

木型用 春陽木의 切削加工 特性에 關한 研究 (第2報) *1

- 正面밀링 切削에 의한 切削抵抗, 表面粗度 및 加工表面狀態 -

金 政 斗 *2

Study on the Machinability of *Pinus densiflora* at Chunyang District for Wood Patterns *1

- Cutting Force, Surface Roughness and Surface Phenomenon by Face Milling -

Jeong Du Kim *2

SUMMARY

Recently the automization of wood manufacturing and the development of CNC machine tools becomes the center of interest. Cutting mechanism, tool wear and the roughness of machined surface have been studied. In the studies about wood for special uses, concrete data of cutting is desired. While *Pinus densiflora* is characterized that heartwood develops as age increases, Chunyang District has the characteristic of strength, red color, relatively regular chap and high heartwood - percentage. But there is no data about cutting this wood, Chunyang District.

In this study face milling by sintered carbide tool was executed to Chunyang District. Cutting force, Surface roughness and states were investigated with regard to cutting speed.

Example results were as follows;

- 1) Mean cutting resistance against lateral component force and longitudinal component force decreased rapidly up to cutting speed of 155 m/min, and remains constant above this speed.
- 2) The surface roughness of cutting surface lowered as cutting speed increased, regardless of fiber formation. Radial roughness of fiber is larger than lineal surface roughness.
- 3) Increase in Cutting speed made machining mark restrained. Down-milling showed larger marks than up-milling.

1. 緒 論

最近 木材加工의 自動化와 木材加工用 CNC I

作機械의 開發 等 많은 關心이 集中되고있다. *2
研究對象으로 切削機構, 工具의 磨耗, 加工面의
表面粗度等 多數의 研究가 報告된 바 있으나,

*1. 接受 1988年 10月 28日, Received October 28, 1988

*2. 韓國科學技術大學 生産機械工學科, Dept. of Mech. & Prod. Engineering, Korea Institute of Technology, Tae Jeon 302-338, Korea

3. 具體的인 切削加工 資料等 特殊用度로 使用되는 木材에 對한 많은 研究가 要望되고 있다. 春陽木은 心材比率가 特히 높고 色이 붉으며 龜裂이 比較的 規則的이고 剛性이 있다고 알려져 있을뿐 切削加工에 關한 資料는 없는 實情이다. 前報²⁾에서는 切削中 工具面의 應力分布에 미치는 接觸칩의 影響을 光彈性的으로 檢討하여 工具面 및 工作物에 미치는 切削應力을 解析하였다. 따라서 本 研究에서는 春陽木을 超硬工具에 의하여 正面밀링切削을 行하고 切削速度變化에 對하여 切削力, 表面粗度 및 切削狀態에 對하여 다루고 이 資料를 木型의 CNC加工資料로 삼고자한다.

2. 理論解析

밀링加工의 形態는 上向切削(up-milling)와 下向切削(down-milling)으로 區分하며 上向切削은 切削을 始作할 때 chip이 가장얇고, 切削이 끝날 때 가장 두껍게 形成된다.³⁾ 또한 切削初期에 移送가 적으면 刃部가 슬라이딩하여 磨耗가 크게되고, 表面粗度도 나쁘게된다. 이와 반대에 下向切削에서는 切削初期에 칩의 두께가 가장 두껍고 切削이 끝날때에 가장얇게되는 切削形式이며, 따라서 上向切削에서와 같은 슬라이딩이 없어 커터刃部의 磨耗가 적다. 밀링切削에서 週速에 對한 移送速度는 대단히 적으므로 切刃의 軌跡을 圓弧로 나타낸다면 Fig 1에서 보는바와 같이 1切刃의 切削일량 A_z 는 다음과같다.

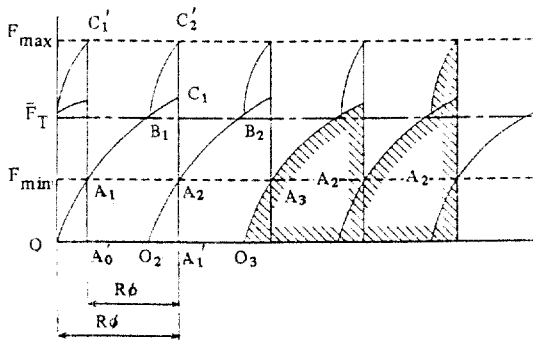


Fig. 1. Phenomenon Periodically of Face Milling Force.

$$A_z \int_0^{\phi} F_1 dl = \int_0^{\phi} F_s \cdot hbR d\phi = \int_0^{\phi} F_s h b R \frac{dh}{f \cos \phi} \tag{1}$$

h : 切削두께, F_s : 比切削抵抗, F_T : 圓週方向分力 여기에서 $h = f \sin \phi$, $F_s = ch^{-\epsilon}$ 이므로 따라서 平均 切削抵抗 \bar{F}_T 는 다음과 같다.

$$\bar{F}_T = \frac{A_z}{R \phi z} = \frac{b}{f \phi z} \int_0^{\phi} F_s h \frac{dh}{\cos \phi} \tag{2}$$

밀링커터의 直徑을 D , 切削깊이를 t 라할때 $h = \sin^2 \phi t = 4 \frac{t}{D} (1 - \frac{t}{D})$ 이므로 \bar{F}_T 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \bar{F}_T &= \frac{b}{f \phi z} \cdot \frac{c}{2(2-\epsilon)} \cdot h^{2-\epsilon} \cdot \frac{2}{1-t/D} \\ &= \frac{fb}{1-t/D} = \frac{fb}{\phi z} \cdot \frac{4}{2-\epsilon} \cdot \frac{t}{D} (F_s) h t \tag{3} \end{aligned}$$

여기에 $f = (s/2\pi n)\phi z$ 를 고려하면 다음과같다.

$$\begin{aligned} \bar{F}_T &= \frac{2}{2-\epsilon} \cdot \frac{S}{\pi n} \cdot \frac{bt}{D} (F_s) h t \tag{4} \end{aligned}$$

즉 $(F_s)_{ht}$ 는 切削두께 ht 에 對한 切削抵抗이 된다. 式(4)를 實用的인 形으로 유도하면 $ht = \sqrt{\frac{4t}{D} (1 - \frac{t}{D})}$ 가 되어 다음과 같이 정리된다.

$$(F_s)_{ht} = \left[\frac{4t}{D} (1 - \frac{t}{D}) \right]^{-\epsilon/2} (F_s) f \tag{5}$$

또한 $(F_s) f$ 는 切削두께 f 에 對하여 比切削抵抗이 되므로 式(4)는 다음과 같이 정리된다.

$$\begin{aligned} \bar{F}_T &= \frac{2^{1-\epsilon}}{2-\epsilon} \cdot \frac{bs}{\pi n} \left(\frac{t}{D}\right)^{1-\epsilon/2} \left(1 - \frac{t}{D}\right)^{-\epsilon/2} \cdot (F_s) f \tag{6} \end{aligned}$$

여기에서 正面밀링에 의한 木材加工은 工作物의 폭이 밀링커터의 直徑보다 작은 경우이고 따라서 式(6)으로부터 다음과같이 유도된다.

$$\bar{F}_s = \frac{2^{1-\epsilon}}{2-\epsilon} \cdot \frac{as}{\pi n} f$$

$$\left\{ 2\epsilon - \left(\frac{tu}{D}\right)^{1-\epsilon/2} - \left(\frac{td}{D}\right)^{1-\epsilon/2} \dots \dots \dots (7) \right.$$

本 實驗에서는 밀링용 工具動力計에 의하여 切削力을 測定하고 切削R는 Lateral Component F_x , Longitudinal Component F_y 및 Thrust Component F_z 로 다음과 같이 分解된다.

$$R = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \dots \dots \dots (8)$$

3. 實驗裝置 및 方法

Fig 2에 實驗裝置의 概略圖를 나타내었다. 正面밀링은 WMV1100으로 主軸回轉數는 95rpm~1400rpm을, 移送速度는 15mm/min~720mm/min의 加工範圍能力을 갖고있다. 切削力測定은 工具動力計(AST-MM)로, 다듬질면 거칠기는 表面粗度計(Hommel-P5Z)로, 木材의 다듬질면 觀察은 顯微鏡(Carl Zeiss)과 카메라 Zoom렌즈를 使用하였다.

工具는 表1에 나타낸바와 같이 SPKN型 Throw-away型 인서트팁을 使用하여, 幅 35mm

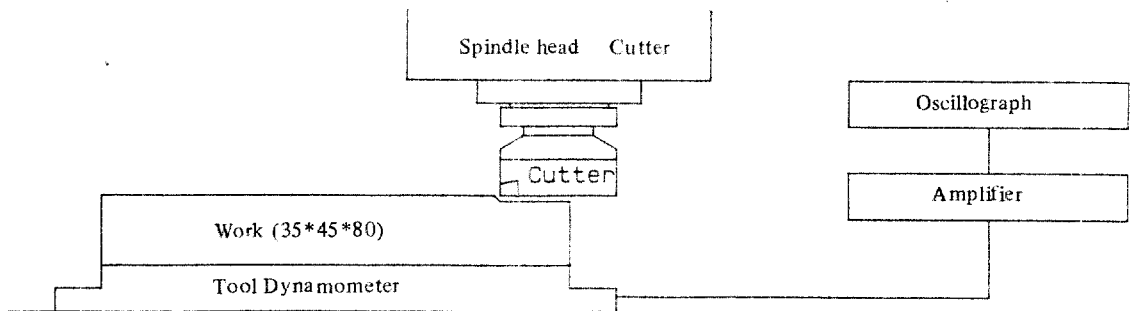
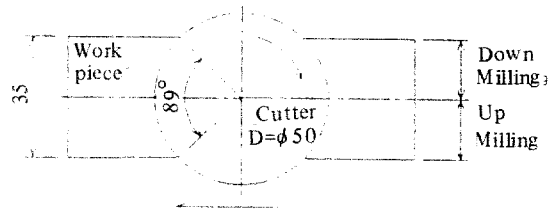
切削速度 條件을 44, 82, 155 및 220m/min로 하 Corner angle 35°로 하였다. 被削材는 第1報에서와 同一한 春陽木(Pinus densiflora at Ch-nyung district)으로 心材率 87%를 使用하였다.

4. 實驗結果 및 考察

4.1. 切削速度 變化에 의한 切削力의 影響

Table 1. Cutting Condition

Cutting Speed	44 (280 rpm), 82 (520 rpm) 155(990 rpm), 220(1400 rpm)
Depth of Cut	3.0mm
Feed	41.0mm/min/Tooth
Tool Geometry	Radial rake 20° Axial rake 0° Coner angle 35°



Table

Fig. 2. Schematic diagram of experimental setup.

었다. 切削깊이는 3.0mm로 一定하게 하였으며, 移送速度는 切削날當 41mm/min로 一定하게 하였다. 工具形狀은 Radial rake 20°, Axial rake 0°, 의 被削材를 中心切削하였다. 또한 主軸回轉數를 各各 280, 520, 990 및 1400 rpm으로 變化시켜

Fig 3은 工作物을 纖維方向의 對角線으로 切削하여 測定된 것으로, 正面밀링加工은 切削速度가 增加함에 따라 減少하는 傾向이 있으며, 低速의 範圍에서 F_{in} 과 F_{max} 의 幅이 擴散되어 있다. Fig 4는 垂直力, 水平力 및 軸方向 推力을

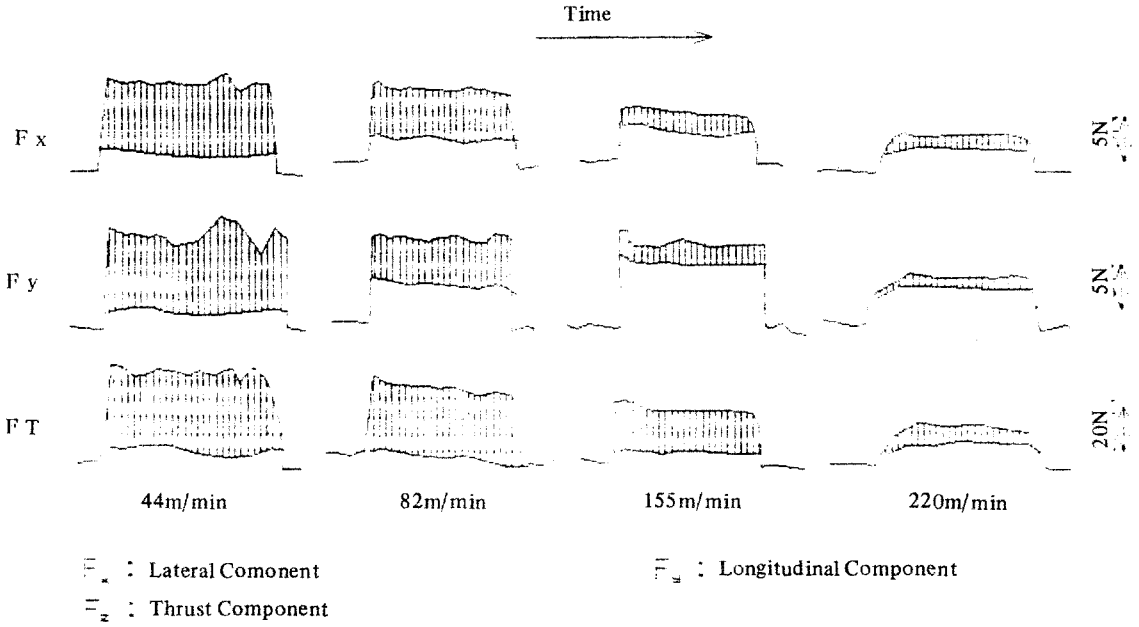


Fig. 3. Example of Oscillographic records of Cutting Force by the Milling.

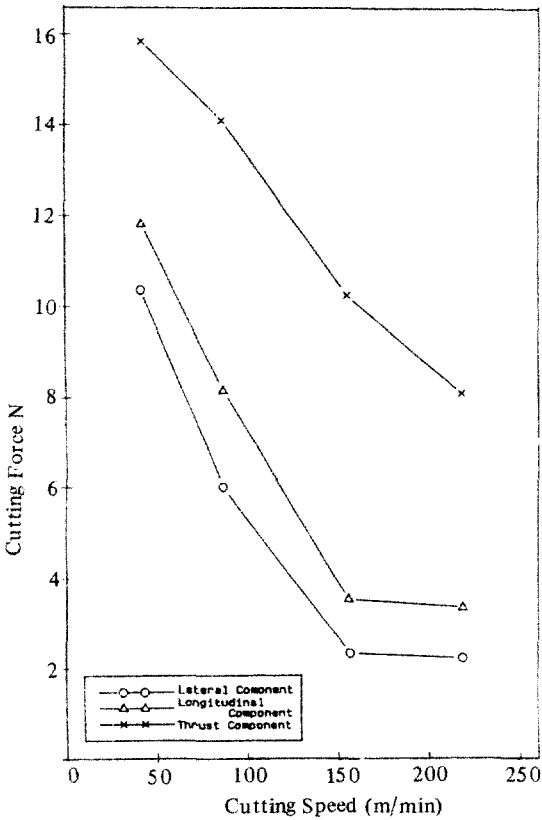


Fig. 4. Relation of Cutting Speed and Cutting Force.

切削速度의 變化에 대한 값으로 各各에 대한 平均切削抵抗을 나타낸 것이다. 垂直力과 水平力은 切削速度가 155m/min까지는 急速히 減少하나 그以後에서는 變化가 없다. 반면에 軸方向 推力은 切削速度가 增加함에 따라 比例的으로 減少하고있다.

4.2 纖維面の 加工方向과 表面粗度の 影響

Fig 5는 纖維面에 대하여 對角線方向으로 切削깊이 3.0mm, 移送速度 41mm/min로 切削速度를 變化시켰을 경우의 表面粗度を 測定한 것이다. 表面粗度 形狀에서 보는 바와같이 크레이터(crater) 部分이 두드러지게 나타나는 것은 纖維面으로 春陽木의 特徴的인 被削性 現象을 나타내고있다. Fig 6은 切削速度 220m/min, 切削깊이 3.0mm條件에서의 加工面表面거칠기로서 纖維方向에 대하여 對角線方向의 表面粗度は Rz 18.5μm인데 반하여 纖維方向의 Rz값은 10.5μm로 나타나고있다. Fig 7은 纖維面の 形狀 別로 切削加工된 면을 表面粗度 測定方向에 따라서 얻어진 結果이다.

加工面은 纖維形態와 關係없이 切削速度가 增加함에 따라 表面粗度は 減少하고있으며, 半徑

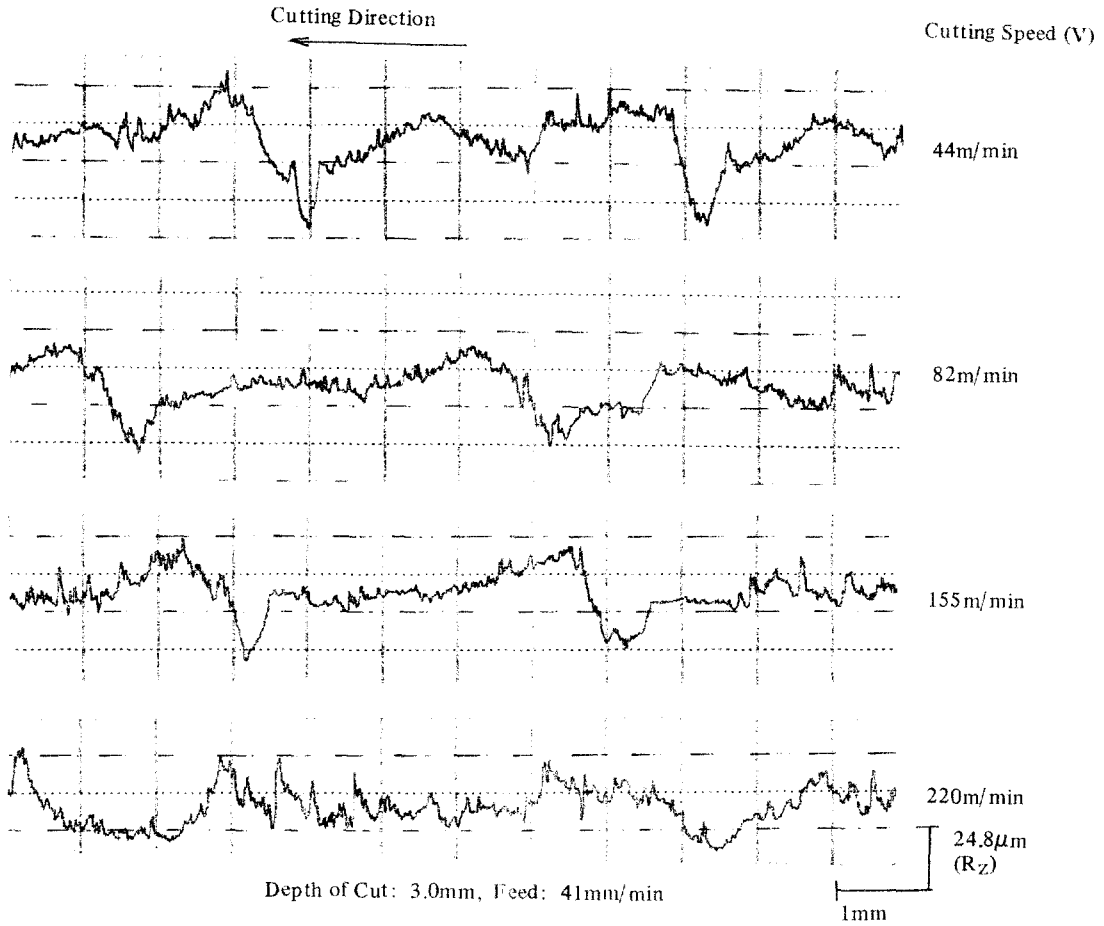


Fig. 5. Surface Roughness of diagonal line to Fiber Surface

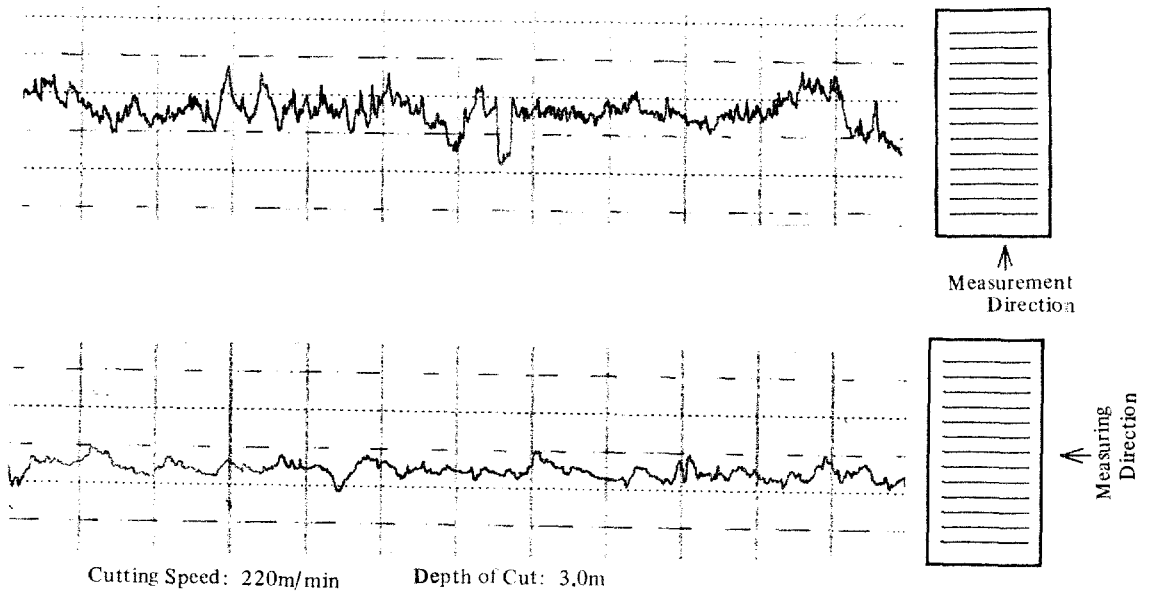


Fig. 6. Results of Surface Roughness by Measurement Direction.

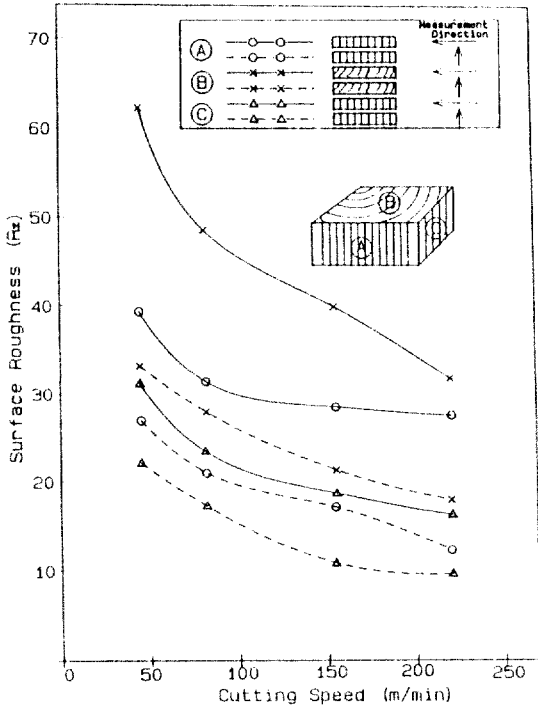
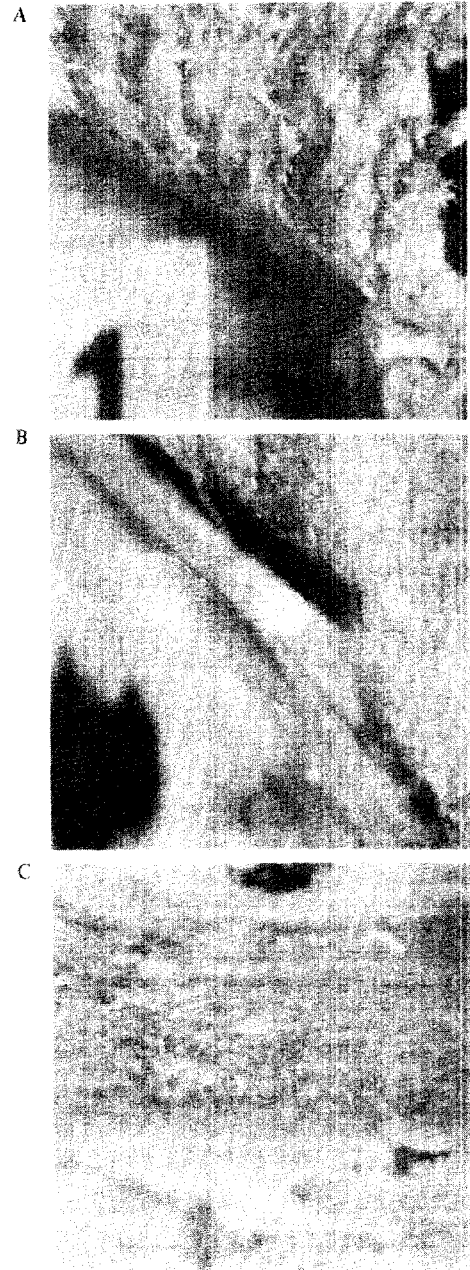


Fig. 7. Relationship between R_z and Cutting Speed at various Fiber Direction.

纖維方向을 갖는 B面은 直線方向을 갖는 A, C纖維面에 比하여 表面粗度가 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이러한 傾向은 纖維面과 同一한 方向으로 測定되었을 경우에 對角線에 比하여 表面粗度の 良好한 現象을 나타내고있으며, 그 정도는 C面の 表面粗度가 가장 良好하고 A, B面の 順序로 나타나고있다.

4.3. 上向切削 및 下向切削에 의한 加工面과 Burr의 現象

Fig 8은 切削速度44m/min, 移送 41mm/min 條件에서의 切削途中 加工面に 生成된 Burr의 現象이다. 上向切削 領域 C面은 거의 Burr가 없는 面을 갖고있으며, 上向切削과 下向切削이 同時에 存在하는 領域 B面은 Burr의 生成이 시작되었음을 나타내고 있다. 下向切削의 領域 c面은 많은 Burr生成의 現象을 읽을수있다. Fig 9는 Fig 8의 上向切削面 C와 下向切削面 A의 切削加工面 mark를 나타낸 것이다. 上向切削에 의한 加工面



Cutting Speed: 44m/min Depth of Cut: 3.0mm

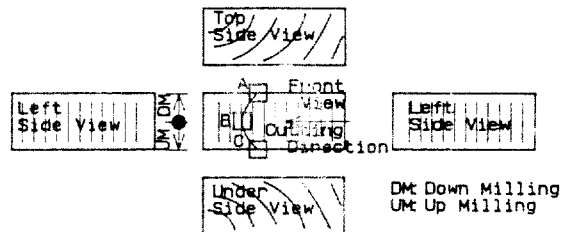


Fig. 8. Burr Produced in Face Milling toward Diagonal line of fiber direction.

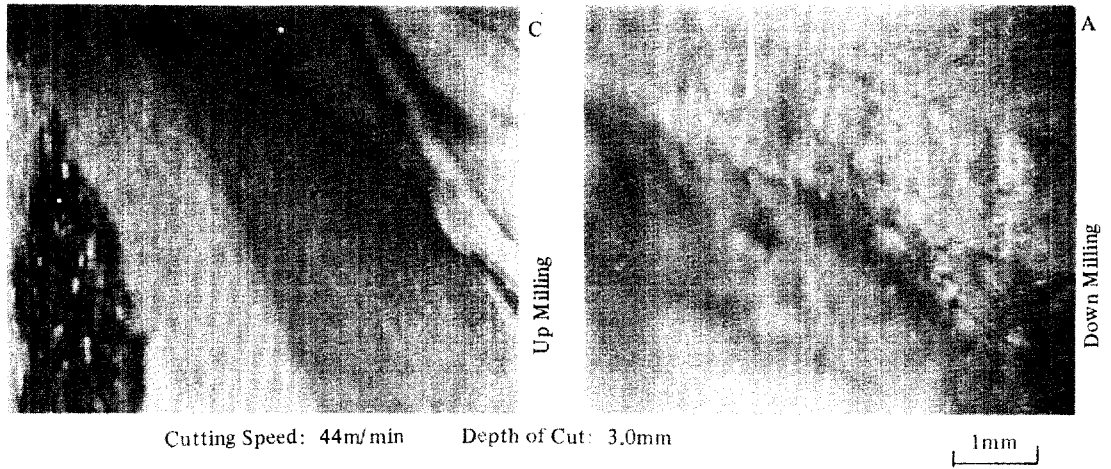
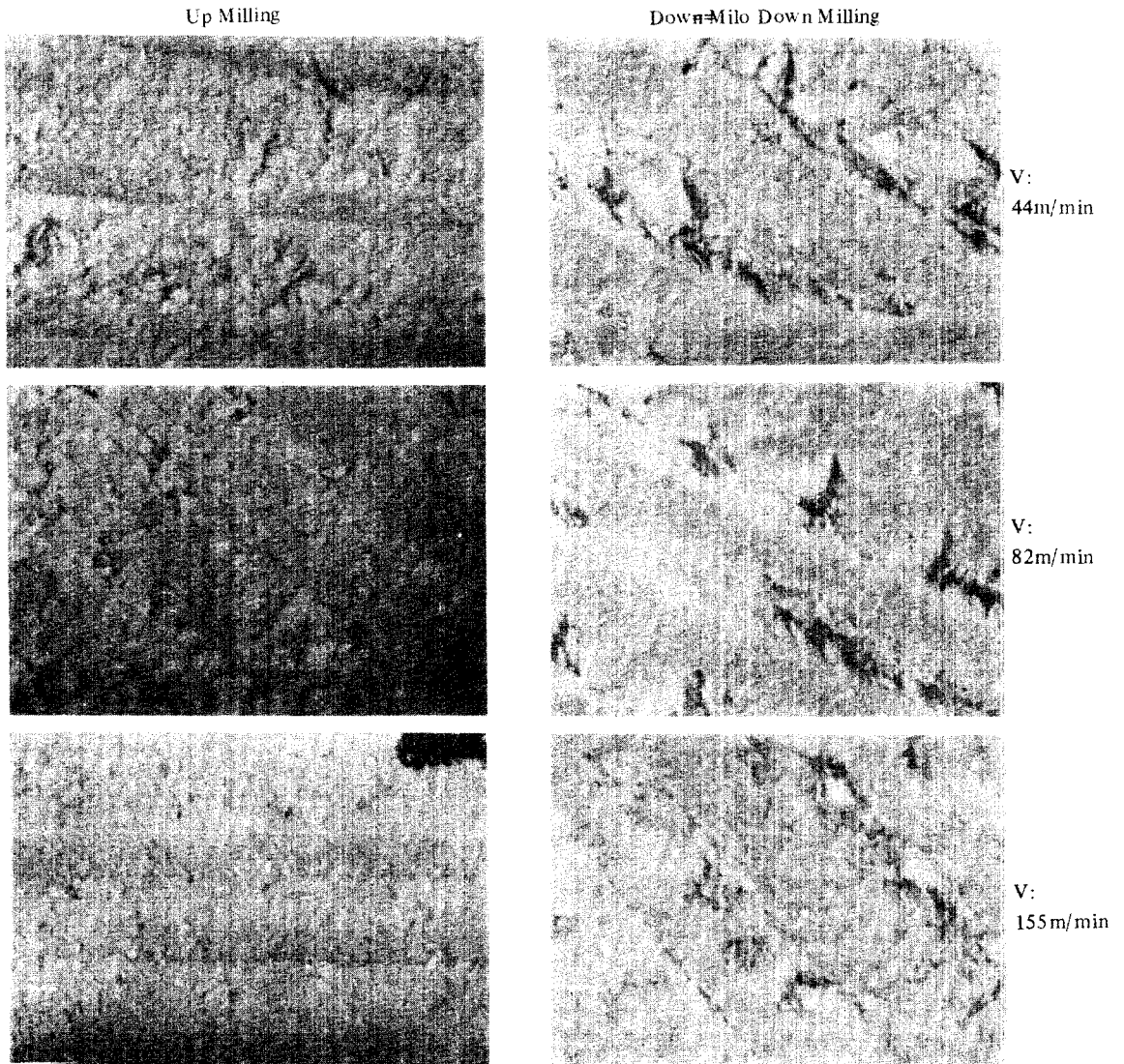


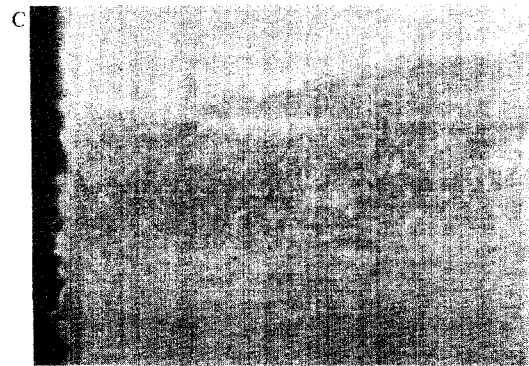
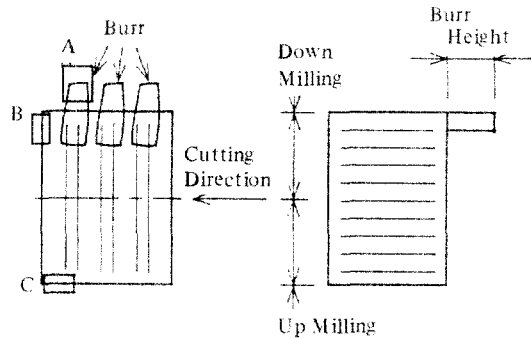
Fig. 9. Phenomenon of Machining Mark by Up and Down Milling.





V:
220m/min

Fig. 10. Effect of Machining Surface in Up and Down Milling.



Cutting Speed 44 m/min. Depth of Cut 3.0mm

1mm

Fig. 11. Phenomenon of Burr.

은 매끈한 반면, 下向切削에 의한 加工面은 加工 mark의 흔적이 뚜렷하게 形成되고있다. Fig 10 은 上向 및 下向切削中の 加工面 現象으로 切削速度를 變化시키면서 觀察한 것이다. 切削速度의 增加는 加工 mark의 量을 抑制시키는데에 效果가 있으며, 上向切削은 加工 mark의 이 적 게나타난 반면 下向切削에서는 加工 mark 量

이 많이 發生되 었다. Fig 11은 切削速度를 44m/min로 選擇하여 切削한후 A, B, C部分의 現象을 顯微鏡으로 觀察한 것이다. Burr의 높이 가 A點에서는 平均 4.5mm로 生成되었고, B點에서는 3.0mm로, C點에서는 0.8mm로 生成되었 으며, 下向切削 領域에서 Burr의 生成은 뚜렷하 였다. 또한 A點에 서의 Burr의 生成은 纖維面을

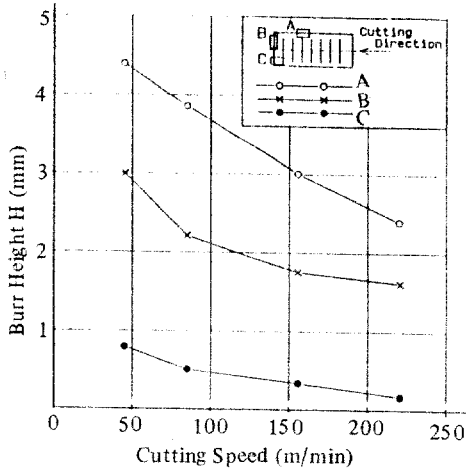


Fig. 12. Relation between Cutting Speed and Burr Height.

中心으로 生成되고 있음을 알 수 있다. 이 結果로 보아 春陽木の 正面 밀링切削加工은 上向切削이 추천되며, 또한 適切한 切削速度의 選定이 要望되고 있다.

5. 結論

春陽木을 超硬工具에 의하여 正面밀링切削을 行하고 切削速度 變化에 대하여 切削力, 表面粗度 및 切削狀態를 檢討한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) 垂直力 및 水平力에 대한 平均 切削抵抗은 切削速度가 155m/min까지는 急速히 減少하나 그 以後에서는 變化가 없다. 반면에 軸方向은 推力은 切削速度가 增加함에 따라 比例的으로 減少하고 있다.

2) 切削加工面은 纖維形態에 關係없이 切削速度가 增加함에 따라 表面粗度は 減少하고 있으며, 半徑纖維方向은 直線方向 纖維面에 比하여 表面粗도가 크게 나타나고 있다.

3) 切削速度의 增加는 加工 mark의 흔적을 抑制시키는데에 效果가 있으며, 上向切削은 加工 mark의 흔적이 적게 나타난 반면, 下向切削에서는 加工 mark의 흔적이 많이 發生되었다.

參考文獻

1. Salje, E., 1987, Vielfaltige Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der Holzbearbeitung, HOB, Vol. 5, No. 87, pp.146-150.
2. Yoshimatsu, T., and N. Kinoshita, 1981, Studies on Wood Cutting by a NC Router I, JSWST, Vol. 27, No. 7, pp.572-578.
3. Richard, L., B. Lian and A. David, 1985, Monitoring Tool Wear During Wood Machining with Acoustic Emission, Wear, Vol. 101, No. 3, pp.273-282.
4. Bayouni, M., A. Bailey and S. John, 1983, Comparison of the Wear Resistance of Various Grades of Cemented Carbides that may Find Application in Wood Machining, Wear, Vol. 89, No. 2, pp.185-200.
5. Scholl, M., and P. Clayton 1987, Wear Behavior of Wood-Cutting Edges, Wear, Vol. 120, No. 2, pp.221-232
6. Ryu, J.B. and Y.T., Min, 1984, Necessity and Direction for a study of *Pinus Densiflora* at Chunyang District, Research Neto, No. 1, Institut of Forest Genetics.
7. 金智文, 造林學, 新英社 1980, pp.189-190.
8. Kim, J.D., 1988, Study on the Machinability of *Pinus Densiflora* at Chunyang District for Wood Patterns (I), Effect of Chi-Tool Contact Stress Distribution in Workpiece During of Wood Machining, Mogjae Gonghak in Contribution, 1988.
9. 田井, 1971, 切削·磨削加工學, 共立出版(株), pp. 272-279.