

레이저變數와 被削材條件이
木材 및 木質보드의 切削特性에 미치는 影響(I) *1
- 切削깊이와 切削幅 -

심재현*2 · 정희석*3

Effects of Laser Parameters and Workpiece Conditions
on Cutting Characteristics of Solid Wood and
Wood-based Panel(I) *1
- Cutting Depths and Kerf Widths -

Jae-Hyeon Sim*2 · Hee-Suk Jung*3

ABSTRACT

Laser cutting tests were conducted to investigate the laser cutting characteristics of solid woods such as 25mm-thick white oak (*Quercus acutissima*) and maple (*Acer mono*), and wood-based panels such as 15mm-thick medium density fiberboard and particleboard. Test variables were laser power, cutting speed, grain direction, and moisture content. Cutting depths, kerf widths and the maximum cutting speed were measured.

Cutting depths were increased as focus of laser beam was moving from above the workpiece to on the surface of workpiece, and also to below the workpiece. Kerf widths were decreased as focus of laser beam was moving from above the workpiece to on the surface of workpiece, but were increased as focus of laser beam was moving from on the surface of workpiece to below the workpiece. Minimum kerf widths were obtained when focus of laser beam was positioned on the surface of workpiece.

Cutting depths and kerf widths were decreased with increase in moisture content, and cutting depths and kerf widths of more dense white oak were smaller than those of maple. And also cutting depths and kerf widths of particleboard were smaller than those of medium density fiberboard.

Keywords : Focus of laser beam, cutting speed, cutting depths, kerf widths

*1 접수 1997년 10월 10일 Received October 10th, 1997

*2 한솔기술원 Hansol Institute of Science & Technology, Namyangju-Si 472-850, Korea

*3 서울대학교 농업생명과학대학 College of Agriculture & Life Sciences, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea

1. 서 론

手作業으로 이루어지던 목재 가공은 현재 인건비 절감과 생산성 제고를 위하여 기계화를 거쳐 自動化 시스템으로 발전되고 있다. 일반적으로 목제품 생산을 위한 木材切削加工 공정에서는 원목의 결점을 육안 관찰에 의해 제재 및 재단을 하고 있으며, 결점을 갖고 있는 제재목은 縱切 또는 橫切로 再加工하여 결점을 제거하고 있다. 이와 같은 종래의 제재 및 재단 공정은 노동력이 많이 요구되며, 鋸齒磨耗에 의한 손실이 따르게 된다. 목재의 레이저切削은 절삭 공구에 의한 광학 절삭 방법에 비해 절삭 폭이 매우 작고, 톱밥이 생성되지 않아서 재료의 손실이 적으면서도, 소음이 적어 작업 환경을 개선할 수 있다. 그리고 非接觸式 가공이므로 연속 작업시에도 工具磨耗가 없어, 공구 교체 및 再研磨 작업이 필요없으며, 어떤 위치에서도 切削 및 정지가 가능하여 복잡한 형상을 수치제어로 가공할 수 있고, 被削材에 切削力이 작용하지도 않으며, 평활한 절삭면을 얻을 수 있는 여러 가지 장점을 가지고 있다.

木材의 레이저切削特性은 주로 레이저빔(laser beam)의 특성, 장비와 가공 변수, 被削材 성질에 좌우되며, 특히 레이저 출력, 빔의 모드(mode), 빔 전달의 광학시스템, 초점거리 및 초점의 피삭재에 대한 상대적 위치, 切削速度, 補助氣體의 종류와 압력 등에 영향을 받는다. 또한 被削材 因子로서 두께, 密度, 含水率, 抽出物 등에 의한 영향을 받는다(Barnekov *et al.*, 1986).

목재의 레이저切削은 루비레이저에서 발산된 광이 목재 절삭에 적용될 수 있는 가에 대한 연구로 시작되었으며 Bryan(1963)은 6943A의 파장을 갖는 루비레이저의 최대에너지 출력 3.0J/pulse로 직경 0.762mm, 깊이 0.762~1.588mm의 구멍을 가공할 수 있다고 보고하였고, McMillin 등(1971)은 공기를 보조기체로 사용하는 240W 출력의 CO₂ 레이저를 사용한 southern pine의 절삭에 관한 연구에서 最大 切削速度는 습윤재와 건건재 모두 被削材 두께 증가에 따라 감소했으며, 두께 6.35mm와 25.4mm의 평균 切削速度는 각각 2.5m/min, 0.37m/min였고, 습윤재가 건건재보다 약간 느린 切削速度가 요구되었으며, 습윤재의 최대 절삭속도는 비중과 무관하였으나 건건재는 밀도가 높은 경우에 약간 느린 속도가 요구되었음을 보고하였다.

전술한 보고에서 수백 와트의 레이저出力으로 목재 절삭이 가능함을 보여주고 있다. 초기 연구에서 이용된 낮은 출력으로는 두꺼운 재료의 절삭이 매우 느려 두께

19mm 복재의 경우 0.6m/min 이하였다. 따라서 최근에 연속 발전의 수천 와트 레이저가 개발되어 널리 이용되고 있다.

Peters 등(1977)은 5KW까지 연속적인 출력을 낼 수 있는 보조기체 분사형 CO₂ 레이저로 목재, 합판과 파티클보드를 절삭한 결과 두께 12.7mm Douglas-fir의 절삭속도는 3.18m/min이고, 두께 25.4mm는 0.85m/min였으며, 절삭속도는 레이저 출력 증가에 따라 급속하게 증가되어, Douglas-fir의 경우 $S=KP^{1.35}$ (S : 切削速度, P : 出力(KW), K : 상수=13.9), 합판의 경우 $S=KP^{1.28}$ 임을 보고하였다.

Khan 등(1991)은 활엽수의 레이저절삭에서 3KW 연속발전 CO₂ 레이저 가공기를 이용하여 초점 조건, 레이저 출력, 절삭속도, 보조기체의 종류, 그리고 재료의 성질 등의 여러 범위를 주어 절삭한 결과 초점 위치는 切削效率에 크게 영향하며, 초점 거리 127mm와 직경 50.8mm의 렌즈를 사용하여 두께 22mm 목재를 절삭한 경우 被削材 표면에서 내부로 약 7mm 위치에 초점이 있을 때 최대의 절삭깊이가 얻어졌었고, 출력 2550W, 보조기체로서 5.6kg/cm²의 공기, 254mm 초점거리를 사용했을 때 최대 절삭속도는 피나무가 7.62m/min, black cherry가 5.59m/min, 호도나무가 5.08m/min였으며, 보조기체로 공기와 질소를 각각 사용하여 切削깊이를 비교한 결과 질소보다 산소가 포함된 공기를 사용했을 때 切削깊이가 컸음을 보고하였다. 또한 출력 1560W, 공기압력 4.9kg/cm²로 피나무 절삭시 초음속 노즐을 사용할 경우 최대 절삭속도는 4.57m/min인 반면에 일반 노즐의 경우는 3.05m/min였음을 보고하였다.

切削速度도 중요한 인자로서 被削材가 레이저빔에 노출되는 시간을 결정하게 되므로 흡수되는 에너지의 양도 함께 결정되어 진다. 따라서 다른 인자들이 고정된 상태에서 切削速度가 감소하게 되면 절삭깊이와 절삭폭이 모두 증가되는 반면 생산성 향상을 위하여 절삭속도를 증가시키면 절삭깊이가 감소되기 때문에 최대의 효율을 얻기 위해서는 요구되는 被削材 두께와 절삭폭에 따라 절삭속도와 레이저출력의 적절한 조합이 요구된다. 그러므로 切削깊이와 切削幅에 대하여 레이저 출력과 切削速度를 최적화할 필요가 있다.

따라서 本 研究은 산업용으로 가장 많이 이용되고 있는 기체 레이저인 最大 出力 1200W의 CO₂ 레이저 加工機를 사용하여 두께 25mm 상수리나무와 고로쇠나무에 대해서는 레이저出力, 切削速度, 木理方向 및 含水率을 可變因子로 하고, 두께 15mm 中密度纖維板과 파티

클보드에 대해서는 레이저出力, 切削速度를 可變因子로 하여 레이저切削을 실시하였다. 被削材와 焦點間의 거리에 따라 소재 및 목질보드류의 切削깊이와 切削幅 측정을 통하여 최대 절삭깊이와 최소 절삭폭을 나타내는 초점의 위치를 찾아내고, 레이저出力 및 切削速度에 따른 切削깊이와 切削幅을 조사하여 最大切削速度 구멍과 절삭깊이 추정 등 목재와 목질보드류의 레이저 切削特性을 파악하기 위하여 수행되었다.

2. 재료 및 방법

2.1 供試材料

2.1.1 供試素材

闊葉樹種에서 木工藝用으로 많이 이용되는 環孔材인 상수리나무(*Quercus acutissima*)와 散孔材인 고로쇠나무(*Acer mono*)의 직경 28cm 되는 원목을 사용하였으며, 그림 1과 같이 髓를 가운데에 위치시켜 먼저 두께 30mm 板材로 柁目板을 얻을 수 있도록 製材하고 나머지는 板目板으로 製材하였다.

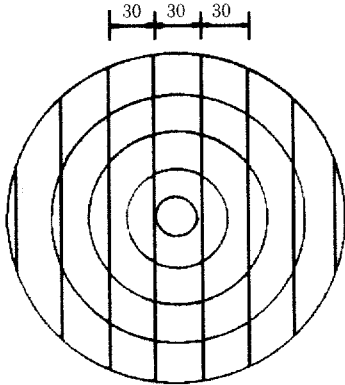


Fig. 1. Sawing pattern of the long (unit: mm).

2.1.2 供試 木質보드

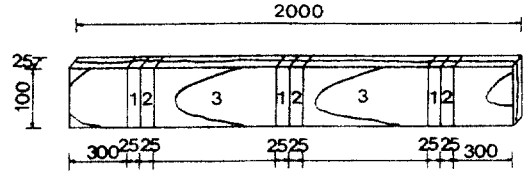
供試 목질보드로는 라디에타소나무, 가문비나무와 국산 소나무 등의 혼합 수종을 이용하여 국내 H社에서 생산된 두께 15mm 中密度纖維板과 파티클보드를 사용하였으며, 보드 제작에 사용된 接着劑는 요소수지이고, 含脂率은 中密度纖維板의 경우 12.5%, 파티클보드는 10.5%였다.

2.1.3 試驗片 採取

2.1.3.1 素材 試驗片

제재된 소재는 3단면이 정확하게 나타나고 通直木理를

갖도록 平削하고 두께와 폭을 25×100mm의 크기로 만든 다음, 소재의 양횡단면을 약 300mm 정도 제거한 후 그림 2와 같은 방법으로 生材比重, 初期含水率과 레이저 切削 試驗片을 각각 채취하였다. 레이저 切削 試驗片은 生材와 氣乾材 시험편으로 구분하여 시험편을 엔드 매치되게 하여 25×25×100mm의 크기로 裁斷하여 채취하였으며, 수종별 生材比重과 初期含水率은 表 1과 같다.



- 1 : Specimens for green volume specific gravity.
- 2 : Specimens for initial moisture content.
- 3 : Laser cutting specimens

Fig. 2. Preparation of the solid wood specimens (unit: mm).

Table 1. Green volume specific gravity and initial moisture content of white oak and maple.

Species	Green volume Initial moisture	Specific gravity content (%)
White oak	0.63±0.04	68.1±5.6
Maple	0.62±0.02	51.8±3.1

2.1.3.2 木質보드 試驗片

中密度纖維板 및 파티클보드의 시험편 채취는 그림 3과 같은 방법으로 1200×2400mm 크기의 중앙 부위에서 比重, 含水율, 휨강도, 内部接着力과 레이저 切削 試驗片을 採取하였으며, 中密度纖維板과 파티클보드의 주요한 물리적 성질과 기계적 성질은 表 2와 같다.

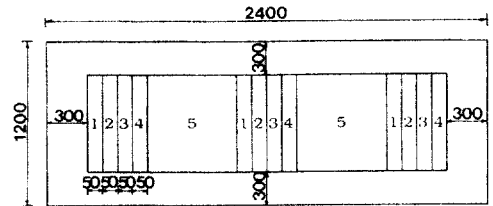


Fig. 3. Preparation of specimens for medium density fiberboard (MDF) and particleboard (PB) (unit: mm).

- Notes ; 1 : Specimens for specific gravity.
- 2 : Specimens for moisture content.
- 3 : Specimens for modulus of rupture.
- 4 : Specimens for internal bond.
- 5 : Laser cutting specimens

Table 2. Physical and mechanical properties of medium density fiberboard(MDF) and particleboard (PB).

Properties	MDF	PB
Specific gravity	0.71 ± 0.01	0.70 ± 0.01
Moisture content (%)	5.8 ± 0.92	6.31 ± 0.41
Modulus of rupture (kg/cm ²)	407 ± 34.0	165 ± 12.3
Internal bond (kg/cm ²)	10.1 ± 1.23	7.6 ± 0.67

2. 1. 4 素材 試驗片의 調濕

素材中 레이저切削 生재 시험편은 시험편 채취 즉시 레이저切削을 실시하였고, 레이저 절삭 기전 시험편은 온도 25°, 相對濕度 77% 조건에서 평형 상태에 도달할 때까지 恒溫恒濕器에서 調濕處理를 실시하였으며, 氣乾材의 含水率과 比重은 表 3과 같다.

Table 3. Moisture content and specific gravity of air-dried white oak and maple.

Species	Moisture content (%)	Specific gravity
White oak	13.9 ± 0.17	0.72 ± 0.01
Maple	13.8 ± 0.17	0.67 ± 0.02

2. 2 供試器機 및 實驗裝置

2. 2. 1 레이저 加工機

레이저 加工機에 의한 木材의 切削은 그림 4와 같은 體系에 의해 수행되며 작업대와 레이저빔을 모두 이동시키는 NIPPEI TOYAMA Corporation사의 TLV 408 레이저 가공기를 사용하였으며, 사양은 表 4와 같다.

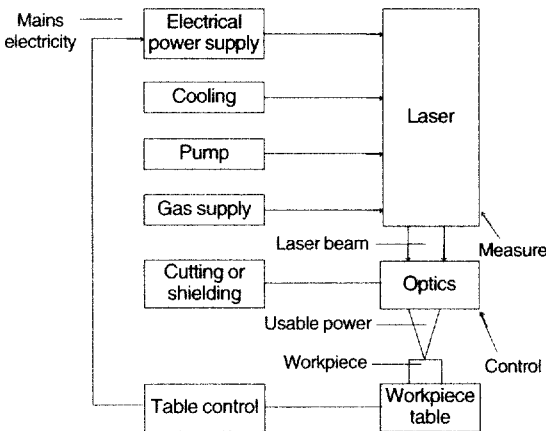


Fig. 4. A schematic diagram showing a laser machining system.

Table 4. Specification of laser cutting machine.

Parameter	Specification
Power	1.2 KW
Mode	TEM ₀₁ *
Lens type	Zn-Se
Lens diameter	38.1 mm
Focal length	127 mm
Assist gas	Air
Max. gas pressure	10 kg/cm ²
Max. cutting speed	20 m/min.
Position accuracy	± 0.01/500 mm

레이저 가공기는 그림 5와 같이 CO₂ 레이저 발진기, 빔 전송시스템, 가공헤드와 CNC 장치로 구성된 것을 사용하였고 각 구성부의 특징은 다음과 같다.

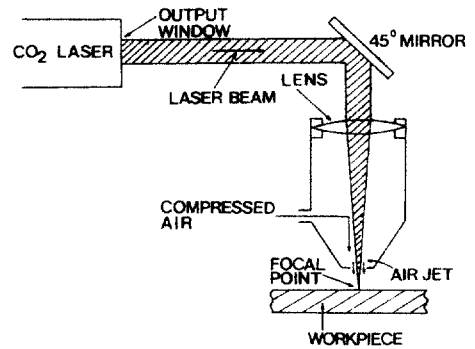


Fig. 5. Principle of the laser cutting machine.

CO₂ 레이저 발진기는 레이저 빔을 발생시키는 장치로서 CO₂ 기체내에서 탄소와 산소분자의 상대적인 진동 상태에 따른 에너지 상태의 遷移를 이용한 레이저로서 勵起效率를 높이기 위하여 窒素와 헬륨을 혼합 注入시켜 波长 10.6μm의 적외광이 발진되며, 직류 고압 발생용의 전원 장치와 레이저 발진기를 냉각시키는 냉각 장치로 구성되어 있다.

빔 전송시스템은 발진된 레이저광을 가공점까지 전송하는 장치로서 反射鏡과 보호용 관으로 구성되어 있으며, 가공 헤드는 레이저광을 集光하여 가공 목적에 알맞는 出力密度를 얻기 위한 집광렌즈, 절삭시 발생하는 분진의 제거와 집광렌즈의 보호, 수명 연장 및 가공 단면을 깨끗하게 하기 위한 고압의 보조기체를 噴射하는 노즐, 그리고 被削材 表面상에 초점 위치를 일정하게 유지하기 위한 非接觸式 센서로 구성되어 있으며, 레이저 가공기의

出力, 切削速度, 補助氣體의 압력, 초점 위치 등의 가공 조건과 가공 모양의 制御에 CNC 장치를 이용하였다.

2.2.2 畫像分析裝置

레이저切削 시험편의 切削幅과 탄화도를 나타내는 炭化깊이를 측정하기 위해 日本 PIAS Co., LTD社의 畫像分析裝置인 PIAS LA-555 Image Analyzer를 사용하였다.

2.2.3 其他器機

무게 측정을 위하여 精度도 $\pm 0.001g$ 의 直視天秤을 사용하였으며, 切削깊이 등 길이 측정을 위해 精度 5/100mm인 버어니어캘리퍼스, 그리고 含水率 측정을 위하여 $103 \pm 2^\circ C$ 를 유지할 수 있는 건조기(oven)를 사용하였다.

2.3 實驗方法

2.3.1 焦點位置 결정

초점위치는 그림 6과 같은 방법으로 被削材의 표면을 기준으로 被削材 상부로 6mm와 0mm, 피삭재 내부로 2mm까지 2mm 간격으로 레이저빔의 焦點을 맞추고, 보조가스는 압력 $3kg/cm^2$ 의 공기를 레이저빔과 동축으로 분사하였으며, 出力 1000W에서 切削速度 5m/min로 素材 및 木質보드를 절삭하여 焦點位置에 따른 切削깊이와 切削幅을 측정하였다.

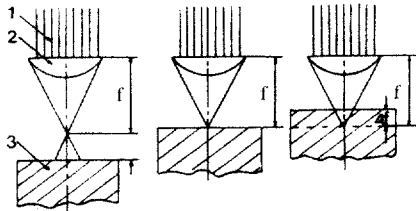


Fig. 6. Positions of focal point relative to the workpiece.
Notes : 1: Laser beam, 2: Focusing lens, 3: Workpiece, f: Focal length, Δf: Position of focal point

2.3.2 레이저切削 조건

레이저빔의 焦點을 被削材 表面에 맞추고 레이저出力 400W, 600W, 800W, 1000W 및 1200W 조건에서 횡단면의 반경방향(TR)과 접선방향(RT), 방사단면의 목리방향(RL)과 목리직각방향(LR) 및 접선단면의 목리방향(TL)과 목리직각방향(LT)의 소재 시험편, 中密度纖維板과 파티클보드를 그림 7, 8과 같이 레이저出力과 切削速度를 달리하여 레이저切削을 실시하였으며 出力別 切削깊이와 切削幅을 조사하고 이에 대한 回歸分析을 실

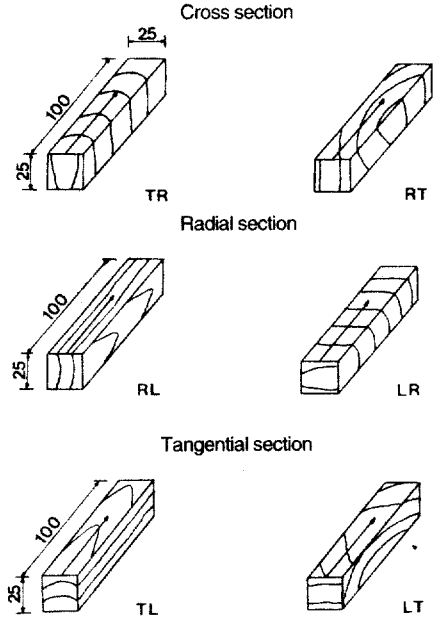


Fig. 7. Cutting directions of the laser cutting solid wood specimens(unit : mm).

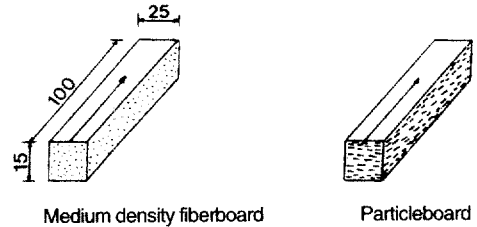


Fig. 8. Cutting directions of the laser cutting wood-based panel specimens(unit : mm).

시하였다. 그리고 切削 效率를 높이고 光學시스템의 보호를 目的으로 레이저빔과 同軸으로 압력 $3kg/cm^2$ 의 공기를 분사하였다.

절삭속도는 일정 레이저 출력 수준에서 5m/min 부터 1m/min씩 감소시켜 레이저빔의 초점을 被削材 表面에 맞추고 각 出力마다 완전히 절단될 때까지 소재 및 목질 보드를 레이저切削하였으며, 저출력의 1m/min 속도에서 완전 절단이 되지 않을 때에는 절단될 때까지 속도를 계속 줄여 레이저切削을 실시하였으며, 절삭속도별 切削깊이와 切削幅을 조사하여 이에 대한 回歸分析을 실시하였다.

2.3.2 被削材別 最大切削速度 구명

소재 및 목질보드의 절삭속도별 절삭깊이의 회귀식을

이용하여 두께 25mm 상수리나무와 고로쇠나무, 그리고 두께 15mm 중밀도섬유판과 파티클보드의 레이저절삭시 臨界切削速度, 즉 最大切削速度를 계산하였다.

2.3.3 被削材別 切削깊이 추정

상수리나무와 고로쇠나무 및 목질보드를 레이저 절삭에 의한 공예용으로 사용시 레이저 출력과 절삭속도에 따른 절삭깊이가 중요한 인자가 되고, 요구되는 절삭깊이를 얻기 위해 레이저 출력과 절삭속도의 적절한 조합이 필요하다. 따라서 레이저 출력과 절삭속도별 절삭깊이를 이용하여 다중회귀식으로 표현하여 각각의 변수에 따른 상수를 구하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 切削깊이와 切削幅의 影響 因子

3.1.1 焦點位置와 切削條件의 관계

3.1.1.1 切削깊이

상수리나무와 고로쇠나무의 생재와 기건재, 그리고 中密度纖維板과 파티클보드의 焦點位置別 切削깊이를 그림 9, 10과 11에 나타내었으며, 초점이 被削材 표면에서 위로 6mm 떨어져 있을 때부터 被削材 표면에서 내부로 2mm 들어가 있을 때의 초점 위치별 切削깊이 범위를 보면 상수리나무의 生材와 氣乾材는 각각 4.840~9.513mm와 6.218~9.725mm이고, 고로쇠나무 生材와 氣乾材의 경우는 각각 5.818~10.510mm와 7.142~10.925mm였다. 中密度纖維板과 파티클보드의 경우는 각각 6.90~12.75mm와 6.14~12.15 mm였다.

상수리나무와 고로쇠나무 모두 초점 위치가 被削材 표면 위에서 被削材 내부로 들어갈수록 切削깊이가 깊어지는 것을 알 수 있었으며, 中密度纖維板과 파티클보드 역시

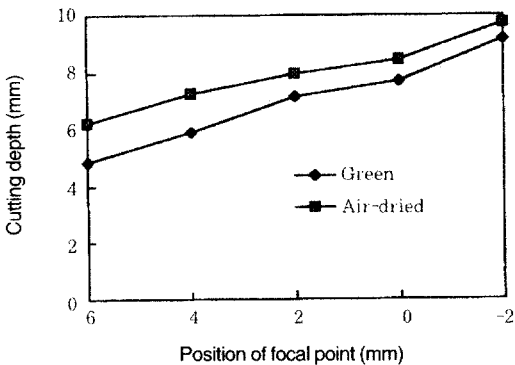


Fig. 9. Relationship between position of focal point and cutting depth in white oak wood.

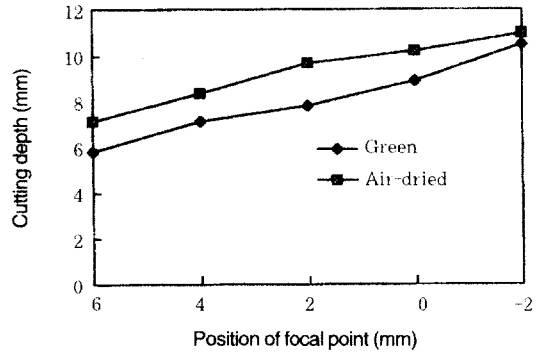


Fig. 10. Relationship between position of focal point and cutting depth in maple wood.

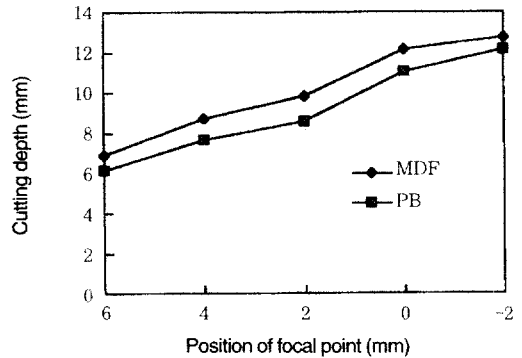


Fig. 11. Relationship between position of focal point and cutting depth in medium density fiberboard (MDF) and particleboard (PB).

시 같은 경향을 나타내었다. 절삭깊이는 초점 위치가 被削材 내부로 들어갈수록 계속 깊어질 지는 본 실험에서는 알 수 없었으나, Khan 등(1991)에 의하면 두께 22mm의 경우 초점이 被削材 내부 약 7mm에 있을 경우 가장 깊이 切削된다고 보고하고 있다.

두 수종을 비교해 보면 생재와 기건재 모두 비중이 낮은 고로쇠나무가 더 깊이 절삭되었으며, 상수리나무와 고로쇠나무의 기건재는 생재보다 더 깊게 절삭되었는데, 이것은 생재의 경우 레이저에너지가 목재내 수분 증발에 이용되어 절삭 효율이 저하되기 때문이라 생각된다.

中密度纖維板과 파티클보드를 비교해 보면 파티클보드보다 中密度纖維板이 더 깊게 절삭되었는데, 이것은 동일한 비중의 경우 조직이 치밀하지 못한 파티클보드에서 空隙이 많이 존재하여 에너지 손실이 발생하였기 때문이라 생각된다.

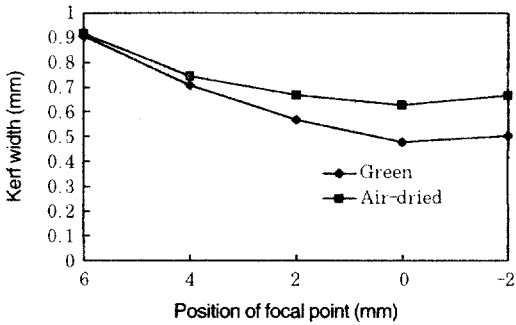


Fig. 12. Relationship between position of focal point and kerf width in white oak wood.

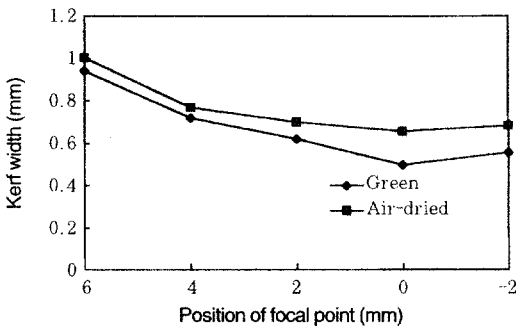


Fig. 13. Relationship between position of focal point and kerf width in maple wood.

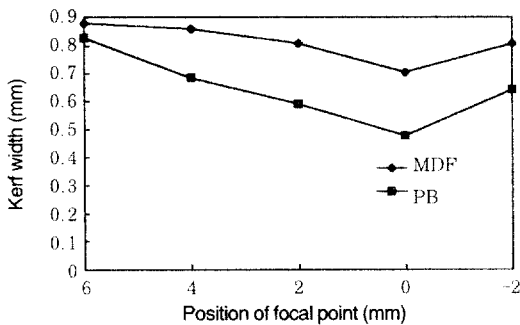


Fig. 14. Relationship between position of focal point and kerf width in medium density fiberboard (MDF) and particleboard (PB).

3. 1. 1. 2 切削幅

상수리나무와 고로쇠나무의 생재와 기건재, 그리고 中密度纖維板과 파티클보드의 초점 위치별 절삭폭을 그림

12, 13과 14에 나타내었으며, 초점이 被削材 표면 위로 6mm일 때부터 被削材 표면에서 내부로 2mm일 때의 초점 위치별 절삭폭의 범위를 보면 상수리나무 생재와 기건재의 경우 각각 0.478~0.907mm와 0.628~0.917mm 이었고, 고로쇠나무 생재와 기건재의 경우는 각각 0.497~0.940mm와 0.656~1.002mm 였으며, 中密度纖維板과 파티클보드의 경우는 각각 0.704~0.880mm와 0.476~0.828mm 였다.

절삭폭은 초점이 被削材 표면 상부 6mm에서 부터 被削材 표면까지 접근할수록 감소하였으나, 초점이 被削材 내부 2mm 위치에서 다시 증가되었다. 中密度纖維板과 파티클보드 역시 같은 경향을 보였다. 따라서 초점이 被削材 표면에 있을 경우 최소의 절삭폭을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있었다.

절삭깊이와 마찬가지로 절삭폭은 상수리나무보다 비중이 낮은 고로쇠나무가, 그리고 함수율이 낮은 기건재가 더 컸으며, 中密度纖維板의 절삭폭이 파티클보드보다 더 컸다.

3. 1. 2 被削材別 레이저出力과 절삭깊이 및 절삭폭의 관계

3. 1. 2. 1 상수리나무의 절삭깊이

레이저 출력별 절삭깊이를 추정하기 위해 절삭속도별로 레이저 출력과 절삭깊이에 대한 관계를 그림 15에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 절삭깊이는 레이저 출력이 증가할수록 증가하는 직선적인 관계로 볼 수 있으며, 절삭속도가 증가할수록 직선의 기울기가 감소하는 것으로 볼 때 절삭속도가 증가할수록 출력 증가에 대한 절삭깊이의 증가폭이 감소하는 것을 알 수 있었다.

상수리나무 생재의 일정 속도에서 절삭방향별 레이저 출력에 따른 절삭깊이를 절삭속도별로 살펴 보면 절삭깊이가 모든 절삭속도에서 출력이 증가함에 따라 증가했으며, 절삭방향별 절삭깊이에 있어서 절삭깊이는 단지 횡단면의 방사방향 및 접선방향으로 절삭시 가장 작게 나타났으며, 방사단면과 접선단면간에는 유사하였다. 따라서 방사단면과 접선단면의 절삭속도가 횡단면의 절삭속도보다 빠르다는 것을 알 수 있었으며, 이것은 新正武二 등 (1976)이 방사단면과 접선단면의 절삭속도는 유사하였다는 보고와 일치하였으나, 橫斷面이 방사단면과 접선단면보다 절삭속도가 빠르다고 보고한 것과는 반대로 나타났다. 횡단면의 절삭속도가 빠르다는 이유를 管孔이 있기 때문이라 설명하였으나, 레이저빔이 管孔에 주사될 때 절삭깊이가 깊어지지만 레이저빔이 管孔을 지나 세포벽으로 지나가는 순간에 管孔에서의 레이저 에너지 손실이 발생되기 때문에 횡단면의 평균 절삭깊이는 작을 것으로 여겨지며, 절삭속도도 느릴 것으로 생각된다.

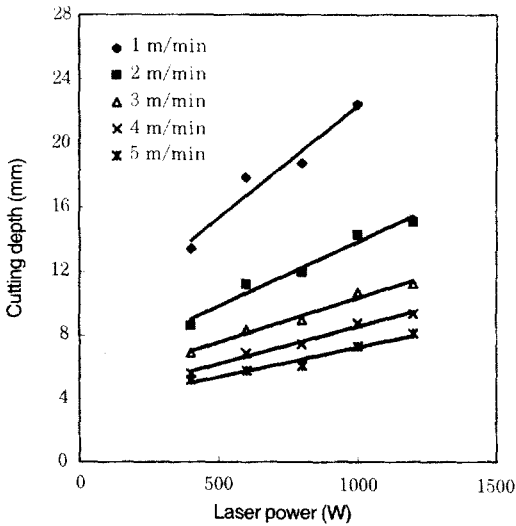


Fig. 15. Relationship between laser power and cutting depth of green white oak wood in constant cutting speed.

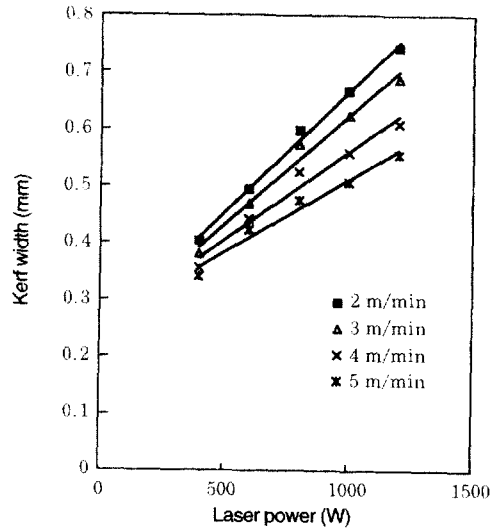


Fig. 16. Relationship between laser power and kerf width of green white oak wood in constant cutting speed.

기건재의 출력별 절삭깊이는 생재와 마찬가지로 레이저 출력이 증가할수록 증가하는 직선적인 관계로 볼 수 있으며, 기건재의 일정속도에서 절삭방향별 레이저 출력에 따른 절삭깊이는 절삭속도별로 조사한 결과 생재와 마찬가지로 모든 절삭속도에서 출력이 증가함에 따라 증가되었다. 또한 생재와 마찬가지로 절삭속도가 증가할수록 직선의 기울기가 감소하여 출력 증가에 대한 절삭깊이 증가폭이 감소함을 알 수 있었다.

생재와 기건재의 출력별 절삭깊이를 절삭속도별로 비교해 보면 절삭속도가 1m/min였을 경우 생재와 기건재의 절단되는 출력에 차이가 있어 비교를 하지 못했으며, 절삭깊이는 절삭속도 2m/min부터 비교한 결과 생재를 기준할 때 기건재가 3~26%까지 더 깊었으며, 저출력에서보다 고출력에서 증가폭이 더 컸었다.

3. 1. 2. 2 상수리나무의 절삭폭

일정 속도에서 생재의 출력별 절삭폭의 관계를 그림 16에 나타내었다. 생재의 절삭폭은 출력 400W에서 5m/min 속도로 절삭시 최소치인 0.319mm부터 출력 1200W에서 2m/min 속도로 절삭시 최대치인 0.770mm까지의 범위를 나타냈으며, 절삭폭은 출력이 증가할수록 증가했다.

일정 속도에서 기건재의 출력별 절삭폭은 출력 400W에서 5m/min 속도로 절삭시 최소치인 0.338mm부터 출력 1200W에서 2m/min 속도로 절삭시 최대치인 0.842mm까지의 범위를 나타냈으며, 절삭폭은 생재와

마찬가지로 출력이 증가할수록 증가했다. 생재와 氣乾材를 비교해 보면 절삭폭은 切削깊이에서와 같이 生材를 기준으로 氣乾材가 4~15%까지 증가되었으나 출력에 따라 일정한 경향을 보이지는 않았다.

3. 1. 2. 3 고로쇠나무의 절삭깊이

일정 속도에서 생재의 레이저 출력에 따른 절삭깊이를 추정하기 위한 출력별 절삭깊이의 관계를 그림 17에 나타내었으며, 그림에서와 같이 출력과 절삭깊이는 직선적인 관계가 나타났다. 생재의 레이저 출력별 절삭깊이 조사 결과 출력 1000W에서 1m/min 속도로 절삭시 완전히 절삭된 것을 제외하고는 출력 400W에서 5m/min 속도로 절삭시 5.65mm로 최소였으며, 출력 800W에서 1m/min 속도로 절삭시 23.53mm로 최대를 나타내었다. 절삭방향별 절입깊이는 상수리나무에서와 마찬가지로 변화가 없었으며, 일정 속도에서 출력이 증가할수록 증가되었다.

일정 속도에서 기건재의 레이저 출력에 따른 절삭깊이 역시 직선관계로 나타났다. 기건재의 레이저 출력별 절삭깊이를 보면, 생재와는 달리 出力 800W에서 1m/min 속도로 절삭시 완전히 절단되었으며, 출력 400W에서 5m/min 속도로 절삭시 5.83mm로 최소였으며, 출력 600W에서 1m/min 속도로 절삭시 22.43mm로 최대를 나타내었다. 절삭깊이는 생재와 마찬가지로 출력이 증가할수록 증가되었으며, 생재에 비해 기건재가 3~20%

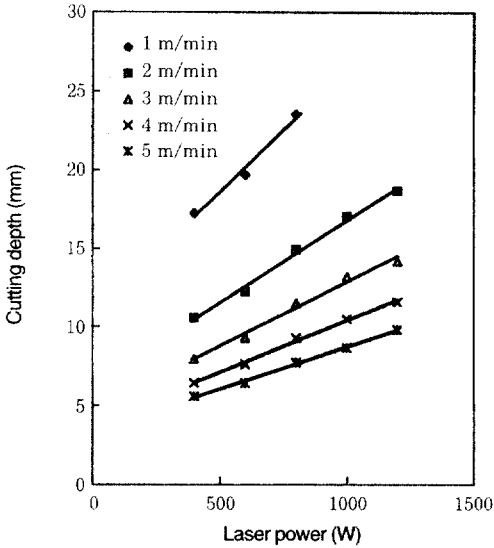


Fig. 17. Relationship between laser power and cutting depth of green maple wood in constant cutting speed.

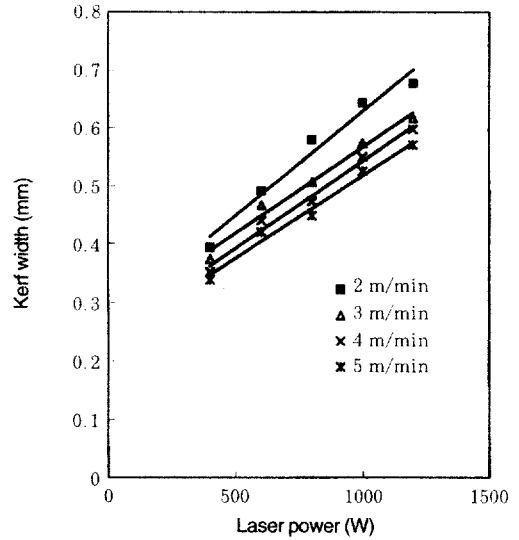


Fig. 18. Relationship between laser power and kerf width of green maple wood in constant cutting speed.

더 깊게 절삭되었다.

상수리나무와 고로쇠나무의 절삭깊이를 비교해 보면 고로쇠나무가 생재의 경우 9~29%, 기건재의 경우 9~33% 정도 더 깊게 절삭되었으며, 이는 비중이 낮은 수종에서 레이저 절삭효율이 높다는 것과 일치하였다.

3. 1. 2. 4 고로쇠나무의 절삭폭

생재의 레이저 출력별 절삭폭을 추정하기 위한 출력과 절삭폭의 관계를 그림 18에 나타내었다. 고로쇠나무 생재의 절삭폭은 출력 400W에서 5m/min 속도로 절삭시 최소치인 0.338mm부터 출력 1200W에서 2m/min 속도로 절삭시 최대치인 0.667mm까지의 범위를 나타냈다. 기건재의 레이저 출력별 절삭폭은 출력 400W에서 5m/min 속도로 절삭시 최소치인 0.350mm부터 출력 1000W에서 2m/min 속도로 절삭시 최대치인 0.732mm까지의 범위를 나타냈으며, 생재를 기준으로 기건재의 절삭폭이 3~19% 더 컸다.

3. 1. 2. 5 목질보드의 절삭깊이

중밀도纖維板과 파티클보드의 레이저 출력별 절삭깊이를 추정하기 위한 절삭속도별 출력과 절삭깊이 관계와 회귀식은 각각 그림 19와 20에 나타내었다.

레이저 출력별 절삭깊이는 출력 400W에서 절삭속도 1m/min로 절삭시 거의 절단되었으며, 출력 600W에서는 완전히 절단되었고, 출력 800W에서 1200W까지는

절삭속도 1m/min, 2m/min와 3m/min에서 거의 또는 완전히 절단되어 출력 400W에서 1200W까지 4m/min와 5m/min 속도에서만 비교하였다. 中密度纖維板의 경우 출력 400W에서 5m/min 속도로 절삭시 6.79mm에서 출력 1200W에서 4m/min 속도로 절삭시 13.32mm의 범위를 나타내었으며, 파티클보드의 경우는 출력 400W에서 5m/min 속도로 절삭시 5.92mm에서 출력 1200W에서 4m/min 속도로 절삭시 12.22mm의 범위를 나타내었다. 절삭깊이는 소재와 마찬가지로 레이저출력이 증가할수록 증가되었으며, 空隙이 많이 존재하는 파티클보드가 中密度纖維板보다 작게 나타났다.

3. 1. 2. 6 목질보드의 절삭폭

절삭속도별로 中密度纖維板과 파티클보드의 레이저 출력별 절삭폭을 추정하기 위한 출력과 절삭폭의 관계 및 회귀식을 각각 그림 21과 22에 나타내었다.

중밀도纖維板과 파티클보드의 절삭폭 역시 절삭깊이와 마찬가지로 저출력에서 느린 속도로 절삭시 절단되어 절삭폭을 정확히 측정할 수 없어 출력 400W에서 1200W까지 4m/min와 5m/min 속도에서만 비교하였으며, 中密度纖維板의 경우 출력 400W에서 5m/min 속도로 절삭시 0.449mm에서 부터 1200W에서 4m/min 속도로 절삭시 0.870mm의 범위였으며, 파티클보드의 경우는 출력 400W에서 5m/min 속도로 절삭시 0.368mm로

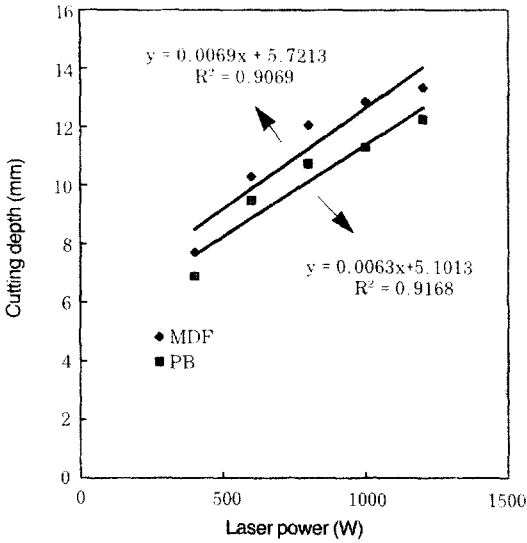


Fig. 19. Relationship between laser power and cutting depth of medium density fiberboard(MDF) and particleboard(PB) in 4m/min cutting speed.

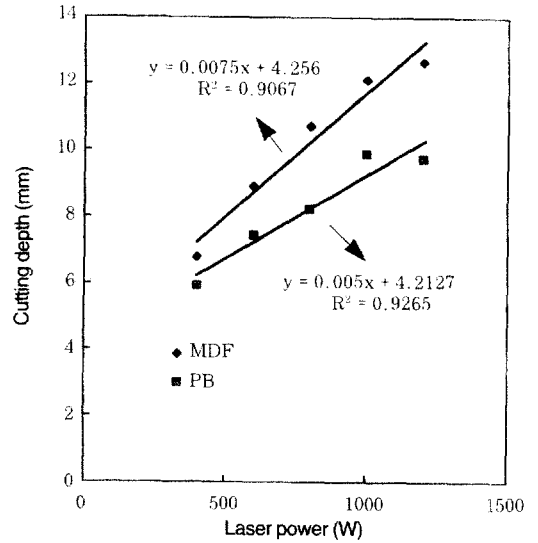


Fig. 20. Relationship between laser power and cutting depth of medium density fiberboard(MDF) and particleboard(PB) in 5m/min cutting speed.

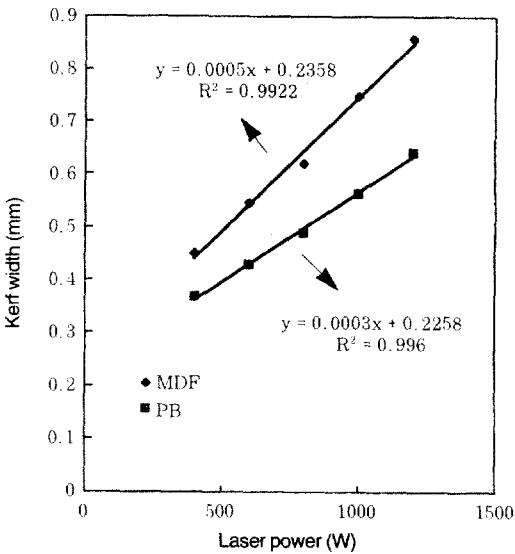


Fig. 21. Relationship between laser power and kerf width of medium density fiberboard(MDF) and particleboard(PB) in 4m/min cutting speed.

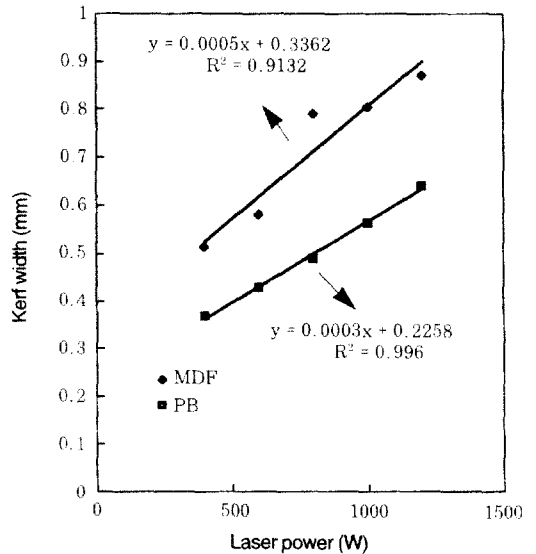


Fig. 22. Relationship between laser power and kerf width of medium density fiberboard(MDF) and particleboard(PB) in 5m/min cutting speed.

부터 출력 1200W에서 4m/min 속도로 절삭시 0.754 mm의 범위를 나타내었다. 절삭폭 역시 切削깊이와 마찬가지로 출력이 증가할수록 증가하는 경향을 보였으며, 파티클보드보다 中密度纖維板의 切削幅이 크게 나타났다.

3. 1. 3 被削材別 切削速度와 절삭깊이 및 절삭폭의 관계

3. 1. 3. 1 상수리나무의 절삭깊이

일정 출력에서 상수리나무 생재의 절삭속도별 평균 절

삭깊이의 변화를 그림 23에 나타내었으며, 그 관계는 x의 누승 관계가 있었다. 상수리나무 생재의 일정 출력에서 절삭속도별 절삭깊이를 보면, 1m/min 속도에서 5m/min 속도로 증가시 출력 400W의 경우 13.41mm에서 5.04mm, 출력 600W의 경우 17.87mm에서 5.77mm, 출력 800W의 경우 18.75mm에서 6.09mm, 출력 1000W의 경우 22.42mm에서 7.31mm, 출력 1200W의 경우는 1m/min 속도에서 절단되었으며 5m/min 속도에서 7.31mm로 절삭깊이는 절삭속도가 증가할수록 감소되었으며, 이는 Barnekov 등(1986)의 절삭속도 증가시 절삭깊이는 감소한다는 보고와 일치하였다.

상수리나무 기건재의 일정 출력에서 절삭속도별 절삭깊이를 보면, 1m/min 속도에서 5m/min 속도로 증가시 출력 400W의 경우 14.24mm에서 5.47mm, 출력 600W의 경우 18.85mm에서 6.58mm, 그리고 출력 800W부터는 1m/min 속도에서 완전히 절단되어, 2m/min 속도에서 5m/min 속도로 증가시 출력 800W의 경우 14.83mm에서 7.43mm, 출력 1000W의 경우 16.54mm에서 8.72mm, 출력 1200W의 경우 17.90mm에서 9.93mm로 생재와 같이 절삭깊이는 절삭속도가 증가할수록 감소되었다.

Peters 등(1975)은 함수율 6%인 화이트 오크를 출력 250W에서 0.25m/min 속도로 절삭시 절삭깊이는 22.00

mm였음을 보고하였는데, 본 연구와 비교해 보면 출력은 작지만 절삭속도가 1/4로 줄어들고, 함수율이 낮아 절삭깊이가 깊어진 것으로 생각된다.

3.1.3.2 상수리나무의 절삭폭

절삭속도별 상수리나무 생재의 절삭폭의 변화를 그림 24에 나타내었으며, 그 관계는 지수함수로 나타났다. 상수리나무 생재의 절삭속도별 절삭폭을 보면 1m/min 속도에서 5m/min 속도로 증가시 출력 400W의 경우 0.438mm에서 0.340mm, 출력 600W의 경우 0.600mm에서 0.422mm, 출력 800W의 경우 0.642mm에서 0.475mm, 출력 1000W의 경우 0.679mm에서 0.506mm로 절삭폭이 감소되었으며, 출력 1200W의 경우는 1m/min 속도에서 절단되어 2m/min 속도의 0.742mm에서 0.555mm로 감소되었다. 이는 Peters 등(1977)이 레이저 절삭폭은 0.457 0.787mm 범위를 갖고 있다는 것과 유사하였다.

상수리나무 기건재의 절삭속도별 절삭폭은 1m/min 속도에서 5m/min 속도로 증가시 출력 400W의 경우 0.591mm에서 0.353mm, 출력 600W의 경우 0.697mm에서 0.425mm, 그리고 출력 800W부터는 1m/min 속도에서 절단되어 2m/min 속도에서 5m/min 속도로 증가시 출력 800W의 경우 0.656mm에서 0.530mm, 출력 1000W의 경우 0.765mm에서 0.572mm, 출력 1200W의 경우 0.791mm에서 0.620mm로 감소되었

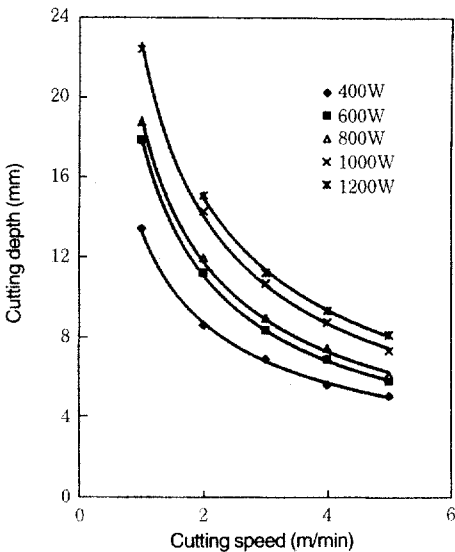


Fig. 23. Relationship between cutting speed and cutting depth of green white oak wood in constant laser power.

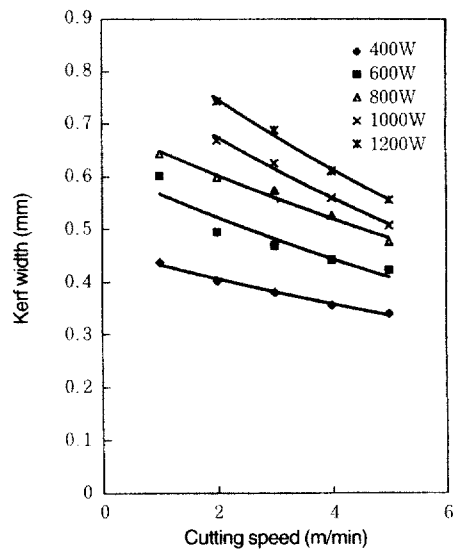


Fig. 24. Relationship between cutting speed and kerf width of green white oak wood in constant laser power.

으며, 기건재 역시 생재와 마찬가지로 절삭폭은 절삭속도 증가시 감소됨을 알 수 있었다. Peters 등(1977)이 함수율 6%인 레드 오크를 출력 3kW에서 16.7fpm (5.06m/min) 속도로 절삭시 절삭폭은 0.559mm임을 보고하였으나, 본 연구와 비교해 보면 출력은 높으나 함수율이 낮고 절삭속도가 약간 빨라 절삭폭이 작은 것으로 판단된다.

3.1.3.3 고로쇠나무의 절삭깊이

고로쇠나무 생재의 절삭속도별 절삭폭을 그림 25에 나타내었으며, 그 관계는 x의 누승 관계로 나타났다. 절삭속도별 절삭깊이는 1m/min 속도에서 5m/min 속도로 증가시 출력 400W의 경우 17.23mm에서 5.65mm, 출력 600W의 경우 19.66mm에서 6.47mm, 출력 800W의 경우 23.53mm에서 9.32mm, 출력 1000W와 1200W의 경우는 1m/min 속도에서 절단이 이루어져 폭을 측정하지 못했으며, 2m/min 속도에서 5m/min로 증가시 출력 1000W의 경우 17.02mm에서 8.72mm, 출력 1200W의 경우 18.64mm에서 11.64mm로 상수리나무에서와 같이 절삭깊이는 절삭속도가 증가함에 따라 감소되었다.

고로쇠나무 기건재의 절삭속도별 절삭깊이는 1m/min 속도에서 5m/min 속도로 증가시 출력 400W의 경우 18.26mm에서 5.83mm, 출력 600W의 경우 22.43mm에서 7.53mm, 그리고 출력 800W 부터는 1m/min 속

도에서 절단되었으며, 2m/min 속도에서 5m/min 속도로 증가시 출력 800W의 경우 17.13mm에서 8.86mm, 출력 1000W의 경우 20.47mm에서 10.54mm, 출력 1200W의 경우 21.71mm에서 11.83mm로 생재와 마찬가지로 절삭깊이는 절삭속도가 증가할수록 감소되었다. Peters 등(1975)이 함수율 6%인 연단풍나무를 출력 250W로 0.9m/min 속도로 절삭시 절삭깊이는 12.85mm임을 보고하였으나, 이는 출력이 낮아 본 연구에서보다 절삭깊이가 작았다.

3.1.3.4 고로쇠나무의 절삭폭

고로쇠나무 생재의 절삭속도별 절삭폭의 변화를 그림 26에 나타내었다. 절삭속도별 절삭폭은 1m/min 속도에서 5m/min 속도로 증가시 출력 400W의 경우 0.468mm에서 0.338mm, 출력 600W의 경우 0.570mm에서 0.420mm로 감소되었으며, 출력 800W 부터는 1m/min 속도에서 거의 또는 완전히 절단되어 정확한 폭 측정이 곤란하였으며, 2m/min 속도에서 5m/min 속도로 증가시 출력 800W의 경우 0.579mm에서 0.448mm, 출력 1000W의 경우 0.643mm에서 0.525mm, 출력 1200W의 경우 0.677mm에서 0.571mm로 절삭폭은 절삭속도가 증가함에 따라 감소되었다.

고로쇠나무 기건재의 절삭속도별 절삭폭은 1m/min 속도에서는 출력 600W부터 1200W까지, 2m/min 속도에서는 출력 1200W에서 거의 또는 완전히 절단되어 절

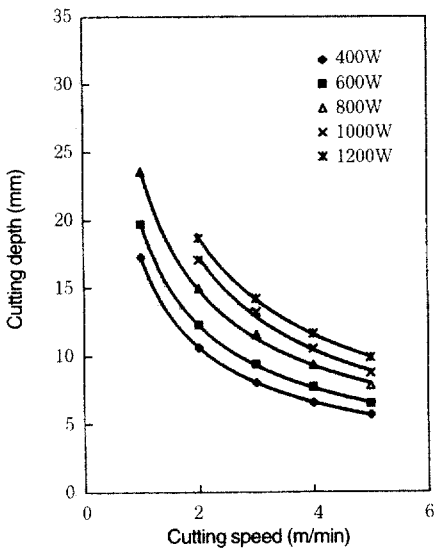


Fig. 25. Relationship between cutting speed and cutting depth of green maple wood in constant laser power.

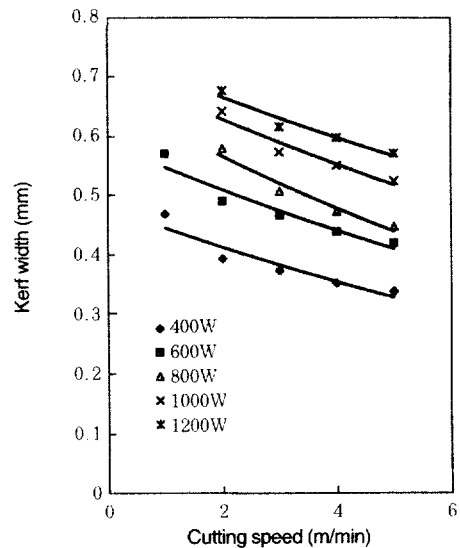


Fig. 26. Relationship between cutting speed and kerf width of green maple wood in constant laser power.

삭폭을 측정하지 못했으며, 출력 400W의 경우 1m/min 속도에서 5m/min 속도로 증가시 0.553mm에서 0.350mm로 절삭폭이 감소되었으며, 2m/min 속도에서 5m/min 속도로 증가시 출력 600W의 경우 0.585mm에서 0.390mm, 출력 800W의 경우 0.665mm에서 0.470mm, 출력 1000W의 경우 0.732mm에서 0.496mm, 출력 1200W의 경우는 3m/min 속도에서 5m/min 속도로 증가시 0.778mm에서 0.593mm로 생채와 마찬가지로 절삭폭은 절삭속도가 증가할수록 감소되었다.

3. 1. 3. 5 목질보드의 절삭깊이

中密度纖維板의 절삭속도별 절삭깊이의 변화와 회귀식을 그림 27에 나타내었으며, 절삭속도별 절삭깊이를 보면 1m/min 속도에서는 모든 출력에서 거의 또는 완전히 절단되었으며, 출력 800W 부터는 2m/min 속도에서도 절단되어 출력 400W와 600W에서만 비교하였다. 中密度纖維板의 절삭깊이는 출력 400W에서 1m/min 속도에서 5m/min로 증가시 15.24mm에서 6.79mm, 출력 600W에서는 2m/min 속도에서 5m/min 속도로 증가시 14.98mm에서 8.91mm로 소재와 같이 절삭깊이는 절삭속도가 증가함에 따라 감소되었다.

파티클보드의 절삭속도별 절삭깊이의 변화와 회귀식을 그림 28에 나타내었으며, 파티클보드의 切削깊이는 출력 400W에서 1m/min 속도에서 5m/min 속도로 증가시 14.35mm에서 5.92mm, 출력 600W에서는 2m/min

속도부터 5m/min 속도로 증가시 13.03mm에서 7.45mm로 中密度纖維板과 같이 절삭깊이는 절삭속도가 증가함에 따라 감소되었다. Peters 등(1975)은 요소수지를 사용한 파티클보드를 출력 250W로 0.6m/min 속도로 절삭시 13.06mm입을 보고하였으나, 이는 절삭속도는 느리지만 출력이 작아 본 연구에서보다 절삭깊이가 작았다.

중밀도섬유판과 파티클보드를 비교해 보면 중층에 공극이 많고 조직이 치밀하지 못한 파티클보드가 절삭깊이가 작았으며, 소재와 목질보드의 절삭깊이를 비교해 보면 목질보드가 소재보다 작았는데, 이는 목질보드의 두께에 따른 밀도 변화가 심하며 접착제의 존재로 생각되며, Peters 등(1977)이 목질보드의 절삭깊이는 사용된 접착제의 종류에 큰 영향을 받는다는 것에도 유사하다.

3. 1. 3. 6 목질보드의 절삭폭

중밀도섬유판과 파티클보드의 절삭속도별 절삭폭은 1m/min 속도의 경우 모든 출력에서 거의 또는 완전히 절단되었으며, 2m/min 속도의 경우 출력 600W부터, 3m/min 속도의 경우는 출력 800W부터 절단이 이루어져 출력 400W와 600W에서만 비교하였다. 中密度纖維板의 절삭속도별 절삭폭의 변화와 회귀식을 그림 29에 나타내었으며, 출력 400W에서 2m/min 속도에서 5m/min 속도로 증가시 0.609mm에서 0.449mm, 출력 600W에서는 3m/min 속도에서 5m/min 속도로 증가시 0.686

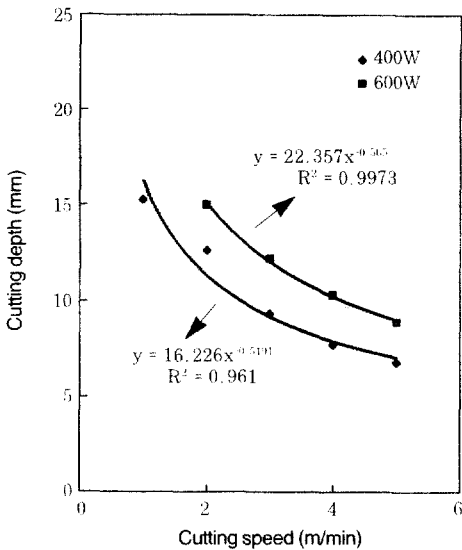


Fig. 27. Relationship between cutting speed and cutting depth of medium density fiberboard(MDF) in constant laser power.

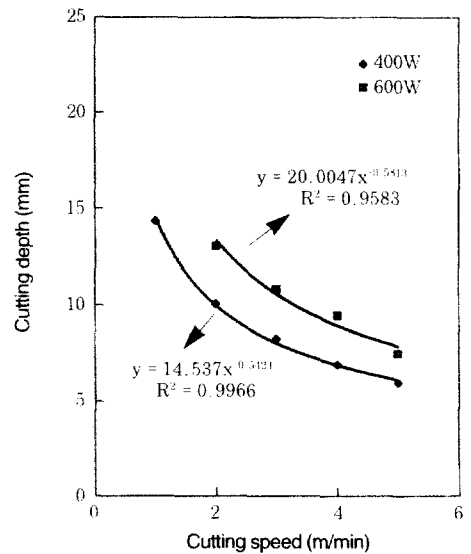


Fig. 28. Relationship between cutting speed and cutting depth of particleboard(PB) in constant laser power.

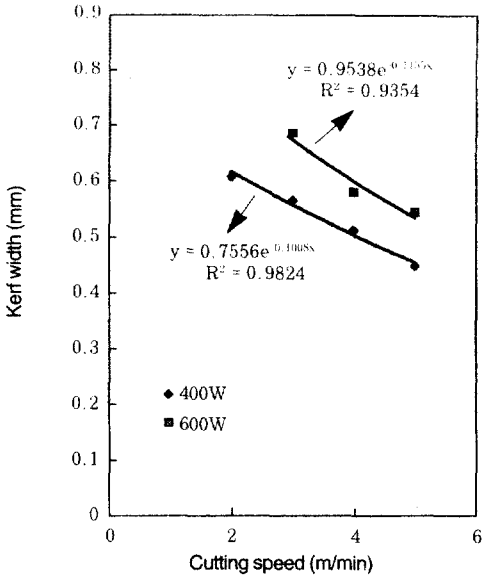


Fig. 29. Relationship between cutting speed and kerf width of medium density fiberboard (MDF) in constant laser power.

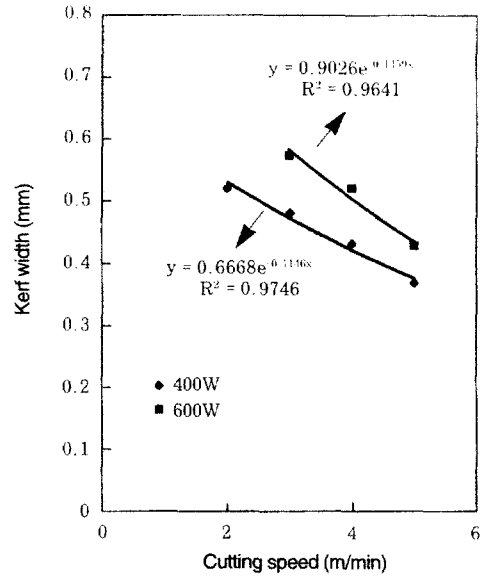


Fig. 30. Relationship between cutting speed and kerf width of particleboard(PB) in constant laser power.

mm에서 0.545mm로 절삭폭은 절삭속도가 증가함에 따라 감소되었다.

파티클보드의 절삭속도별 절삭폭의 변화와 회귀식을 그림 30에 나타내었으며, 출력 400W에서 2m/min 속도부터 5m/min 속도로 증가시 0.520mm에서 0.368mm, 출력 600W에서는 3m/min 속도부터 5m/min 속도로 증가시 0.573mm에서 0.428mm로 절삭폭은 절삭속도가 증가함에 따라 감소되었다. Peters 등(1977)이 1KW로 3m/min 속도로 절삭시 절삭폭은 0.610mm임을 보고하였으며, 본 연구에서는 1KW에서 절단되어 절삭폭을 측정하지 못해 직접적으로 비교할 수는 없었다.

3.2 被削材別 最大切削速度 추정

피삭재의 절삭속도별 절삭깊이의 회귀식을 이용하여 臨界切削速度, 즉 最大切削速度를 계산한 결과는 表 5와 같다. 最大切削速度는 소재의 경우 상수리나무 생재가 가장 느렸으며, 고로쇠나무 기건재가 가장 빨랐고, 목질보드의 경우는 파티클보드가 중밀도섬유판보다 절삭속도가 느림을 알 수 있었다. 表 5에서 목질보드가 소재보다 최대절삭속도가 빠르게 나타난 것은 목질보드의 두께가 소재보다 얇기 때문이며, 같은 두께를 절삭할 때는 소재가 더 빠르다는 것을 소재와 목질보드류의 절삭속도별 절삭 깊이에서 알 수 있었다.

Table 5. Maximum cutting speed of white oak, maple, medium density fiberboard(MDF), and particleboard(PB) by laser power.

Laser power (W)	Maximum cutting speed (mm/min)					
	White oak		Maple		MDF	PB
	Green	Air-dried	Green	Air-dried		
400	358	361	583	664	1164	944
600	625	667	708	863	2028	1641
800	671	1002	929	1180	-	-
1000	871	1135	1208	1507	-	-
1200	935	1208	1315	1637	-	-

Table 6. Parameter estimates of regression equation among cutting depth, cutting speed, and laser power.

Species		A	B	C	R ²
White oak	Green	1.240414	0.023671	-0.004956	0.9564
	Air-dried	1.158412	0.024613	-0.004633	0.9675
Maple	Green	1.308167	0.027642	-0.005526	0.9577
	Air-dried	1.258894	0.029796	-0.005533	0.9645
Medium density fiberboard		1.465532	0.026268	-0.004709	0.9716
Particleboard		1.377677	0.024639	-0.004671	0.9747

Table 7. Relative error between raw data and estimates of cutting depth.

Species		Cutting speed (m/min)	Relative error by laser power				
			400W	600W	800W	1000W	1200W
White oak	Green	1	0.341	0.299	0.129	0.104	-
		2	0.060	0.039	0.133	-0.141	-0.268
		3	-0.054	0.086	-0.209	-0.172	-0.280
		4	-0.158	-0.058	-0.089	-0.004	-0.022
		5	-0.091	0.044	0.125	0.311	0.396
	Air-dried	1	0.354	0.298	-	-	-
		2	0.033	0.061	0.011	-0.070	-0.162
		3	-0.094	-0.037	-0.073	-0.076	-0.159
		4	-0.110	-0.097	-0.032	0.001	-0.049
		5	-0.174	-0.013	0.061	0.167	0.2396
Maple	Green	1	0.408	0.258	0.192	-	-
		2	0.125	-0.028	-0.065	-0.130	-0.211
		3	-0.047	-0.135	-0.108	-0.135	-0.212
		4	-0.133	-0.119	-0.023	-0.026	-0.029
		5	-0.163	-0.014	0.157	0.248	0.335
	Air-dried	1	0.398	0.293	-	-	-
		2	0.148	0.034	-0.023	-0.041	-0.154
		3	-0.016	-0.073	-0.122	-0.126	-0.160
		4	-0.160	-0.086	-0.059	-0.018	-0.021
		5	-0.213	-0.013	0.101	0.184	0.246
Medium density fiberboard		1	0.338	-	-	-	-
		2	0.232	0.129	-	-	-
		3	0.005	0.039	-0.062	-0.090	-0.249
		4	-0.147	-0.011	0.021	-0.035	-0.112
		5	-0.241	-0.008	0.110	0.169	0.163
Particleboard		1	0.346	-	-	-	-
		2	0.115	0.083	-	-	-
		3	-0.022	0.025	-0.042	-0.089	-0.239
		4	-0.162	-0.038	0.041	-0.017	-0.036
		5	-0.259	-0.029	0.021	0.173	0.135

Note; Relative error : (raw data - estimates)/raw data.

3.3 被削材別 切削깊이 추정

소재와 목질보드의 레이저 출력과 절삭속도별 절삭깊이를 이용하여 式 (1)과 같은 다중회귀식으로 표현하고 각각의 변수에 대한 상수를 계산한 결과는 表 6과 같다.

$$Y = Ax_1 + Bx_2 + Cx_1x_2 \dots \dots \dots (1)$$

- Y : 절삭깊이(mm).
- x₁ : 절삭속도(m/min).
- x₂ : 레이저출력(W).
- A, B, C : 상수

소재의 절삭속도는 기건재보다 생재에서 영향이 더 컸으며, 레이저 출력은 생재보다 기건재에서 영향이 더 컸음을 알 수 있었고, 목질보드의 경우는 절삭속도와 레이저 출력이 파티클보드보다 중밀도섬유판에서 영향이 더 컸음을 알 수 있었다. 회귀식의 검정을 위해 실측치와 추정치의 상대오차를 계산한 결과 表 7과 같다. 실측치와 추정치의 상대오차는 0.1~40.8% 범위를 나타냈으며, 출력 400~1000W, 절삭속도 2~4m/min에서는 오차율이 10% 이하로서 실측치와 추정치가 거의 유사하였고, 출력 1200W와 절삭속도 1m/min과 5m/min에서는 오차율이 20% 이상으로서 실측치와 추정치의 편차가 컸었다.

4. 결 론

두께 25mm 상수리나무와 고로쇠나무, 두께 15mm 中密度纖維板과 파티클보드의 레이저 절삭에서 被削材와 레이저빔 초점간의 거리에 따른 절삭깊이와 절삭폭, 레이저출력과 절삭속도별 절삭깊이와 절삭폭 측정과, 최대 절삭속도와 절삭깊이를 추정한 결과는 다음과 같다.

1. 被削材와 레이저빔 초점과의 거리에 따른 절삭깊이와 절삭폭의 경우 소재와 목질보드의 절삭 깊이는 레이저빔의 초점이 被削材 상부 6mm 부터 내부 2mm까지 접근할수록 증가했으나, 절삭폭은 被削材 상부 6mm에서 표면까지 감소하다가 표면에서 내부 2mm까지 증가하였으며, 레이저빔 초점이 被削材 표면에 있을 때 최소 절삭폭을 나타냈다.
2. 소재와 목질보드의 레이저 절삭시 절삭깊이와 절삭폭은 레이저출력이 증가할수록 직선적으로 증가했으나, 절삭속도가 증가할수록 곡선적으로 감소하였다.
3. 소재와 목질보드의 절삭속도에 따른 절삭깊이의 관계 곡선을 이용한 最大切削速度 추정에서 고로쇠나무의 기건재가 가장 빨랐으며 상수리나무의 생재

가 가장 느렸고, 중밀도섬유판이 파티클보드보다 빨랐다.

4. 목리방향별 절삭깊이는 두 종단면간에 유사하였으며, 橫斷面의 절삭깊이는 두 종단면보다 작게 나타났다. 함수율에 따른 절삭깊이와 절삭폭은 함수율이 증가할수록 감소했으며, 상수리나무 기건재의 절삭깊이는 생재의 것보다 3~26%, 고로쇠나무의 경우는 3~20% 더 깊었고, 또한 절삭폭은 상수리나무의 경우 4~15%, 고로쇠나무의 경우는 3~19% 더 넓었다.
5. 소재의 절삭깊이와 절삭폭을 비교해 보면 비중이 작은 고로쇠나무 생재와 기건재의 절삭깊이와 절삭폭은 상수리나무보다 컸었으며, 中密度纖維板과 파티클보드의 절삭깊이와 절삭폭은 파티클보드가 중밀도섬유판보다 작았다.

참 고 문 헌

1. Barnekov, V. G., C. W. McMillin, and H. A. Huber. 1986. Factors influencing laser cutting of wood. *Forest Prod. J.* 36(1) : 55~58
2. Barnekov, V. G., H. A. Huber, and C. W. McMillin. 1989. Laser machining wood composites. *Forest Prod. J.* 39(10) : 76~78
3. Barnekov, V. G., S. Kudapa, M. Tayal, H. Huber, and K. Mukherjee. 1994. Optimizing laser cutting with the ALPS process. In: Proc. The 2nd Inter. Conf. on Automated Lumber Processing Systems and Laser Machining of Wood and Composites. Michigan State Univ., East Lansing, Mich.
4. Bryan, E. L. 1963. Machining wood with light. *Forest Prod. J.* 13 (1) : 14
5. Hecht, J. 1986. The laser guidebook. McGraw-Hill, Inc. : 381
6. Huber, H. A., C. W. McMillin, and A. Rasher. 1982. Economics of cutting wood parts with a laser under optical image analyzer control. *Forest Prod. J.* 32(3) : 16~21
7. Huber, H. A., C. W. McMillin, and A. Rasher. 1987. Automated lumber processing system(ALPS) research in lumber cutting. In Pro. Automating Processes in Furniture and Wood Products Manufacturing, High Point, North Carolina, December 8~9
8. Huber, H. A., S. Ruddell, and P. Klinkhachorn. 1988.

- ALPS. Predicting hardwood yields and cutting bill length distributions using the ALPS cutting program. International FPRS Meeting, Quebec City, Canada, June 20
9. Huber, H. A., K. Mukherjee, and C. W. McMillin. 1989. Economics of cutting hardwood dimension parts with an automated system. *Forest Prod. J.* 39(5) : 46~50
 10. Huber, H. A., and P. Klinkhachorn. 1991. Yield comparisons of conventional and laser CNC cutting of hardwood dimension parts from rough lumber. Advanced Technology Applications to Eastern Hardwood Utilization, Annual Report #4, Spring, 1991
 11. Khan, P. A. A., and K. Mukherjee. 1991. Laser machining of hardwoods: current status and control. In: Proc. The First Inter. Conf. on Automated Lumber Processing Systems and Laser Machining of Wood. Michigan State Univ., East Lansing, Mich.
 12. Koch, P. 1962. Wood machining processes. The Ronald Press Company : 530
 13. Koch, P. 1972. Utilization of the southern pines. USDA Agri. Handbook No. 420, Vol. II Processing : 755~948
 14. Koch, P. 1985. Utilization of hardwoods growing on southern pine sites. USDA Agri. Handbook No. 605, Vol. II Processing : 1687~2282
 15. McMillin, C. W., and H. A. Huber. 1984. Laser cutting of wood parts. *FDM Encyclopedia* 56(12) : 32, 35, 38, 41, 42, 44, 48.
 16. McMillin, C. W., and J. E. Harry. 1971. Laser machining of southern pine. *Forest Prod. J.* 21(10) : 34~37
 17. McMillin, C. W., and J. E. Harry. 1972. Laser machining - a status report. *Southern Lumberman* 225(2795) : 19~20
 18. McMillin, C. W., R. W. Conners, and H. A. Huber. 1985. Laser cutting lumber under computer control of defect scanners -- A look to the future. In: Sawing Technology The Key to Improve Profits; FPRS Madison, WI; Proceedings #7322 : 102~108
 19. Mukherjee, K., and P. A. A. Khan. 1991. Laser power and feed speed in cutting wood. Advanced Technology Applications to Eastern Hardwood Utilization, Annual Report #4, Spring, 1991
 20. Mukherjee, K., and P. A. A. Khan. 1991. Analysis of combination gases associated with laser cutting of wood. Advanced Technology Applications to Eastern Hardwood Utilization, Annual Report #4, Spring, 1991
 21. Mukherjee, K., and P. A. A. Khan. 1991. Industrial laser machining. In: Proc. The First Inter. Conf. on Automated Lumber Processing Systems and Laser Machining of Wood. Michigan State Univ., East Lansing, Mich.
 22. Peters, C. C. and C. M. Banas. 1977. Cutting wood and wood-based products with a multikilowatt CO₂ laser. *Forest Prod. J.* 27(11) : 41~45.
 23. 木下直治, 新井勤. 1967. レーザーによる木材の加工. *木材工業* 22(6) : 268~272
 24. 新井武二, 島川正憲, 林大九郎. 1976. CO₂ レーザーによる木材の加工 - 加工特性について. *木材工業* 31(8) : 338~342
 25. 新井武二, 川登博通, 木下直治. 1978. レーザーによる板材の最適加工に関する研究 - 三次元図式解法とその応用. *木材學會誌* 24(5) : 281~286
 26. 新井武二, 林大九郎. 1992. レーザーによる木材の加工特性について(第1報) - 機械側パラメータが加工特性に及ぼす影響. *木材學會誌* 38(4) : 350~356
 27. 新井武二, 林大九郎. 1994. レーザーによる木材の加工特性について(第2報) - 材料側パラメータが加工特性に及ぼす影響. *木材學會誌* 40(5) : 497~503
 28. 金道熏. 1990. 레이저가공학. 京文社: 327
 29. 吳明, 姜玫鎬. 1986. 레이저응용. 淸文閣: 195
 30. 尹文建. 1991. 연강판의 필스 CO₂ 레이저 절단에 관한 실험적 연구. 연세대학교 산업대학원 석사학위논문: 46
 31. 李相洙. 1994. 레이저光學. 敎學研究社: 220
 32. 鄭希錫. 1992. 木材切削學. 서울大學校出版部: 287