

대형항공기 날개 리브 가공을 위한 자동화 공정 시뮬레이션

송철기*, 이대건**, 이창범***, 김갑순**.#

*경상대학교 기계공학부, **경상대학교 제어계측공학과, *** (주)율곡 연구소

Method to Simulate the Automatic Processing of Large Aircraft Wing Ribs

Chul Ki Song*, Dae-geon Lee**, Chang-beom Lee***, Gab-soon Kim Kim**.#

*School of Mechanical Engineering(ERI), Gyeongsang National UNIV.

**Department of Control & Instrumentation Engineering(ERI), Gyeongsang National UNIV.

***Research Institute, Yulkok LTD.

(Received 29 June 2020; received in revised form 15 July 2020; accepted 21 July 2020)

ABSTRACT

In this study, the automatic processing of the wing ribs of large aircraft was simulated. Specifically, in the simulation for the automatic processing of the fly ribs, the process of the automated loading device with a robot was examined, along with the wing rib processing and manufacturing automation processes. Moreover, the process time, corresponding to all the stages in the wing rib processing, was calculated. The results pertaining to the machining and manufacturing times of 34 wing ribs (Nos. 1-17), as obtained through the proposed simulation approach, indicated that the total machining time for the left and right wing ribs and rib guns was 537.7 h. The production time was calculated as 1,117.4 h. It is considered that the processing of the wing ribs of large aircraft can be automated in a factory, based on the results of the proposed simulation process.

Key Words : Wing Rib(날개 리브), Aircraft Parts(항공기 부품), Simulation(시뮬레이션), Automation Robot(자동화 로봇), Smart Factory(스마트공장), Aircraft Wing(항공기 날개)

1. 서 론

보잉 B777X 대형항공기의 주 날개는 Fig. 1에서 나타낸 것과 같이 날개 표면, 날개 리브(wing rib) 등으로 구성되었고, 날개 리브는 한쪽 날개에 1~17번까지 총 17개로 구성되었고, 좌측과 우측날

개의 총 리브 수는 34개로 구성된다. 날개 리브의 완성품을 위해서는 기계장치에 원소재를 날개 리브 모형절삭, 기계가공, 정밀측정, 사상 등을 복잡한 공정을 거친다. 현재 대부분의 항공기 부품 가공업체에서는 기계가공을 제외한 나머지 공정을 수작업으로 수행하고 있다. 국내 항공업체에서 생산성을 증가시키기 위해서는 수작업으로 수행하는 작업을 자동으로 실행하도록 하는 공정자동화가 필요하다. 지금까지 항공기 날개 리브 가공을 위

Corresponding Author : gskim@gnu.ac.kr

Tel: +82-55-772-1745, Fax: +82-55-772-1749

한 자동화 공정을 연구한 적이 없을 뿐만 아니라 자동으로 생산하는 자동생산공장이 구축되지 않았다. 항공기 부품 가공을 위한 공정 시뮬레이션에 관한 연구는 다음과 같이 수행되었다.

Kim^[1]은 항공기 부품을 위한 스마트공장 구축 시나리오를 연구하였고, Lee^[2]는 항공기부품 제조 공장 포장공정 분석을 위한 시뮬레이션을 수행하였다. 그리고 Lee^[3]는 항공기 프레임 제작을 위한 리벳팅 공정의 구조해석을 수행하였고, Lee^[4]는 공기 Wire Harness 제조공정 시스템의 효율 향상을 위한 회로테스트 분석 및 무선 최적화 방안을 연구하였으며, Kim^[5]은 아노다이징 표면 처리된 항공기 저장조의 내면 정밀연마를 위한 제조공정의 개선을 연구하였다. 또한 Heo^[6]는 TRIZ를 이용한 상용항공기 레이돔 페인트 그라인딩 자동화시스템 장비의 진공확장지그에 대한 최적설계를 연구하였고, Na^[7]는 대체장비를 고려한 항공기 부품 생산 라인의 ARENATM 시뮬레이션 모델링 방법론을 연구하였다. Han^[8]은 육각형 구조 토어의 제조기술을 연구하였다. 지금까지는 대형항공기 날개 리브 가공을 위한 자동화 공정 시뮬레이션이 수행되지 않았으므로, 항공기 날개 리브의 가공 생산성을 향상시키기 위해 자동화 공정개선 시뮬레이션 연구가 필요하고, 이를 토대로 공장자동화 구축이

필요하다.

본 논문에서는 대형항공기 날개 리브를 자동으로 가공하기 위한 자동화 공정 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션은 로봇을 이용한 자동적재장치와 자동화공정, 날개 리브 가공 및 제작 자동화 공정, 날개 리브의 모든 공정을 통합한 종합공정 및 공정시간 산출결과를 수행하였다.

2. 자동화 공정 시뮬레이션

자동화 공정으로 가공하는 대형항공기 날개 리브는 좌측과 우측이 각각 1~17번 등 17종으로 총 34종이다. 이것들을 자동으로 가공하기 위한 자동화 공정 시뮬레이션은 로봇을 이용한 자동적재장치와 자동화공정 시뮬레이션, 날개 리브 34종(No. 1 ~ No. 17) 가공공정 시뮬레이션, 12번(No. 12) 날개 리브의 모든 공정을 통합한 종합시뮬레이션 등 3가지로 실시하였다. 날개 리브 크기는 두께가 96.5~152.4 mm, 폭이 767.1~1,694.2 mm, 길이가 4,051.3~5,128.3 mm이며, 질량이 29.61~117.97 kg이다. 리브의 재질은 Al 7050-T7451이다. Fig. 2는 대형항공기 날개 리브 2개를 가공하는 가공순서를 나타내고 있고, 가공순서는 원소재를 리브모양 절단, 전면 1차 황삭가공, 후면 2차 황삭 및 정삭가공, 전면 3차 정삭가공이다. 날개 리브의 전면을 1차 황삭가공하는 이유는 넓은 면을 평면도를 유지하기 위해 평면을 정밀가공하고 리브 홈 등을 황삭한다. 그리고 3차 정삭가공에서 전면의 홈 등을 치수에 맞도록 정밀가공한다.

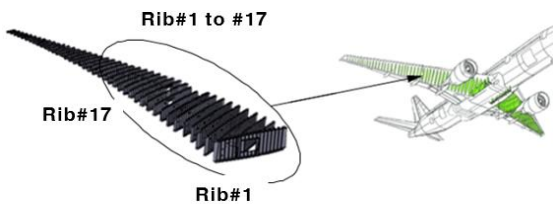


Fig. 1 Wing rib of a large aircraft

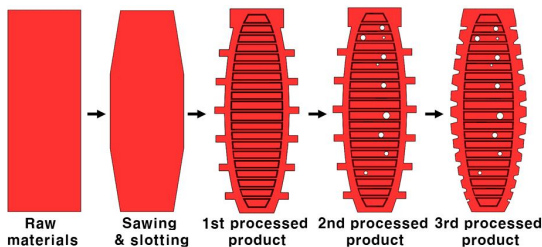


Fig. 2 Processing order of large aircraft wing rib

2.1 로봇을 이용한 자동적재장치의 자동화 공정 시뮬레이션

Fig. 3은 항공기 날개 리브의 자동적재장치(auto stacking system)를 나타내고 있고, 이것은 원 소재를 적재하는 소재적재장치와 1차 가공품을 적재하는 1차 가공품 적재장치로 구분된다. 소재적재장치는 좌측과 우측에 2열, 9층으로 구성되어 총 36개의 적재공간을 가지고 있고, 가공품 적재장치도 소재적재장치와 마찬가지로 총 36개의 적재공간을 가지고 있다.

Fig. 4는 자동적재장치의 자동화 공정 시뮬레이션 결과를 나타내고 있고, 이것은 (a)에서 나타낸 것과 같이 자동적재장치와 2대의 가공기계로 구성되며, 동그라미는 날개 리브의 가공품이다. 그러므로 자동적재장치의 자동화 공정 시뮬레이션은 소재를 자동적재장치에 적재하고, 2대의 가공기계로 1차 가공을 수행하는 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 우선, 소재를 자동적재장치의 소재 적재장치에 적재하고, 이 소재를 1차 가공기계로 이송하여 1차 가공완료하며, 이것을 자동적재장치의 가공품 적재장치에 적재하는 순서로 진행되었다. 날개 리브의 적재 및 1차가공 순서는 1~17번 (No. 1~No. 17) 순서로 소재적재장치로 적재하고, 1차 가공도 같은 순서로 진행된다. 즉, 적재장치에 적재와 1차 가공순서는 Fig. 4의 (a) 1번과 2번 소재 적재 장치 적재, (b) 1번 소재 1차 가공(가공기계), (c) 1번 소재 1차 가공 완료, (d) 1번 제품 가공품 적재장치 적재 등이다. Fig. 3의 (a) 1번과 2번 소재적재장치 적재는 첫 번째이므로 적재하지 않고 자동적재장치를 통과하여 가공기계 1번과 2번으로 자동 진입하게 된다. 그리고 나머지는 순서와 같이 진행된다.

시뮬레이션 결과, 자동적재장치의 적재시간은 소재가 적재장치까지 이동시간이 15초(이동로봇의 이동속도 : 0.25 m/s)이고, 적재장치 리프트가 1층에서 9층까지 올라가는 시간이 13초(이동속도: 0.40 m/s)이며, 각 층에서 적재하는 시간이 15초(이동속도: 0.25 m/s)이므로 총 적재시간은 최대 45초로 산출되었다.

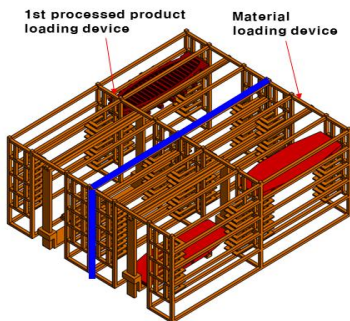
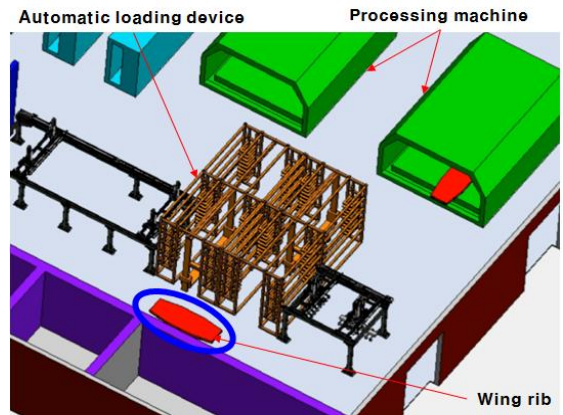
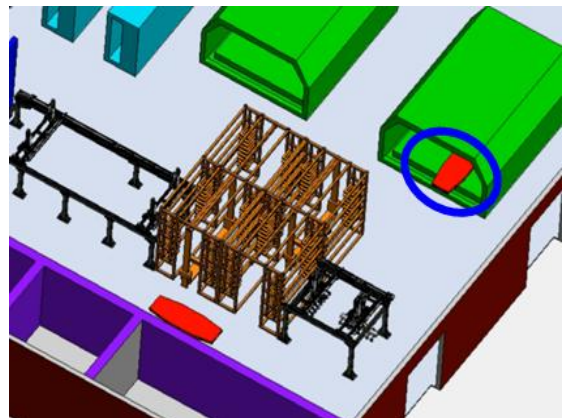


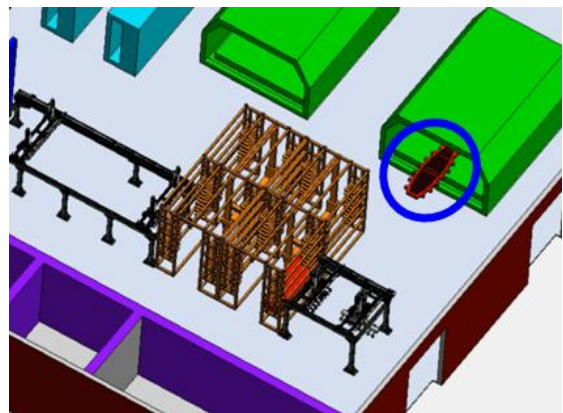
Fig. 3 Automatic loading device of wing ribs of a large aircraft



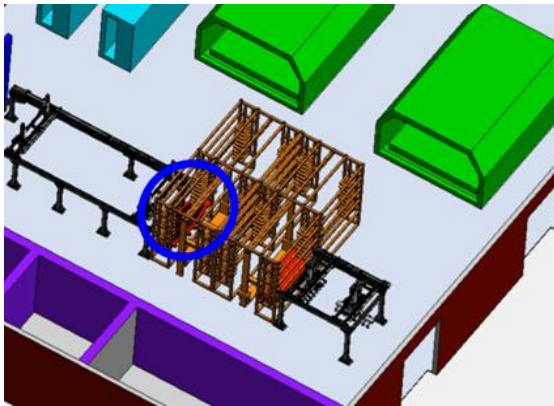
(a) Entry of material loading device for materials No. 1 and No. 2



(b) The 1st processing of the No. 1 material (processing machine)



(c) Completed the 1st processing of the No. 1 material



(d) No. 1 product processing product loading device loading

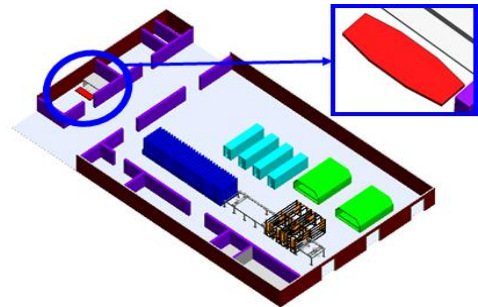
Fig. 4 Automated process simulation result of automatic loading device

2.2 날개 리브 34종(No. 1~No. 17) 가공 공정 시뮬레이션

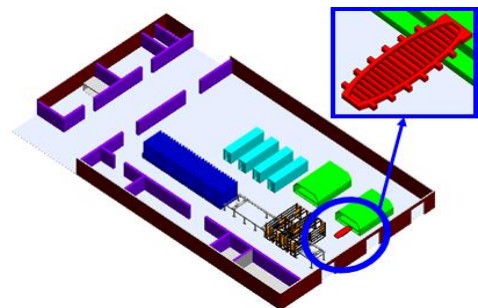
Fig. 5는 날개 리브 34종(No. 1~No. 17) 가공 공정 시뮬레이션 결과를 나타내고 있고, 가공순서는 (a)~(d)와 같으며, 동그라미는 날개 리브의 가공품이고 네모는 그것을 확대한 모습이다. 각 가공에서 1차 가공은 가공기계구조상 날개리브를 수평으로 위치한 상태로 가공을 수행하고 2~3차 가공은 수직으로 위치한 상태로 가공을 수행한다.

Fig. 5의 (a)는 날개 리브 모형가공(Smart Sawing & Slotting)을 수행하는 공정과 날개 리브 모형가공한 모습, (b)는 소재의 1차 가공(전면황삭)을 수행하는 공정과 1차 가공한 제품모습, (c)는 2차 가공(후면 황삭과 정삭)을 수행하는 공정과 1차 가공한 제품모습, (d)는 3차 가공(전면 정삭)을 수행하는 공정과 3차 가공한 제품모습을 나타내고 있다. 12번(No. 12)의 날개 리브 가공시간은 날개 리브 모형가공이 2시간(120분), 소재의 1차 가공(전황삭)이 2.75시간(165분), 2차 가공(후면 황삭과 정삭)이 3.75시간(225분), 3차 가공(전면 정삭)이 7.7시간(460분)이었다.

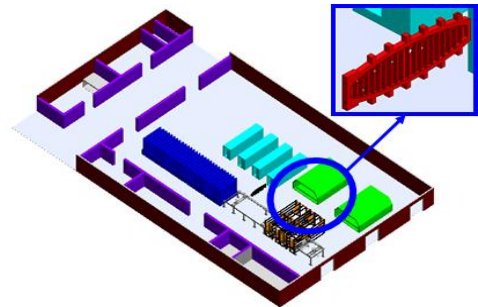
2.3 12번(No. 12) 날개 리브의 모든 공정을 통합한 종합시뮬레이션



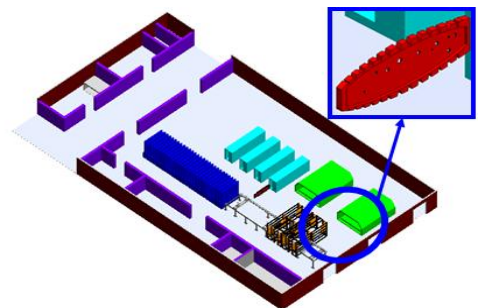
(a) Wing rib model cutting



(b) The 1st processing (front roughing)



(c) The 2nd machining (rear roughing and finishing)



(d) The 3rd processing (front finishing)

Fig. 5 Wing rib 34 types (No. 1 to No. 17) machining process simulation results

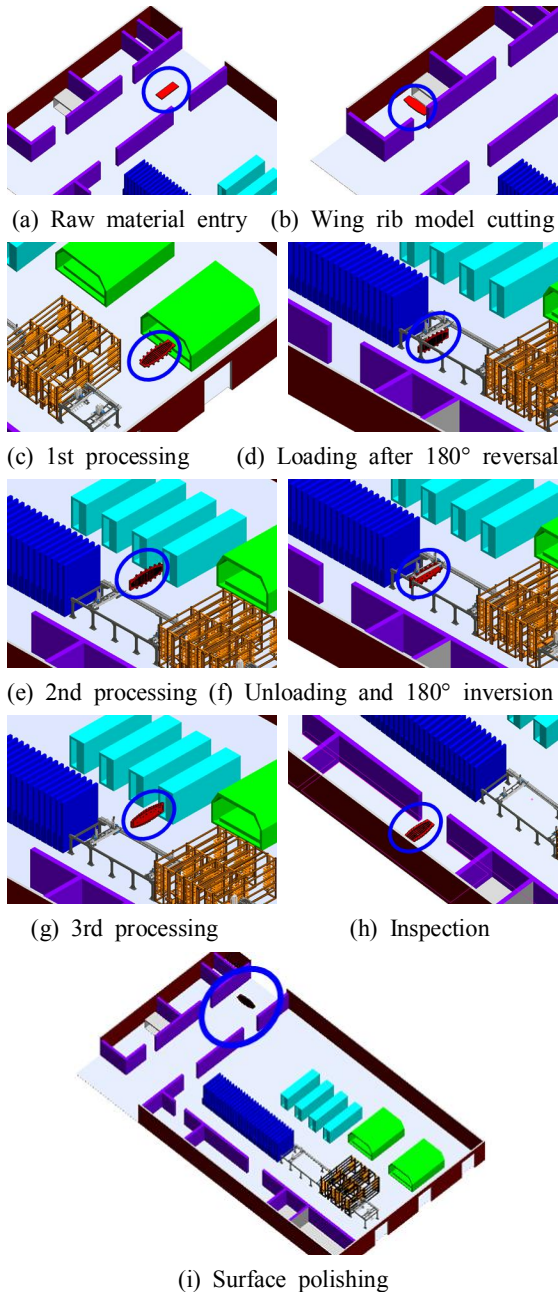


Fig. 6 Comprehensive simulation incorporating all processes of the No. 14 wing rib

Fig. 6은 12번(No. 12) 날개 리브의 모든 공정을 통합한 종합시뮬레이션 결과를 나타낸 것이고, 이

것은 (a)는 처음 원소재가 들어오는 모습, (b)는 원소재를 날개 리브로 절단된 모습, (c)는 1차 가공(전면 황삭)되어 제품으로 나오는 모습, (d)는 1차 제품을 반전 로봇을 이용하여 180°회전하여 로봇(RGV)에 장착하기 위해 90°로 세우는 모습, (e)는 1차 제품을 2차 및 3차 가공기에 넣어 2차 가공(후면 황삭 및 정삭)을 마치고 2차 제품으로 나오는 모습, (f)는 3차 가공(전면 정삭)을 위하여 소재를 탈착한 후 180 회전하여 다시 장착하는 모습, (g)는 2차 제품을 2차 및 3차 가공기에 넣어 3차 가공(전면 정삭)을 마치고 3차 제품이 나오는 모습, (h)는 모든 가공이 끝난 3차 제품을 검사하는 모습, (i)는 사상된 모습을 각각 나타내고 있다. Fig. 6의 동그라미는 날개 리브의 가공품을 나타낸다.

총 34종의 날개 리브 중 12번의 모든 공정을 통합한 종합시뮬레이션 및 공정시간을 산출하고 나머지 날개 리브는 이것을 토대로 원소재의 질량

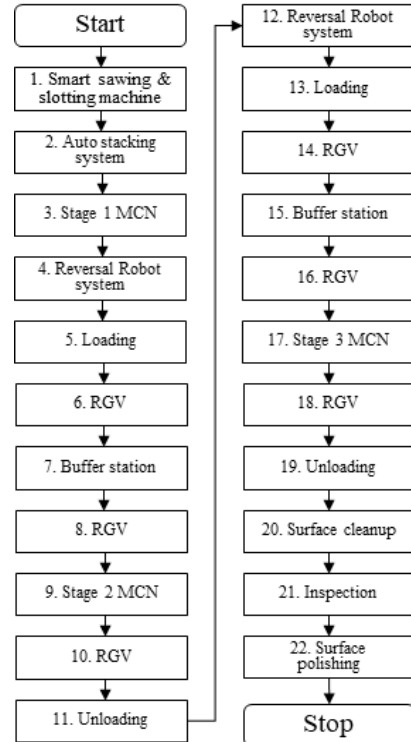


Fig. 7 Process flow chart of the No. 12 wing rib

에 비례하여 각각의 공정시간을 산출하고자 한다.

Fig. 7은 12번(No. 12) 날개 리브의 공정흐름도를 나타내고 있고, Table 1은 12번(No. 12) 날개 리브의 모든 공정을 통합한 종합시뮬레이션 및 공정시간 산출결과를 나타내고 있다.

공정순서는 처음 원소재를 스마트 절단기로 원소재를 날개 리브 모양으로 절단하는 것으로부터 마지막 사상 작업까지 등 총 22 공정으로 구성된다. 12번 날개 리브(No. 12)를 제작하는데 소요되는 총 공정시간은 1,870분(31.1시간)으로 산출되었

고, 이 시간을 기준으로 각 날개 리브의 제작시간을 산출하였으며, 평균 제작시간은 1,972분(32.9시간)으로 산출되었다.

2.4 날개 리브(총 34종) 기계가공 및 제작시간 산출

Table 2는 각 날개 리브(총 34종) 기계가공 및 제작시간을 나타내고 있고, 기계가공은 Fig. 5의 (b)~(d)의 1~3차 가공시간만을 산출한 것이며, 제작시간은 각 날개 리브의 기계가공시간을 포함한 총 제작시간을 나타낸 것이다.

각 날개 리브의 기계가공시간은 12번(No. 12) 기계가공시간 9시간을 기준으로 원소재의 질량에 비례하여 각각의 가공 시간을 산정한 것이다. 왼쪽 날개 리브 17종(No. 1 ~ No. 17)의 총 기계가공 시간은 16,131분(268.9시간)이었고, 우측도 같은 시간이 소요된다. 따라서 좌우측 날개 리브 총 기

Table 1 Comprehensive simulation and process time calculation result incorporating all processes of the No. 12 wing rib

Process order	Detailed process contents	Process time
1. Smart sawing & slotting machine	Slotting Clamp seat processing equipment for wing rib model cutting and machining	120 min
2. Auto stacking system	Material loading system before machining (up to 9 stories in height)	45 s
3. Stage 1 MCN	1st machining process (front roughing)	165 min
4. Reversal Robot system	180-degree material rotation ready for secondary machining	15 min
5. Loading	RGV loading for secondary fixing and material movement for secondary machining preparation	30 min
6. RGV	Move material to buffer station	5 min
7. Buffer station	Temporary loading in buffer seating	(Waiting for processing)
8. RGV	Material movement for secondary machining	5 min
9. Stage 2 MCN	2nd machining process (rear roughing and finishing)	225 min
10. RGV	Move to loading/unloading for fixing the 3rd fixture	5 min
11. Unloading	Unloading to fix the 3rd fixture and rotate the material 180 degrees	15 min
12. Reversal Robot system	Rotating 180-degree material and fixing the third fixture to prepare for the third machining	15 min
13. Loading	Loading for transfer to buffer station	15 min
14. RGV	Move material to buffer station	5 min
15. Buffer station	Temporary loading in buffer seating	(Waiting for processing)
16. RGV	Material movement for the 3rd machining	5 min
17. Stage 3 MCN	3rd machining process (front finishing)	460 min
18. RGV	Move for unloading	5 min
19. Unloading	Product unloading	30 min
20. Surface cleanup	Product surface cleanup	120 min
21. Inspection	Product inspection	540 min
22. Surface polishing	Product surface polishing	90 min
Total time	One wing rib machining time	1,870 min (31.1 hr)

Table 2 Machining and production time of each wing rib (34 types)

Nomen	Material mass(kg)	Machine processing time	Wing rib Production time
Wing Rib 1	3,707.4	1,911 min	2,930 min
Wing Rib 2	1,948.4	1,004 min	2,024 min
Wing Rib 3	2,593.1	1,336 min	2,357 min
Wing Rib 4	2,515.2	1,296 min	2,316 min
Wing Rib 5	2,169.5	1,118 min	2,138 min
Wing Rib 6	2,140.4	1,103 min	2,123 min
Wing Rib 7	1,862.9	960 min	1,980 min
Wing Rib 8	2,402.3	1,238 min	2,258 min
Wing Rib 9	1,640.2	845 min	1,865 min
Wing Rib 10	1,671.3	861 min	1,881 min
Wing Rib 11	1,506.5	776 min	1,796 min
Wing Rib 12	1,649.0	850 min	1,870 min
Wing Rib 13	1,444.6	744 min	1,794 min
Wing Rib 14	1,050.5	540 min	1,560 min
Wing Rib 15	1,130.2	582 min	1,602 min
Wing Rib 16	905.0	466 min	1,486 min
Wing Rib 17	972.5	501 min	1,541 min
Total process time	-	16,131 min (268.9 hr)	33,521 min (558.7 hr)
A.T. for each W. R. process	-	949 min (15.8 hr)	1,972 min (32.9 hr)

계가공시간(34종)은 32,262분(537.7시간)으로 산출되었다.

날개 리브 제작시간은 가공에 소요되는 시간뿐만 아니라 소재 반전, 소재의 이동 시간, 소재의 가공가계의 장착과 탈착시간, 검사 등 모든 시간을 종합한 시간이다. 왼쪽 날개 리브 17종(No. 1 ~ No. 17)의 총 제작시간은 33,521분(558.7시간)이었고, 우측도 같은 시간이다. 따라서 좌우측 날개 리브 총 제작시간(34종)은 67,042분(1,117.4시간)으로 산출되었다.

3. 결론

본 논문에서는 대형항공기 날개 리브를 가공하기 위한 자동화 공정 시뮬레이션을 실시하였다. 자동적재장치의 자동화 공정 시뮬레이션 결과, 날개 리브 1개를 적재장치에 적재하기 위한 시간은 45초 정도 소요되었다. 날개 리브 34종(No. 1 ~ No. 17) 가공공정 시뮬레이션 결과, 12번(No. 12)의 날개 리브 가공시간은 날개 리브 모형가공이 120분, 소재의 1차 가공(전면황삭)이 165분, 2차 가공(후면 황삭과 정삭)이 225분, 3차 가공(전면정삭)이 460분이었다. 12번(No. 12) 날개 리브의 모든 공정을 통합한 종합시뮬레이션 결과, 14번 날개 리브(No. 12)를 제작하는데 소요되는 총 공정시간은 1,870분(31.1시간)으로 산출되었다. 날개 리브(총 34종) 기계가공 및 제작시간 산출한 결과, 좌우측 날개 리브 총 기계가공시간(34종)은 32,262분(537.7시간)으로 산출되었고, 좌우측 날개 리브 총 제작시간(34종)은 67,042분(1117.4시간)으로 산출되었다. 따라서 본 논문의 자동화 공정 시뮬레이션 결과를 토대로 대형항공기 날개 리브를 가공하기 위한 공장자동화를 실시할 수 있을 것으로 판단된다.

추후 연구는 본 시뮬레이션 결과를 토대로 대형항공기 공장자동화시스템을 구축하는 것이다.

후 기

“이 논문은 2019년도 산업통상자원부의 ‘해외수주 연계 항공부품산업 공정기술개발사업’의 지원을 받

아 연구되었음.” P062700008

REFERENCES

1. Kim, B. J., Kim, D. H., Lee, I. S., and Jun, C. S., “A Study on Design and Implementation Processes of a Smart Factory for Aircraft Parts,” Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, Vol. 43, No. 3, pp. 229-237, Jun. 2017.
2. Jeong, T. S., “The Suggestion for Successful Factory Converging Automation by Reviewing Smart Factories in German,” Journal of the Korea Convergence Society, Vol. 7, No. 1, pp. 189-196, 2016.
3. Jeong, Y. K., Woo, J. H., Oh, D. K., and Shin, J. G., “A Shipyard Simulation System using the Process-centric Simulation Modeling Methodology: Case Study of the Simulation Model for the Shipyard Master Plan Validation,” Korean Journal of Computational Design and Engineering, Vol. 21, No. 2, pp. 204-214, 2016.
4. Lee, C. M. and Oh, W. J., “A Study on the Structure Analysis of Riveting Process for Aircraft Frame Manufacturing,” The Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 19, No. 2, pp. 97-104, 2020.
5. Yu, H. C., Seon, K. H., and Kim, S. U., “In the Automation Environment of Factory and Production, the Implementation of Security-enhanced Mobile Device Management System using Android-based Smart Phones,” The Journal of the Korea institute of electronic communication sciences, Vol. 9, No. 7, pp. 779-789, 2014.
6. Kim, W. B. Kim, Cho. Y. T., Jung, Y. G., and Choi. J. D., “Manufacturing Process Improvement for Precision Inner Surface Polishing of Anodizing Treated Airplane Reservoir,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 2, pp. 72-77, 2016.

7. Na, S. H. and Moon, D. H., "Simulation Modeling Method Using ARENATM Considering Alternative Machines in the Manufacturing System for Aircraft Parts," Journal of the Korea Society for Simulation, Vol. 25, No. 4, pp. 1-12, 2016.
8. Han, K. T., "A Study on the Forming Process of Honeycomb Core by Finite Element Analysis," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 10, No. 5, pp. 58-64, 2011.