

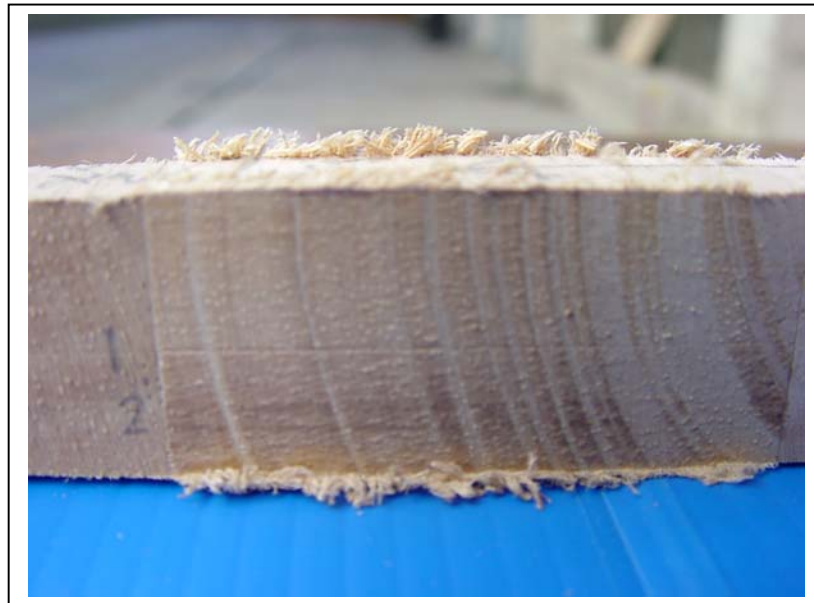
1. ความเสียหายของเนื้อไม้ที่เกิดขึ้น



รูปที่ ก.1 การร้าวของเนื้อไม้



รูปที่ ก.2 การผุของเนื้อไม้

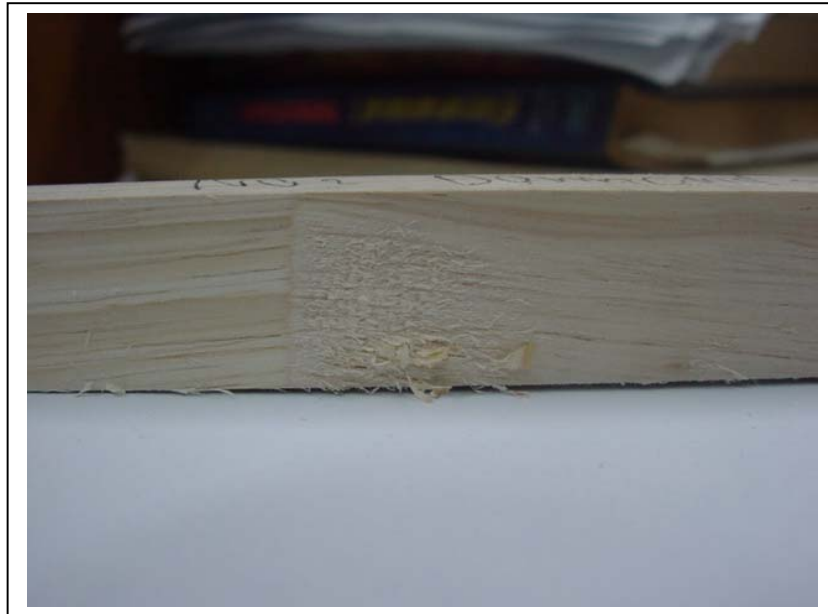


รูปที่ ก.3 รอยไหม้ของเนื้อไม้

2. การจำแนกปริมาณขุยที่เกิดขึ้น



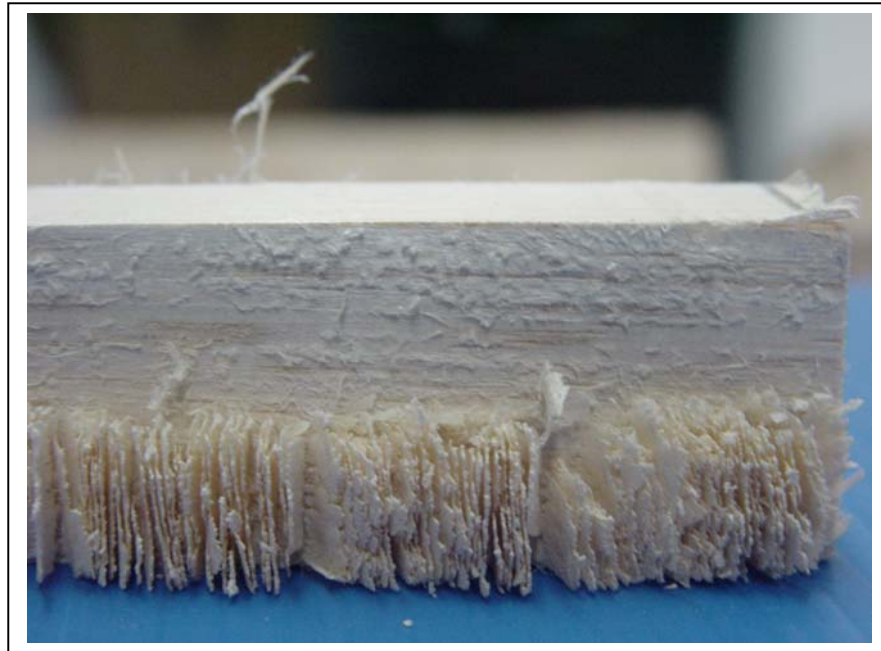
รูปที่ ก.4 ไม่มีขุยเกิดขึ้น



รูปที่ ก.5 มีขุยเกิดขึ้นเล็กน้อย (1-15 เปอร์เซ็นต์)



รูปที่ ก.6 มีขุยเกิดปานกลาง (16-30 เปอร์เซ็นต์)

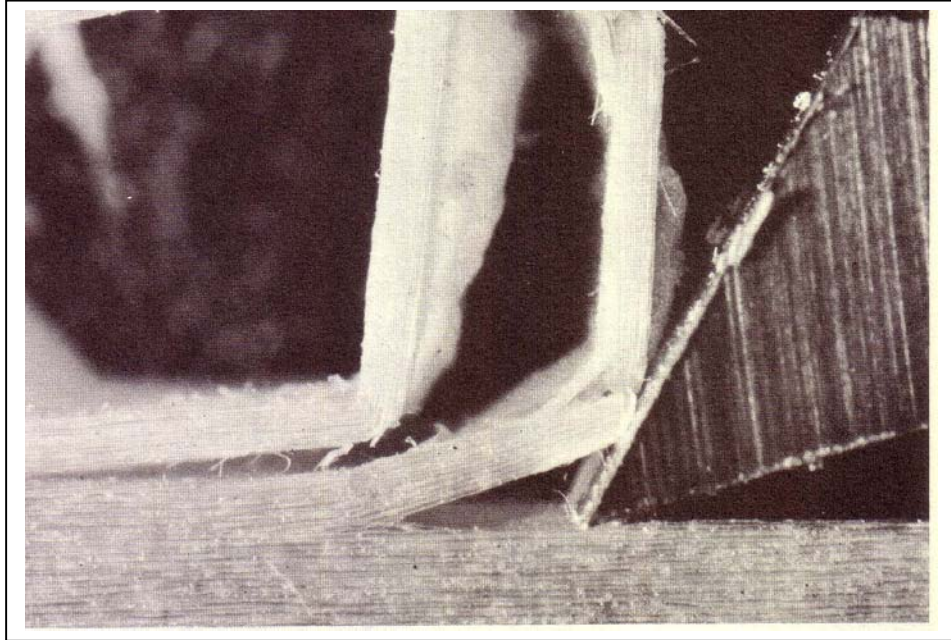


รูปที่ ก.7 มีขุยเกิดมาก (30 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป)

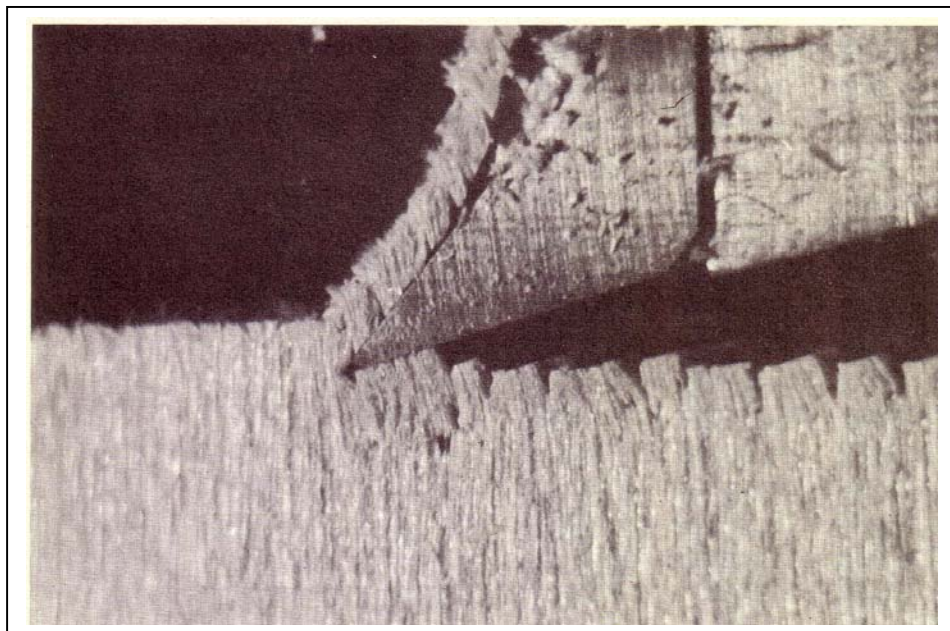


รูปที่ ก.8 ลักษณะขุยที่เกิดขึ้นบนขอบชิ้นงาน

3. ลักษณะการกัดไม้



รูปที่ ก.9 การกัดไม้แบบขนานเส้นไม้



รูปที่ ก.10 การกัดไม้แบบขวางเส้นไม้

ภาคผนวก ข

โปรแกรมโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network)

```

1  clc;
2  clear;
3  % train speed 8000 10000 12000 16000 18000 rpm & feed 1 2 3 6 9 12 15 m/min
4  p=[905.14 905.14 905.14 905.14 905.14 905.14 905.14
5    1131.43 1131.43 1131.43 1131.43 1131.43 1131.43 1131.43
6    1357.71 1357.71 1357.71 1357.71 1357.71 1357.71 1357.71
7    1584 1584 1584 1584 1584 1584 1584
8    1810.29 1810.29 1810.29 1810.29 1810.29 1810.29 1810.29
9    2036.57 2036.57 2036.57 2036.57 2036.57 2036.57 2036.57 ;
10
11  1 2 3 6 9 12 15
12  1 2 3 6 9 12 15
13  1 2 3 6 9 12 15
14  1 2 3 6 9 12 15
15  1 2 3 6 9 12 15
16  1 2 3 6 9 12 15 ];
17
18  % straight
19  tc =
20  [1.6116 1.8242 2.2105 2.4815 2.5713 2.6231 2.3305
21   1.4340 2.1376 1.8409 2.2237 2.5704 2.4012 2.3246
22   1.6421 1.7963 1.8324 1.9140 2.4308 3.4041 3.4663
23   1.5767 1.6414 1.5488 2.3864 3.1689 2.5485 2.5183
24   1.6141 1.6468 1.5728 2.0026 2.2380 2.5622 2.2415
25   1.7217 1.7426 1.5995 1.5550 2.0237 2.4294 2.2635];
26
27  net=newff([905.14 2036.57; 1 15],[10,10,1],{'tansig','tansig','purelin'},'trainlm');
28  net.trainParam.show=100;
29  net.trainParam.lr=0.6;
30  net.trainParam.mc=0.8;
31  net.trainParam.epochs=50000;
32  net.trainParam.goal=0.001;
33  net=train(net,p,t);
34
35  % weight of network
36  input_weight = net.iw(1,1)
37  output_weight = net.lw(2,1)
38  bias_hidden = net.b(1,1)
39  bias_output = net.b(2,1)

```

รูปที่ ข.1 หน้าต่างโปรแกรม แมทแล็บ (Matlab) ในการเขียนโครงข่ายประสาทเทียม

รายละเอียดของการเขียนโปรแกรม

1. การเขียนในการฝึกฝนความเรียบผิว

```

clc;
clear;
% train speed 8000 10000 12000 16000 18000 rpm & feed 1 2 3 6 9 12 15 m/min
p=[905.14 905.14 905.14 905.14 905.14 905.14 905.14
1131.43 1131.43 1131.43 1131.43 1131.43 1131.43 1131.43
1357.71 1357.71 1357.71 1357.71 1357.71 1357.71 1357.71
1584 1584 1584 1584 1584 1584 1584
1810.29 1810.29 1810.29 1810.29 1810.29 1810.29 1810.29
2036.57 2036.57 2036.57 2036.57 2036.57 2036.57 2036.57 ;

1 2 3 6 9 12 15
1 2 3 6 9 12 15
1 2 3 6 9 12 15
1 2 3 6 9 12 15
1 2 3 6 9 12 15
1 2 3 6 9 12 15 ];

```

1.1 ข้อมูลความเรียบผิวที่นำมาฝึกฝนไว้ทดสอบความเรียบผิวไม้

ใบมีดคมตัดตรง

t =

ที่ความเร็ว 8,000 รอบต่อนาที

[1.6116 1.8242 2.2105 2.4815 2.5713 2.6231 2.3305
1.4340 2.1376 1.8409 2.2237 2.5704 2.4012 2.3246
1.6421 1.7963 1.8324 1.9140 2.4308 3.4041 3.4663
1.5767 1.6414 1.5488 2.3864 3.1689 2.5485 2.5183
1.6141 1.6468 1.5728 2.0026 2.2380 2.5622 2.2415
1.7217 1.7426 1.5995 1.5550 2.0237 2.4294 2.2635] ;

ที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที

[1.7089 1.7945 2.0831 2.4067 2.6322 2.6099 2.8937
1.4374 2.2884 1.9712 2.1585 2.0123 2.6266 2.5218
1.6888 1.6162 1.8260 2.1733 2.5820 3.4496 2.9120
1.6097 1.5389 1.7282 2.4954 2.8154 2.5954 2.4229
1.5603 1.7007 1.9287 2.3037 2.4707 2.6099 2.4411
2.0381 1.5060 1.5034 1.8697 1.9967 2.1886 2.5793] ;

ที่ความเร็ว 14,000 รอบต่อนาที

[3.2002 4.4386 5.1664 6.3947 6.6820 6.5431 5.3501
3.7167 4.0492 4.1118 5.8458 6.6240 6.2256 6.5669
4.0331 4.0084 4.5283 6.0808 8.9468 8.5869 7.9189
4.1102 4.2092 3.9111 6.6190 7.5146 6.1833 4.9679
4.1266 3.1308 3.3770 4.7283 5.3222 5.3225 5.4074
3.6515 3.6960 4.4448 5.4763 5.4303 5.8293 5.6913] ;

ที่ความเร็ว 18,000 รอบต่อนาที

[3.8237 4.2127 6.3445 6.5069 6.8185 6.8956 6.4586
3.3154 5.2225 5.0797 5.7886 6.4294 7.3188 6.9114
3.7963 4.5177 5.5219 6.2512 9.8254 9.0003 9.4389
3.8039 4.6875 4.5826 6.9697 9.8991 7.3569 6.2983
3.7121 3.7176 3.5448 5.0518 6.4755 5.4566 6.1709
3.2714 3.5925 4.2683 6.0140 6.3676 6.6065 7.0957] ;

ใบมีดแบบคมตัดรูปร่าง

t=

ที่ความเร็ว 8,000 รอบต่อนาที

[1.7138 1.9588 1.7344 2.2343 2.3819 2.9065 3.0433
1.9030 1.7613 2.0999 2.3018 2.4311 3.0864 3.5729
1.7463 1.5947 1.9852 2.2769 2.0839 2.7010 2.6645
1.5800 1.7981 1.6957 1.7064 2.2906 2.4633 2.2065
2.3771 1.9106 2.3237 1.6282 2.6505 2.1922 2.5135
1.6270 1.4812 1.9354 2.3254 1.8713 2.0011 2.3767] ;

ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที

```
[1.6562      1.8534 1.7592 2.6234 2.5705 3.4491 2.7360
1.9814 1.8023 2.3487 2.3941 2.5011 2.7843 3.4320
1.8028 1.6191 1.7398 2.3380 2.1100 2.7098 2.6015
1.8457 1.6310 1.5828 1.8555 2.2617 2.3547 2.8841
2.7401 1.8012 2.2950 1.6856 1.8361 2.5344 2.7401
1.8416 1.8485 1.8358 1.9713 2.0188 1.9890 1.9698] ;
```

ที่ความเร็ว 14,000 รอบต่อนาที

```
[4.2242      5.3923 5.3697 8.4241 7.6833 7.8385 9.9195
4.5634 3.9390 4.3480 6.6218 8.1469 8.9816 8.5417
4.1375 5.6969 3.9933 6.2042 7.7497 7.6397 8.0264
5.3048 3.6884 4.9017 6.1432 7.0546 6.9254 4.3997
2.2374 3.9293 4.4044 6.6166 7.1913 7.5403 8.1256
5.3790 3.5356 4.5415 4.1445 5.8787 6.7395 7.7421] ;
```

ที่ความเร็ว 18,000 รอบต่อนาที

```
[4.4484      5.3923 6.1762 6.4974 8.2994 8.6660 9.1775
4.9069 4.6507 5.8206 7.5488 9.4144 9.5569 8.8711
4.0693 5.4632 3.7215 7.4303 8.6809 8.1911 8.4307
4.4427 3.5721 4.8593 7.3811 7.5984 7.5487 8.9558
3.9564 4.1575 4.2755 6.5523 9.1924 9.5085 10.4184
4.2817 2.8012 4.5640 4.6459 8.9104 8.2028 7.8272] ;
```

```
net=newff([905.14 2036.57; 1 15],[10,10,1],{'tansig','tansig','purelin'},'trainlm');
net.trainParam.show=100;
net.trainParam.lr=0.6;
net.trainParam.mc=0.8;
net.trainParam.epochs=50000;
net.trainParam.goal=0.001;
net=train(net,p,t);
```

```
%      weight of network
input_weight = net.iw{1,1}
output_weight = net.lw{2,1}
bias_hidden = net.b{1,1}
bias_output = net.b{2,1}
```

1.2 ข้อมูลความเร็วรอบที่นำมาฝึกฝนไว้ทดสอบขลุ่ยไม้

```
clc;
clear;
% train speed 8000 10000 12000 16000 18000 rpm & feed 1 2 3 6 9 12 15 m/min
```

$p=[905.14 \ 905.14 \ 905.14 \ 905.14 \ 905.14 \ 905.14 \ 905.14$
 $1131.43 \ 1131.43 \ 1131.43 \ 1131.43 \ 1131.43 \ 1131.43 \ 1131.43$
 $1357.71 \ 1357.71 \ 1357.71 \ 1357.71 \ 1357.71 \ 1357.71 \ 1357.71$
 $1584 \ 1584 \ 1584 \ 1584 \ 1584 \ 1584 \ 1584$
 $1810.29 \ 1810.29 \ 1810.29 \ 1810.29 \ 1810.29 \ 1810.29 \ 1810.29$
 $2036.57 \ 2036.57 \ 2036.57 \ 2036.57 \ 2036.57 \ 2036.57 \ 2036.57 \ ;$

$1 \ 2 \ 3 \ 6 \ 9 \ 12 \ 15$
 $1 \ 2 \ 3 \ 6 \ 9 \ 12 \ 15$
 $1 \ 2 \ 3 \ 6 \ 9 \ 12 \ 15$
 $1 \ 2 \ 3 \ 6 \ 9 \ 12 \ 15$
 $1 \ 2 \ 3 \ 6 \ 9 \ 12 \ 15$
 $1 \ 2 \ 3 \ 6 \ 9 \ 12 \ 15 \ ;$

ใบมีดคมตัดตรง

$t =$

ทิศทางการตัดตามเส้นไม้กระดานส่วนทิศทางการป้อน

[1	1	1	1	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	1	1	1]

ทิศทางการตัดตามเส้นไม้กระดานตามทิศทางการป้อน

[2	2	2	1	2	0	0
1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	2	1	1	1
1	1	2	2	2	1	1
1	1	2	1	1	1	2
1	1	0	2	0	0	0]

ทิศทางการตัดขวางเส้นไม้ม้วนทิศทางการป้อน

[0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0];

ทิศทางการตัดขวางเส้นไม้ม้วนตามทิศทางการป้อน

[1	1	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0];

ใบมีดคมตัดรูปร่าง

t=

ทิศทางการตัดตามเส้นไม้ม้วนทิศทางการป้อน

[1	0	0	1	1	0	1
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	1	1
0	0	0	1	0	1	1
0	0	0	1	0	1	1
0	1	0	0	1	1	1];

ทิศทางการตัดตามเส้นไม้ม้วนตามทิศทางการป้อน

[0	0	0	1	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0];

ทิศทางการตัดขวางเส้นไม่กรณีสวนทิศทางการป้อน

```
[0    0    0    0    0    0    0
0    0    0    0    0    0    0
0    0    0    0    0    0    0
0    0    0    0    0    0    0
0    0    0    0    0    0    0
0    0    0    0    0    1    0];
```

ทิศทางการตัดขวางเส้นไม่กรณีตามทิศทางการป้อน

```
[0    0    0    1    1    1    1
0    0    0    0    0    1    1
0    0    0    0    0    1    1
0    0    0    0    0    1    1
0    0    0    0    0    0    1
0    0    0    0    0    1    0];
```

```
net=newff([905.14 2036.57; 1 15],[10,10,1],{'tansig','tansig','purelin'},'trainlm');
net.trainParam.show=100;
net.trainParam.lr=0.6;
net.trainParam.mc=0.8;
net.trainParam.epochs=50000;
net.trainParam.goal=0.001;
net=train(net,p,t);
```

```
%      weight of network
input_weight = net.iw{1,1}
output_weight = net.lw{2,1}
bias_hidden = net.b{1,1}
bias_output = net.b{2,1}
```

ข้อมูลการทำนายผลของใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์แบบคมตัดตรง

ตารางที่ ข.1 ความผิดพลาดจากการทำนายผลความเรียบผิวของการกัดไม้

ขนานเส้นไม้และสวนทิศทางการป้อนกัด			ขนานเส้นไม้และตามทิศทางการป้อนกัด		
การกัดขนานเส้นไม้ กรณีสวนทิศทางการป้อนกัด			การกัดขนานเส้นไม้ กรณีตามทิศทางการป้อนกัด		
ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าความเรียบผิว(R_q)			ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าความเรียบผิว(R_q)		
ค่าความเรียบผิว (R_q) จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB	ค่าความเรียบผิว (R_q) จากการทดลอง	%ความผิดพลาดของค่า ความเรียบผิวทั้งสอง	ค่าความเรียบผิว (R_q) จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB	ค่าความเรียบผิว (R_q) จากการทดลอง	%ความผิดพลาดของค่า ความเรียบผิวทั้งสอง
1.7406	1.434	21.38%	1.8101	1.4374	25.93%
1.749	2.1376	18.18%	1.8103	2.2884	20.89%
1.7603	1.8409	4.38%	1.8118	1.9712	8.09%
1.8301	2.2237	17.70%	1.8918	2.1585	12.36%
2.4746	2.5704	3.73%	2.5956	2.0123	28.99%
2.7101	2.4012	12.86%	2.8531	2.6266	8.62%
2.9005	2.3246	24.77%	2.6489	2.5218	5.04%
1.7798	1.5767	12.88%	1.6048	1.6097	0.30%
1.8123	1.6414	10.41%	1.5981	1.5389	3.85%
1.8472	1.5488	19.27%	1.5868	1.7282	8.18%
1.926	2.3864	19.29%	1.5816	2.4954	36.62%
2.0389	3.1689	35.66%	2.1278	2.8154	24.42%
2.6237	2.5485	2.95%	2.2658	2.5954	12.70%
2.7886	2.5183	10.73%	2.2192	2.4229	8.41%
คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด		15.30%	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด		14.60%

ตารางที่ ข.2 ความผิดพลาดจากการทำนายผลความเรียบผิวของการกัดไม้

ขวางเส้นไม้และสวนทิศทางการป้อนกัด			ขวางเส้นไม้และตามทิศทางการป้อนกัด		
การกัดขวางเส้นไม้ กรณีสวนทิศทางการป้อนกัด			การกัดขวางเส้นไม้ กรณีตามทิศทางการป้อนกัด		
ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าความเรียบผิว(R_q)			ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าความเรียบผิว(R_q)		
ค่าความเรียบผิว (R_q) จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB	ค่าความเรียบผิว (R_q) จากการทดลอง	%ความผิดพลาดของค่า ความเรียบผิวทั้งสอง	ค่าความเรียบผิว (R_q) จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB	ค่าความเรียบผิว (R_q) จากการทดลอง	%ความผิดพลาดของค่า ความเรียบผิวทั้งสอง
3.5099	3.7167	5.56%	3.593	3.7963	5.36%
3.5188	4.0492	13.10%	4.5854	4.5177	1.50%
3.5342	4.1118	14.05%	4.9966	5.5219	9.51%
3.9025	5.8458	33.24%	7.2087	6.2512	15.32%
5.9884	6.624	9.60%	7.4121	9.8254	24.56%
7.1685	6.2256	15.15%	6.8118	9.0003	24.32%
8.2617	6.5669	25.81%	6.8835	9.4389	27.07%
3.5059	4.1102	14.70%	3.9233	3.7121	5.69%
3.5361	4.2092	15.99%	4.3469	3.7176	16.93%
3.6775	3.9111	5.97%	4.5462	3.5448	28.25%
5.3479	6.619	19.20%	6.4999	5.0518	28.67%
5.4845	7.5146	27.02%	9.5186	6.4755	46.99%
5.4868	6.1833	11.26%	6.7715	5.4566	24.10%
5.4921	4.9679	10.55%	6.8707	6.1709	11.34%
คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด		15.80%	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด		19.26%

ตารางที่ ข.3 ความผิดพลาดจากการทำนายผลขุ้ยไม้ของการกัดไม้

ขนานเลี่ยนไม้และสวนทิศทางการป้อนกัด			ขนานเลี่ยนไม้และสวนทิศทางการป้อนกัด		
การกัดขนานเลี่ยนไม้ กรณีสวนทิศทางการป้อนกัด			การกัดขนานเลี่ยนไม้ กรณีตามทิศทางการป้อนกัด		
ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการเกิดขุ้ย			ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการเกิดขุ้ย		
จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB	จากการทดลอง	ค่าความผิดพลาด	จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB	จากการทดลอง	ค่าความผิดพลาด
0	0	0	1	1	0
0	0	0	1	1	0
0	0	0	1	1	0
0	0	0	2	2	0
0	0	0	1	1	0
0	0	0	1	1	0
0	0	0	1	1	0
0	1	1	1	1	0
0	0	0	1	1	0
0	0	0	1	2	1
0	0	0	2	1	1
0	0	0	1	1	0
0	0	0	1	1	1
0	0	0	1	2	1
คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด		7.14%	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด		28.57%

หมายเหตุ : 0 แสดงว่าไม่เกิดขุ้ย และ 1 แสดงว่าเกิดขุ้ยเล็กน้อย 2 แสดงว่าเกิดขุ้ยปานกลาง

ตารางที่ ข.4 ความผิดพลาดจากการทำนายผลขุยไม้ของการกัดไม้

ขวางเสี้ยนไม้และสวนทิศทางการป้อนกัด			ขวางเสี้ยนไม้และตามทิศทางการป้อนกัด		
การกัดขวางเสี้ยนไม้ กรณีสวนทิศทางการป้อนกัด			การกัดขวางเสี้ยนไม้ กรณีตามทิศทางการป้อนกัด		
ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการเกิดขุย			ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการเกิดขุย		
จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB	จากการทดลอง	ค่าความผิดพลาด	จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB	จากการทดลอง	ค่าความผิดพลาด
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด		0.00%	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด		0.00%

หมายเหตุ : 0 แสดงว่าไม่เกิดขุย และ 1 แสดงว่าเกิดขุยเล็กน้อย 2 แสดงว่าเกิดขุยปานกลาง

ตารางที่ ข.5 ความผิดพลาดจากการทำนายผลึกและหลุขของการกัดไม้

ขนานเลี่ยนไม้และสวนทิศทางการป้อนกัด			ขนานเลี่ยนไม้และสวนทิศทางการป้อนกัด		
การกัดขนานเลี่ยนไม้ กรณีสวนทิศทางการป้อนกัด			การกัดขนานเลี่ยนไม้ กรณีสวนทิศทางการป้อนกัด		
ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการนึก			ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการนึก		
จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB	จากการทดลอง	ค่าความผิดพลาด	จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB	จากการทดลอง	ค่าความผิดพลาด
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0
1	1	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0
คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด		21.43%	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด		0.00%

หมายเหตุ : 0 แสดงว่าค่าที่ทำนายถูกต้อง และ 1 แสดงว่าค่าที่ทำนายไม่ถูกต้อง

ตารางที่ ข.6 ความผิดพลาดจากการทำนายผลลึกและหลุดของการกัดไม้

ขวางเลี่ยนไม้และสวนทิศทางการป้อนกัด			ขวางเลี่ยนไม้และตามทิศทางการป้อนกัด		
การกัดขวางเลี่ยนไม้ กรณีสวนทิศทางการป้อนกัด			การกัดขวางเลี่ยนไม้ กรณีตามทิศทางการป้อนกัด		
ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการลึก			ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการลึก		
จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB	จากการทดลอง	ค่าความผิดพลาด	จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB	จากการทดลอง	ค่าความผิดพลาด
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	0
0	0	0	1	1	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
1	0	1	0	0	0
0	0	0	1	1	0
คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด		7.14%	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด		0.00%

หมายเหตุ : 0 แสดงว่าค่าที่ทำนายถูกต้อง และ 1 แสดงว่าค่าที่ทำนายไม่ถูกต้อง

ข้อมูลการทำนายผลของใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์แบบคมตัดรูปร่าง

ตารางที่ ข.7 ความผิดพลาดจากการทำนายผลความเรียบผิวของการกัดไม้

ขนานเลี่ยนไม้และสวนทิศทางการป้อนกัด			ขนานเลี่ยนไม้และตามทิศทางการป้อนกัด		
การกัดขนานเลี่ยนไม้ กรณีสวนทิศทางการป้อนกัด			การกัดขนานเลี่ยนไม้ กรณีตามทิศทางการป้อนกัด		
ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าความเรียบผิว(R_q)			ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าความเรียบผิว(R_q)		
ค่าความเรียบผิว (R_q) จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB	ค่าความเรียบผิว (R_q) จากการทดลอง	%ความผิดพลาดของค่า ความเรียบผิวทั้งสอง	ค่าความเรียบผิว (R_q) จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB	ค่าความเรียบผิว (R_q) จากการทดลอง	%ความผิดพลาดของค่า ความเรียบผิวทั้งสอง
1.8333	1.7463	4.98%	1.8009	1.8028	0.11%
1.8185	1.5947	14.03%	1.8596	1.6191	14.85%
1.8237	1.9852	8.14%	1.9257	1.7398	10.69%
1.956	2.2769	14.09%	2.1725	2.338	7.08%
2.1461	2.0839	2.98%	2.4704	2.11	17.08%
2.6185	2.701	3.05%	2.7528	2.7098	1.59%
2.802	2.6645	5.16%	2.9628	2.6015	13.89%
1.7751	2.3771	25.32%	1.7064	2.7401	37.72%
1.7867	1.9106	6.48%	1.7205	1.8012	4.48%
1.8004	2.3237	22.52%	1.7371	2.295	24.31%
1.83	1.6282	12.39%	1.8053	1.6856	7.10%
1.7844	2.6505	32.68%	1.9011	1.8361	3.54%
2.0831	2.1922	4.98%	2.0128	2.5344	20.58%
2.5667	2.5135	2.12%	2.1455	2.7401	21.70%
คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด		11.35%	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด		13.19%

ตารางที่ ข.8 ความผิดพลาดจากการทำนายผลความเรียบผิวของการกัดไม้

ขวางเลี่ยนไม้และสวนทิศทางการป้อนกัด			ขวางเลี่ยนไม้และตามทิศทางการป้อนกัด		
การกัดขวางเลี่ยนไม้ กรณีสวนทิศทางการป้อนกัด			การกัดขวางเลี่ยนไม้ กรณีตามทิศทางการป้อนกัด		
ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าความเรียบผิว(R_q)			ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าความเรียบผิว(R_q)		
ค่าความเรียบผิว (R_q) จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB	ค่าความเรียบผิว (R_q) จากการทดลอง	%ความผิดพลาดของค่า ความเรียบผิวทั้งสอง	ค่าความเรียบผิว (R_q) จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB	ค่าความเรียบผิว (R_q) จากการทดลอง	%ความผิดพลาดของค่า ความเรียบผิวทั้งสอง
4.6869	4.1375	13.28%	4.4931	4.0693	10.41%
4.4313	5.6969	22.22%	4.4918	5.4632	17.78%
4.4114	3.9933	10.47%	6.5196	3.7215	75.19%
7.0089	6.2042	12.97%	7.1362	7.4303	3.96%
7.5466	7.7497	2.62%	8.2226	8.6809	5.28%
6.9532	7.6397	8.99%	8.4009	8.1911	2.56%
7.5938	8.0264	5.39%	8.4214	8.4307	0.11%
4.7037	2.2374	110.23%	3.9105	3.9564	1.16%
4.4214	3.9293	12.52%	2.539	4.1575	38.93%
4.4113	4.4044	0.16%	4.6761	4.2755	9.37%
4.4295	6.6166	33.05%	8.4998	6.5523	29.72%
7.0302	7.1913	2.24%	8.8164	9.1924	4.09%
6.9609	7.5403	7.68%	9.1007	9.5085	4.29%
6.9529	8.1256	14.43%	9.3833	10.4184	9.94%
คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด		18.30%	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด		15.20%

ตารางที่ ข.9 ความผิดพลาดจากการทำนายผลขุยไม้ของการกัดไม้

ขนานเลี่ยนไม้และสวนทิศทางการป้อนกัด			ขนานเลี่ยนไม้และสวนทิศทางการป้อนกัด		
การกัดขนานเลี่ยนไม้ กรณีสวนทิศทางการป้อนกัด			การกัดขนานเลี่ยนไม้ กรณีตามทิศทางการป้อนกัด		
ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการเกิดขุย			ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการเกิดขุย		
จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB	จากการทดลอง	ค่าความผิดพลาด	จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB	จากการทดลอง	ค่าความผิดพลาด
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	1
0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	0
0	0	0	1	0	1
0	0	0	2	0	1
0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	2	2
0	0	0	1	1	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	2	2	0
0	0	0	2	2	0
0	0	0	2	2	0
คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด		7.14%	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด		35.71%

หมายเหตุ : 0 แสดงว่าไม่เกิดขุย และ 1 แสดงว่าเกิดขุยเล็กน้อย 2 แสดงว่าเกิดขุยปานกลาง

ตารางที่ ข.10 ความผิดพลาดจากการทำนายผลขุยไม้ของการกัดไม้

ขวางเลี่ยนไม้และสวนทิศทางการป้อนกัด			ขวางเลี่ยนไม้และตามทิศทางการป้อนกัด		
การกัดขวางเลี่ยนไม้ กรณีสวนทิศทางการป้อนกัด			การกัดขวางเลี่ยนไม้ กรณีตามทิศทางการป้อนกัด		
ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการเกิดขุย			ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการเกิดขุย		
จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB	จากการทดลอง	ค่าความผิดพลาด	จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB	จากการทดลอง	ค่าความผิดพลาด
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด		0.00%	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด		0.00%

หมายเหตุ : 0 แสดงว่าไม่เกิดขุย และ 1 แสดงว่าเกิดขุยเล็กน้อย 2 แสดงว่าเกิดขุยปานกลาง

ตารางที่ ข.11 ความผิดพลาดจากการทำนายผลฉีกและหลุดของการกัดไม้

ขนานเลี่ยนไม้และสวนทิศทางการป้อนกัด			ขนานเลี่ยนไม้และสวนทิศทางการป้อนกัด		
การกัดขนานเลี่ยน ไม้ กรณีสวนทิศทางการป้อนกัด			การกัดขนานเลี่ยน ไม้ กรณีตามทิศทางการป้อนกัด		
ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการฉีก			ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการฉีก		
จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB	จากการทดลอง	ค่าความผิดพลาด	จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB	จากการทดลอง	ค่าความผิดพลาด
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0
1	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0
0	1	1	0	0	0
1	1	0	0	0	0
คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด		21.43%	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด		0.00%

หมายเหตุ : 0 แสดงว่าค่าที่ทำนายถูกต้อง และ 1 แสดงว่าค่าที่ทำนายไม่ถูกต้อง

ตารางที่ ข.12 ความผิดพลาดจากการทำนายผลฉีกและหลุดของการกัดไม้

ขวางเลี่ยนไม้และสวนทิศทางการป้อนกัด			ขวางเลี่ยนไม้และตามทิศทางการป้อนกัด		
การกัดขวางเลี่ยนไม้ กรณีสวนทิศทางการป้อนกัด			การกัดขวางเลี่ยนไม้ กรณีตามทิศทางการป้อนกัด		
ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการฉีก			ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการฉีก		
จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB	จากการทดลอง	ค่าความผิดพลาด	จากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB	จากการทดลอง	ค่าความผิดพลาด
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
1	0	1	0	0	0
1	0	1	1	0	1
0	0	0	1	1	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
1	0	1	1	0	1
1	0	1	1	0	1
คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด		28.57%	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด		21.43%

หมายเหตุ : 0 แสดงว่าค่าที่ทำนายถูกต้อง และ 1 แสดงว่าค่าที่ทำนายไม่ถูกต้อง

ภาคผนวก ค

กิจกรรมการเผยแพร่และถ่ายทอดข้อมูลวิจัย

1. การเผยแพร่ข้อมูลในรูปแบบบทความวิจัย

- การประชุมวิชาการภายในประเทศ

- 1) กุศล พร้อมมูล, พงศ์พันธ์ แก้วดาทิพย์, สุรพันธ์ สุวรรณภูมิ และ เทิดศักดิ์ อาลัย, “การหาเงื่อนไขการตัดไม้ที่เหมาะสมของใบมีด PCD”, รายงานการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 16, 2002, pp.526-530
- 2) เทิดศักดิ์ อาลัย, พงศ์พันธ์ แก้วดาทิพย์ และ กุศล พร้อมมูล, “อิทธิพลของตัวแปรต่างๆในการตัดไม้ยางพาราโดยใช้ใบมีดทั้งสแตนเลสคาร์ไบด์”, รายงานการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17, 15-17 ตุลาคม 2546, โรงแรมทวาราวดี จังหวัดปราจีนบุรี, pp.883-887
- 3) กุศล พร้อมมูล, พงศ์พันธ์ แก้วดาทิพย์ และ เทิดศักดิ์ อาลัย, “อิทธิพลของตัวแปรต่างๆในการตัดไม้ยางพาราโดยใช้ใบมีดทั้งสแตนเลสคาร์ไบด์แบบคมตัดรูปร่าง”, รายงานการประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม 2004, 20-22 ตุลาคม 2547, โรงแรมดวงตะวัน จังหวัดเชียงใหม่

- การประชุมวิชาการนานาชาติ

- 1) Kusol Prommul, Pongpan Kaewtatip and Terdsak Arlai, “Investigation on the Influences of Cutting Parameters in CNC Machining of Rubber Wood with Integration of Neural Networks”, *Proceedings of the 2nd International Symposium on Wood Machining, July 5-7, 2004, Vienna Austria*, pp.123-129

2. การเผยแพร่ข้อมูลในรูปแบบการจัดการอบรม

- 2.1 การสัมมนาเรื่อง “การนำคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบการผลิตและการตลาดกับอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ของประเทศไทย”, ร่วมกับภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, วันที่ 6 กันยายน 2545, ณ อาคารสัมมนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- 2.2 การสัมมนาเรื่อง “การเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ในอุตสาหกรรมไม้ยางพารา”, วันที่ 25 กรกฎาคม 2546, ณ สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

3. ผลที่ได้รับจากการโครงการ (Output)

Output		สาเหตุกรณี ผลสำเร็จไม่ถึง 100% และการแก้ไขที่ได้ดำเนินการ
กิจกรรมในข้อเสนอโครงการ / หรือจากการปรับแผน	ผลสำเร็จ (%)	
1. ทำการติดตั้งเครื่องจักร CNC อุปกรณ์วิจัย การทดลองใช้งานเบื้องต้น และเตรียมการทดลอง	100	-
2. ได้ผลการทดลองเพื่อศึกษาถึงผลของความเร็วรอบอัตราป้อนตัดของไบมีดชนิด Tungsten carbide และวิเคราะห์ผลการทดลอง	100*	การดำเนินงานวิจัยในส่วนของการสึกหรอของไบมีด พบว่าการตรวจสอบการสึกหรอในห้องปฏิบัติการทั้งหมดเป็นไปได้ยาก เนื่องจากต้องทำการกัดไม้เป็นปริมาณมาก ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลจากผลการทดลองบางส่วน ร่วมกับข้อมูลที่ค้นคว้าเพิ่มเติม รวมทั้งเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นที่ใกล้เคียงกันมาทดแทนในบางส่วน
3. ได้ผลการทดลองเพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของ depth of cut, shear angle และเส้นผ่านศูนย์กลางของไบมีด Tungsten carbide รวมทั้งผลของความเร็วรอบและอัตราป้อนตัดของมิด Polycrystal diamond	100	-
4. ได้ข้อมูลที่จะใช้กำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมในการกัดไม้ยางพาราด้วยไบมีดชนิดต่างๆ โดยสร้างเป็นตารางการเพื่อให้ง่ายต่อการเลือกใช้	100	-
5. จัดการอบรมเผยแพร่ผลงานวิจัย 2 ครั้ง/ปี	100*	จัดการอบรมเผยแพร่ผลงาน 2 ครั้ง ตลอดโครงการ และเสนอผลงานวิจัยในที่ประชุมวิชาการระดับชาติ 3 ครั้ง ระดับนานาชาติ 1 ครั้ง

การหาเงื่อนไขการตัดไม้ที่เหมาะสมของใบมีด PCD

Study on Optimum Wood Cutting Conditions Using PCD Cutting Tools

กุศล พร้อมมูล พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์ สุรพันธ์ สุวรรณภูมิ และเทิดศักดิ์ อาลัย
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

91 ถ.ประชาธิปไตย แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

โทร 0-2470-9202 โทรสาร 0-2872-9080 E-mail: kusol.pro@kmutt.ac.th

Kusol PROMMUL, Pongpan KAEWTATIP, Suraphan SUWANAKOOTH and Terdsak ARLAI

Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi

91 Pracha-u-tit Rd. Bangmod Tungkru Bangkok 10140 Thailand

Tel: 0-2470-9202 Fax: 0-2872-9080 E-mail: kusol.pro@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อสมรรถภาพของการตัดไม้ (Routing process) ในการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราโดยใช้มีดตัดที่ทำมาจากเพชร (Polycrystal Diamond; PCD) ในปัจจุบันมีมีดตัดที่ใช้ในงานตัดไม้ที่ทำมาจากวัสดุหลายประเภท เช่น เหล็กกล้ารอบสูง (High speed steel) ทังสเตนคาร์ไบด์ (Tungsten carbide) และเพชรแบบหลายผลึกเป็นต้น ซึ่งอายุการใช้งานของมีดแต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไป โดยที่เป็นที่ทราบกันดีว่ามีดตัด PCD จะมีอายุการใช้งานยาวนานกว่ามีดตัดที่ทำมาจากวัสดุชนิดอื่นๆหลายเท่า อย่างไรก็ตามราคาของมีดตัด PCD ก็สูงกว่ามากเช่นกัน ผู้ผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราในประเทศไทย ณ ปัจจุบันนี้ ยังไม่นิยมใช้มีดตัด PCD กันมากนัก สาเหตุหลักเนื่องมาจากราคาที่แพงมาก และผู้ประกอบการไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับการกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมในการตัดไม้ยางพาราโดยใช้มีดตัดดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงอิทธิพลความเร็วในการตัด อัตราการป้อนตัด และทิศทางในการป้อนตัดเทียบกับทิศทางเส้นไม้ที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน นั่นก็คือความเรียบผิวของไม้ที่ได้ การเกิดขุยไม้และรอยไหม้บนเนื้อไม้ และยังศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขในการตัดที่มีต่ออัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเลือกสภาวะการตัดที่เหมาะสมสำหรับมีด PCD ผลจากการวิจัยพบว่าความเร็วรอบ 15,000 rpm และอัตราการป้อนตัด 8 mm/min จะทำให้ได้ชิ้นงานที่ปราศจากขุยและมีความเรียบผิวดีที่สุดเทียบเท่ากับผิวชิ้นงานที่ผ่านขั้นตอนการขัดแล้ว แต่อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานที่ความเร็วค่านี้นั้นจะมากกว่าที่ความเร็ว 21,000 rpm ถึงเกือบ 30%

คำสำคัญ: การตัดไม้ ใบมีด PCD สภาวะการตัด คุณภาพผิวไม้

Abstract

This objective of this research is to study parameters that affect the efficiencies of the routing process for manufacturing rubber-wood furniture using a PCD (Polycrystal Diamond) cutting tool. Cutting tools, currently in use, may include: High Speed Steel (HSS), Tungsten Carbide, and PCD tools. Although extremely more expensive, the PCD cutting tool has much longer tool life than others in this group. However, only few Thai manufacturers are using the PCD tools because of the higher prices and the lack of enough decision-making information to determine optimum cutting conditions for producing quality parts. In this research, the optimum cutting conditions, affecting surface roughness, wood splinter, and burn were investigated. They include: cutting speeds, feed rates, and cutting directions (relative to wood-grain orientations). In addition, power consumption rates for each condition were studied. The results show that the condition at a cutting speed of 15,000 rpm and at a feed rate of 8 mm/min yields a part with the best surface finish having smallest surface roughness (Ra) and having no wood splinter. Nonetheless, the power consumption rate at the cutting speed of 15,000 rpm is approximately 30 percent higher than at 21,000 rpm.

Keywords: Wood cutting, PCD router, Cutting conditions, Surface integrity

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราเป็นอุตสาหกรรมที่หารายได้เข้าประเทศปีละกว่าสามหมื่นล้านบาท [1] แต่อุตสาหกรรมดังกล่าวโดยเฉพาะในส่วนของการขึ้นรูปไม้ยางพาราด้วยเครื่องจักร

ซีเอ็นซี ยังขาดข้อมูลที่จำเป็นในการกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมของกระบวนการตัดขึ้นรูป เนื่องจากในการตัดไม้จะต่างจากการตัดโลหะ เพราะไม้เป็นวัสดุที่มีสมบัติไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (nonhomogeneous material) ดังนั้นการกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมในการตัดไม้จึงทำได้ยากเพราะจะมีคุณสมบัติเกี่ยวกับทิศทางเข้ามาเกี่ยวข้อง ใบมีดที่ใช้ในงานตัดไม้ปัจจุบันจะมาจากวัสดุหลายประเภท แต่ที่ใช้กันมากที่สุดคือใบมีดทั้งสแตนเลสคาร์ไบด์เพราะมีราคาปานกลางและคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี อย่างไรก็ตามเนื่องจากในงานตัดไม้จะไม่สามารถใช้สารหล่อลื่นได้เหมือนงานโลหะ ในขณะที่ความเร็วและอัตราการป้อนตัดอาจสูงกว่างานโลหะมากกว่า 10 เท่า ดังนั้นการสึกหรอของใบมีดจะเกิดขึ้นเร็วมาก เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวใบมีดที่ทำมาจากเพชรหลายผลึก (หรือที่เรียกกันว่า PCD) เริ่มถูกนำมาใช้มากขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งในต่างประเทศ ในประเทศไทยเองก็เริ่มมีผู้ประกอบการใช้ใบ PCD บ้าง แต่เนื่องจากมีดดังกล่าวมีราคาสูงมาก และเงื่อนไขที่เหมาะสมในการตัดไม้โดยใช้มีด PCD ก็ไม่ได้ชัดเจน เนื่องจากมีด PCD ที่ใช้กับงานไม้ยังไม่สามารถผลิตได้เองภายในประเทศ ต้องนำเข้าจากต่างประเทศทั้งหมด ข้อมูลการใช้ที่ผู้ขายแนะนำก็จะเหมาะสมเฉพาะกับการตัดไม้เนื้อแข็งของต่างประเทศเช่น ไม้โอ๊คเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่ในประเทศไทยเฟอร์นิเจอร์ไม้ที่ส่งออกทั้งหมดกว่า 80% เป็นเฟอร์นิเจอร์ที่ทำมาจากไม้ยางพาราซึ่งเป็นไม้เนื้อแข็งปานกลาง และเกิดขุยขึ้นได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อตัดขวางทิศทางของเส้นไม้ เมื่อเกิดขุยขึ้นผู้ประกอบการในปัจจุบันแก้ปัญหาโดยการนำไม้มาผ่านกระบวนการขัดผิวอีกครั้งหนึ่งก่อนที่จะนำผ่านขั้นตอนการลงสีและประกอบต่อไป ขั้นตอนการขัดผิวที่เพิ่มมาทำให้ต้นทุนในการผลิตต่อชิ้นเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่ค่อนข้างมากเทียบกับต้นทุนทั้งหมด เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้นในงานวิจัยชิ้นนี้จึงมุ่งเน้นที่จะหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการตัดไม้ยางพาราด้วยใบมีด PCD (PCD router) เพื่อให้ได้คุณภาพผิวชิ้นงานดีที่สุดโดยไม่ต้องนำไปขัดผิว หรือขัดน้อยที่สุด และสิ้นเปลืองพลังงานในการตัดน้อยที่สุด ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือความเร็วในการตัด อัตราการป้อนตัด และทิศทางการตัดไม้เทียบกับแนวเส้นไม้

2. ผิวของชิ้นงานที่ได้จากการตัด

คุณภาพของผิวจากการตัดโดยทั่วไปขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ประการคือ 1.คุณภาพของเนื้อไม้ 2.รูปทรงเรขาคณิตของใบมีด และ 3.เงื่อนไขในการตัด คุณภาพของเนื้อไม้เช่นความชื้นภายในเนื้อไม้ ตำแหน่งของตาไม้ แนวการเรียงตัวของเส้นไม้ และความเค้นภายในเนื้อไม้ (Growth stress) เป็นต้น เป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ แต่มีผลอย่างมากในกระบวนการตัดไม้ [3] ดังนั้นในการที่จะได้คุณภาพผิวหลังการตัดที่ดีที่สุดจำเป็นต้องกำหนดปัจจัยอื่นที่เหลือให้เหมาะสม ในกรณีที่ไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบยืดหยุ่นของไม้ ความแตกต่างของเนื้อไม้ในแต่ละจุด และการสั่นไหวของใบมีดบนเนื้อไม้จะสามารถทำนายลักษณะผิวหลังการตัดได้ตามรูปที่ 1

F_z (Chip Load หรือ Feed per Tooth) ในรูปที่ 1 หมายถึงระยะที่คมตัดหนึ่งคมตัดเฉือนเนื้อไม้ออกไปเมื่อคมตัดของมีดหมุนไปหนึ่งรอบ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร/คมตัด เมื่อ F_z มีค่าน้อยจะแสดงถึงผิวคุณภาพงานตัดที่สูงขึ้น ซึ่งเกิดเมื่ออัตราการป้อนตัดที่ช้าแต่ความเร็วตัดมีค่าสูง

แต่จะมีข้อเสียเกิดขึ้นคืออายุคมตัดอาจสั้นลง ค่า F_z สามารถคำนวณได้จากสมการ (1)

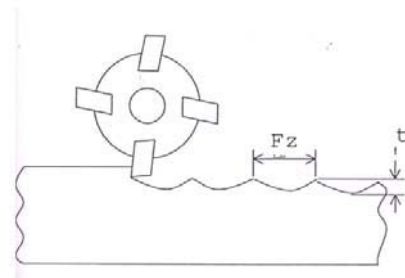
$$F_z = F / (N \times Z) \quad (1)$$

โดยที่ F = อัตราการป้อนตัด (Feed rate); mm/min
 N = ความเร็วรอบของใบมีด; rpm
 Z = จำนวนคมตัดของมีด

รอยลึกของคมตัด (Cutter mark; t) คือความสูงของรอยคมตัดที่ผิวชิ้นงานซึ่งมีความสัมพันธ์กับ F_z และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมีด โดยรอยลึกของคมตัดเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมีด ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยความสัมพันธ์ในสมการ (2)

$$t = (F_z)^2 / 4D \quad (2)$$

โดยที่ F_z = Chip load (mm/tooth)
 D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)

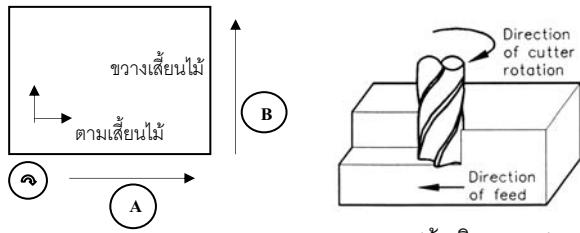


รูปที่ 1 แสดงลักษณะของผิวหลังการตัด (Routed surface)

3. ขั้นตอนและอุปกรณ์การทดลอง

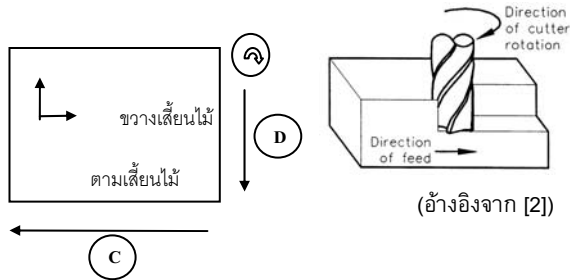
ในงานวิจัยนี้ใช้มีดตัดทำมาจากเพชรแบบหลายผลึก (PCD router) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 mm วัสดุที่ใช้คือไม้ยางพาราแผ่นสี่เหลี่ยมขนาด 450 x 750 mm ความหนาเท่ากับ 20 mm เครื่องจักรซีเอ็นซีที่ใช้คือ CNC-BORING AND ROUTING MACHINE (TYPE WINNER 2.45K) ซึ่งมีความเร็วรอบสูงสุดเท่ากับ 24,000 rpm และอัตราการป้อนตัดสูงสุดเท่ากับ 24 m/min ตัวแปรที่เลือกมาศึกษาคือความเร็วรอบในการตัดที่ 15,000 18,000 และ 21,000 rpm และอัตราการป้อนตัดที่ 8 12 และ 15 m/min ระยะกินลึกในการตัด (Depth of cut) จะกำหนดให้คงที่เท่ากับ 10 mm เพื่อศึกษาอิทธิพลของทิศทางการตัดเทียบกับทิศทางของเส้นไม้จะแบ่งลักษณะการตัดออกเป็น 4 แบบ ดังนี้

- A: ตัดตามเส้นไม้และสวนทิศทางการป้อนตัด (Along grain, against feed: upcut)
- B: ตัดตามเส้นไม้ และตามทิศทางการป้อนตัด (Along grain, with feed: downcut)
- C: ตัดขวางเส้นไม้ และสวนทิศทางการป้อนตัด (Across grain, against feed: upcut)



(อ้างอิงจาก [2])

(ก) แสดงทิศทางการตัดแบบ Upcut



(อ้างอิงจาก [2])

(ข) แสดงทิศทางการตัดแบบ Downcut

รูปที่ 2. แสดงทิศทางการตัดแบบ A B C และ D

D: ตัดขวางเส้นไม้ และตามทิศทางการป้อนตัด (Across grain, with feed: downcut)

(การตัดแบบ Upcut สำหรับงานไม้ในบางครั้งอาจถูกเรียกเป็น Against feed ในขณะที่การตัดแบบ Downcut ในบางครั้งอาจถูกเรียกเป็น With feed) ลักษณะการตัดไม้ทั้งสี่แบบแสดงให้เห็นในรูปที่ 2 (ก) และ (ข)

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการประเมินผลได้แก่คุณภาพผิว (Surface Integrity) ซึ่งประกอบไปด้วยความเรียบผิว ขุขบนเนื้อไม้ และรอยไหม้ และจะทำการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน (Power consumption) ของแต่ละเงื่อนไขในการตัด โดยจะทำการวัดจากปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ขณะทำการตัด

4. ผลการทดลองและวิเคราะห์

4.1 คุณภาพผิวของชิ้นงานหลังการตัด

4.1.1 ขุขบนเนื้อไม้

จากการสังเกตการเกิดขุขบนเนื้อไม้ที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1 จากผลการทดลองจะเห็นว่าที่ความเร็วรอบต่ำจะมีโอกาสเกิดขุขบนเนื้อไม้น้อยกว่าที่ความเร็วรอบสูง การตัดในทิศทางขวางแนวเส้นไม้จะทำให้เกิดขุขบได้ง่ายกว่าการตัดขนานกับแนวเส้นไม้ และการตัดแบบ Downcut จะทำให้เกิดขุขบได้ง่ายกว่าการตัดแบบ Upcut โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อัตราการป้อนตัดสูงๆหรือที่ 12 และ 15 m/min ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่ออัตราการป้อนตัดมีค่าสูงใบมีดตัดจะไม่สามารถตัดเนื้อเส้นไม้ได้ทันกับอัตราการป้อนตัดทำให้มีขุขบไม่เกิดขึ้น

4.1.2 รอยไหม้บนผิวไม้

จากผลการทดลองในทุกๆเงื่อนไขของการตัดพบว่าไม่มีรอยไหม้เกิดขึ้น เนื่องจากความเร็วในการป้อนตัดที่ใช้มีค่าค่อนข้างสูง ดังนั้นโอกาสการเกิดการเสียดสีระหว่างไม้กับใบมีดที่เป็นสาเหตุของรอยไหม้

ตารางที่ 1 ผลการสังเกตขุขบที่เกิดขึ้นบนรอยตัด

ลักษณะการตัด	Speed (rpm)	Feed (m/min)					
		8		12		15	
		Upcut	Downcut	Upcut	Downcut	Upcut	Downcut
Along grain	15000	*	*	*	*	*	△
	18000	○	○	*	*	×	△
	21000	*	*	○	*	*	○
Across grain	15000	*	*	*	○	*	×
	18000	*	△	○	×	*	△
	21000	○	○	*	△	○	△

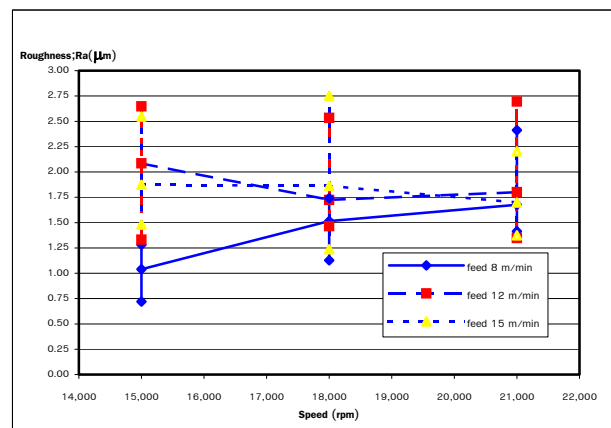
หมายเหตุ - * = ไม่มีขุขบเกิดขึ้นเลย
- ○ = มีขุขบเกิดขึ้นเล็กน้อย
- △ = มีขุขบเกิดขึ้นปานกลาง
- × = มีขุขบเกิดขึ้นมาก

จึงไม่มี

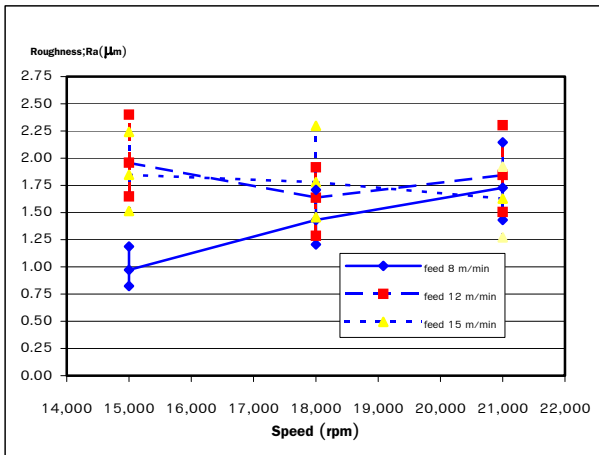
4.1.3 ความเรียบผิวของชิ้นงาน

ความเรียบผิวหลังการตัดของชิ้นงานที่ได้จากการตัดแบบ A B C และ D แสดงให้เห็นในรูปที่ 3 4 5 และ 6 จากการวัดความเรียบผิวของชิ้นงานพบว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการกระจายตัวของข้อมูลค่อนข้างมาก ทำให้สรุปแนวโน้มได้ค่อนข้างยาก อย่างไรก็ตามจากข้อมูลดังกล่าวสามารถวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

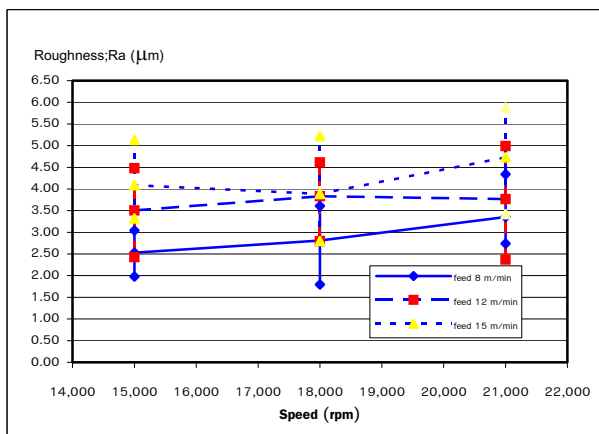
ที่อัตราการป้อนตัดที่ 8 m/min และความเร็วรอบ 15,000 rpm ให้ความเรียบผิวที่ดีที่สุดไม่ว่าจะทำการตัดในลักษณะใดก็ตาม เนื่องจากสภาวะการตัดของใบมีดอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ส่วนที่ความเร็วอื่นๆที่ทำให้ค่าความเรียบผิวออกมาไม่ด้นั้น เนื่องจากเมื่อความเร็วรอบของใบมีดสูงขึ้นการคายเศษไม้เมื่อเทียบกับความเร็วรอบไม่สัมพันธ์กัน ทำให้เศษไม้ที่ควรจะถูกตัดออกจากชิ้นงานหลุดออกมาไม่ทัน คมมีดอันถัดไปก็หมุนมาทำการตัดไม้กดทับเศษดังกล่าว ทำให้เศษไม้บางส่วนฝังลงไปในเนื้อไม้ ส่งผลให้เนื้อไม้หลังการตัดมีรอยเกิด



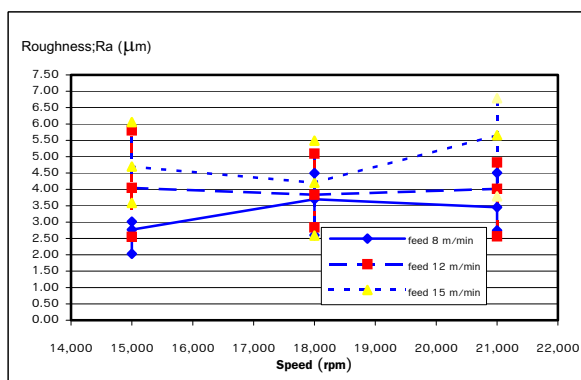
รูปที่ 3. กราฟแสดงความความเรียบผิวของชิ้นงานที่ได้จากการตัดตามเส้นไม้แบบ Upcut



รูปที่ 4. กราฟแสดงความความเรียบผิวของชิ้นงานที่ได้จากการตัดตาม
เส้นไม้แบบ Downcut



รูปที่ 5. กราฟแสดงความความเรียบผิวของชิ้นงานที่ได้จากการ
ตัดขวางเส้นไม้แบบ Upcut



รูปที่ 6. กราฟแสดงความความเรียบผิวของชิ้นงานที่ได้จากการ
ตัดขวางเส้นไม้แบบ Downcut.

ขึ้น ในทำนองเดียวกันที่อัตราการป้อนตัดสูงๆก็จะมีผลในลักษณะ
ใกล้เคียงกันด้วย

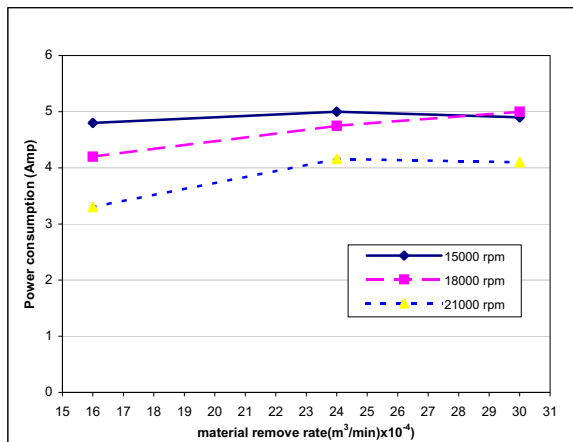
จากการวัดค่าความเรียบผิวของไม้ที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมไม่
ยางพาราที่ผ่านขั้นตอนการขัดผิวครั้งสุดท้ายก่อนทำการพ่นสีพบว่าค่า
ความเรียบผิว (R_a) ที่วัดได้มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ $2.87 \mu m$ ซึ่งจาก
การทดลองพบว่าที่ความเร็ว 15,000 rpm และอัตราการป้อนตัดที่ 8
m/min ไม่ว่าจะทำการตัดในลักษณะใดก็ตาม ค่าความเรียบผิวที่ได้นั้นมี
ค่าน้อยกว่าค่าความเรียบผิวของไม้ที่วัดได้จากโรงงาน ซึ่งบ่งชี้ถึงว่าถ้า
ทำการตัดไม้ด้วยเครื่องซีเอ็นซีที่ความเร็วรอบและอัตราการป้อนตัดนี้
ทำให้ไม่ต้องทำการขัดผิวด้วยกระดาษทรายซ้ำหลังผ่านการตัดไม้

ลักษณะการตัดแบบ Downcut ให้คุณภาพผิวที่ดีกว่าการตัดแบบ
Upcut เนื่องมาจากการตัดแบบ Downcut จะทำให้เกิดการขาดของเนื้อ
วัสดุแบบแรงเฉือนสมบูรณ์ทำให้เศษไม้ที่หลุดออกมามีขนาดที่
สม่ำเสมอ ส่วนแบบ Upcut นั้นเศษไม้ที่หลุดออกมาไม่สม่ำเสมอ
เนื่องมาจากการฉีกขาดของเนื้อไม้ก่อนที่จะมีการขาดเนื่องจาก
แรงเฉือนของใบมีดตัด

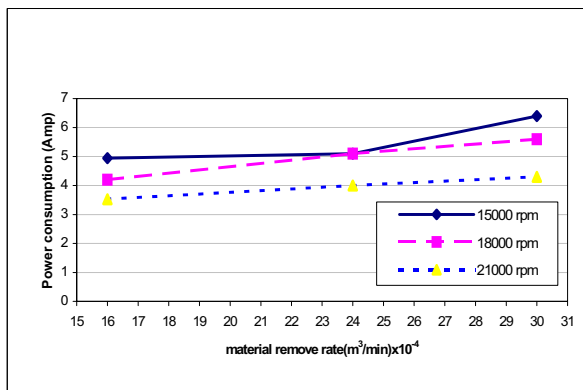
ทิศทางการตัดของใบมีดแบบตามเส้นไม้ให้ความเรียบผิวที่ดีกว่า
การตัดแบบขวางเส้น เนื่องจากการตัดแบบขวางเส้นนั้นมีการหลบ
ของเส้นไม้เกิดขึ้นในระหว่างการตัด ทำให้เมื่อใบมีดเคลื่อนตัวผ่านไป
เส้นไม้ที่หลบเข้าไปฝังในเนื้อไม้จะติดตัวออกมา ทั้งการตัดของใบมีด
ต่อเส้นไม้นั้นยังขึ้นอยู่กับอายุของไม้ด้วยเช่น ถ้าไม้ที่มีอายุมากการตัด
เส้นไม้ก็ทำได้ยากทำให้เนื้อไม้ที่ได้มีความหยาบ ในทางกลับกันถ้า
เนื้อไม้ที่นำมาทำการผลิตมีอายุที่เหมาะสมการตัดขาดของเส้นไม้จะ
ทำได้ง่ายกว่า

4.2 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน

อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานสามารถวัดได้จากปริมาณกระแสไฟฟ้า
ที่เครื่องจักรกลซีเอ็นซีใช้ในขณะที่ทำการตัดไม้โดยใช้ Clamp-on meter
ผลของการวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เครื่องจักรกลซีเอ็นซีใช้เทียบกับอัตรา
การกำจัดเศษวัสดุ (Material removal rate) สำหรับการตัดแบบ Upcut
และ Downcut แสดงให้เห็นในรูปที่ 7 และ 8 ตามลำดับ อัตราการกำจัด
เศษวัสดุสามารถคำนวณได้ตามความสัมพันธ์ $Material\ remove\ rate = Feed\ rate \times Depth\ of\ cut \times Working\ depth$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าอัตราการ
กำจัดเศษวัสดุแปรผันตรงกับอัตราการป้อนตัด แต่ไม่ขึ้นกับความเร็ว
รอบในการตัดไม้ อัตราการกำจัดเศษวัสดุจะบ่งบอกถึงความสามารถ
หรือความเร็วในการผลิตชิ้นงาน จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าอัตรา
การสิ้นเปลืองพลังงานหรือปริมาณกระแสไฟฟ้าที่น้อยที่สุดเมื่อความเร็ว
รอบของใบมีดตัดเท่ากับ 21,000 rpm ซึ่งผลดังกล่าวจะเห็นได้ชัดเจน
ยิ่งขึ้นเมื่ออัตราการกำจัดเศษวัสดุมีค่าน้อยๆ โดยความแตกต่างเมื่อเทียบที่
อัตราการกำจัดเศษวัสดุเท่ากันสูงถึงเกือบ 30% สาเหตุเนื่องมาจาก
มอเตอร์ของเครื่องซีเอ็นซีที่ใช้มีค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่ความเร็วรอบ
ดังกล่าว และจะพบว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้เมื่อทำการการตัดแบบ
Upcut และ Downcut จะไม่แตกต่างกันมากนัก นอกจากนั้นจะเห็นว่าที่
อัตราการป้อนตัดสูงๆ ภาระโหลดในการตัดไม้จะไม่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้
อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานสูงตามไปด้วย



รูปที่ 7 กราฟแสดงปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้เมื่อทำการตัดแบบ
Upcut



รูปที่ 8. กราฟแสดงปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้เมื่อทำการตัดแบบ
Downcut

5. สรุป

ในการตัดไม้ยางพาราโดยใช้มีดตัด PCD พบว่าที่ความเร็วรอบ 15,000 rpm และอัตราการป้อนตัด 8 m/min จะทำให้ได้ชิ้นงานที่ปราศจากขุยและมีความเรียบผิวดีที่สุดเทียบกับผิวชิ้นงานที่ผ่านขั้นตอนการขัดแล้ว แต่อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานที่ความเร็วค่านี้จะมากกว่าที่ความเร็ว 21,000 rpm ถึงเกือบ 30% และมีอัตราการกำจัดเศษน้อยกว่ากรณีใช้อัตราการป้อนตัดเท่ากับ 15 m/min ถึงเกือบ 50% ดังนั้นการที่จะเลือกเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสมต้องพิจารณาข้อมูลเกี่ยวกับต้นทุนในการขัดผิว และต้นทุนค่าพลังงานเพิ่มเติมต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และบริษัทเอสดีพีอินเตอร์เทรดจำกัด คณะผู้จัดทำใคร่ขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ผ่องเพ็ญ สัมมาพันธ์, เอกสารประกอบการสัมมนาทางพาราแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 4, http://www.thailandrubber.thaigov.net/songkhla1/news_event/001.doc/, March 15, 2002
- [2] Lin, Su-Chen Jonathan, "Computer Numerical Control: From Programming to Networking," Delmar Publishers, USA, 1994, p. 269.
- [3] Aquilera, A., Meausoone, P. J., and Martin, P., "Wood Material Influence in Routing Operations: the PDF Case," Holz als Roh-und Werkstoff, Vol 58, 2000, pp. 278-283.

อิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ในการตัดไม้ยางพาราโดยใช้ไบมีดทังสเตนคาร์ไบด์ (Influences of Various Working Parameters in Routing process of Rubber Wood using Tungsten-Carbide Routers)

เกิดศักดิ์ อาลัย พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์ กุศล พร้อมมูล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
91 ถ.ประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

โทร 0-2470-9339 โทรสาร 0-2872-9691 E-mail: terdsak@fibo.kmutt.ac.th , pongpan.kae@kmutt.ac.th , kusol.pro@kmutt.ac.th

Terdsak ARLAI, Pongpan KAEWTATIP, Kusol PROMMUL
Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi
91 Pracha-u-tit Rd. Bangmod Tungkru Bangkok 10140 Thailand

Tel: 0-2470-9339 Fax: 0-2872-9691 E-mail: terdsak@fibo.kmutt.ac.th , pongpan.kae@kmutt.ac.th , kusol.pro@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อสมรรถภาพของการตัดไม้ (Routing process) ในการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราโดยใช้ไบมีดตัดทำมาจากทังสเตนคาร์ไบด์ (Tungsten Carbide; WC , TC) ในปัจจุบันไบมีดตัดที่ใช้ในงานตัดไม้ทำมาจากวัสดุหลายประเภทเช่น เหล็กกล้ารอบสูง (High speed steel) ทังสเตนคาร์ไบด์ (Tungsten carbide) และเพชรแบบหลายผลึก (Polycrystal diamond) เป็นต้น ซึ่งอายุการใช้งานของไบมีดแต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไป โดยที่เป็นที่ทราบกันดีว่าไบมีดตัด TC (ชื่อเรียกในงานอุตสาหกรรม) เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายภายในประเทศไทย เนื่องจากว่าราคาไม่สูงมากนักในขณะที่อายุการใช้งานก็ยาวนานระดับหนึ่ง แต่อาจไม่สูงมากเมื่อเทียบกับไบมีดแบบเพชร ในปัจจุบันผู้ผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราในประเทศไทย ไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับการกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมในการตัดไม้ยางพาราโดยใช้ไบมีดตัดดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงอิทธิพลความเร็วในการตัด อัตราการป้อนตัด และทิศทางการป้อนตัดเทียบกับทิศทางเส้นไม้ที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน นั่นก็คือความเรียบผิวของไม้ที่ได้ การเกิดขุยไม้และรอยไหม้บนเนื้อไม้ และยังศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขในการตัดที่มีต่ออัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเลือกสภาวะการตัดที่เหมาะสมสำหรับไบมีด TC ผลจากการวิจัยพบว่าที่ความเร็วรอบ 16,000 rpm และอัตราการป้อนตัด 12 m/min จะทำให้ได้ชิ้นงานที่ปราศจากขุยและมีความเรียบผิวดีที่สุด อัตราการผลิตสูงถึง80% เมื่อเทียบกับอัตราการป้อนตัดที่ใช้กันทั่วไปคือ 1 m/min และปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการตัดเพียง 30% เมื่อเทียบกับความเร็วรอบที่ใช้กันทั่วไป (10,000 rpm)

คำสำคัญ: การตัดไม้ ไบมีดทังสเตนคาร์ไบด์ สภาวะการตัด คุณภาพผิวไม้

Abstract

This research is to study parameters that affect the efficiencies of the routing process for manufacturing rubber-wood furniture using a TC (Tungsten Carbide) cutting tool. Cutting tools, currently in use, may include: High Speed Steel (HSS), Tungsten Carbide, and PCD tools. However, more Thai manufacturers have been using the TC tools for years, they do not have enough decision-making information in order to determine optimum cutting conditions for producing quality parts. In this research, the optimum cutting conditions, affecting surface roughness, wood splinter, and burn, were investigated. They include: cutting speeds, feed rates, and cutting directions (relative to wood-grain orientations). In addition, power consumption rates for each condition were studied. The results show that the condition at a cutting speed of 16,000 rpm and at a feed rate of 12 m/min yields a part with the best surface finish having smallest surface roughness (Rq) and having no wood splinter. Moreover, productivity rate of this condition is 80% higher than at condition feed rate of 1 m/min. And electrical current use is 30% lower than that of conventional cutting speed of 10,000 rpm

Key word: Wood cutting, TC router, Cutting conditions, Surface integrity

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา เป็นอุตสาหกรรมที่ทำรายได้เข้าประเทศปีละกว่าสามหมื่นล้านบาท [1] แต่อุตสาหกรรมดังกล่าว โดยเฉพาะในส่วนของการขึ้นรูปไม้ยางพาราด้วยเครื่องจักรซีเอ็นซี ยังขาดข้อมูลที่จำเป็นในการกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมของกระบวนการตัดขึ้นรูป เนื่องจากในการตัดไม้จะต่างจากการตัดโลหะ เพราะไม้เป็นวัสดุที่มีสมบัติไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (nonhomogeneous material) ดังนั้นการกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมในการตัดไม้จึงทำได้ยากเพราะจะมีคุณสมบัติเกี่ยวกับทิศทางเข้ามาเกี่ยวข้อง ไม้ที่ใช้งานตัดไม้จะมาจากวัสดุหลายประเภท แต่ที่ใช้กันมากที่สุดคือไม้ดีทิงสเดนคาร์ปไต์เพราะมีราคาปานกลางและคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี เนื่องจากเฟอร์นิเจอร์ไม้ของไทยที่ส่งออกทั้งหมดกว่า 80% เป็นเฟอร์นิเจอร์ที่ทำมาจากไม้ยางพาราซึ่งเป็นไม้เนื้อแข็งปานกลาง และเกิดขุยขึ้นได้ง่ายโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อตัดตามทิศทางของเส้นใย ไม้เมื่อเกิดขุยขึ้นผู้ประกอบการในปัจจุบันแก้ปัญหา โดยการนำไม้มาผ่านกระบวนการขัดผิวอีกครั้งหนึ่งก่อนที่จะนำผ่านขั้นตอนการลงสีและประกอบต่อไป ขั้นตอนการขัดผิวที่เพิ่มมาทำให้ต้นทุนในการผลิตต่อชิ้นเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่ค่อนข้างมากเทียบกับต้นทุนทั้งหมด ก่อนหน้านี้คณะผู้วิจัยได้นำเสนองานวิจัยในการใช้ไม้ดีทิงสเดนคาร์ปไต์ (PCD) มาแล้วครั้งหนึ่ง[2] ซึ่งเห็นคุณภาพผิวชิ้นงานที่ได้จากการตัดด้วยไม้ดีทิงสเดนคาร์ปไต์ (PCD) จะมีคุณภาพผิวที่ดีมากก็ตาม แต่เนื่องจากไม้ดีทิงสเดนคาร์ปไต์ (PCD) มีราคาสูงมาก โดยสูงกว่าไม้ดีทิงสเดนคาร์ปไต์ (TC) ขนาดเท่ากันถึงประมาณ 10 เท่าหรือมากกว่า ทำให้ไม่เป็นที่นิยมใช้มากในประเทศ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้นในงานวิจัยชิ้นนี้จึงมุ่งเน้นที่จะหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการตัดไม้ยางพาราด้วยไม้ดีทิงสเดนคาร์ปไต์ (TC router) เพื่อให้ได้คุณภาพผิวชิ้นงานที่ดีที่สุดโดยไม่ต้องนำไปขัดผิว หรือขัดน้อยที่สุด และสิ้นเปลืองพลังงานในการตัดน้อยที่สุด ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือความเร็วในการตัด อัตราการป้อนตัด และทิศทางการตัดไม้เทียบกับแนวเส้นใย

2. ผิวของชิ้นงานที่ได้จากการตัด

คุณภาพของผิวจากการตัดโดยทั่วไปขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ประการคือ (1) คุณภาพของเนื้อไม้ (2) รูปทรงเรขาคณิตของไม้ดีทิงสเดนคาร์ปไต์ และ (3) เงื่อนไขในการตัด คุณภาพของเนื้อไม้เช่นความชื้นภายในเนื้อไม้ ตำแหน่งของตาไม้ แนวการเรียงตัวของเส้นใย และความเค้นภายในเนื้อไม้ (Growth stress) เป็นต้น เป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ แต่มีผลอย่างมากในกระบวนการตัดไม้ [4] ดังนั้นในการที่จะได้คุณภาพผิวหลังการตัดที่ดีที่สุดจำเป็นต้องกำหนดปัจจัยอื่นที่เหลือให้เหมาะสม ในกรณีที่ไม่นับถึงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบยืดหยุ่นของไม้ ความแตกต่างของเนื้อไม้ในแต่ละจุด และการสั่นไหวของไม้ดีทิงสเดนคาร์ปไต์บนเนื้อไม้จะสามารถทำนายลักษณะผิวหลังการตัดได้ตามรูปที่ 1

F_z (Chip Load หรือ Feed per Tooth) ในรูปที่ 1 หมายถึงระยะที่คมตัดหนึ่งคมตัดเฉือนเนื้อไม้ออกไปเมื่อคมตัดของมีดหมุนไปหนึ่งรอบ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร/คมตัด เมื่อ F_z มีค่าน้อยจะแสดงถึงผิวคุณภาพงานตัดที่สูงขึ้น ซึ่งเกิดเมื่ออัตราการป้อนตัดที่ช้าแต่ความเร็วตัดมีค่าสูง

แต่จะมีข้อเสียเกิดขึ้นคืออายุคมตัดอาจสั้นลง ค่า F_z สามารถคำนวณได้จากสมการ (1)

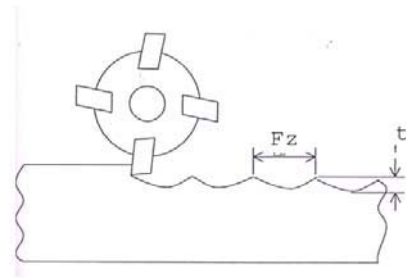
$$F_z = F / (N \times Z) \quad (1)$$

โดยที่ F = อัตราการป้อนตัด (Feed rate); mm/min
 N = ความเร็วรอบของไม้ดีทิงสเดนคาร์ปไต์; rpm
 Z = จำนวนคมตัดของมีด

รอยลึกของคมตัด (Cutter mark; t) คือความสูงของรอยคมตัดที่ผิวชิ้นงานซึ่งมีความสัมพันธ์กับ F_z และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมีด โดยรอยลึกของคมตัดเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมีด ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยความสัมพันธ์ในสมการ (2)

$$t = (F_z)^2 / 4D \quad (2)$$

โดยที่ F_z = Chip load (mm/tooth)
 D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)



รูปที่ 1 แสดงลักษณะของผิวหลังการตัด (Routed surface)

3. ขั้นตอนและอุปกรณ์การทดลอง

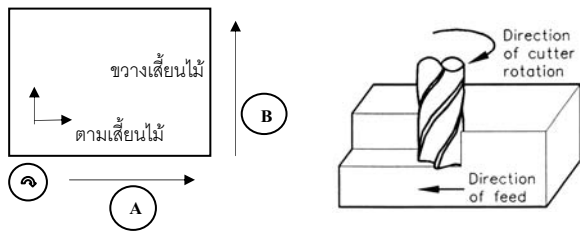
ในงานวิจัยนี้ใช้ไม้ดีทิงสเดนคาร์ปไต์ (TC router) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 mm วัสดุที่ใช้คือไม้ยางพาราแผ่นสี่เหลี่ยมขนาด 450 x 750 mm ความหนาเท่ากับ 20 mm เครื่องจักรซีเอ็นซีที่ใช้คือ CNC-boring and routing machine ซึ่งมีความเร็วรอบสูงสุดเท่ากับ 24,000 rpm และอัตราการป้อนตัดสูงสุดเท่ากับ 24 m/min ตัวแปรที่เลือกมาศึกษาคือความเร็วรอบในการตัดที่ 8,000 10,000 12,000 14,000 16,000 และ 18,000 rpm และอัตราการป้อนตัดที่ 1 2 3 6 9 12 และ 15 m/min ระยะกินลึกในการตัด (Depth of cut) จะกำหนดให้คงที่เท่ากับ 3 mm เพื่อศึกษาอิทธิพลของทิศทางการตัดเทียบกับทิศทางของเส้นใยไม้จะแบ่งลักษณะการตัดออกเป็น 4 แบบ ดังนี้

- A: ตัดตามเส้นใยไม้และสวนทิศทางการป้อนตัด (Along grain, against feed: upcut)
- B: ตัดตามเส้นใยไม้ และตามทิศทางการป้อนตัด (Along grain, with feed: downcut)
- C: ตัดขวางเส้นใยไม้ และสวนทิศทางการป้อนตัด (Across grain, against feed: upcut)

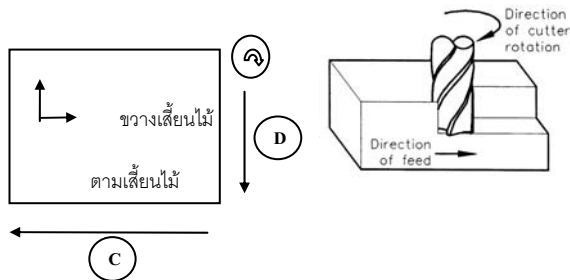
D: ตัดขวางเส้นไม้ และตามทิศทางการป้อนตัด (Across grain, with feed: downcut)

(การตัดแบบ Upcut สำหรับงานไม้ในบางครั้งอาจถูกเรียกเป็น Against feed ในขณะที่การตัดแบบ Downcut ในบางครั้งอาจถูกเรียกเป็น With feed) ลักษณะการตัดไม้ทั้งสี่แบบแสดงให้เห็นในรูปที่ 2 (ก) และ (ข)

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการประเมินผลได้แก่คุณภาพผิว (Surface Integrity) ซึ่งประกอบไปด้วยความเรียบผิว ขุยบนเนื้อไม้ และรอยไหม้ และจะทำการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน (Power consumption) ของแต่ละเงื่อนไขในการตัด โดยจะทำการวัดจากปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ขณะทำการตัด



(ก) แสดงทิศทางการตัดแบบ Upcut



(ข) แสดงทิศทางการตัดแบบ Downcut

รูปที่ 2. แสดงทิศทางการตัดแบบ A B C และ D [2]

4. ผลการทดลองและวิเคราะห์

4.1 คุณภาพผิวของชิ้นงานหลังการตัด

4.1.1 การเกิดขุยและการฉีกขาดของเนื้อไม้

จากการสังเกตการเกิดขุยบนผิวไม้ที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1 จากการทดลองจะเห็นได้ว่าที่ความเร็วรอบต่ำจะมีโอกาสเกิดขุยบนเนื้อไม้มากกว่าที่ความเร็วรอบสูง การตัดในทิศทางตามแนวเส้นจะทำให้เกิดขุยได้ง่ายกว่าการตัดขวางกับแนวเส้นไม้ และการตัดแบบ Downcut จะทำให้เกิดขุยได้ง่ายกว่าการตัดแบบ Upcut โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อัตราการป้อนตัดสูงๆ หรือที่ 9 12 และ 15 m/min ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่ออัตราการป้อนตัดมีค่าสูงไปมีติดตจะไม่สามารรถตัดเนื้อเส้นไม้ได้ทันกับอัตราการป้อนตัดทำให้มีขุยไม้เกิดขึ้น

4.1.2 รอยไหม้บนผิวไม้

มีรอยไหม้เกิดขึ้นที่ความเร็วรอบ 18,000 รอบต่อนาที ที่อัตราการป้อนตัด 1 เมตรต่อนาที เนื่องจากสาเหตุที่สภาวะดังกล่าวมีการเสียดสีระหว่างใบมีดกับเนื้อไม้เป็นเวลานาน

4.1.3 ความเรียบผิวของชิ้นงาน

ความเรียบผิวหลังการตัดของชิ้นงานที่ได้จากการตัดแบบ A B C และ D แสดงให้เห็นในรูปที่ 3 4 5 และ 6 จากการวัดความเรียบผิวของชิ้นงานพบว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการกระจายตัวของข้อมูลค่อนข้างมาก อย่างไรก็ตามจากข้อมูลดังกล่าวสามารถวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ผลการสังเกตขุยที่เกิดขึ้นบนรอยตัด

Cutting direction	Speed (rpm)	feed (m/min)															
		1				2				3				6			
		Upcut		Downcut		Upcut		Downcut		Upcut		Downcut		Upcut		Downcut	
		ขุย	ฉีก	ขุย	ฉีก	ขุย	ฉีก	ขุย	ฉีก	ขุย	ฉีก	ขุย	ฉีก	ขุย	ฉีก	ขุย	ฉีก
Along grain	8000	☹	✗	○	✓	☹	✓	○	✓	☹	✓	○	✓	☹	✗	○	✗
	10000	✱	✓	○	✓	✱	✓	○	✓	○	✓	○	✓	✱	✓	○	✓
	12000	✱	✓	○	✓	✱	✓	○	✓	✱	✓	○	✓	✱	✗	○	✓
	14000	✱	✓	○	✓	✱	✓	○	✓	✱	✓	○	✓	✱	✗	○	✓
	16000	○	✓	○	✓	✱	✓	○	✓	✱	✓	○	✓	✱	✗	○	✓
	18000	○	✓	○	✓	○	✗	○	✓	○	✓	✱	✓	✱	✓	○	✓
Across grain	8000	✱	✓	○	✓	○	✓	○	✓	✱	✓	○	✓	✱	✓	✱	✗
	10000	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓
	12000	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓
	14000	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓
	16000	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓
	18000	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓

Cutting direction	Speed (rpm)	feed (m/min)											
		9				12				15			
		Upcut		Downcut		Upcut		Downcut		Upcut		Downcut	
		ขุย	ฉีก	ขุย	ฉีก	ขุย	ฉีก	ขุย	ฉีก	ขุย	ฉีก	ขุย	ฉีก
Along grain	8000	✱	✗	○	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✗	✱	✗
	10000	✱	✓	○	✓	✱	✓	○	✓	✱	✓	○	✓
	12000	✱	✓	○	✓	✱	✗	○	✓	✱	✗	○	✓
	14000	✱	✓	○	✗	✱	✗	○	✓	✱	✗	○	✓
	16000	✱	✓	○	✓	✱	✗	○	✓	✱	✗	○	✓
	18000	○	✗	✱	✓	○	✗	✱	✓	○	✗	✱	✓
Across grain	8000	✱	✓	✱	✗	✱	✓	✱	✗	✱	✓	✱	✗
	10000	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✗	✱	✓	✱	✗
	12000	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✗	✱	✓	✱	✗
	14000	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✗	✱	✓	✱	✗
	16000	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✗
	18000	✱	✓	✱	✓	✱	✗	✱	✗	✱	✓	✱	✓

✱ = ไม่มีขุยเกิดขึ้นเลย

○ = มีขุยเกิดขึ้นเล็กน้อย

○ = มีขุยเกิดขึ้นปานกลาง

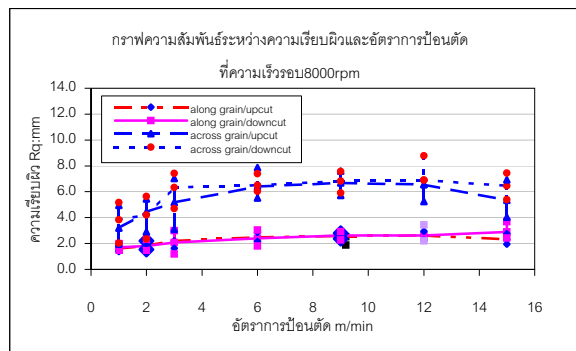
△ = มีขุยเกิดขึ้นมาก

✓ = ไม่มีการฉีก

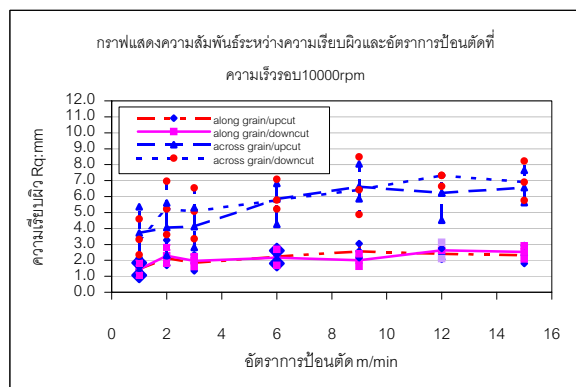
✗ = มีรอยฉีกตามแนวยาว

⊗ = มีการหลุดของเนื้อไม้

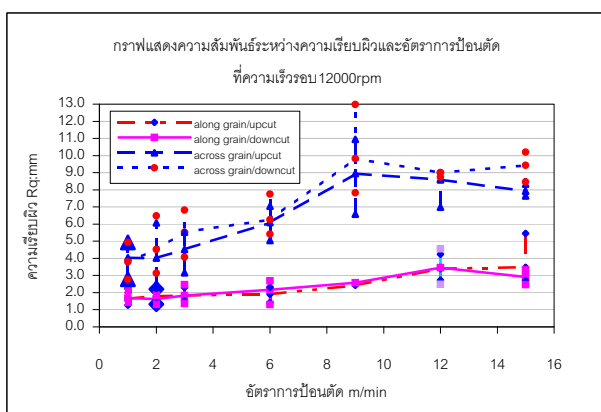
ที่อัตราการป้อนตัดที่ 1 เมตรต่อนาที และความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที ให้ความเรียบผิวที่ดีที่สุดของการตัดแบบตามเส้นไม้ และในการตัดตามเส้นไม้ที่อัตราการป้อนตัดที่ 2 เมตรต่อนาที และ



รูปที่ 3. กราฟแสดงความความเรียบผิวของชิ้นงานที่ความเร็วรอบ 8,000รอบต่อนาที



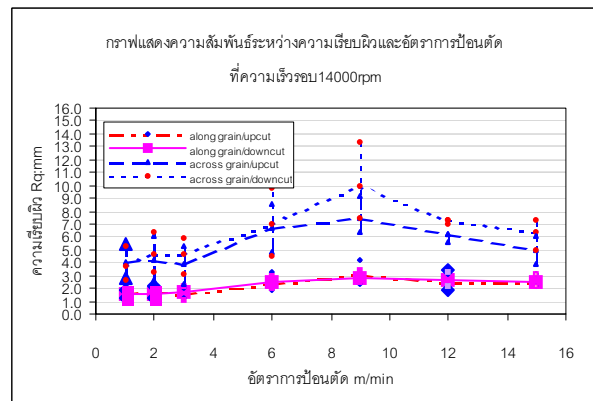
รูปที่ 4. กราฟแสดงความความเรียบผิวของชิ้นงานที่ความเร็วรอบ 10,000รอบต่อนาที



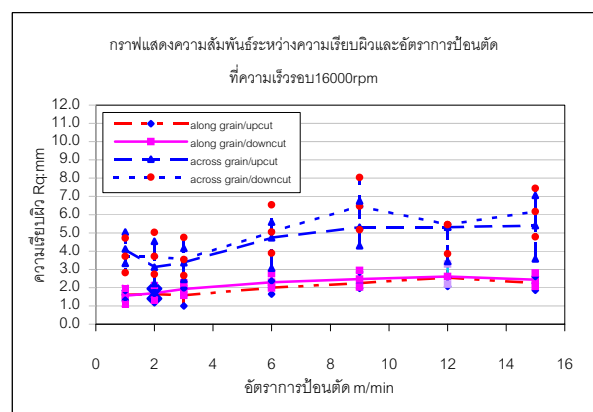
รูปที่ 5. กราฟแสดงความความเรียบผิวของชิ้นงานที่ความเร็วรอบ 12,000รอบต่อนาที

ความเร็วรอบ 16,000 รอบต่อนาที ให้ความเรียบผิวที่ดีที่สุด เนื่องจากสภาวะการตัดของของใบมีดอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ส่วน

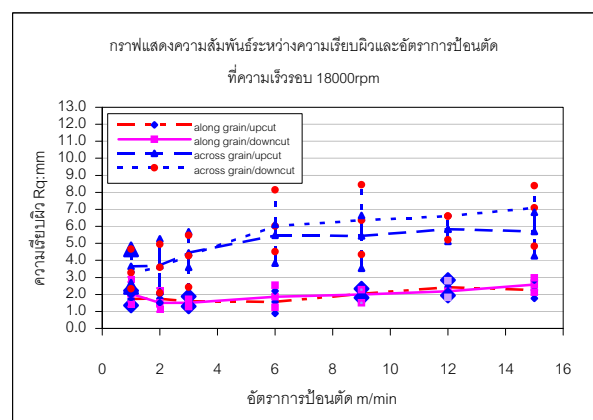
ความเร็วอื่นๆที่ทำให้ค่าความเรียบผิวออกมาไม่ด้นั้น เนื่องจากเมื่อความเร็วรอบของใบมีดที่สูงขึ้น การคายเศษไม้เมื่อเทียบกับเมื่อเทียบกับความเร็วรอบไม่สัมพันธ์กันทำให้เศษไม้ที่ควรหลุดออกมาจากชิ้น



รูปที่ 6. กราฟแสดงความความเรียบผิวของชิ้นงานที่ความเร็วรอบ 14,000รอบต่อนาที



รูปที่ 7. กราฟแสดงความความเรียบผิวของชิ้นงานที่ความเร็วรอบ 16,000รอบต่อนาที



รูปที่ 8. กราฟแสดงความความเรียบผิวของชิ้นงานที่ความเร็วรอบ 18,000รอบต่อนาที

งานหลุดออกไม่ทัน ทำให้คมตัดถัดไปที่หมุนมาทำการตัดไม้กดทับเศษไม้ดังกล่าว ทำให้เศษไม้บางส่วนฝังลงในเนื้อไม้ ส่งผลให้เนื้อไม้หลังการตัดมีรอยขึ้น ในทำนองเดียวกันที่อัตราการป้อนตัดสูงๆก็จะมีผลในลักษณะใกล้เคียงกัน

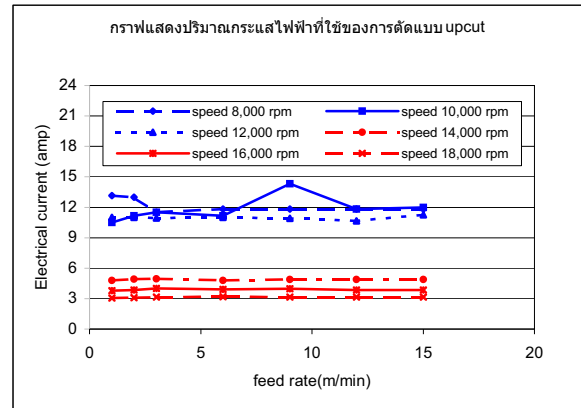
จากการวัดค่าความเรียบผิวของไม้ที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรม ไม้ยางพาราที่ผ่านขั้นตอนการขัดผิวครั้งสุดท้ายก่อนทำการพื้นสีพบว่า ค่าความเรียบผิว (R_a) ที่วัดได้มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ $2.88 \mu\text{m}$ ซึ่งจากการทดลองพบว่าที่ทุกความเร็วรอบและทุกอัตราการป้อนตัดของการตัดตามเส้นไม้ยกเว้นที่อัตราการป้อนตัด 12 และ 15 เมตรต่อนาที ของความเร็วรอบ 12,000 รอบต่อนาที ค่าความเรียบผิวที่ได้มีค่าน้อยกว่าค่าความเรียบผิวของไม้ที่วัดได้จากโรงงาน ซึ่งบ่งชี้ถึงว่าถ้าทำการตัดไม้ด้วยเครื่องซีเอ็นซีที่ความเร็วรอบและอัตราการป้อนตัดนี้ทำให้ไม่ต้องทำการขัดผิวด้วยกระดาษทรายซ้ำหลังผ่านการตัดไม้ ลักษณะการตัดแบบ Downcut และการตัดแบบ Upcut ค่าความเรียบผิวที่ได้มีแนวโน้มไปทางเดียวกันและค่อนข้างใกล้เคียงกัน ซึ่งค่าความเรียบผิวที่ได้จากการตัดทั้งสองแบบนี้เป็นไปตามทฤษฎี(ความเรียบผิวแปรผกผันกับอัตราการป้อนตัดคือเมื่ออัตราการป้อนตัดต่ำความเรียบผิวจะดี) ทิศทางการตัดของใบมีดแบบตามเส้นไม้ให้ความเรียบผิวที่ดีกว่าการตัดแบบขวางเส้น เนื่องจากการตัดแบบขวางเส้นนั้นมีการหลบของเส้นไม้เกิดขึ้นในระหว่างการตัด ทำให้เมื่อใบมีดเคลื่อนตัวผ่านไปเส้นไม้ที่หลบเข้าไปฝังในเนื้อไม้จะติดตัวออกมา ทั้งนี้การตัดของใบมีดต่อเส้นไม้ก็ยังขึ้นอยู่กับอายุของไม้ด้วยเช่น ถ้าไม้ที่มีอายุน้อย การตัดเส้นไม้จะทำได้ยากทำให้เนื้อไม้ที่ได้มีความหยาบ ในทางกลับกันถ้าเนื้อไม้ที่นำมาทำการผลิตมีอายุที่เหมาะสมการตัดขาดของเส้นไม้จะทำได้ง่ายกว่า

4.2 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน

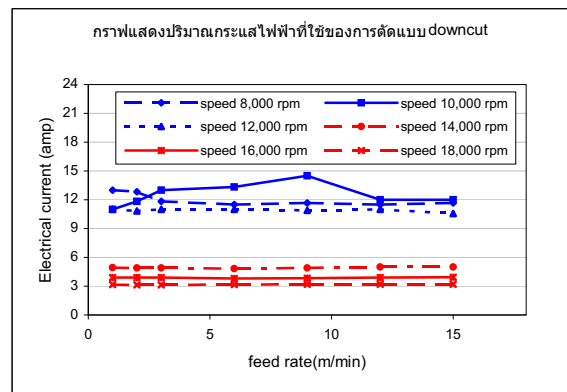
อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานสามารถวัดได้จากปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เครื่องจักรกลซีเอ็นซีใช้ในขณะที่ทำการตัดไม้โดยใช้ Clamp-on meter ผลของการวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เครื่องซีเอ็นซีใช้เทียบกับอัตราการป้อนตัด สำหรับการตัดแบบ Upcut และ Downcut แสดงให้เห็นดังในกราฟอัตราการกำจัดเศษสามารถคำนวณได้ตามความสัมพันธ์ Material removal rate = Feed rate x Depth of cut x Working depth ซึ่งจะเห็นได้ว่าอัตราการกำจัดเศษวัสดุแปรผันตรงกับอัตราการป้อนตัด แต่ไม่ขึ้นกับความเร็วรอบในการตัดไม้ อัตราการกำจัดเศษจะบ่งบอกถึงความสามารถหรือความเร็วในการผลิตชิ้นงาน จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้น้อยที่สุดเมื่อความเร็วรอบของใบมีดตัดเท่ากับ 18,000 รอบต่อนาที ซึ่งผลดังกล่าวจะเห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้นเมื่ออัตราการป้อนตัดน้อยๆ สาเหตุเนื่องมาจากมอเตอร์ของเครื่องซีเอ็นซีที่ใช้มีค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่ความเร็วรอบดังกล่าว และจะพบว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้เมื่อทำการการตัดแบบ Upcut และ Downcut จะไม่แตกต่างกันมากนัก นอกจากนั้นจะเห็นได้ว่าที่อัตราการป้อนตัดสูงๆ ภาระโหลดในการตัดไม้จะเริ่มสูงขึ้นส่งผลให้อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานสูงตามไปด้วย

5. สรุป

ในการตัดไม้ยางพาราโดยใช้ใบมีดตัด TC พบว่าความเร็วรอบ 16,000 rpm และอัตราการป้อนตัด 12 m/min จะทำให้ได้ชิ้นงานที่ปราศจากขุยและมีความเรียบผิวดีที่สุด อัตราการผลิตสูงถึง 80% เมื่อเทียบกับอัตราการป้อนตัดที่ใช้กันทั่วไปคือ 1 m/min และปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการตัดเพียง 30% เมื่อเทียบกับความเร็วรอบที่ใช้กันทั่วไป (10,000 rpm) ดังนั้นการที่จะเลือกเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสมต้องพิจารณาข้อมูลเกี่ยวกับต้นทุนในการขัดผิว และต้นทุนค่าพลังงานเพิ่มเติมต่อไป



รูปที่ 9 กราฟแสดงปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้เมื่อทำการตัดแบบ Upcut



รูปที่ 10. กราฟแสดงปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้เมื่อทำการตัดแบบ Downcut

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.) ศูนย์โลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) และบริษัทเอสดีฟีนเตอร์เทรดจำกัด คณะผู้จัดทำใคร่ขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ผ่องเพ็ญ สัมมาพันธ์, เอกสารประกอบการสัมมนาทางพาราแห่ง
ประเทศไทย ครั้งที่ 4,
http://www.thailandrubber.thaigov.net/songkhla1/news_event/001.doc/, March 15, 2002
- [2] กุศล พร้อมมูล พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์ สุรพันธ์ สุวรรณภูมิ และ
เทิดศักดิ์ อาลัย, “การหาเงื่อนไขการตัดไม้ที่เหมาะสมของใบมีด
PCD”,การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย
ครั้งที่16, ปี พ.ศ. 2545, หน้า526-530
- [3] Lin, Su-Chen Jonathan, “Computer Numerical Control: From
Programming to Networking,” Delmar Publishers, USA, 1994,
p. 269.
- [4] Aquilera, A., Meausoone, P. J., and Martin, P., “Wood
Material Influence in Routing Operations: the PDF Case,”
Holz als Roh-und Werkstoff, Vol 58, 2000, pp. 278-283.

อิทธิพลของตัวแปรต่างๆในการตัดไม้ยางพาราโดยใช้ใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์แบบคมตัดรูปร่าง

กุศล พร้อมมูล พงศ์พันธ์ แก้วตาพิทย และ เทิดศักดิ์ อาลัย

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

91 ถ.ประชาธิปไตย แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

โทร 0-2470-9339 โทรสาร 0-2872-9691 E-mail: kusol.pro@kmutt.ac.th

คำหลัก: การผลิตเฟอร์นิเจอร์ด้วยเครื่องซีเอ็นซี ใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์แบบคมตัดรูปร่าง ระบบโครงข่ายประสาทเทียม

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของความเร็วกัด อัตราการป้อนกัด และทิศทางการป้อนกัดเทียบกับทิศทางการเคลื่อนไม้ที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานในเชิงของความเรียบผิว การเกิดขุยและการฉีกขาด และรอยไหม้บนเนื้อไม้ ของกรรมวิธีการกัด ไม้ยางพาราซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเฟอร์นิเจอร์ด้วยเครื่องซีเอ็นซี และยังศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรดังกล่าวที่มีผลต่อการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า โดยการวัดกระแสไฟฟ้าที่เครื่องซีเอ็นซีใช้ในการกัดแต่ละสภาวะการทำงาน ในงานวิจัยใช้ใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์แบบคมตัดรูปร่าง (Profile cutting tools) กัดขอบชิ้นงานให้มีรูปร่างเป็นส่วนโค้งที่มีรัศมีเท่ากับ 20 มม. ผลการวิจัยพบว่าความเรียบผิว (R_q) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราการป้อนกัดที่เพิ่มขึ้น การเกิดขุยไม่มากนักเมื่อกัดตามเส้นไม้และตามทิศทางการป้อนกัด (Down Cutting) การฉีกขาดของเนื้อไม้เกิดขึ้นมากเมื่อกัดตามเส้นไม้และสวนทิศทางการป้อนกัด (Up Cutting) ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ลดลงเมื่อความเร็วรอบในการกัดเพิ่มสูงขึ้น แต่เปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่ออัตราการป้อนกัดเปลี่ยนไป นอกจากนี้จากการนำผลการทดลองที่ได้ไปสร้างระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) เพื่อมาประยุกต์ใช้ในการทำนายผลของคุณภาพผิวที่ได้จากการกัด เมื่อเปรียบเทียบผลการทำนายกับผลที่ได้จากการทดลอง พบว่าผลการทำนายโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมมีความผิดพลาดอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

1. บทนำ

อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราเป็นอุตสาหกรรมที่ทำรายได้เข้าประเทศปีละกว่าสี่หมื่นล้านบาท [1] ส่วนของการขึ้นรูปไม้ยางพาราด้วยเครื่องจักรกลซีเอ็นซีซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา ยังขาดข้อมูลที่สำคัญในการกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมในกระบวนการตัด เนื่องจากในการตัดไม้จะต่างจากการตัดโลหะ เพราะไม้เป็นวัสดุที่มีสมบัติไม่เป็นเนื้อเดียวกันทำให้ทิศทางการตัดมีผลต่อคุณภาพการตัด ส่งผลให้การกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมในการตัดไม้ทำได้ยาก ใบมีดที่ใช้ในงานตัดไม้ยางพาราด้วยเครื่องจักรกลซีเอ็นซีจะทำมาจากวัสดุหลายประเภท เช่น มีดตัดที่ทำมาจากเพชรหลายผลึก (Polycrystal Diamond; PCD) [2] แต่ที่ใช้กันมากที่สุดคือใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์ (Tungsten Carbide; TC) เพราะมีราคาปานกลางและคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี ถึงแม้ว่าคุณภาพผิวชิ้นงานที่ได้จากการตัดด้วยใบมีด PCD จะมีคุณภาพผิวที่ดีมากก็ตาม แต่เนื่องจากใบมีด PCD มีราคาสูงมากโดยสูงกว่าใบมีด TC ขนาดเท่ากันถึงประมาณ 10 เท่าหรือมากกว่า ทำให้ไม่เป็นที่นิยมใช้มากในประเทศ เนื่องจากเฟอร์นิเจอร์ไม้ของไทยที่ส่งออกทั้งหมดกว่า 80% เป็นเฟอร์นิเจอร์ที่ทำมาจากไม้ยางพาราซึ่งเป็นไม้เนื้อแข็งปานกลาง และเกิดขุยขึ้นได้ง่าย เมื่อเกิดขุยขึ้น

ผู้ประกอบการในปัจจุบันแก้ปัญหาโดยการนำไม้มาผ่านกระบวนการขัดผิวอีกครั้งหนึ่งก่อนที่จะนำผ่านขั้นตอนการลงสีและประกอบต่อไป ขั้นตอนการขัดผิวที่เพิ่มมาทำให้ต้นทุนในการผลิตต่อชิ้นเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่ค่อนข้างมากเทียบกับต้นทุนทั้งหมด เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้นในงานวิจัยชิ้นนี้จึงมุ่งเน้นที่จะหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการตัดไม้ยางพาราด้วยใบมีด TC แบบคมตัดรูปร่าง เพื่อให้ได้คุณภาพผิวชิ้นงานดีที่สุดโดยไม่ต้องนำไปขัดผิว หรือขัดน้อยที่สุด และสิ้นเปลืองพลังงานในการตัดน้อยที่สุด ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือความเร็วในการตัด อัตราการป้อนตัด และทิศทางการตัดไม้เทียบกับแนวเสี้ยนไม้

2. ผิวของชิ้นงานที่ได้จากการตัด

คุณภาพของเนื้อไม้เช่นความชื้นภายในเนื้อไม้ ตำแหน่งของตาไม้ แนวการเรียงตัวของเสี้ยนไม้ และความเค้นภายในเนื้อไม้ (Growth stress) เป็นต้น เป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ แต่มีผลอย่างมากในกระบวนการตัดไม้ [3] ดังนั้นในการที่จะได้คุณภาพผิวหลังการตัดที่ดีที่สุดจำเป็นต้องกำหนดปัจจัยอื่นซึ่งประกอบด้วย รูปทรงเรขาคณิตของใบมีด และ เงื่อนไขในการตัด ให้เหมาะสม ในกรณีที่ไม้ค้ำเนื่องถึงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบยืดหยุ่นของไม้ ความแตกต่างของเนื้อไม้ในแต่ละจุด และการสั่นไถลของใบมีดบนเนื้อไม้จะไม่สามารถทำนายลักษณะผิวหลังการตัดได้ตามรูปที่ 1

อัตราป้อนต่อฟัน (Chip Load; F_z หรือ Feed per Tooth) หมายถึงระยะที่คมตัดหนึ่งคมตัดเฉือนเนื้อไม้ออกไปเมื่อคมตัดของมีดหมุนไปหนึ่งรอบ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร/คมตัด สามารถคำนวณได้จากสมการ (1) เมื่อ F_z มีค่าน้อยจะแสดงถึงผิวคุณภาพงานตัดที่สูงขึ้น ซึ่งเกิดเมื่ออัตราการป้อนตัดที่ช้าแต่ความเร็วตัดมีค่าสูงแต่จะมีข้อเสียเกิดขึ้นคืออายุคมตัดอาจสั้นลง

$$F_z = F/(N \times Z) \quad (1)$$

โดยที่ F = อัตราการป้อนตัด (Feed rate); mm/min

N = ความเร็วรอบของใบมีด; rpm

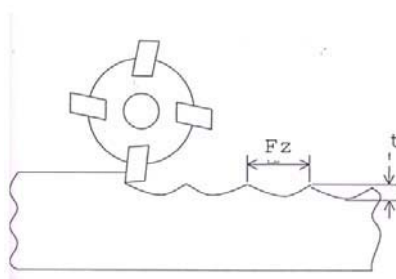
Z = จำนวนคมตัดของมีด; ฟัน

รอยลึกของคมตัด (Cutter mark; t) คือความสูงของรอยคมตัดที่ผิวชิ้นงานซึ่งมีความสัมพันธ์กับ F_z และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมีด โดยรอยลึกของคมตัดเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมีด ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยความสัมพันธ์ในสมการ (2)

$$t = (F_z)^2 / 4D \quad (2)$$

โดยที่ F_z = Chip load (mm/tooth)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)

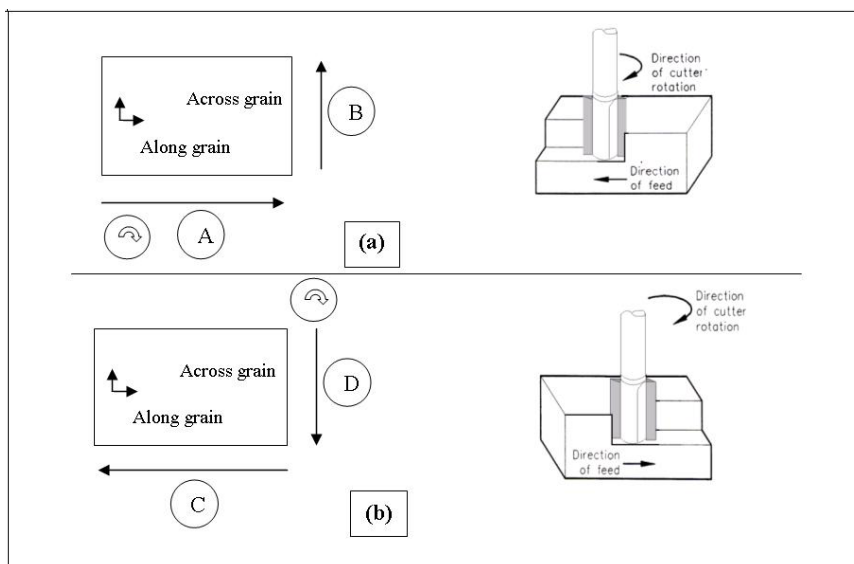


รูปที่ 1 ลักษณะของผิวหลังการตัด

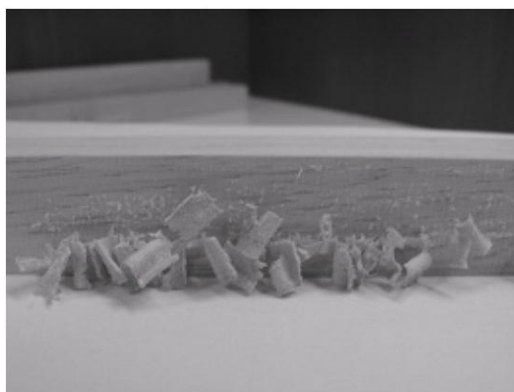
3. ขั้นตอนและอุปกรณ์การทดลอง

มีดตัดแบบคมตัดรูปร่างที่ใช้ในงานวิจัยนี้ทำมาจากทั้งสแตนเลสคาร์ไบด์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตร โดยมีใบมีดมีรูปร่างเป็นส่วนโค้ง 1/4 ของวงกลม วัสดุที่ใช้คือ ไม้ยางพาราแผ่นสี่เหลี่ยมขนาด 450 x 750 mm ความหนาเท่ากับ 20 mm เครื่องจักรซีเอ็นซีที่ใช้คือ CNC-boring and routing machine ซึ่งมีความเร็วรอบสูงสุดเท่ากับ 24,000 rpm และอัตราการป้อนตัดสูงสุดเท่ากับ 24 m/min ตัวแปรที่เลือกมาศึกษาคือความเร็วรอบในการตัดที่ 8,000 10,000 12,000 14,000 16,000 และ 18,000 rpm และอัตราการป้อนตัดที่ 1 2 3 6 9 12 และ 15 m/min ระยะกินลึกในการตัด (Depth of cut) จะกำหนดให้คงที่เท่ากับ 3 mm ทิศทางการตัดเทียบกับทิศทางของเส้นไม้จะแบ่งลักษณะการตัดออกเป็น 4 แบบ ดังนี้ (แสดงในรูปที่ 2)

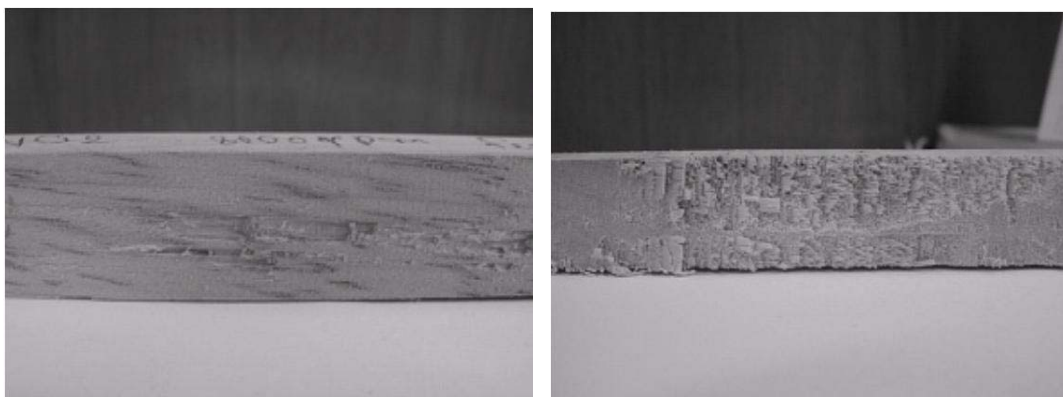
- A: ตัดตามเส้นไม้และสวนทิศทางการป้อนตัด (Along grain, against feed: upcut)
- B: ตัดขวางเส้นไม้ และสวนทิศทางการป้อนตัด (Across grain, against feed: upcut)
- C: ตัดตามเส้นไม้ และตามทิศทางการป้อนตัด (Along grain, with feed: downcut)
- D: ตัดขวางเส้นไม้ และตามทิศทางการป้อนตัด (Across grain, with feed: downcut)



รูปที่ 2 ทิศทางของการกัดไม้



รูปที่ 3 ขุยที่เกิดขึ้น



ก. การฉีกของเนื้อไม้

ข. การหลุดของเนื้อไม้

รูปที่ 4 ความเสียหายบนผิวชิ้นงาน

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการประเมินผลได้แก่คุณภาพผิวซึ่งประกอบด้วย ความเรียบผิว ขุยบนเนื้อไม้ (แสดงในรูปที่ 3) การฉีกขาดของไม้และการหลุดของเนื้อไม้ (แสดงในรูปที่ 4) และรอยไหม้ และจะทำการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน (Power consumption) ของแต่ละเงื่อนไขการตัด โดยจะทำการวัดจากปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ขณะทำการตัด

4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

ผลการทดลองสามารถแบ่งตามหัวข้อหลักๆ ได้ดังต่อไปนี้

4.1 คุณภาพผิวของชิ้นงานหลังการตัด

4.1.1 การเกิดขุยและการฉีกขาดของเนื้อไม้

จากการสังเกตการเกิดขุยบนผิวไม้ที่เงื่อนไขการกัดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าการกัดแบบตามเส้นไม้ ก่อให้เกิดขุยมากกว่าการกัดแบบขวางเส้นไม้ เนื่องจากการกัดในลักษณะตามเส้นไม้นั้นเป็นลักษณะของการกัดของเนื้อไม้ขึ้นก่อนที่จะมีการตัดเนื้อไม้ แต่การกัดแบบขวางเส้นไม้จะไม่เกิดขุยขึ้นในทุกกรณี ในส่วนของการกัดแบบตามทิศทางการป้อนกัด (Downcut) ก่อให้เกิดขุยที่มากกว่าการกัดแบบสวนทิศทางการป้อนกัด (Upcut) และที่อัตราการป้อนกัดที่มากก่อให้เกิดขุยที่มาก

การฉีกขาดของไม้จะเกิดจากการกัดตามเส้นไม้กรณีการกัดสวนทิศทางการป้อนกัด เนื่องจากการกัดแบบสวนทิศทางการป้อนเป็นลักษณะการกัดขึ้นของเนื้อไม้ ซึ่งก่อให้เกิดการฉีกขาดของเนื้อไม้เกิดขึ้นที่อัตราการป้อนกัดที่สูงจะมีโอกาสในการฉีกของเนื้อไม้ที่สูง เนื่องจากการกัดของเนื้อไม้ที่รุนแรงมากกว่าที่อัตราการป้อนกัดต่ำ และการหลุดของเนื้อไม้จะเกิดจากการกัดขวางเส้นไม้กรณีการกัดตามทิศทางการป้อนกัด เนื่องจากการกัดแบบตามทิศทางการป้อนกัดมีการสั่นที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การกัดแบบสวนทิศทางการป้อนกัด [4] และที่อัตราการป้อนกัดที่สูงทำให้มีการสั่นที่มากทำให้มีการหลุดของเนื้อไม้มากขึ้น

4.1.2 รอยไหม้บนผิวไม้

ใบมีดคมตัดรูปร่างทำให้เกิดรอยไหม้ขึ้นที่ขอบด้านบนของผิวหน้าชิ้นงาน เนื่องจากความเร็วของคมตัดด้านบนที่มากกว่าความเร็วตัดด้านล่าง ทำให้ใบมีดมีการเสียดสีกับไม้เป็นเวลานานทำให้เกิดรอยไหม้เกิดขึ้น

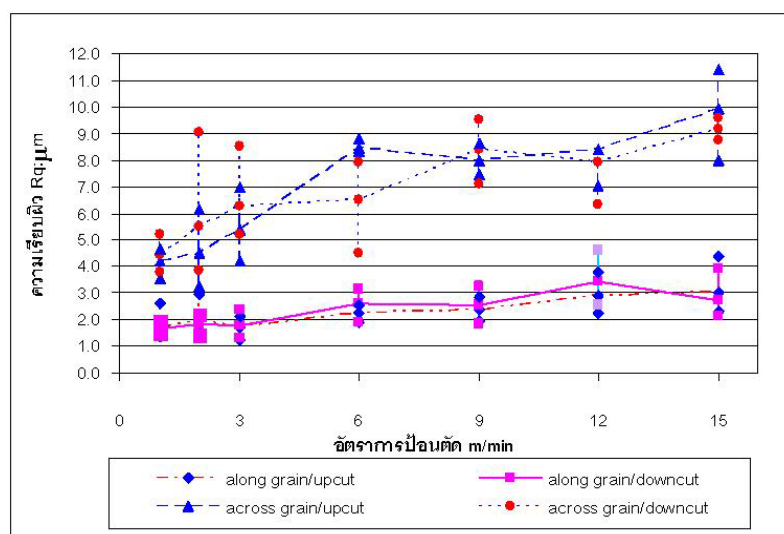
4.1.3 ความเรียบผิวของชิ้นงาน

จากรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่ากรณีการกัดแบบสวนทิศทาง การป้อนและตามทิศทาง การป้อนของการกัดตามเส้นไม่มีแนวโน้มของความเรียบผิวที่ใกล้เคียงกันมากคือ เมื่ออัตราการป้อนกัดสูงผิวที่ได้แย่ลงซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่กล่าวมาก่อนหน้านี้แล้ว และเมื่อเปรียบเทียบความเรียบผิวระหว่างการกัดตามเส้นไม่กับขวางเส้นไม่พบว่า การกัดตามเส้นไม่ให้ค่าความเรียบผิวทุกสภาวะการกัดดีกว่าการกัดขวางเส้นไม่ เนื่องจากการกัดแบบขวางเส้นไม่นั้นมีการหลบของเส้นไม่เกิดขึ้นในระหว่างการกัด ทำให้เมื่อใบมีดเคลื่อนตัวผ่านไปเส้นไม่ที่หลบอยู่จะดีดตัวออกมา ส่วนการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบจะมีผลกระทบต่อความเรียบผิวของชิ้นงานน้อยมากดังแสดงในรูปที่ 6

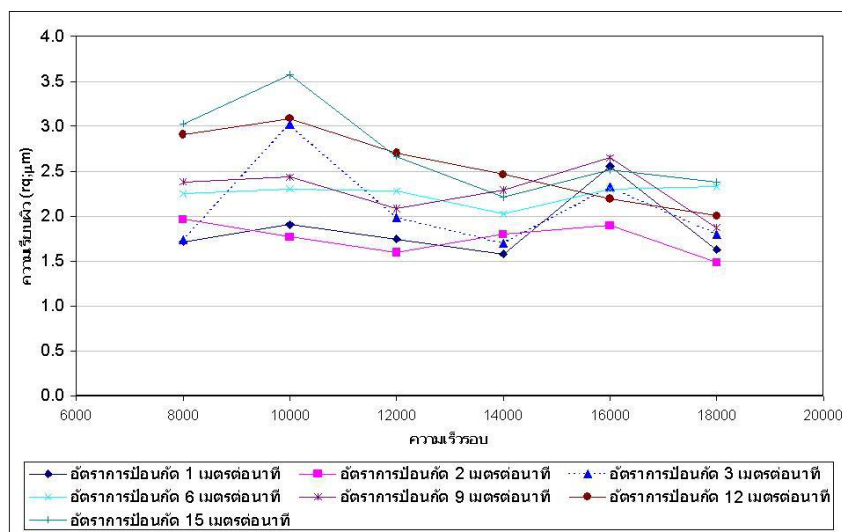
Cutting direction	Speed (rpm)	feed (mm/min)																			
		1		2		3		6		9		12		15							
		Upcut	Downcut	Upcut	Downcut	Upcut	Downcut	Upcut	Downcut	Upcut	Downcut	Upcut	Downcut	Upcut	Downcut	Upcut	Downcut	Upcut	Downcut	Upcut	Downcut
Along grain	8000	✱	✓	○	✓	✱	✕	○	✓	✱	✕	①	✓	✱	✓	①	✓	✱	✕	✱	✓
	10000	✱	✓	✱	✓	✱	✕	①	✓	✱	✕	①	✓	✱	✕	○	✓	✱	✕	①	✓
	12000	✱	✓	✱	✓	✱	✓	①	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	①	✓	✱	✕	✱	✓
	14000	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✕	✱	✓	✱	✓	✱	✓	①	✓	✱	✕	○	✓
	16000	✱	✓	✱	✓	①	✓	○	✓	✱	✓	✱	✕	○	✓	✱	✕	○	✓	✱	✓
	18000	✱	✓	✱	✓	✱	①	✱	✕	○	✓	✱	①	✓	✱	✓	①	✓	✱	✓	○
Across grain	8000	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✕	✱	✕	✱	✓	✱	✕	✱	✕	✱	✕
	10000	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✕	✱	✕	✱	✓
	12000	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✕
	14000	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✕	✱	✕	✱	✕	✱	✕	✱	✕
	16000	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓
	18000	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✓	✱	✕	✱	✕

✱ = ไม่มีขุยเกิดขึ้นเลย ① = มีขุยเกิดขึ้นเล็กน้อย ○ = มีขุยเกิดขึ้นปานกลาง △ = มีขุยเกิดขึ้นมาก
 ✓ = ไม่มีการฉีก ✕ = มีรอยฉีกตามแนวยาว ⊗ = มีการหลุดของเนื้อไม้

ตารางที่ 1 ผลการสังเกตขุยที่เกิดขึ้นบนรอยตัด



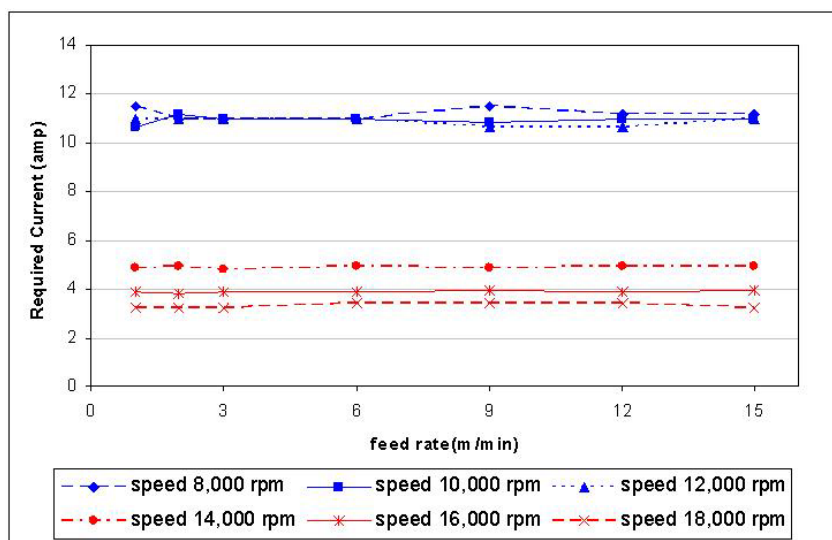
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและอัตราการป้อนกัด



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วผิวและความเร็วรอบ

4.2 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน

จากจากรูปที่ 7 จะเห็นได้ชัดเจนว่าอัตราการป้อนตัดมีผลต่อปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้น้อยมากๆ และจะเห็นได้ว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ต่ำลงเมื่อทำการกัดที่ความเร็วรอบสูงขึ้น และปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้น้อยที่สุดเมื่อความเร็วรอบของใบมีดตัดเท่ากับ 18,000 รอบต่อนาที สาเหตุเนื่องมาจากที่ความเร็วรอบดังกล่าวเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ประสิทธิภาพของมอเตอร์มีค่าสูงสุด และพบว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้เมื่อทำการการกัดแบบสวนทิศทางการป้อนกัดและตามทิศทางการป้อนกัดจะไม่แตกต่างกันมากนัก

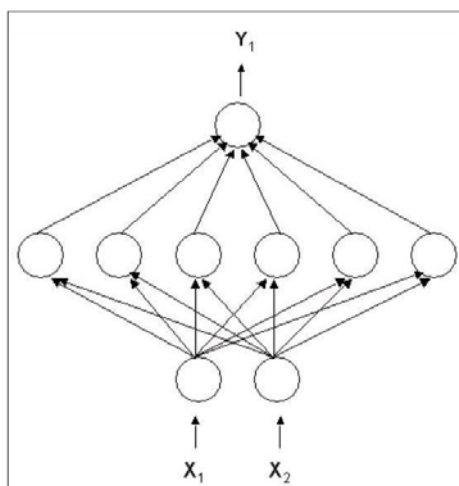


รูปที่ 7 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้

4.3 ผลของโครงข่ายประสาทเทียม

จากงานวิจัยโดยประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมของโปรแกรม MATLAB โดยใช้วิธีแบบจำลองแบคโพรพาเกชัน (Back-Propagation model) ซึ่งอาศัยค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างการฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการ

ปรับค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) ระหว่างชั้นของโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งทำการปรับค่าจนกว่าค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ โดยโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้มีทั้งหมด 12 โคร่งข่ายที่มีการเชื่อมต่อกัน (totally linked) ซึ่งแยกค่าของผลลัพธ์ออกเป็น ความเรียบผิว ขุย การฉีกขาดและการหลุดของเนื้อไม้ โดยโครงข่ายทั้งหมดใช้ลักษณะโครงข่ายแบบเดียวกันดังรูปที่ 8 โดยแต่ละโครงข่ายมีค่าอินพุตอยู่ 2 อินพุต ชั้นที่ซ่อนไว้ (Hidden layer) 1 ชั้น และมีค่าเอาต์พุต 1 เอาต์พุต โดยค่าอินพุตทั้งสองคือความเร็วตัดและอัตราการป้อนกัต โดยค่าเอาต์พุตเป็นค่าที่เลือกมาพิจารณาได้แก่ผลลัพธ์ดังกล่าวข้างต้น และใช้ฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid Function) เป็นตัวส่งค่า (Transfer function) สำหรับชั้นแรก ส่วนค่าของเอาต์พุตใช้ฟังก์ชันเส้นตรง (Linear Function) และใช้ฟังก์ชันในการฝึกฝนคือ เลเวนเบิร์กมาร์ควอดท์ (Levenberg-Marquardt) โดยใช้ข้อมูล 112 ชุดในการฝึกฝนโครงข่ายประสาทเทียม โดยกำหนดค่าความผิดพลาด (Goal Error) ไว้ที่ 0.1 และค่าการเรียนรู้ (Learning Rate) ไว้ที่ 0.25 และจำนวนครั้งสูงสุดในการฝึกฝน (Number of Epochs) 50,000 ครั้ง ซึ่งผลจากการทดสอบการทำนายโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ชุดทดสอบจำนวน 56 ชุดแสดงในตารางที่ 2 จะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์สูงสุดสำหรับการทำนายความเรียบผิวคือ 18.30 % สำหรับการเกิดขุย 35.71 % และสำหรับการฉีกขาดและการหลุดของไม้ 28.57 %



รูปที่ 8 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

รูปแบบการพิจารณา	ตามเส้นไม้		ขวางเส้นไม้	
	Up cutting	Down cutting	Up cutting	Down cutting
ความเรียบผิว	11.35 %	13.19 %	18.30 %	15.20%
ขุย	7.14 %	35.71 %	0.00 %	0.00 %
การฉีกขาดและการหลุด	21.43 %	0.00 %	28.57 %	21.43 %

ตารางที่ 2 ผลของการทำนายโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

5. สรุปผลการทดลอง

จากงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า ขุยเกิดขึ้นเมื่อทำการกัดตามเส้นไม้แบบ Downcut การฉีกขาดของเนื้อไม้เกิดเมื่อกัดตามเส้นไม้แบบ Upcut การหลุดของเนื้อไม้เกิดเมื่อกัดขวางเส้นไม้แบบ Downcut ความเรียบผิวขึ้นกับอัตรา การป้อนกัดเป็นหลัก ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้จะลดลงเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น และโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้ทำการ สร้างและทำการทดสอบสำหรับทำนายความเรียบผิว การเกิดขุย การฉีกขาดและการหลุดของเนื้อไม้ ค่าที่ได้จาก การทำนายมีความผิดพลาดที่ยอมรับได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนการทำวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.) ศูนย์โลหะ และวัสดุแห่งชาติ (MTEC) และบริษัทเอสดีพีอินเตอร์เทรดจำกัด คณะผู้จัดทำใคร่ขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] http://www.thailandrubber.thaigov.net/news_30.html, February 9, 2004
- [2] กุศล พร้อมมูล พงศ์พันธ์ แก้วดาทิพย์ สุรพันธ์ สุวรรณภูมิ และเทิดศักดิ์ อาลัย, “การหาเงื่อนไขการตัดไม้ที่เหมาะสมของใบมีด PCD”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่16, ปี พ.ศ. 2545, หน้า526-530.
- [3] Aquilera, A., Meausoone, P. J., and Martin, P., “Wood Material Influence in Routing Operations: the PDF Case,” Holz als Roh-und Werkstoff, Vol 58, 2000, pp. 278-283.
- [4] Jim Effner, “Chisel on a Wheel: A Comprehensive Reference to Modern Woodworking Tools and Materials,” Prakken Publications, Inc.

Investigation on the Influences of Cutting Parameters in CNC Machining of Rubber Wood with Integration of Neural Networks

Kusol Prommul, Pongpan Kaewtatip, and Terdsak Arlai

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand

Abstract

The objective of this research is to study parameters affecting the efficiencies of the machining process for manufacturing rubber-wood furniture using a TC (Tungsten Carbide) cutting tool. Eventhough most Thai manufacturers have been using the TC tools for years, they do not have enough decision-making information in order to determine cutting conditions for producing quality parts. In this research, the cutting conditions, affecting surface roughness, flake, wood tearing and split, were investigated. They include: cutting speeds, feed rates, and cutting directions relative to wood-grain orientations. In addition, the neural network model has been developed from the experimental results in order to predict the quality of the product obtained under any working parameters. The results show that surface roughness (Rq) depends on the feed rate used. Flake generally occurs when cutting along wood grain and using down cutting. Wood tearing occurs when cutting along wood grain using up cutting. Electrical current required decrease with increase of the speed. Prediction errors by the neural networks appear to be acceptable.

1 Introduction

Currently, furniture made of rubber wood is gaining popularity all over the world. Thailand is one of the leading exporters with its exporting value exceed 1 billion US\$ [1]. However, Thai manufacturers still lack of information needed in determining the cutting conditions for producing quality parts. Determining those conditions is difficult because rubber wood is non-homogeneous material and the cutting directions relative to wood-grain orientation affect machining quality. Although cutting tools for rubber wood machining may include High Speed Steel (HSS), Tungsten Carbide (TC), and Polycrystal Diamond (PCD) tools, the TC tool is widely used because of its reasonable price. The common problems in rubber wood machining are flake, tearing and split, and rough surface. Figure 1 shows flake on machined surface. It occurs especially when cutting along the wood grain. Manual polishing is required before painting can be done. This extra step will increase manufacturing cost. Wood tearing and split is almost unworkable if it is severe as shown in Figure 2. So they must be avoided in rubber wood machining.

In this paper, the influences of cutting conditions in CNC machining of rubber wood using tungsten carbide cutting tools were investigated. The Artificial Neural Network (ANN) was also developed and can be used for predicting the quality of wood machining.

2 Experimental Methodology

2.1 Machining Conditions

In this research, straight-cutting-edge tools of 18-mm diameter were used to machine rubber wood workpiece of 450 x 750 mm. The CNC machine, Masterwood 2.45 K, with maximum speed of 24,000 RPM and maximum feed rate of 24 m/min was used in experiments. Depth of cut was fixed at 3 mm. The investigating parameters are speeds, feed rates, and cutting directions. The speeds were varied at 8,000, 10,000, 12,000, 14,000, 16,000, and 18,000

RPM. The feed rates were varied at 1, 2, 3, 6, 9, 12, and 15 m/min. As shown in Figure 3, cutting directions are identified as the following four cases.

A: along grain and up cutting

B: across grain and up cutting

C: along grain and down cutting

D: across grain and down cutting

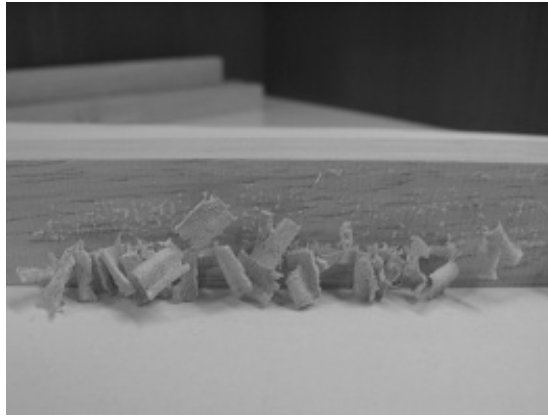
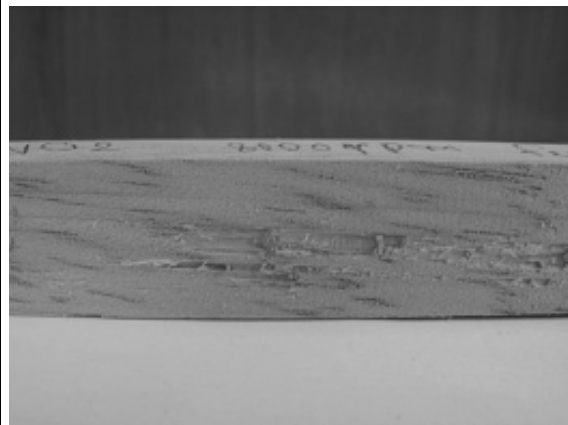


Figure 1: *flake on the machined surface.*



(a)



(b)

Figure 2: *wood tearing and split on the machined surface: (a) tearing (b) split.*

3 Experiment Results and Discussion

Factors used in evaluation of experiment results include surface quality of machined surface and power consumption.

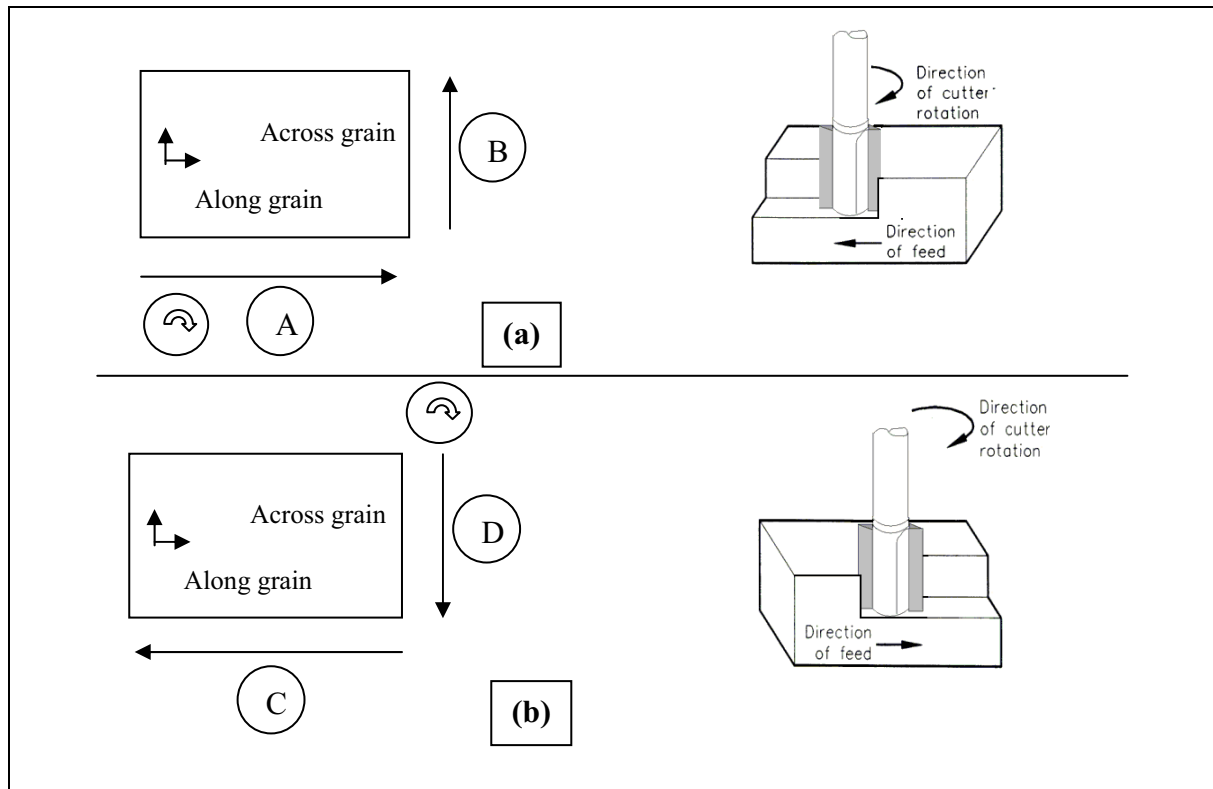


Figure 3: cutting direction corresponding to wood grain: (a) in case of up cutting (b) in case of down cutting

3.1 Surface Quality of Machined Surface

Surface quality of machined surface that is focused on this paper includes flake, wood tearing and split, and surface roughness.

3.1.1 Flake on Machined Surface

When cutting along wood grain, flake will occur easier than cutting across grain, as shown in Table 1. Compared to up cutting, flake will occur on the machined surface easier when using down cutting. This is because there is no scraping action between the tool and machined surface in down cutting [2]. When lower feed rates are used, flake also will occur easier than using higher feed rates.

3.1.2 Wood Tearing and Split on Machined surface

When cutting along wood grain, wood tearing will occur easier than cutting across grain, as shown in Table 1. Compared with down cutting, wood tearing will occur on machined surface easier when using up cutting. This is because, different from down cutting, in up cutting the tool will pull up wood grain and finally cause wood tearing. When higher feed rates are used, wood tearing also will occur easier than using lower feed rates.

Split on machined surface occurs when cutting across wood grain and using down cutting, which is obvious when faster feed rates are used. This is because down cutting will generate more vibration than in up cutting [3].

3.1.3 Surface Roughness

Figure 4 shows surface roughness of each cutting direction at various feed rates and at the speed of 16,000 RPM. Surface roughness (R_q) will increase with increase of feed rates. Cutting along wood grain will produce machined surface with better surface finish when

compared with across grain cutting, regardless of feed rates used. Surface roughness of polished surface is $2.87\text{ }\mu\text{m}$ that is greater than that obtained when cutting along wood grain at each feed rate investigated. This implies that there is almost no need to perform manual polishing. On the other hand, surface roughness for cutting across grain is higher than that of the polished surface. When investigating on other speeds used, the results appear to be similar to those at 16,000 RPM. Cutting at different speeds slightly affects surface roughness as shown in Figure 5.

Table 1: surface quality on machined surface: flake and wood tearing.

Cutting direction	Speed (rpm)	feed (m/min)															
		1		2		3		6		9		12		15			
		Upcut		Downcut		Upcut		Downcut		Upcut		Downcut		Upcut		Downcut	
		Flake	tear	Flake	tear	Flake	tear	Flake	tear	Flake	tear	Flake	tear	Flake	tear	Flake	tear
Along grain	8,000	⊙	×	○	✓	⊙	✓	○	✓	⊙	×	⊙	×	*	×	○	✓
	10,000	*	✓	⊙	✓	*	✓	⊙	✓	⊙	✓	*	✓	⊙	✓	*	✓
	12,000	*	✓	⊙	✓	*	✓	⊙	✓	*	×	○	✓	*	×	⊙	✓
	14,000	*	✓	⊙	✓	*	✓	⊙	✓	*	×	○	✓	*	×	⊙	✓
	16,000	⊙	✓	⊙	✓	*	✓	○	✓	*	×	⊙	✓	*	×	⊙	✓
	18,000	⊙	✓	⊙	✓	⊙	×	⊙	✓	*	✓	○	✓	⊙	×	⊙	✓
Across grain	8,000	*	✓	⊙	✓	⊙	✓	⊙	✓	*	✓	⊙	×	*	✓	*	×
	10,000	*	✓	*	✓	*	✓	*	✓	*	✓	*	✓	*	✓	*	×
	12,000	*	✓	*	✓	*	✓	*	✓	*	✓	*	✓	*	✓	*	×
	14,000	*	✓	*	✓	*	✓	*	✓	*	✓	*	✓	*	✓	*	×
	16,000	*	✓	*	✓	*	✓	*	✓	*	✓	*	✓	*	✓	*	×
	18,000	*	✓	*	✓	*	✓	*	✓	*	✓	*	✓	*	✓	*	✓
		* = No flake		⊙ = Small portion flake		○ = Medium portion flake		△ = severe flake									
		✓ = No tear & split		× = Tear		⊗ = Split											

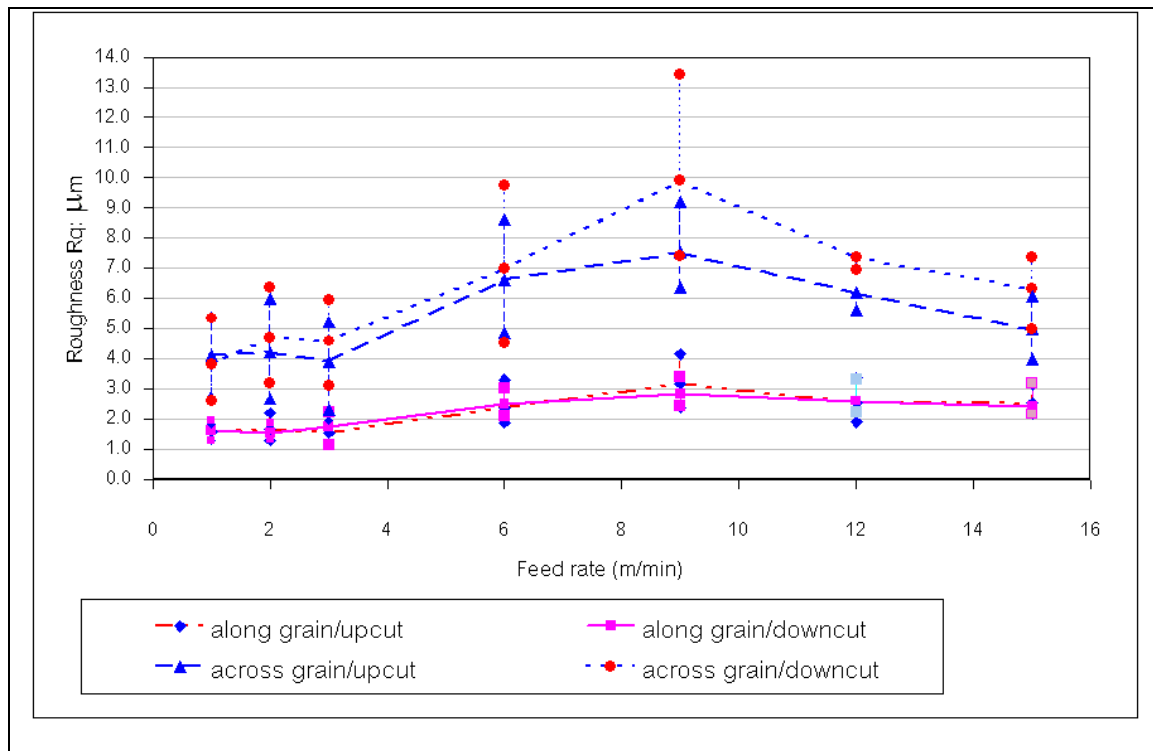


Figure 4: relationship between surface roughness and feed rates.

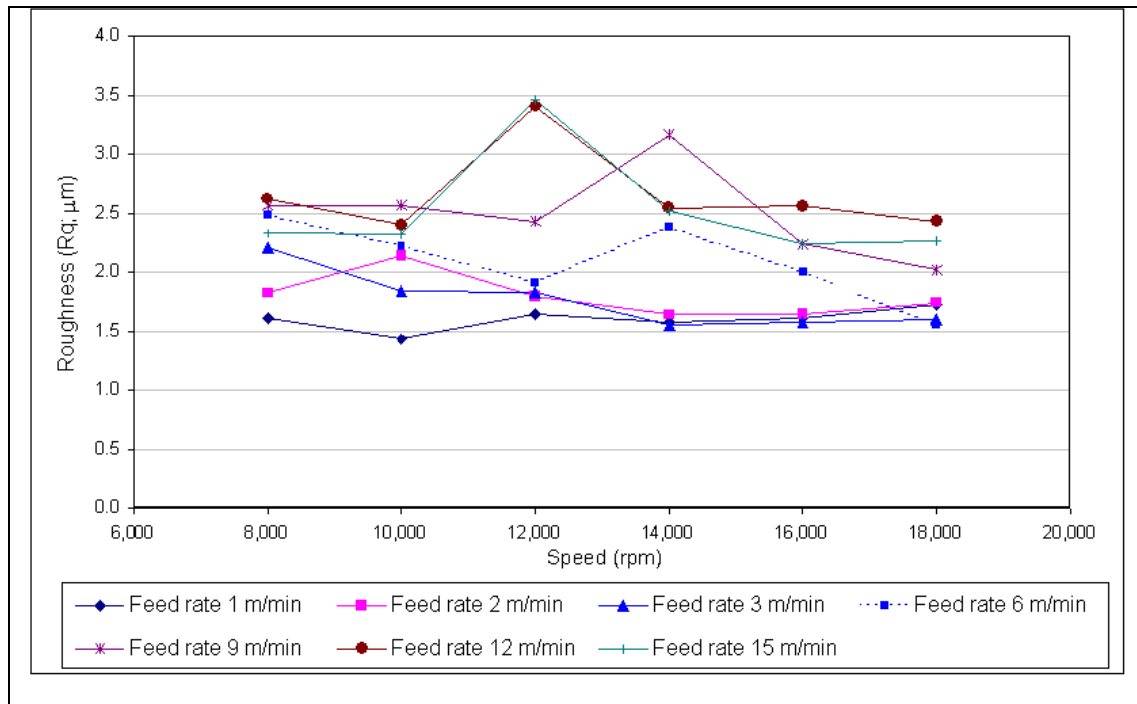


Figure 5: relationship between surface roughness and speeds when using up cutting along grain.

3.2 Power Consumption

In this paper, power consumption is measured in term of electrical current used. Cutting at different feed rates slightly affects the electrical current as shown in Figure 6. The faster the speed is used the lesser the electrical current is required. At speed of 18,000 RPM, it requires the least electrical current because this speed is close to the presumably high efficiency of motor.

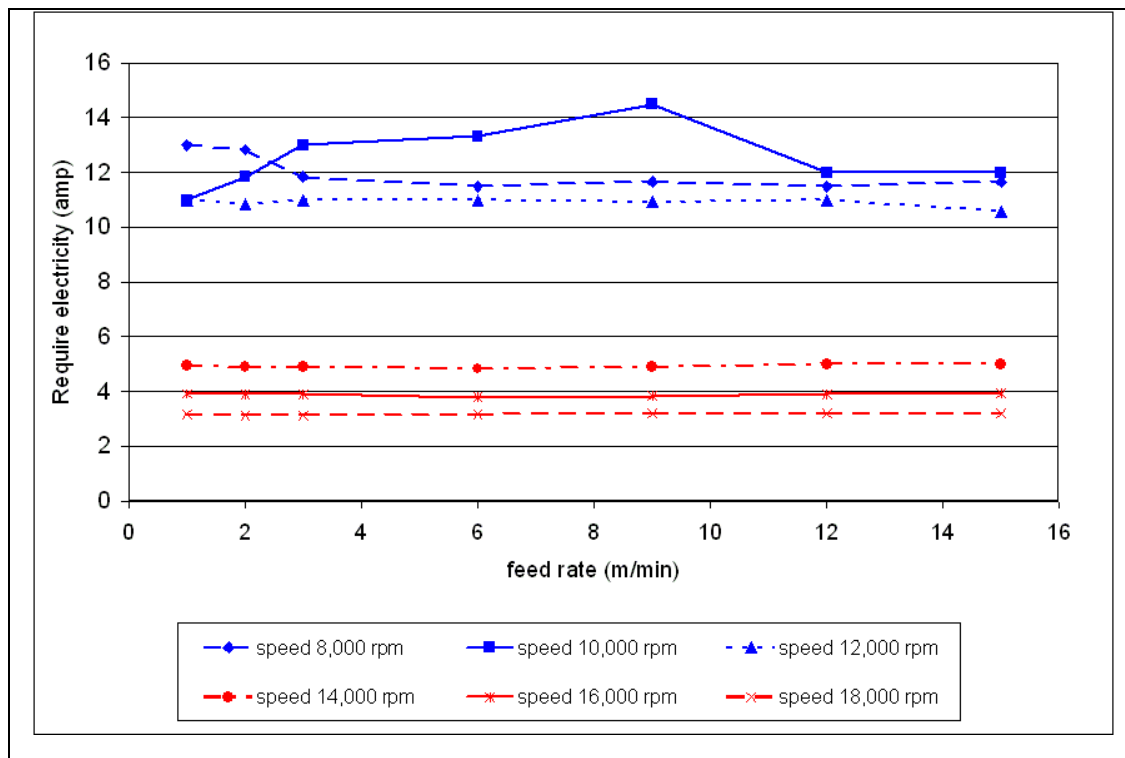


Figure 6: electrical current used when using down cutting.

4 Result of Neural Networks

This research uses a Neural Network Toolbox in MATLAB for modeling the back-propagation network. There are twelve neural networks, totally linked, for outputting surface roughness, flake, and wood tearing and split. All networks have the same architecture as shown in Figure 7, which was chosen after a number of trials. Each network consists of two input neurons, one hidden layer with six neurons, and one output neuron. The two inputs X_1 and X_2 in Figure 7 are cutting speed (m/min) and feed rate (m/min), respectively, while Y_1 is the output of interest as previously mentioned. Tan-Sigmoid was used as a transfer function in the first layer. For the output layer, linear transfer function was used. Levenberg-Marquardt algorithm was used as a training function. In training of 112 data sets, the learning rate was set at 0.25; error goal was set at 0.1; learning rate was set at 0.25; and a number of epochs were set at 50,000.

Although there are only two parameters, speed and feed rate, explicitly used as input neurons, cutting directions relative to wood-grain orientations, including case A, B, C, and D, were implicitly taken into consideration for predicting the output. For example, in training the network for outputting surface roughness for case A, the output data, so called a target, was from the experiments when cutting along wood grain and using up cutting (case A). This means that there are four networks corresponding to each output of interest. Each network was separately trained and ended up with an individual set of weights and they are linked as being used for the prediction the output of interest.

Table 2 illustrates percent errors between predicted values by neural networks and experiment values, which were calculated from 56 testing conditions. The maximum percent errors for predicting surface roughness, flake, and wood tearing and split are 19.26, 28.57, and 21.43, respectively.

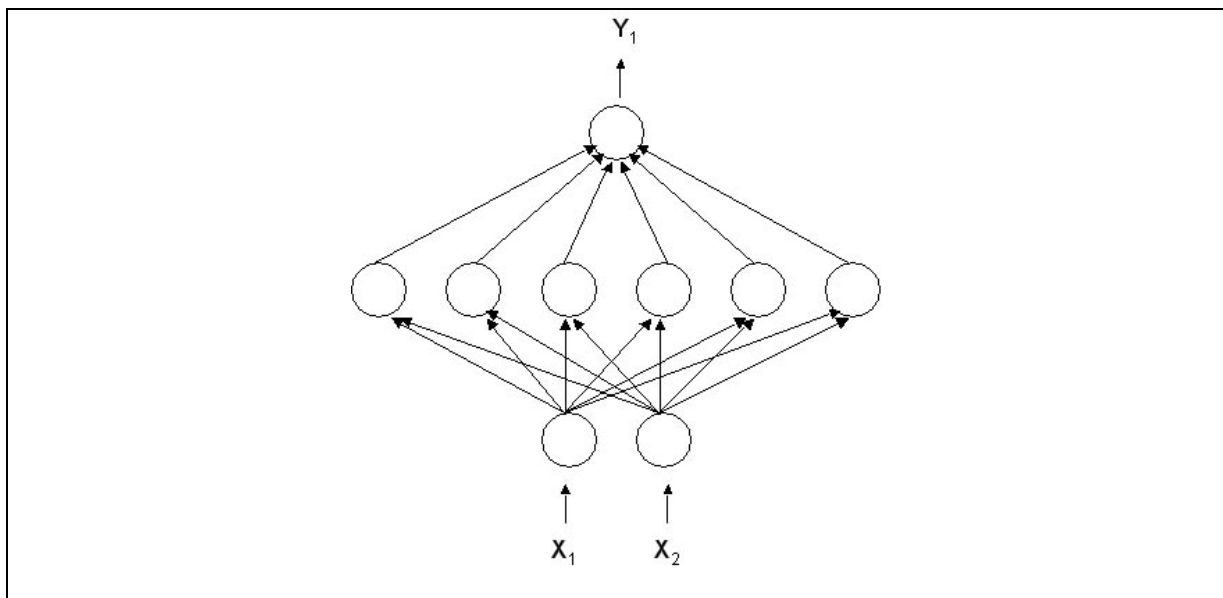


Figure 7: *neural network architecture.*

5 Conclusion

In this paper, the influences of cutting conditions have been investigated and can be concluded as follows:

- Flake generally occurs when cutting along wood grain and using down cutting.
- Wood tearing occurs when cutting along wood grain using up cutting.
- Split occurs when cutting across wood grain using down cutting.
- Surface roughness (R_q) depends on the feed rate used.
- Electrical current required decrease with increase of the speed.

The neural network has been constructed and tested for prediction of surface roughness, flake, and wood tearing and split. The prediction errors by the neural networks appear satisfactory.

Table 2: *results from predicting by neural networks.*

Type of defects	Along grain		Across grain	
	Up cutting	Down cutting	Up cutting	Down cutting
Roughness	15.30 %	14.60 %	15.80 %	19.26 %
Flake	7.14 %	28.57 %	0.00 %	0.00 %
Tear and split	21.43 %	0.00 %	7.14 %	0.00 %

Acknowledgements

This research has been supported by The Thailand Research Fund (TRF), National Metal and Materials Technology Center (MTEC), and SDP Intertrade Co., Ltd.

References

1. http://www.thailandrubber.thaigov.net/news_30.html, February 9, 2004
2. Su-Chen Jonathan Lin, "Computer Numerical Control: From Programming to Networking," Delmar Publishers, USA, 1994, p. 269.
3. Jim Effner, "Chisel on a Wheel: A Comprehensive Reference to Modern Woodworking Tools and Materials," Prakken Publications, Inc.