Original data			Optimized data		
	Upper	Bottom	Ave.	Upper	Bottom	Ave
Ra(μm)	0.57	0.42	0.5	0.42	0.34	0.38

6. 결론

넓고 평편한 박판 구조물인 Wing Rib의 5축가공시 변형을 최소화하기 위하여 일차적으로 공구끝에서의 이송률을 일정하게 제어한 후 소재제거 체적에 따른 이송률을 재차 제어함으로써 소재제거율을 일정하게 한 결과 약 18%의 생산성 향상과 Ra 0.12(μm)의 표면조도 향상 효과를 얻을 수 있었다.

후기

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RT104-01-03) 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Lee, C. S. and Lee, J. P., 2001, "Calculating the Feedrate of 5-Axis NC Machining Data for the Constant Cutting Speed at a CL-point," Proceedings of the Society of CAD/CAM Engineers, Vol. 6, pp. 69-77.
2. J. Y. Oh, J. D. Hwang, Y. G. Jung, "Development of post-processor for constant feedrate controlled 5-axis machining" 2008 Spring Conference of KSPE, pp. 385-386
3. H. C. Jung, J. D. Hwang, J. Y. Oh, K. B. Park, Y. G. Jung, "Development and Verification of Post-Processor for 5-Axis Control Machining," Journal of Korean Society of Precision Engineering, Vol. 21, No. 6 pp. 349-350.