

다구찌기법을 이용한 플러그 최적가공조건 선정

김남훈[#]

The Selection of the Optimal Condition of Plug using the Taguchi Method

Nam-Hun Kim[#]

(Received 15 September 2011; received in revised form 5 December 2011; accepted 6 December 2011)

ABSTRACT

Manufacturing process of plugs is firstly performed in the making of FRP yacht so it is an essential process for making original form. In the developed countries, it has been useful to manufacture structures of streamlined forms or complex forms, which have been difficult to manufacture due to limits of the traditional hand-made technology, by introducing 5-axis machining technology. In this study, the factors that affect most in the machining were found by using Taguchi Method in order to select the optimized machining conditions for 5-axis machines, and the ways to improve the surface roughness of machined products by applying those factors.

Key Words : Motor Boat(모터보트), Plug(플러그), 5-Axis Machining(5축 가공), Taguchi Method(다구찌기법), Surface Roughness(표면거칠기)

1. 서 론

플러그(Plug) 제작공정은 FRP 요트의 제작공정 중 가장 먼저 시행되는 작업으로 요트의 원형을 그대로 구현해내는 공정을 일컫는다. 이후 외측표면에 FRP 적층을 통한 몰드(mold)생산 공정을 거쳐 몰드의 내면에 FRP를 적층함으로써 최종적인 제품을 개발한다.

Fig. 1은 수작업에 의한 플러그 몰드 제작과정을 나타낸 것으로, 수작업에 의한 현도와 재단, 조립의 절차를 거쳐 완성하게 된다. 이러한 방식은 목수의 개인능력에 따라 플러그의 품질이 다양하게 생산되는 단점이 있어 외판의 순정 및 품질의 균질성을 확보하는데

한계성을 많이 내재하고 있다. Fig. 2는 5축 가공기의 활용 사례를 나타내는 것으로, 해양 선진국에서는 정밀 가공 기술에 활용되는 5축 가공기술을 요트 제작과



Fig. 1 Manufacturing process(Hand-made)

[#] 교신저자 : 중소조선연구원

E-mail : nhkim@rims.re.kr

정에 도입하여 기존의 수작업의 한계 때문에 제작이 어려웠던 유선형 및 복잡한 형상을 가진 구조물의 제작을 용이하게 하고 있다. 따라서 본 연구에서는 초대형 5축 가공기를 활용하여 플러그를 생산함으로써 외관 순정상태의 고품질화 및 제품의 균질성을 확보하는 기술을 개발하여 모터보트 선체의 국산화 기술을 진일보시키고자 한다^[1-2].



Fig. 2 Manufacturing process(5-axis machine)

Fig. 3은 본 연구에서 활용된 5축 가공기의 개략도를 나타낸 것으로, Spindle Head의 틸팅과 회전이 가능한 구조로 제작되어 해양레저 선박의 플러그 가공을 위해 수지도포장치가 별도로 부착된 형태로 구성되었으며, Table 1에 5축 가공기의 주요 사양을 구체적으로 나타내었다.

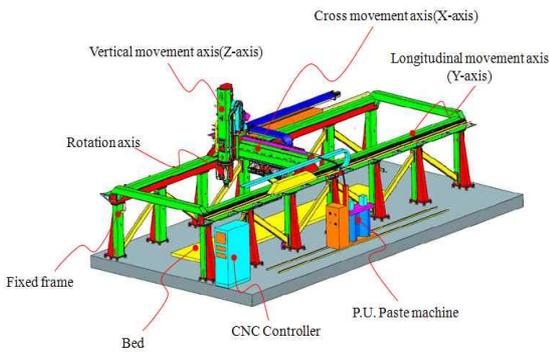


Fig. 3 5-axis machine for plug

Table 1 Specification of 5-axis machine

Item	Contents	
Length	14,400mm	
Width	9,160mm	
Height	7,325mm	
Weight	40ton	
Hardware	Guide way	Rack pinion, Ball screw
	Spindle unit	11kW, 24,000r/min
	CNC Controller	5-axis interpolation
Feed speed	X	60m/min
	Y	60m/min
	Z	50m/min
	A	9,000°/min
	C	9,000°/min

2. 플러그 제작 공정

2.1 스티로폼 가공

5축 가공기를 이용한 레저선박 플러그 제작 과정은 지그제작, 스티로폼 황삭, 중삭가공, 수지도포, 수지 황삭, 중삭, 정삭의 가공 과정을 거쳐 제작된다.



Fig. 4 Machining of styrofoam

본 연구에서는 설계된 레저선박 Hull의 가공성 평가를 위해서 Hull의 축소된 형상을 모델링하였으며, 가공 평가를 위해 별도의 지그를 제작하여 적용하였다. 준비된 실험 소재는 황삭과 중삭 가공을 통해 레저선

박 Hull의 기본적인 형상을 갖추게 된다. 황삭 가공 조건은 $\varnothing 40$ Roughing end mill을 사용하여 스피들 회전속도 6,000r/min, 이송속도 8,000mm/min, 축방향 절입깊이 45mm, 반경방향 절입깊이 35mm이며, 중삭 가공 조건은 $\varnothing 25$ Ball end mill을 사용하여 스피들 회전속도 12,000r/min, 이송속도 8,000mm/min, 축방향 절입깊이 5mm, 반경방향 절입깊이 12mm로 실시되었다. Fig. 4는 황삭 및 중삭 가공의 일례를 나타내는 것이다.

2.2 수지도포

가공된 스티로폼 형상 상면에는 Resin과 Hardner로 구성된 수지를 1:1로 배합하여 약 20mm 두께로 도포 작업을 실시한다. 도포가 완료된 시험편은 표면 경화를 위하여 상온에서 24시간 노출시켜 자연 경화 시킨다. Fig. 5는 수지도포 장치를 이용한 수지도포 과정을 나타낸 것이다.



Fig. 5 Application of resin

2.3 수지 황삭 및 중삭

도포 후 경화가 완료된 수지 표면은 매우 거친 상태이므로 최종 플러그 형상을 가공하기 위해 황삭 및 중삭 가공을 거치게 된다. 황삭 가공 조건은 $\varnothing 25$ Ball end mill을 사용하여 스피들 회전속도 3,000r/min, 이송속도 1,500mm/min, 축방향 절입깊이 3mm, 반경방향 절입깊이 0.8mm이며, 중삭 가공 조건은 $\varnothing 10$ Ball end mill을 사용하여 스피들 회전속도 4,000r/min, 이송속도 5,000mm/min, 축방향 절입깊이 0.8mm, 반경방향 절입깊이 0.8mm로 실시되었다. Fig. 6은 황삭 및 중삭 가공의 일례를 나타내는 것이다.



Fig. 6 Rough machining of resin

2.4 수지 정삭

플러그의 최종 품질은 정삭 가공에 의해 결정되므로 본 연구에서는 다양한 실험 조건을 통하여 최적 가공 조건을 도출하였다. 가공시 공구축은 45° 틸팅하여 공구의 접근성을 양호하게 하였다. Fig. 7은 정삭 가공이 완료된 형상을 나타낸 것으로, 실험 조건에 따른 표면거칠기의 상태를 확인할 수 있었다.



Fig. 7 Finish machining of resin

3. 절삭성 평가 실험

3.1 다구찌기법을 이용한 강건 설계 개요

본 연구에서는 5축 가공기를 활용한 수지 가공에서 각각의 인자가 표면거칠기에 미치는 영향력을 평가하기 위하여, 최소의 실험으로 각 인자가 결과에 미치는 영향을 효과적으로 평가할 수 있는 다구찌기법을 이

용하였다. 표면거칠기 값은 작을수록 고품위의 결과를 나타내므로 망소특성을 고려한 방법을 적용하였다. 망소특성은 음수가 아니며 작을수록 좋은 특성을 나타내며, 식 (1)과 같이 망소특성의 S/N비를 산출하며, S/N비 반응표에서 성능이 가장 좋은 제어 인자 수준을 결정하게 되는 것이다^[3-5].

$$S/N = -10 \log_{10} \sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n} \quad (1)$$

수지 가공에서 공정 인자가 표면거칠기의 향상에 미치는 영향을 평가하고 최적화하기 위한 각 인자들과 수준을 Table 2와 같이 구성하였다. 실험에 사용된 주요 인자는 주축 회전속도(r/min), 이송속도(Feed), 축방향 절입깊이(A.d.), 반경방향 절입깊이(R.d.)로 구성되어 있으며, 주축 회전속도와 이송속도는 선행 연구를 통하여 획득된 5축 가공기의 기계적 특성을 고려하여 범위를 선정하였다.

Table 3은 실험에 사용된 직교배열표를 나타낸 것으로, 3수준계 표준형인 $L_9(3^4)$ 를 채택하였으며, 잡음인자로는 시스템의 진동 특성과 직접적인 관련이 있는 톨의 직경으로 선정하였다.

Table 2 Specification of 5-Axis machine

Factor	Level		
	1	2	3
r/min	3,500	4,000	4,500
Feed	2,000	4,000	8,000
A.d.	0.3	0.5	0.7
R.d.	0.3	0.5	0.7

실험은 각 인자별로 가공 톨을 고려하여 실시하였으며, 표면거칠기의 영향 분석을 위하여 가공된 표면은 이동식 표면거칠기 측정기(Mitutoyo SJ-400)를 사용하여 컷오프는 0.8mm를 적용하여 각 샘플의 동일한 측정 위치를 선정하여 5회 반복 측정하여 평균값을 적용하였다. Fig. 8은 각 실험조건에서의 표면거칠기 측정 결과를 나타낸 것으로 주축회전속도 4,500r/min, 이송속도 8,000mm/min, 축방향 절입깊이 0.5mm, 반경방향 절입깊이 0.3mm의 조합이 표면거칠기가 2.618 μ m로 가장 낮게 나타나는 것을 알 수 있다.

Table 3 Orthogonal array table for $L_9(3^4)$

Run	r/min	Feed	A. d.	R. d.
1	3,500	2,000	0.3	0.3
2	3,500	4,000	0.5	0.5
3	3,500	8,000	0.7	0.7
4	4,000	2,000	0.5	0.7
5	4,000	4,000	0.7	0.3
6	4,000	8,000	0.3	0.5
7	4,500	2,000	0.7	0.5
8	4,500	4,000	0.3	0.7
9	4,500	8,000	0.5	0.3

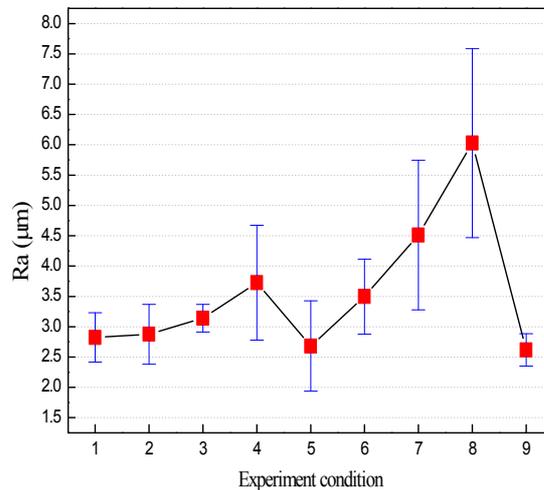


Fig. 8 Surface roughness

3.2 최적가공조건 도출

실험을 통해서 얻어진 결과들을 이용하여 최적 가공 조건 선정을 위한 S/N비 반응표 차트를 Fig. 9에 작성하였다. S/N비는 다구찌기법에서 개선을 위한 정도를 나타내는 측정치로 값이 높을수록 잡음에 대한 제어 인자의 정도가 높은 것을 의미한다. 그래프의 결과에서 나타난 것과 같이 5축 가공기를 이용한 수지 가공에서는 반경 방향의 절입깊이의 변화에 따른 S/N비 변화가 가장 민감함을 알 수 있다^[6].

Fig. 10은 S/N비의 응답 선도를 나타낸 것으로, 최적 가공 조건 선정을 위해 사용된 제어 인자별로 특성을 분석한 결과, 주축 회전속도는 1수준, 이송속도는 3수준, 축방향 절입깊이는 2수준, 반경방향 절입깊이는

1수준이 최적의 가공조건 수준으로 도출되었다. 또한 S/N비와 각 요인들간의 분산분석을 통하여 반경방향의 절입깊이가 표면거칠기의 결과에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 분석하였다.

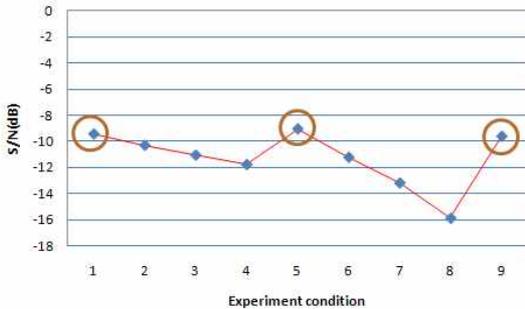


Fig. 9 Influence of machining conditions on surface roughness

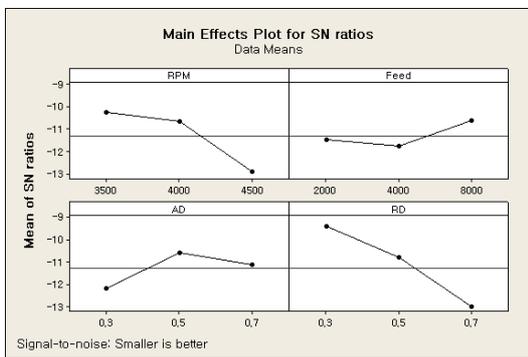


Fig. 10 Main effects plot for S/N ratios

3.3 최적가공조건 평가

실험에서 도출된 최적 가공조건에 대한 표면 거칠기 성능 향상 검증을 위하여 최적 조건 가공을 적용한 실험을 추가적으로 수행하였다.

가공 조건은 주축회전속도 3,500r/min, 이송속도 8,000mm/min, 축방향 절입깊이 0.5mm, 반경방향 절입깊이 0.3mm로 설정하여 가공 하였으며, 가공 후 표면거칠기 측정 결과 2.018 μ m로 현저히 개선된 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 수작업에 의존한 모터보트의 플러그

제작을 초대형 5축 가공기를 활용하는 방법을 적용하기 위한 최적 가공 조건 선정에 관한 연구를 수행하였으며, 다구찌기법을 활용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 선체 자동화 생산공법을 적용한 파워보트 제작 공법 개발을 위해서 5축 가공기를 이용한 수치 정밀 가공 기술을 적용하였으며, 주축회전속도, 이송속도, 축방향 절입깊이, 반경방향 절입깊이 등의 가공 변수를 적용하여 실험한 결과 반경방향의 절입깊이가 표면거칠기에 가장 영향을 많이 미치는 것으로 나타났다.
2. 다구찌기법의 망소특성을 적용하여 S/N비를 산출하였으며, S/N비 주효과도를 분석한 결과 주축회전속도 3,500r/min, 이송속도 8,000mm/min, 축방향 절입깊이 0.5mm, 반경방향 절입깊이 0.3mm의 조건이 적용된 5축 가공기의 최적 가공 조건으로 도출되었다. 개선된 가공 조건으로 검증실험을 실시한 결과 표면거칠기 측정값이 2.018 μ m로 약 0.4 μ m 개선된 결과를 획득하였다.

후 기

본 연구는 지식경제부 해양레저장비산업경쟁력강화사업(과제명 : 3D제품 설계기반과 신제작 공법을 적용한 20feet 및 60feet급 파워보트 시제선 개발)의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.(No.10037981)

참고문헌

1. Hwang, J. D. and Lim, E. S., "The control technology of cutter path and cutter posture for 5-axis control machining", KSMPE, Vol. 10, No. 2, pp. 1-8, 2011.
2. Kang, I. S. and Kim, J. S., "The characteristics of cutting force and surface roughness according to tool tilting angle in 5-axis high speed machining of molds", Transactions of KSMTE, Vol. 16, No. 5, pp. 63-69, 2007.
3. Park, J. M, Choi, W. S, K, S. H. and Cha, J. H., "Optimal cutting conditions of surface roughness for inconel 718 alloy in turning operation", KSMPE, Vol.

- 8, No. 4, pp. 48-53, 2009.
4. Kim, S. O. and Kwak, J. S., "Study on performance improvement in magnetic abrasive polishing assisted by silicone gel medium", Conf. of the KSME, pp. 1499-1505, 2010.
 5. Kim, S. S. and Lee, Y. C., "Ultra-precision grinding optimization of mold core for aspheric glass lenses using DOE and compensation machining", KSPE, Vol. 24, No. 6, pp. 45-50, 2007.
 6. Kim, B. J, Lee, S. G. and Bae, H. I., "Study on improvement of frontal crash sensing performance using taguchi method", Transactions of KSAE, Vol. 16, No. 2, pp. 29-34, 2008.