

목형의 엔드 밀링시 가공 특성에 관한 연구(I)

김성일*

(논문접수일 2006. 10. 16, 심사완료일 2006. 12. 6)

A Study on the Cutting Characteristics of Wood Patterns in End Milling(I)

Seong Il, Kim*

Abstract

The cutting tests of wood patterns are carried out using CNC milling machine. The cutting forces are monitored to analyse the cutting process. The surface characteristics of machined surface are investigated at various cutting conditions such as cutting speed, feed speed, cutting direction of wood pattern and wood material. In the CNC end-milling, the surface roughness increases as feed speed increases and decreases as cutting speed increases. However, the cutting force and surface roughness are different along the cutting direction and material of wood pattern.

Key Words : wood patterns(목형), surface characteristics(표면특성), cutting speed(절삭속도), cutting direction(가공방향), cutting force(절삭력)

1. 서론

FRP어선이나 레이저선박을 생산하기 위해서는 우선적으로 몰드가 필요한데, 몰드를 제작하기 위해서는 목형 제작이 필수적이다. 이러한 목형은 목재에 따라, 목형의 정밀도에 따라 목형의 수명과 제작조건도 달라지고, 생산성도 달라진다⁽¹⁾. 최근 국내 산업을 이끌어가고 있는 대형 선박분야에서는 새로운 선박의 개발을 위해서 목형을 제작한 후 모형선을 제작하여 시험평가하는 것이 선박설계 및 생산에 필수적인 단계이다^(1,2). 그러나 영세한 FRP 어선 및 레이저선박업체에서는

이러한 목재를 이용한 목형 가공이 보트의 설계 및 생산에 필수적임에도 불구하고 모형선 제작 및 모형선 시험에 엄두를 내지 못하고 있는 실정이다. 최근 수작업으로 제작하고 있는 어선의 건조건수는 기술인력의 감소, 인건비와 제작비의 증가, 어자원의 고갈 등으로 점점 감소되고 있는 형편이다. 그러나 주 5일 근무 및 소득수준의 향상으로 해양레저인구의 증가와 함께 레이저선박의 수요가 증가함에도 불구하고 레이저선박업체들의 생산공정은 거의 수작업이고 모형선 제작도 거의 없는 실정이다. 또한 목형까지도 수작업에 의존하여 제작하고 있음으로 정밀도가 부족하고, 작업기간이 많이

* 대불대학교 기술교육과 (sikim@mail.daebul.ac.kr)
주소: 560-702 전남 영암군 삼호읍 산호리 72

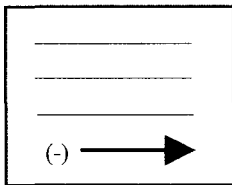
소요되어 생산성이 낮은 형편이다.

따라서 소형선박 및 레저선박업체, 선박 및 레저기자재 업체들은 기존의 수작업에 의존하던 목형 및 모형선 제작방법을 가공자동화 및 정밀도 향상을 위하여 CNC 공작기계를 사용한 방법으로의 변화를 모색하고 있다. 그러나 목재를 적층하고, 목재를 가공하는데 먼저 필요한 것이 목형제작 연구, 목재의 가공특성 파악이 중요함에도 불구하고 연구 자료는 거의 없는 실정이다⁽²⁻⁷⁾.

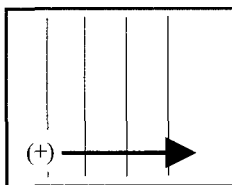
따라서 본 연구는 국내에서 목형제작에 사용하고 있는 목재의 엔드밀 가공시 이송속도, 절삭속도, 절삭방향, 목재종류 등 절삭조건에 따른 절삭력 및 표면상태를 분석하고 평가함으로써 업체에서 목형제작시 목형가공의 생산성 향상을 목적으로 한다.

2. 목재재료 및 실험방법

시험편의 재료는 목형 및 모형선에 주로 사용되는 목재인 마티카와 홍송 2종류이며, 마티카라 불리우는 jelutong은 충분히 건조된 상태에서 가공하였고, 홍송(갯나무, 紅松, a red pine)은 시판되는 브라질산 집성목을 사용하였다. 목형은 주로 목재를 적층하여 가공^(1,2)함으로 적층방향에 따른 가공특성을 분석하기 위하여 목재를 섬유(길이)방향으로 제작한 시험편(Fig. 1의 (a))과 섬유의 직각방향으로 제작한 시험편(Fig. 1의 (b)) 2종류를 120mm×80mm×30mm(L×W×T) 크기로 제작하였다. 우리나라에서 마티카로 알려진 jelutong



(a) Longitudinal direction



(b) Orthogonal to longitudinal direction

Fig. 1 The direction of cutting

의 목질은 변, 심재의 색깔 구별이 되지 않고, 전체적으로 백색에 가깝다. 목재는 가볍고 연하며, 조직이 치밀하고 정교하며 약간의 광택도 있다. 비중은 0.42~0.50정도, 가공이 용이한 것이 이점이며, 판재를 얻기 쉽고 재면에 무늬가 없는 것이 특징이다. 재단, 건조, 대패질 모두 용이하고 도장성은 보통이다. 내구성은 극히 낮으며 충해에도 약하다. 방부제 주입은 용이하고, 건조하지 않은 상태로 습기에 방치하면 검푸른색의 곰팡이(청변균)가 끼며, 충격에 의해 활열이 잘 생기는 것이 이 나무의 가장 큰 결점이다. 용도로는 가공이 용이하여 모형용재에 최적이며, 조각, 제도판, 흑판, 완구, 성냥, 상자재, 합판, 연필재 등으로 쓰인다. 홍송은 집성목으로 제작되어 시판되고 있으며, 절삭성이 좋고 표면이 미려하여 모형용재 및 계단목 등 다양한 곳에 사용되고 있다.

절삭실험시 가공방향은 한방향으로만 하였고, 공구는 carbide 브레이징타입 롱 엔드밀인 $\phi 32\text{mm}$ 2날 엔드밀(BBE2320-L200, UF2(47L), TaeguTec)이며, 건식절삭을 실시하였다.

Fig. 2는 실험장치를 보여주는 것으로 실험조건에 따라 NC 프로그램한 후, RS-232C 케이블을 사용하여 DNC s/w로 컴퓨터에서 CNC 밀링머신에 데이터를 전송하여 가공하였다. 자세한 실험장치의 사양과 절삭조건은 Table 1과 같다. 절삭력의 측정은 공구동력계(Dynamometer, KISTLER 9257A)를 사용하였으며, 공구동력계에서 나온 절삭력 신호를 증폭하기 위하여 증폭기를 사용하였다.

절삭시 발생하는 데이터는 A/D converter를 통하여 2초 동안 9,000Hz로 샘플링하여 IBM-PC에 저장하였다. 표면거칠기의 측정은 표면조도계(Surface roughness tester, SurfTest 301)로 절삭실험을 종료한 후, 중심선 표면 거칠기(Ra)와 최대 높이 표면거칠기(Rmax)를 3번씩 측정하여 평균하였다.

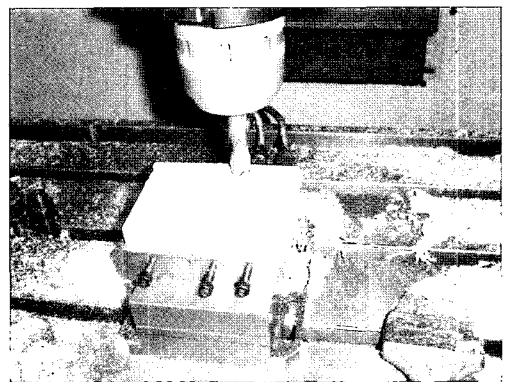


Fig. 2 The experimental apparatus

Table 1 The specifications of experimental apparatus and cutting conditions

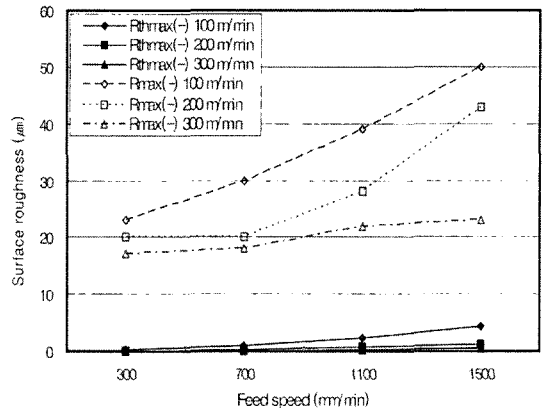
CNC milling machine	- HiSUPER-4(HWACHEON) - Controller : FANUC Series O-MD - Table size 1350×450mm - X/Y/Z Axis 950/430/500mm - Spindle speed 40~4000RPM
Tool dynamometer	- Model : KISTLER 9257 A - Maximum range : ±5000N - Resolution : 0.01N - Resonant frequency : ≈4kHz
Portable surface roughness tester	- Mitutoyo surfest 301 - Measuring range * Ra, Rq(RMS) : 0.05 ~ 40μm * Rmax, Rz, Rt : 0.3 ~ 160μm
Cutting conditions	- Cutting speed : 100, 200, 300m/min - Feed speed : 300, 700, 1100, 1500mm/min - Depth of cut : 3mm - One-way cutting

표면 거칠기 측정시 cut-off는 0.8mm, 측정반복상수(n)는 5로 설정하였다. 절삭부의 형상 및 절삭면의 표면상태는 디지털 카메라로 촬영하였다.

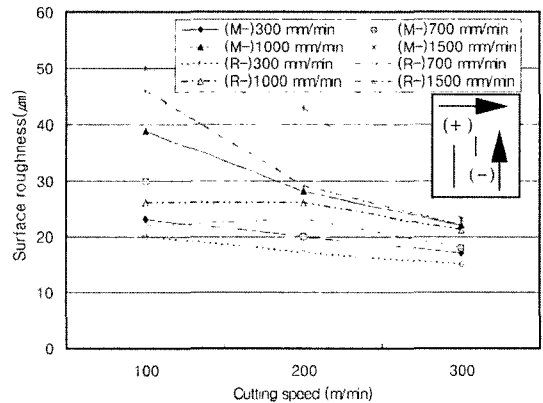
3. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 마티카 목재 절삭시 절삭속도 변화, 이송속도의 변화, 목재 섬유(길이)방향 절삭(M-)과 섬유직각방향 절삭(M+) 조건에 따른 결과를 보여주는 것이다. (a)는 섬유방향 절삭에서 절삭속도의 변화에 따른 이론 최대높이 표면거칠기(Rthmax(-)), 최대높이 거칠기(Rmax(-))와 이송속도와의 관계를 보여주는 그림이고, (b)는 절삭방향이 섬유방향(M-)과 섬유직각방향(M+)조건 및 이송속도 변화에 따른 표면거칠기와 절삭속도와의 관계를 보여주고 있다. Fig. 4는 마티카의 가공시 절삭조건변화에 따른 절삭후의 절삭표면을 보여주는 것이다. 여기서 (M-)는 섬유방향 절삭, (M+)는 섬유직각방향절삭을 의미한다.

Fig. 3, 4를 종합하여 살펴보면 Fig. 3 (a)에서 보듯이 이론거칠기에 비하여 실제 거칠기는 커다란 차이가 발생되었고, 이송속도가 증가함에 따라 거칠기의 차이가 감소함을 볼 수 있고, 고 이송속도보다는 저이송속도에서 거칠기 값이



(a) The surface roughness and feed speed



(b) The surface roughness and cutting speed

Fig. 3 The surface roughness, and feed speed, cutting speed for various cutting conditions

크게 차이가 난다. 이는 목재의 가공시 기계 및 공작물의 진동, 목재의 섬유사이의 공간, 목재의 뜰림현상 발생 등이 원인이라 판단된다. 또한 절삭속도가 증가함에 따라 목재의 실제 거칠기는 감소하였다. 절삭방향에 따른 표면거칠기를 살펴보면 저이송속도에서는 섬유방향, 고이송속도에서는 섬유직각방향의 거칠기가 양호함을 보였고, 절삭속도가 증가함에 따라 거칠기 값의 차이가 감소함을 볼 수 있다. 이는 Fig. 4의 표면에서 보듯이 저이송속도 가공에서 섬유 직각방향 가공(M+)은 목재표면을 뜰는 현상이 발생되었기에 거칠기는 좋지 않았고, 고이송속도 가공에서 섬유방향의 가공은 목재 칩이 절삭되기보다는 Fig. 2에서 보듯이 칩이 연속적으로 붙어나가면서 뜰려졌기 때문이다.

300			
700			
1100			
1500			
Feed speed (mm/min)	100	200	300

Cutting speed(m/min)

(a) Longitudinal direction cutting(M-)

300			
700			
1100			
1500			
Feed speed (mm/min)	100	200	300

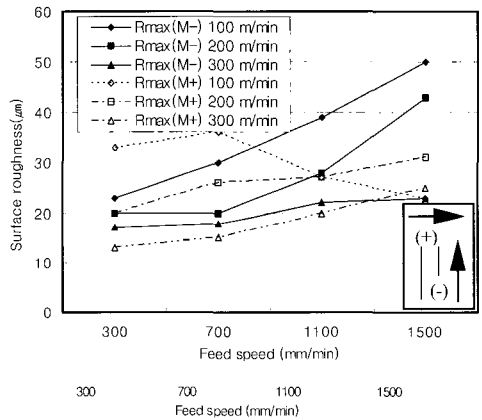
Cutting speed(m/min)

(b) Orthogonal cutting to longitudinal direction(M+)

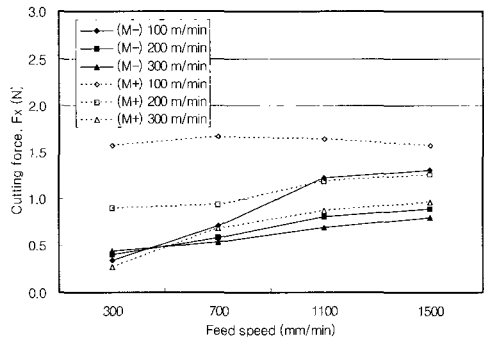
Fig. 4 The cutting surface after cutting test at various cutting conditions(material: jelutong)

Fig. 5는 마티카 목재의 가공으로 (a)는 가공방향, 절삭속도의 변화에 따른 표면거칠기와 이송속도와의 관계를 보여준다. 섬유방향의 가공(M-)은 이송속도의 증가에 따라 증가하지만 섬유직각방향 가공(M+)은 섬유방향가공에 비하여 크게 증가하지는 않는다. 섬유방향의 표면거칠기가 크게 증가하는 것은 섬유방향의 절삭시 섬유가 계속 뜯겨지면서 멍쳐지고 계속해서 뜯겨지는 현상 때문이라 판단된다. 이때 절삭속도를 향상시키면 뜯겨지는 현상을 줄일 수 있다. (b)는 가공방향, 절삭속도의 변화에 따른 절삭력과 이송속도와의 관계를 보여주는 것으로 절삭속도가 낮을 때는 절삭력이 섬유직각방향 가공쪽이 크게 나타났으나 절삭속도가 증가함에 따라 점점 근접함을 볼 수 있다. 따라서 절삭속도가 증가할수록 절삭력의 차이는 크지 않음을 보여주는 것이다. 또한 절삭면의 표면거칠기도 절삭속도가 증가할수록 근접해짐을 보이고 있다.

Fig. 6은 홍송 목재를 섬유방향가공(R-)과 섬유직각방향(R+), 절삭속도의 변화에 따른 표면거칠기와 이송속도와의 관계를 보여주는 있는데 섬유의 직각방향의 거칠기가 양호함을 볼 수 있다. Fig. 7은 각 절삭조건에 따른 표면상태를 보여주는 것으로, 절삭속도에 관계없이 섬유직각방향의 표면거칠기가 양호함을 볼 수 있고, 이송속도의 증가에 따라서는 마티카와는 달리 표면거칠기가 약간 증가한다. 이는 Fig. 5 (a)의 마티카와 다른 섬유조직이므로 무늬결에 따라서 뜯김현상이 발생되지만, 마티카에 비하면 단단한 재질이고 절삭성이 좋은 목재이기 때문이라 판단된다. 따라서 홍송의 용도는 섬유직각방향의 절삭성이 좋아 목형, 조각, 합판 등 다양한 곳에 사용되고 있다.



(a) The surface roughness and feed speed



(b) The cutting force(Fx) and feed speed

Fig. 5 The surface roughness and cutting force vs. feed speed for various cutting direction

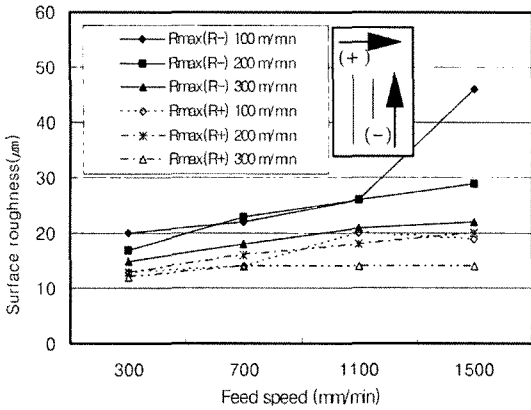
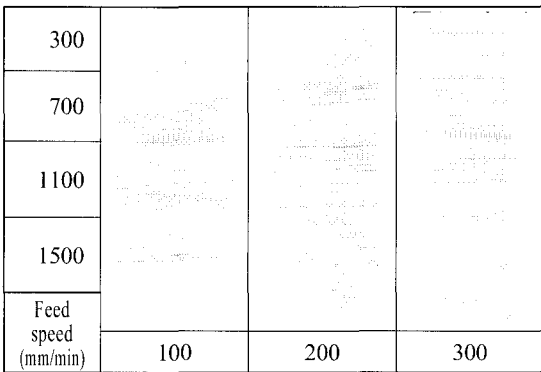
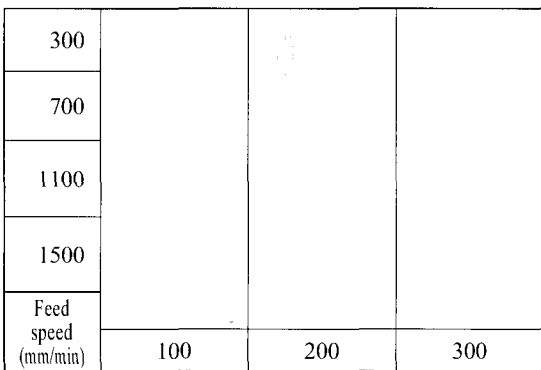


Fig. 6 The surface roughness and feed speed for various cutting speed and cutting direction



Cutting speed(m/min)

(a) Longitudinal direction cutting(M-)

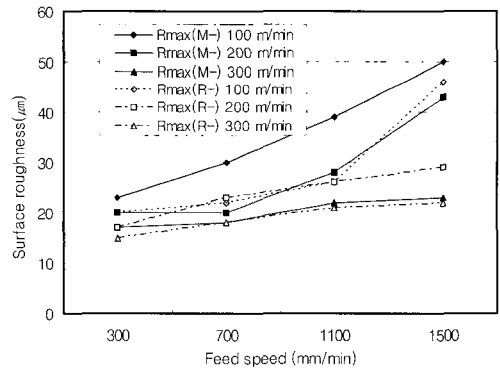


Cutting speed(m/min)

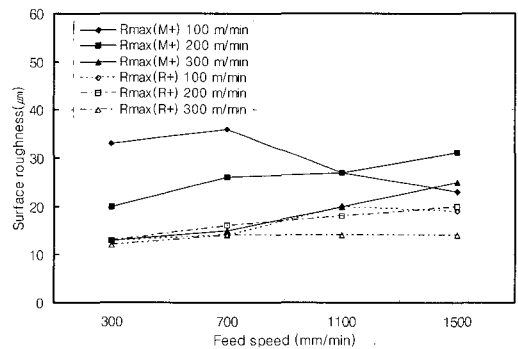
(b) Orthogonal cutting to longitudinal direction(M+)

Fig. 7 The cutting surface after cutting test for various cutting conditions(material: red pine)

Fig. 8은 절삭속도의 변화와 목재에 따른 섬유방향가공에서 최대높이 표면거칠기(Rmax)거칠기와 이송속도와의 관계를 보여준다. (a)는 섬유방향가공(M-, R-)의 비교이고, (b)는 섬유직각방향가공(M+, R+)비교이다. 낮은 절삭속도에서는 섬유방향이나 섬유직각방향가공에서 뜯김현상이 적고 절삭성이 좋은 홍송의 표면거칠기가 좋지만 절삭속도가 증가함에 따라 두 목재가 차이가 적어짐을 볼 수 있다. 섬유방향으로는 마티카가 홍송보다 거칠기가 높지만 절삭속도가 증가하면 거의 유사해진다. 이는 섬유직각방향가공에서의 표면거칠기는 마티카 가공시 연한 섬유가 뜯기는 현상이 발생됨에 비해서 홍송은 섬유의 직각방향가공에도 섬유가 깨끗하게 잘려지기 때문에 거칠기가 낮다고 판단된다. 마티카 목재는 낮은 이송속도에서는 뜯김현상이 적은 섬유방향 가공이 표면거칠기가 낮으나, 높은 이송속도에서는 홍송보다



(a) Longitudinal direction cutting



(b) Orthogonal cutting to longitudinal direction

Fig. 8 The surface roughness and feed speed for various cutting speed, cutting direction and wood material

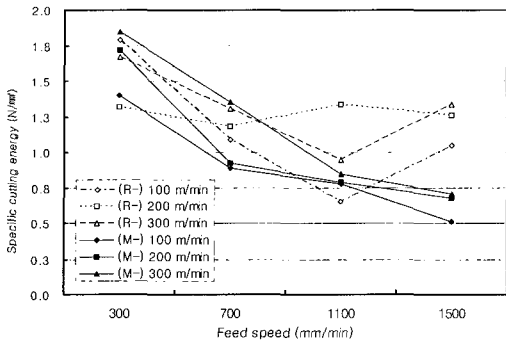


Fig. 9 The specific cutting energy and feed speed for various cutting speed and wood material

섬유방향으로 연속적으로 뜯기는 현상이 발생되어 표면거칠기가 높음을 볼 수 있다.

Fig. 9는 홍송(R(-))과 마티카(M(-))의 섬유방향가공시 절삭속도의 변화에 따른 비절삭에너지와 이송속도와의 관계를 보여주는 것이다. 여기서 비절삭에너지는 절삭입력조건에 따른 절삭특성평가를 위해 가장 일반적으로 채택되는 파라미터이다^(8,9).

비절삭에너지는 마티카 목재의 경우, 이송이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보이고 있지만, 홍송의 경우는 이송이 증가함에 따라 감소하다가 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 마티카의 경우는 무늬결이 거의 일정하지만 홍송목재는 집성목재를 사용하였기 때문에 목재의 부착시 무늬결이 일정하지 않기 때문이라 판단된다. 또한 절삭조건 선정에서 비절삭에너지평가는 절삭특성의 평가를 위해 채택되는 좋은 인자임을 보여주는 것이다.

4. 결론

목형용 목재로 주로 사용하고 있는 마티카와 홍송의 엔드밀 가공시 주어진 절삭실험 조건에 따른 표면거칠기, 절삭력, 표면상태 평가를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 목재의 절삭특성을 평가하기 위한 비절삭에너지는 마티카 목재의 경우, 이송이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보이고 있지만, 홍송의 경우는 이송이 증가함에 따라 감소하다가 증가하는 경향을 보이고 있다.
- (2) 마티카 목재의 경우 가공방향에 따른 절삭력은 섬유직각방향보다는 섬유방향의 절삭력이 더 낮았다.
- (3) 섬유방향가공이나 섬유직각방향가공에서 홍송이 마티카

보다 거칠기가 낮다. 그리고 절삭속도가 증가함에 따라 거칠기의 차이는 감소한다.

- (4) 표면거칠기와 절삭력, 절삭표면을 종합하여 살펴보면 섬유방향과 섬유직각방향, 목재 무늬결에 따라 표면거칠기는 달라지며 절삭속도의 증가가 표면거칠기나 절삭력을 감소시키는 인자이다.
- (5) 목재가공시 나무결이 뜯겨지는 현상이 발생하지 않는 조건, 가공방향 선택, 적층방향의 선택 등등 표면의 거칠기를 낮게하는 조건을 선정하고 마무리 샌딩작업을 최소화하는 절삭조건을 선정해야 한다.

후기

본 연구는 대불대학교 레저선박산업 지역혁신센터(RIC-N)의 공동연구로 수행되었으므로 위 기관의 후원에 감사드립니다.

참고 문헌

- (1) Park, D. M. and Lee, K. B., 2005, "The Model Ship Production efficiency improvement using 5-axis High Speed Milling Machine," *Proceedings of the Korean Association of Ocean Science and Technology Societies Conference 2005*, pp. 521~527.
- (2) Van, S. H., Yoon, J. H. and Ahn, H. S., 2006, "Research on the Leisure Boat in KORDI," *Proceedings of the Korean Association of Ocean Science and Technology Societies Conference 2006*, pp. 1676~1680.
- (3) Kim, J. D., 1988, "Study on the Machinability of Pinus Densiflora at Chungyang District for Wood Patterns-Effect of Chip-Tool Contact Stress Distribution in Workpiece During of Wood Machining," *Mogjae Gonghak*, Vol. 14, No. 4, pp. 54~60.
- (4) Lim, J. D., 1988, "Study on the Machinability of Pinus Densiflora at Chungyang District for Wood Patterns-Cutting Force, Surfaceness and Surface Phenomenon by Face Milling," *Mogjae Gonghak*, Vol. 14, No. 4, pp. 61~69.
- (5) Richard, L., Lian, B. and David, A., 1985, "Monitoring

- Tool Wear During Wood Machining with Acoustic Emission,” *Wear*, Vol. 101, No. 3, pp. 273~282.
- (6) Lee, H. W., 2004, “Abrasive-Assisted High Energy Water-Jet Machining Characteristics of Solid Wood,” *Mogjae Gonghak*, Vol. 32, No. 4, pp. 1~7.
- (7) Lee, H. W., 1996, “Effects of Cutting Direction on the Laser Machining Characteristics of Wood,” *Mogjae Gonghak*, Vol. 32, No. 4, pp. 87~92.
- (8) Lee, Y. M., Cho, S. K., Jang, E. S., Tae, W. I. and Shim, B. K., 2000, “Chip Forming Characteristics of Bi-S Free Machining Steel,” *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 9, No. 3, pp. 48~54.
- (9) Lee, Y. M., Chang, S. I., Seo, M. K. and Son, J. W., 2004, “Shear and Friction Characteristics in Down-End Milling with Different Helix Angles,” *Transactions of the Korean Machine Tool Engineers*, Vol. 13, No. 2, pp. 17~24.