

# 木材 切削用 레이저의 利用\*1

李 亨 雨\*2

## Laser for Wood Machining\*1

Hyoung-Woo Lee\*2

### 1. 緒 論

木材의 切削은 立木伐採와 原木製材로 부터 家具의 제작이나 木工藝의 예술성 높은 彫刻品에 이르기 까지 목재가공의 가장 기본적이고도 필수적인 공정으로 지금까지 이 분야의 연구는 대량생산을 통한 單位時間當 生産量의 증대 및 切削面의 品等向上에 집중되어온 반면, 금세기 말의 전세계 목재소비량이 현재의 50% 이상 증가할 것으로 추정<sup>20)</sup>되고 있음에도 불구하고 原木의 單位投入量에 대한 收率의 향상에 관한 연구는 미진한 상태이다.

그러나 자원의 고갈로 木製品 生産費의 60-70%를 차지하고 있는 원목의 가격이 급등하고 있고, 주요 원목수출국들은 자국의 자원보호를 목적으로 원목수출을 전면, 또는 부분적으로 규제하고 있는 추세로 원목의 거의 대부분을 수입에 의존하고 있는 국내 목재산업계는 매우 어려운 국면을 맞고 있다.

또한 목재의 가공중 발생하는 톱밥과 칩등은 재재목에 비하여 단위체적당 가격이 1/20-1/4에 불과하므로 목재절삭공정중 이와 같은 형태로 발생하는 木材損失의 최소화 및 木材廢材를 이용한 새로운 木質材料(wood-based materi-

als)의 개발로 生産性을 향상시켜 임금인상과 국제시장에서의 경쟁력약화를 극복할 수 있는 새로운 목재절삭기술이 절실히 요구되고 있다.

그러므로 세계의 목재산업을 주도하고 있는 몇몇 선진국에서는 톱의 두께와 회전시 진동을 최소화하여 kerf를 감소시키고 C-N-S(Chipper-and-Saw)나 Shaping lathe headrig등을 활용하여 목재절삭시 수율을 향상시키고 있다. 또한 유압실린더로 두께 10cm미만의 實大材를 특수하게 고안된 고정칼날에 밀어 절삭하므로서 목재손실이 전혀 발생하지 않는 Full-size lumber slicer<sup>8)</sup>를 개발하기도 하였으나 매우 느린 절삭속도(1.5m/min)는 실용화에 있어 큰 문제점으로 남아있으며, 高壓의 물분사를 이용하는 Water jet 방법을 응용하기도 하였으나 Tillman(1985)<sup>20)</sup>에 따르면 이때 소요되는 에너지의 양이 일반 띠톱을 이용한 경우의 17.3배에 이를 정도로 높아 이 방법 역시 실용화 단계에 이르지 못하고 있다. 그리고 백열등이나 형광등, 發光小子(LED:Light Emitting Diode) 및 레이저빔을 光源으로 하고 컴퓨터에 연결된 광센서를 이용하거나 X-ray검색기를 부착하여 원목 내외부의 缺點部位를 정확하게 파악하므로써 가장 높은 수율을 보장할 수 있는 製

\*1. 接受 1991年 3月 2日 Received March 2, 1991

\*2. 全南大學校 農科大學 College of Agriculture, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea.

材工程 全自動化가 이루어 지고 있다. 그러나 金(1990)<sup>10)</sup>의 보고에 따르면 전체 목재가공업 체중 약 20% 정도만이 製材成形施設의 自動化를 희망하고 있고, 소규모의 중소기업이 실질적으로 목재가공산업을 주도하고 있는 국내실정에 비추어 볼 때 제재등의 1차가공공정에 이와 같이 막대한 시설투자를 할 수 있는 기업은 몇 안되므로 1차가공공정의 자동화에 의한 생산성의 향상보다는 생산되는 목제품에 보다 높은 附加價値를 부여할 수 있는 방법의 개발이 요구된다고 하겠다.

국내 목재산업의 대표적인 업종인 가구산업은 연간 內需市場 규모가 2조원을 육박하고 있으며, 수출액도 2억\$을 상회할 것으로 추정되어 최근 수출유망업종으로 지정되기도 하였으나 원목수입가의 급등과 임금인상등으로 국제시장에서의 가격경쟁력이 저하되어 가구수출이 가장 활발한 대만의 수출액의 1/10에 지나지 않고 있는 실정이다. 따라서 부가가치가 높은 새로운 디자인의 제품을 개발하고 多品種少量生産體制에 적응하므로써 세계시장의 치열한 경쟁을 극복할 수 있으리라 생각된다.

가구의 부가가치를 높이는 방법에는 여러가지가 있겠으나 가구의 고급화로 실내장식품으로서의 역할도 부여하여야 하므로 가구장식 특히, 彫刻과 象嵌에 대한 장식기법에 많은 관심이 모아지고 있다. 장식의 조각에는 현재 手工에 의하거나 루터(router) 등이 상용되고 있으나 매우 복잡하고 세밀한 부분의 조각에는 많은 어려움이 있어 레이저(LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)의 이용 가능성에 대한 연구가 진행되고 있다.

본 자료에서는 최근 가장 발달된 材料切削技術의 하나인 레이저절삭의 기본원리와 그 종류를 목재절삭 응용사례와 함께 소개하고 레이저절삭자동화를 위한 기초적인 방안을 제시하고자 한다.

## 2. 레이저의 原理와 種類

레이저는 一定 氣體에 1만 볼트 이상의 고압 전기방전으로 에너지를 순간적으로 투입하여 기체를 구성하고 있는 電子가 勵起되었다가 다시 원위치로 복귀하면서 방출하는 빛에너지를 특수한 렌즈를 통하여 集束시켜 물체를 순간적으로 加熱, 熔融, 蒸發시키거나 높은 압력의 레이저광으로 물체를 공중에 띄울 수도 있으며, 이때에 발생하는 빛의 파장은 어떤 물리적인 것보다도 안정화되어 있다.<sup>5), 6)</sup> 이와 같은 빛의 성질을 이용하여 1960년 미국 Huges Aircraft사의 과학자 Mainman이 Rubby laser(효율 1%)<sup>11)</sup>를 발명한 것을 嚆矢로 최근까지 여러형태의 레이저가 속속 개발되고 있으며, 금세기 최대의 발명중 하나로 까지 여겨지고 있다.

레이저의 종류는 레이저媒質에 따라 액체, 고체, 반도체 및 기체레이저로 나뉜다. 이중 기체레이저는 레이저매질의 형상이 자유로와 大體積化, 高壓力化, 動作條件의, 最適化등을 기할 수 있으며, 大出力이 가능하고(1-10kW), 넓은 영역의 스펙트럼과 균일한 저밀도의 레이저매질로 우수한 레이저빔의 單色性和 指向性을 기대할 수 있어 목재가공분야에 가장 적합한 것으로 여겨진다.

기체레이저는 빛의 파장에 따라 赤外線領域(infrared:  $\lambda > 0.78 \mu m$ ), 可視光線領域(visible:  $0.38 \mu m < \lambda < 0.78 \mu m$ ) 및 紫外線領域(ultraviolet:  $\lambda < 0.38 \mu m$ )으로 구분된다. 자외선영역에는 엑시머레이저( $0.216-0.45 \mu m$ )가 포함되며, 가시광선영역에는 He/Ne레이저( $0.633 \mu m$ )와 Ar 이온레이저( $0.514 \mu m$ )가 대표적으로 규모가 작고 제작비도 저렴하지만 출력은 1-10W로 고출력은 근본적으로 불가능하다.

한편, 적외선영역의 CO<sub>2</sub>레이저( $10.6-9.6 \mu m$ )와 CO레이저( $4.7-8.2 \mu m$ )는 連續動作의 高出力과 高效率이 가능하여 목재의 절삭에

적합하리라 생각된다. CO<sub>2</sub>레이저는 1964년 최초로 개발되어 지금까지 가장 많이 연구되었고 실용화의 단계에 있으며, 가공용 레이저의 효율은 최고 15-20%(이론적 최고효율 30%)에 달하고 있다. CO레이저는 이론적 量子效率이 거의 100%(電氣放電에 의한 勵起效率 약 90%)이고 CO<sub>2</sub>보다 파장이 짧아 빛의 흡수가 양호하고 높은 파워밀도를 나타내며 파워전송률로 광섬유를 이용할 수 있어 柔軟性, 汎用性, 高速性등의 개선이 가능하고 가격면에서도 유리하여 최근 많은 관심이 집중되고 있다.<sup>16), 17)</sup>

### 3. 레이저를 이용한 木材切削

레이저를 이용한 목재절삭의 장점으로는 톱밥의 발생이 없고, kerf가 작아 목재손실을 최소화할 수 있으며, 칼날의 마모도 없고 소음도 상당히 감소시킬 수 있다. 또한 아무리 복잡한 형태도 被削材에 아무런 應力을 발생시키지 않는 상태에서 절삭해낼 수 있으며, 그 절삭면도 매우 양호하다. 그리고 CNC(Computer Numerical Control)등에 의한 자동생산시스템에도 쉽게 연결할 수 있다는 점도 장점으로 들 수 있다.

McMillin등(1971)<sup>12)</sup>은 southern pine을 대상으로 그림1과 같은 디자인의 레이저 발생장치를 구성하여 그 출력을 1kW(효율 약 10%)로 하고 목재의 절삭을 시도하였다. 그리고 압축공기를 이용하여 절삭중임 부분의 증기나 발생입자들을 제거하고 레이저빔을 보호하는 한편, 절삭표면을 식혀주므로써 깊고도 정확한 四角의 절단면을 갖도록 하였다. 한편, Barnekov 등(1986)<sup>3)</sup>은 피삭재의 종류에 따라 素材의 경우에는 압축공기가 효과적이거나 削片板이나 纖維板등의 접착제를 포함하는 木質材料의 레이저절삭에는 질소나 헬륨가스가 적합한 것으로 보고한 바 있다. Kamke등(1990)<sup>9)</sup>은 물분사장

치를 이용하여 피삭재의 절삭부위를 적서 過乾燥를 방지함과 동시에 표면에 잔류하는 그을음의 양을 감소시키기도 하였으며, Mukherjee등(1990)<sup>11)</sup>은 공기분사노즐을 supersonic형태로 변형시켜 고압의 공기를 분사하므로써 절삭속도를 증가시키고자 하였다.

이때 所要動力의 변이는 送材速度의 차이로 나타나며, 이와 같은 송재속도의 차이는 피삭재의 두께, 含水率, 比重, 木理方向에 대한 切削方向의 偏差 및 피삭재의 종류에 따라 발생하는 것으로 나타났다. 우선 피삭재의 두께가 증가하면 할수록 많은 양의 木質을 제거해야 하므로 最大送材速度는 곡선적으로 감소하고 있다. 피삭재의 含水율도 높을 수록 제거(중발)시켜야 할 수분의 양이 증가하여 표1에 나타났듯이 요구되는 송재속도가 감소하고 있다.

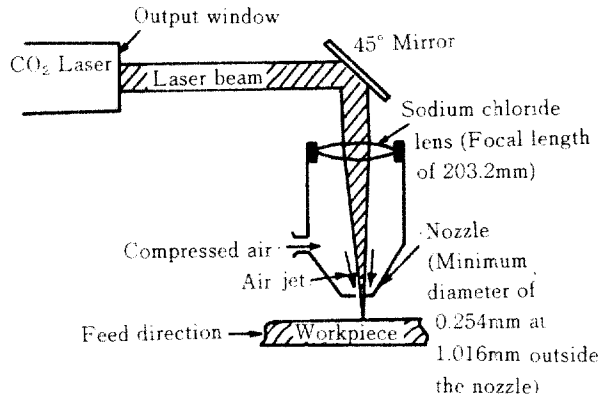


Fig. 1. Diagram of experimental air-jet assisted carbon-dioxide laser cutting device. (Wave length of 10.6 μm and output of 240 watts)

Table 1. Feed speeds and thicknesses, moisture contents, and specific gravity.

Thickness (mm)	Moisture content		Specific gravity	
	12%	17%	0.45	0.54
6.35	2.82m/min	2.21	3.15	2.49
12.70	1.18	0.92	1.27	1.09
25.40	0.44	0.30	0.56	0.32

피삭재의 비중도 함수율과 마찬가지로 높을 수록 송재속도를 감소시켜야 하는데 이는 비중이나 함수율이 증가될 수록 목재 자체의 熱傳導率이 향상되어 에너지의 집중이 어려워지므로 단위용적의 木質을 단위시간내에 증발(제거)키 위하여는 송재속도를 늦추어야 하기 때문이다. 한편, 절삭방향에 의한 영향은 거의 판명되지 않는 것으로 판명되었으며, 피삭재의 종류에 의한 송재속도의 변화는 표2에서 보는 바와 같이 출력과 두께를 고려하였을 때 削片板이나 습板에 보다 낮은 송재속도가 요구됨을 알 수 있다. 그리고 절삭면의 상태는 톱에 의한 것보다는 양호하였으나 열에 의하여 검게 그을린 부분이나 재등이 표면에 잔류하는 경우가 있었으며, 이와 같은 경우에는 압축공기의 이용이나 가벼운 솔질 또는 연마로도 제거가 가능하리라 사료된다.

레이저출력 3kW의 조건에서 두께 20mm 피삭재의 밀도변화에 따른 관계식이다. 그리고 Arai 등 (1977, 1978)<sup>12</sup>도 레이저가공 부위의 열에 의한 영향을 X線回折法으로 분석한 이후, 三次元圖式解를 응용하여 kerf의 최소화와 직선성 유지를 위한 최적의 송재속도 및 출력조건을 구하고자 시도하기도 하였다.

$$S = K/T^2 \dots\dots\dots (1)$$

S : cutting speed(fpm)  
 T : wood thickness(inch)  
 K : constant(31.9 for solid Douglas-fir)

$$S = KP^{1.45} \dots\dots\dots (2)$$

P : power(Kw)  
 K : constant(13.9 for 1/2inch-thick solid Douglas-fir)

Table 2. Feed speeds for various wood-based materials

Material	Thickness (mm)	Power (watts)	Feed speed (m/min)
Southern pine plywood (PF glue line)	12.70	240	0.51
Southern pine particleboard	12.70	240	0.41
Hardboard	6.35	180	0.30
Tempered hardboard	6.35	240	0.33
Fiber insulation board	12.70	180	0.36
Corrugated boxboard	4.32	180	5.99
Illustration board	2.54	180	2.31
Kraft lineboard	0.51	180	5.26

이와 같은 결과들을 바탕으로 Peters 등 (1977)<sup>18</sup>은 레이저의 출력을 조절하면서 송재속도와 피삭재의 두께, 밀도 및 종류, 그리고 레이저출력과의 관계식을 유도하였다. 식(1)은 5kW의 출력에서 미송의 두께변화에 의한 송재속도의 변화로서 두께가 증가할수록 송재속도는 매우 큰 폭으로 감소됨을 알 수 있다. 식(2)는 두께 12mm 미송의 레이저절삭시 출력변화에 의한 영향을 나타내고 있으며, 출력의 증대에 따라 송재속도도 증가하며, 식(3)에서는

$$S = 45 - 0.63(\text{density}) \dots\dots\dots (3)$$

McMillin 등 (1984)<sup>13</sup>은 최근 2-5kW의 高出力 레이저절삭으로 가능한 최대송재속도가 15m/min라고 발표한 바 있으나 Tillman (1985)<sup>20</sup>이 제시한 C-N-S의 45m/min나 일반 락톱의 30m/min에 비하면 매우 낮은 수준임을 알 수 있다. 물론 피삭재의 上下兩面에서 동시에 레이저가공한다면 송재속도는 빨라지겠지만 그에 따른 추가비용 또한 증가할 것이다. 그러나 Barnekov 등 (1986)<sup>21</sup>은 裁斷이 아

닌 彫刻의 경우에는 200-800W의 출력으로도 기존의 절삭방법과 거의 같은 속도로 가공할 수 있다고 보고하였다.

또한 Barnekov등 (1989)<sup>41</sup>은 集成이나 표면 처리된 많은 종류의 목질재료의 절삭에서 접착제, 高密度 및 다양한 구성요소들로 인하여 carbide나 metal-ceramic 또는 다이아몬드로 구성된 기존의 절삭방법에 많은 문제점이 있음을 지적하고, 삭편판(밀도: 45 lb/ft<sup>3</sup>) 양면에 두께 0.7mm의 단판과 두께 8.1mm의 고밀도 벨라민의 5개층으로 구성된 두께 18.6mm의 판상재료를 대상으로 레이저 절삭실험을 하였다.

이들이 사용한 CO<sub>2</sub> 레이저의 출력은 600W였으며, 송재속도는 0.25m/min와 0.50m/min를 각 출력에 적용하였다. 이때 각 조건에서 그들이 사용한 레이저절삭성능의 비교기준은 피삭재의 두께방향 거리에 따른 피삭재 폭의 차이로서 이와 같은 편차는 발생하는 레이저빔의 형태가 원뿔형을 이루게 되어 피삭재의 한쪽 표면으로 부터 반대쪽면까지 레이저빔이 관통하면서 나타난다.

그러나 표3의 결과에서 알수 있듯이 그 편차의 전체적 평균은 0.254mm로 매우 작았으며, 출력이 증가됨에 따라, 그리고 송재속도가 지연됨에 따라 오히려 편차가 증가되고 있다. 따라서 최소한의 적정출력으로 최대한 빠른속도로 절삭한다면 에너지의 절약과 함께 절삭의 질이 보다 향상될 것으로 기대된다.

한편, Simpson(1987)<sup>49</sup>이 레이저 incising에 의한 목재건조시간 단축의 가능성을 제시한 이후, Kamke등(1990)<sup>9</sup>은 출력 150W의 CO<sub>2</sub> 레이저를 이용하여 건조대상목재의 양쪽 표면에 지름 0.5mm의 구멍을 판재두께의 약 1/2깊이로 1cm<sup>2</sup>당 1-16개정도 천공가공하여 건조소요시간을 15-27%까지 감소시키므로써 기술적 타당성을 제시하였으나 경제적으로는 현실점에서 매우 불리하다는 결론을 내리고 있다. 그러나 매우 두꺼운 목재나 高價의 제품의 건조 및 방부처리에 레이저 incising을 이용한다면 어

Table 3. Highest quality cuts of 18.7mm-thick particleboard composite using laser variables of power and feed speed.

Power-(Watt)	Cutting speed(m/min)	Average divergence(mm)
400	0.25	0.305
400	0.50	0.102
500	0.25	0.305
500	0.50	0.152
600	0.25	0.406
600	0.50	0.229
Average		0.254

는 정도 향상된 경제적 타당성을 제시하여줄 것으로 예상하고 있는 반면, McMillin등 (1985)<sup>14</sup>은 레이저에 의한 切削面接着力이 절삭면에 잔류하는 그을음등에 의하여 기존의 鉅斷面 접착력의 약 75% 수준에 이른다는 새로운 문제점을 제시하기도 하였다.

#### 4. 比切削에너지

에너지이용의 효율을 나타내는 지표인 비절삭에너지(specific cutting energy=net cutting energy consumption/volume of kerf removed per unit time)는 직경 48인치에 38개의 톱니를 갖춘 inserted-tooth 둥근톱으로 두께 2인치의 목재를 9/32인치 kerf, 700rpm과 0.077인치의 feed per tooth상태로 절삭시 비절삭에너지가 0.002kW/hr inch<sup>3</sup>이고, 직경 1인치의 double spur-double twist machine bit로 1,800rpm과 0.02인치 두께의 칩이 발생하도록 穿孔加工한 경우의 비절삭에너지는 0.0004kW/hr inch<sup>3</sup>인 반면, Mcmillin등(1971)<sup>12</sup>이 보고한 나에 따르면 레이저로 1인치 두께의 목재를 0.015인치의 kerf와 분당 15인치의 송재속도로 절삭하는 경우 단위시간당 13.5inch<sup>3</sup>의 목질이 제거되면서 0.37kW/hr inch<sup>3</sup>의 높은 비절삭에너지가 소모된다.

그러므로 레이저의 에너지효율이 획기적으

로 향상되지 않는 한 피삭재를 절단하는 공정에 레이저가 이용될 경우에는 높은 에너지소모로 그 경제성이 취약하게 될 가능성이 있어 보다 부가가치를 향상시킬 수 있는 공정에 이용하므로써 경제성을 유지하여야 할 것이다. 또한 가구산업이 전통적인 勞動集約的인 산업임에도 불구하고 최근 국내 가구업체의 평균 임금 상승률이 20%에 달하고 있어 레이저절삭가공공정을 자동화하여 省力化를 도모하는 것도 좋은 방법이라 생각된다.

### 5. 레이저切削의 自動化

목재의 재단에 사용되는 레이저절삭의 자동화는 CNC와의 연결로 간단히 해결할 수 있다. 앞서 언급한 실험들에서도 레이저와 자동이동반(X-Y movable table)에 CNC를 연결하여 운영하고 있으며, McMillin등(1984)<sup>13)</sup>은 斷層撮影技術(Computerized axial tomography)을 이용한 목재내 결점부위 검색장치(optical image analyzer)와 CNC등을 이용하여 최고의 수율을 낼 수 있는 ALPS(Automated Lumber Proce-

ssing System)에 레이저를 연결한 그림2와 같은 시스템을 소개한 바 있다. 그러나 Huber등(1982)<sup>1)</sup>은 이 시스템의 수율향상효과를 5%로 가정하여 경제성을 분석한 결과 타당성은 있으나 소프트웨어적 제어시스템의 개발이 요구된다고 보고하였다.

따라서 목재의 재단과정보다는 고급화되어 가는 목제품의 추세에 부응하기 위하여 기계적으로는 도저히 가공이 불가능한 매우 복잡하고도 세련된 조각장식과 그에 따른 상감기법에 레이저를 이용하고, 이때 레이저의 운용을 CNC등과의 연결로 자동화한다면 고부가가치의 목제품 생산으로 경제적 측면에서도 그 타당성을 인정받을 수 있을 것이다.

그러나 3節에서 언급한 바와 같이 일정한 송재속도조건에서 절삭깊이는 피삭재의 두께, 비중, 함수율 및 그 종류에 따라 심각한 변화를 나타내므로 원하는 깊이까지 정확히 절삭하려면 레이저의 출력과 함께 피삭재의 송재속도를 조절하여야 할 것이다. 따라서 자동화시스템에는 이와 같은 정보들이 절삭하고자 하는 紋樣을 數値로 표현한 디자인과 함께 주어져야만

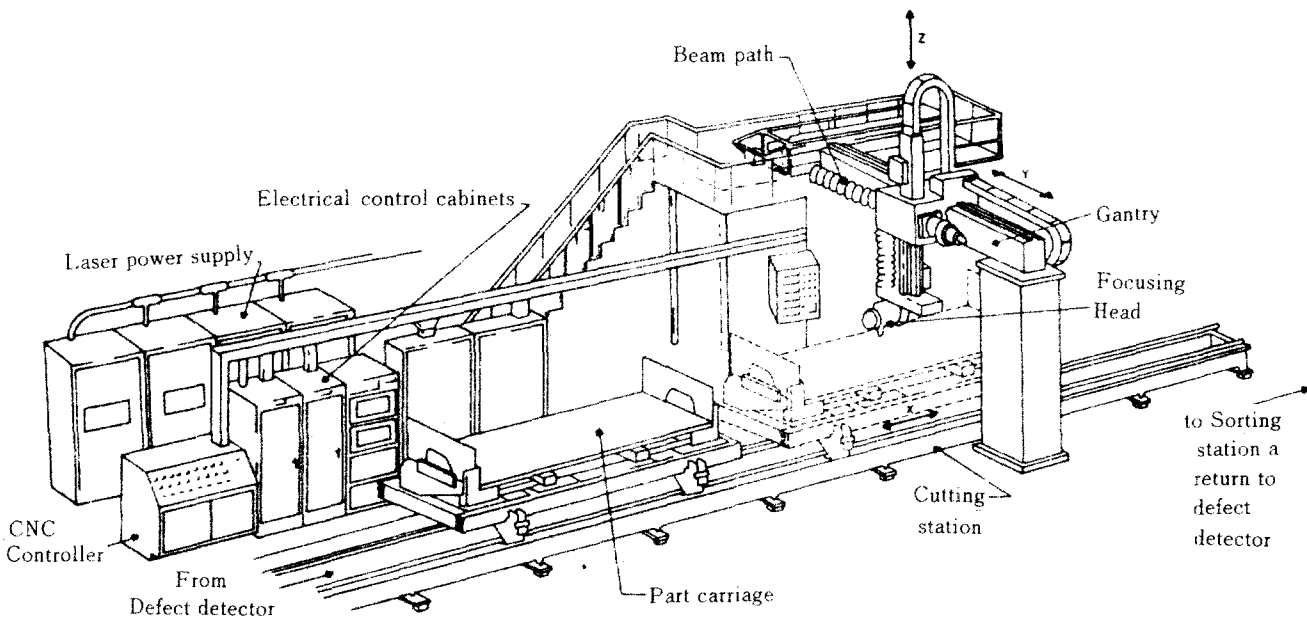


Fig. 2. Conceptual drawing of the ALPS laser cutting system.

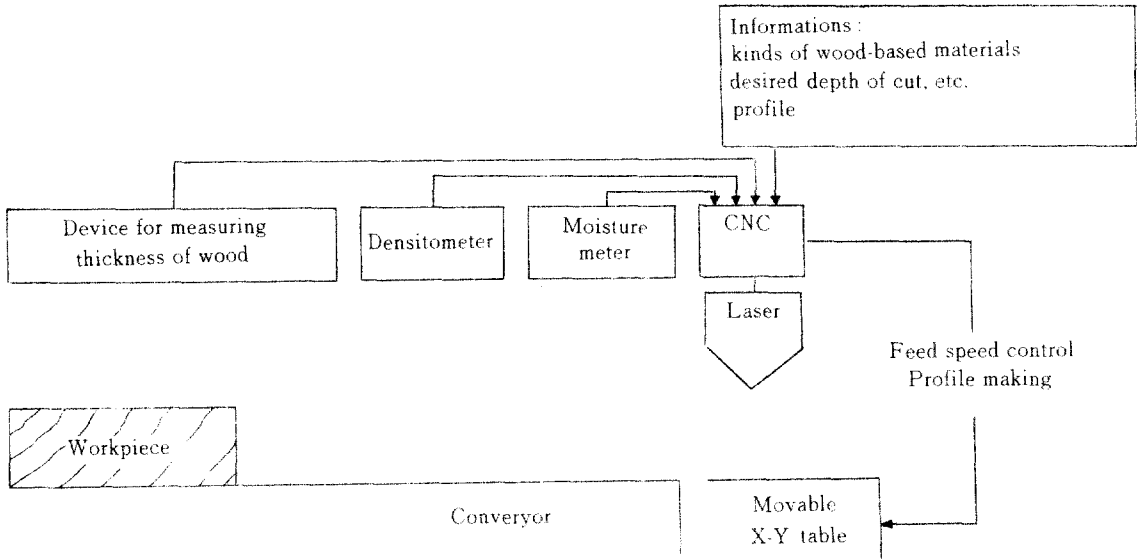


Fig. 3. Diagram of the automation of laser for cutting wood.

하며, 그 구성은 그림3과 같다.

自動移送裝置(conveyor)에 올려진 피삭재는 우선 빛을 이용한 두께측정장치에 의하여 정확한 두께가 측정되고, X-ray를 이용한 비중 측정장치(densitometer)와 목재의誘電率을 이용한 함수율측정장치(moisture meter)를 통과하면서 자동으로 비중과 함수율이 측정된다. 이 자료들은 피삭재의 종류, 목표 절삭깊이 및 문양 디자인과 함께 레이저와 자동이동반에 명령을 내려 절삭중 적절한 송재속도와 정확한 위치변경을 하도록 한다.

### 6. 결 론

레이저를 이용한 목재절삭은 절삭시 발생하는 목재손실을 최소화할 수 있고, 매우 복잡하고 정교한 작업을 수행할 수 있는 점등 많은 장점을 지니고 있는 반면, 에너지효율이 매우 낮아 피삭재의 切斷時 慣行 기계적 절삭방법에 비하여 상당히 높은 비절삭에너지를 나타내어 동력의 소모가 많으므로 그 이용에 한계가 있다.

또한 레이저 발생장치는 국내에서 유일하게

G社가 생산하고 있으나 소요량이 많지 않으므로 제작비(5천만원-1억원)가 높아 소수의 업체로부터 주문을 받아 제작하고 있으며, 이 장치를 구입한 업체는 타업체의 주문에 따라 주로 鐵板등의 가공을 전문으로 하고 있는 실정이다. 따라서 鐵物에 대한 레이저가공에는 이미 마련된 加工基準이 적용되고 있으나 목재에 대하여는 적절한 가공기준이 없는 상태로 加工者의 경험에 의존하고 있어 가공시 정밀도가 떨어지며, 생산되는 목제품의 종류도 간단한 裝飾品에 한정되어 있다.

그러므로 급격히 변화하는 수출시장여건에서 국산 목재가구류의 부가가치와 경쟁력을 향상시키기 위하여는 디자인의 다양화와 함께 정교한 작업을 정확히 수행할 수 있는 低價의 高效率 목재절삭용 레이저의 개발이 요청된다.

이를 위하여는 다양한 樹種의 목재와 목질재료에 대한 두께, 함수율 및 비중에 따른 가공기준을 마련하는 작업이 선행되어야 할 것이며, 자동화시스템을 구성하여 人力難을 해소할 수 있는 방안을 제시하므로써 보다 많은 가구업체에 도입을 유도한다면 레이저 발생장치의 제작비를 크게 저하시킬 수 있을 것이다.

## 參考文獻

1. Arai, T., S.Shimakawa, and D.Haysshi. 1977. Study on laser machining of wood. Mokuzaï Gakkaishi, No.2.
2. Arai, T., H.Kawasumi, and N.Konoshita. 1978. Three-dimensional graphic analysis to determine the optimum laser cutting conditions of board. Mokuzaï Gakkaishi, No.5.
3. Barnekov, V.G., C.W.McMillin, and H.A.Huber. 1986. Factors influencing laser cutting of wood. Forest Prod. J. 36(1): 55-58.
4. Barnekov, V.G., H.A.Huber, and C.W.McMillin. 1989. Laser machining wood composites. Forest Prod. J. 39(10): 76-78.
5. Bever, M.B. 1986. Encyclopedia of materials science and engineering, Vol. 4. The MIT Press: 2501-2516.
6. Considine, D.M. 1983. Van Nostrand's scientific encyclopedia. 6th ed., Vol. 2. Van Nostrand Reinhold Co., Inc.: 1734-1740.
7. 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.
8. Johnston, J.S. and A.St-Laurent. 1979. Development of a full size lumber slicer. Proc. 6th Wood Machining Seminar held in FPL, Univ. California: 70-80.
9. Kamke, F.A. and P.N.Peralta. 1990. Laser incising for lumber drying. Forest Prod. J. 40(4): 48-54.
10. 金畏政. 1990. 多品種 少量生産體制 活性化를 위한 우리나라 家具工業의 生産管理 改善에 관한 研究. 가구소식 '90(4): 51-55.
11. Kim, Y.P. 1990. CO Laser. The Electronic Science '90(1): 130-137.
12. McMillin, C.W. and J.E.Harry. 1971. Laser machining of southern pine. Forest Prod. J. 21(10): 34-37.
13. McMillin, C.W., R.W.Conners, and H.A.Huber. 1984. ALPS-A Potential New Automated Lumber Processing System. Forest Prod. J. 34(1): 13-20.
14. McMillin, C.W. and H.A.Huber. 1985. Gluebond strength of laser cut wood. Forest Prod. J. 35(1): 23-25.
15. Mukherjee, K., T.Grendzwell, P.A.A.Khan, and C.W. McMil9lin. 1990. Gas flow parameters in laser cutting of wood-nozzle design. Forest Prod. J. 40(10): 39-42.
16. Parker, S.P. 1982. McGraw-Hill encyclopedia of physics. McGraw-Hill, Inc.: 534-538.
17. Patel, C.K.N. 1968. High-power carbon-dioxide lasers. Laser and Lights: 265-275.
18. Peters, C. and C.Bannas. 1977. Cutting Wood and wood-based products with a multikilowatt CO<sub>2</sub> laser. Forest Prod. J. 27(11): 41-45.
19. Simpson, W.T. 1987. Laser incising to increase drying rate of wood. Wood Fiber Sci. 19(1): 9-25.
20. Tillman, D.A. 1985. Forest Products: Advanced technologies and economic analyses. Academic Press., Inc.