

TALYSURF에 의한 톱니의 마모량측정*1

현 정 인*2 · 바니 · 크라메키*3

Measurement of Saw-Teeth Wear by TALYSURF*1

Jung-Ihn Hyun*2 · Barney E. Klamecki*3

Summary

Quantitative assessment of edge blunting of saw-teeth was carried out by TALYSURF.

- Using the following equation, the real shape of a saw-tooth can be traced on the graph of TALYSURF.

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{V\Delta x}{V_x} \left\{ \begin{array}{l} \Delta h : \text{vertical distance of stylus} \\ h : \text{vertical distance in chart} \\ V\Delta x : \text{velocity of stylus} \\ V_x : \text{velocity of chart} \end{array} \right.$$

- As shown on Fig 2, the error from stylus itself can be calculated by following equation.

i) $13.8\mu \leq x < 20.4\mu$

$$y = -0.2246x + 4.59\mu$$

ii) $0 \leq x < 13.8\mu$

$$y = -\sqrt{(18\mu)^2 - x^2} - 1.42x + 32.7\mu$$

- The relationship between profile of saw-tooth and error from stylus itself can be calculated by following equation.

$$E(\%) = \frac{f(r) \times \frac{r}{18\mu}}{f(R) \times \frac{R}{18.5\mu} - f(r) \times \frac{r}{18\mu}} \times 100$$

$$\left\{ \begin{array}{l} E(\%) = \frac{\text{error of stylus}}{\text{dullness of saw tooth}} \times 100 \\ r : \text{radius of stylus tip} \\ R : \text{radius of tip which is drawn in graph of talysurf} \\ f(r) : \text{error of stylus} \\ f(R) : \text{dullness of tip which is drawn in graph of talysurf} \end{array} \right.$$

- The graph of maximum error and profile of saw-tooth was parabola.

Keywords : Circular saw-teeth, TALYSURF, wearing.

*1 1980.3.18접수 Received for publication on March 18, 1980.

본 시험은 캘리포니아대학 임산물연구소에서 클라메키의 지도를 받았음.

This work was carried out at Forest Products Laboratory, University of California, Richmond. Dr. Barney E. Klamecki gave the idea of this work and advised J.I. Hyun

*2 임업시험장 Forest Research Institute, Seoul, Korea 130

*3 캘리포니아대학 임산물연구소 Forest Products Laboratory, University of California, Richmond, U.S.A.

1. 서 언

톱니의 마모정도를 측정하는 방법은 절삭소요동력의 증가량을 측정하는 방법과 현미경사진으로 톱니모양의 변화를 측정하는 방법이 사용되어 있다. 그러나 절삭소요동력을 측정하는 방법은 톱니모양의 변화와 마모정도를 알 수 없을 뿐 아니라 톱을 사용함에 따라 tension이 이완되어 톱의 진동이 일어나고 이 진동에 의한 절삭소요동력의 증가량을 배제할 수 없는 결점이 있다. 그리고 현미경사진에 의한 측정방법은 많은 시간이 소요되고 마모정도가 더 큰 톱니의 가장자리부분을 촬영하게 되는 결점이 있다. 본 실험에서는 이러한 결점을 보완코자 표면의 요철을 측정하는 계기의 일종인 TALYSURF를 이용하여 톱니중앙부분의 단면을 신속히 그릴 수 있는 가능성을 실험하였으며 이 방법으로 톱니의 단면을 주기적으로 측정함으로써 톱니의 마모정도를 컴퓨터에 기록한다면 컴퓨터에 의한 재세공장괄리의 한 인자가 될 수 있으리라 생각된다.

2. 연구 사

톱니의 마모정도를 정량적으로 평가하는 방법은 전술한 바와 같이 절삭소요동력의 변화를 측정하는 방법과 칼날의 마모정도를 직접측정하는 방법이 많이 이용되어 왔다.

절삭소요동력은 톱니모양의 변화에 민감하게 반영된다는 것이 Kivimaa(1952)에 의해 알려졌으며 McKenzie(1965)는 피삭재에 주어지는 힘과 칼날의 모양에 관해 상술하였다. 즉 마모정도가 커지면 칼날과 피삭재의 접촉면적이 커지고 따라서 절삭에 소요되는 동력이 증가된다. Kivimaa(1952)의 연구이후에 절삭소요동력의 증가에 의한 공구의 마모에 관한 시험이 수행되었는데 Johnston(1968)은 임목벌체에 사용되는 절단기의 칼날 마모에 관해서 보고 하였고, Barz와 Breier(1969)는 공구의 마모와 절삭된 칩에 관하여 시험하였는데 마모 시험기간을 단축하기 위해 합금칼날을 사용하였고, Konishi(1972)는 스트레인지어를 사용하여 수증, 곡리와 절삭방향, 목재비중에 대한 공구마모와 절삭소요동력의 관계를 측정하였고, Salje와 Dubenkropp(1977)는 원형톱의 톱니마모에 관한 시험을 수행하였고, Kirbach와 Bonac(1979)은 원형톱으로 공구의 마모가 절삭소요동력에 미치는 영향을 실험하였다. 또한 Edamatsu와 Ohira(1957), Grabe와 Alekseev(1961)등은 절삭량과 절삭소요동력의 변화를 측정하였다.

칼날의 마모정도를 직접측정하는 방법은 칼날의 단면을 촬영하는 방법과 칼날의 주요인자를 측정하는 방법을 생각할 수 있는 바 전자는 칼날전체의 변화를 알 수 있으나 시간과 노력이 많이 소요된다. Edamatsu와 Ohira(1957), Bridges(1971)등은 이 방법을 사용하였다. Fisher(1978)는 칼날의 주요인자로서 flank wear를 측정하여 마모정도를 수량화하였다.

3. 재료 및 방법

3.1 시험재료

시험에 사용된 톱은 표 1과 같고 톱니의 단면은 Taylor, Taylor & Hobson Limited제품인 TALYSURF로 기록하였다. TALYSURF는 복제의 재면, 금속의 표면등 요철을 측정하는 계기로서 표면의 요철에 따라 상하운동하는 Stylus의 움직임을 확대하여 그래프에 기록하는 장치이며 톱니고정장치를 알맞게 고안하여 톱니를 고정하고 톱니의 표면에서 Stylus를 이동하여 이를 확대하여 기록하였다.

표 1. 사용된 톱

Table 1. Saw

Diameter	41.9cm(16.5inch)
Number of teeth	60ps
Tooth pitch	2.24cm(0.88inch)
Gullet area	1.045cm ² (0.162 sq. inch)
Thickness of saw blade	0.318cm(0.125inch)
Sharpness angle	80°
Clearance angle	10°
Rake angle	10°

3.2 측정방법

3.2.1 톱니의 단면기록

톱니의 sharpness angle의 이동분선이 수직선이 되도록 톱을 고정시키고 talysurf에 부착된 stylus의 이동속도와 확대정도를 100배가 되도록 기록하였다. 이때 stylus의 길이를 그에 맞게 조정하였다.

3.2.2 Stylus의 정점에서 얻어지는 원이 톱니의 단면 기록에 미치는 영향

기록에 사용된 stylus를 Leitz Wetzlar, Germany제품인 현미경사진촬영장치로 촬영하고 단면을 측정하였다.

4. 시린결과 및 고찰

4.1 Talysurf에 의한 톱니의 단면기록

stylus의 수평방향이동속도와 차트의 기록속도의 비가 stylus의 수직방향이동량과 차트의 기록량의 비와 일치하여야 하는바, 다음식 1과 같은 조건에서 톱니의 단면이 기록된다.

$$\frac{\Delta y}{y} = \frac{V \Delta_x}{V_x} \dots \dots \dots \text{식 1}$$

- Δy : stylus의 수직이동량
- y : chart의 기록량
- $V \Delta_x$: stylus의 수평이동속도
- V_x : chart의 기록속도

그런데 $V_x = 14.3 \text{inch/min.}$, $V \Delta_x = 0.1375 \text{inch/min.}$

로 측정되어 $\frac{V_x}{V \Delta_x} = \frac{14.3 \text{inch/min.}}{0.1375 \text{inch/min.}} \approx 104 \approx 100$ 이

므로 $\frac{y}{\Delta y} = 100$ 이 되도록 stylus의 길이를 조정하고 식 1에 의하여 100배로 확대된 톱니의 단면을 얻었다. 그런데 talysurf의 stylus가 톱니의 표면을 이동할때 stylus가 휘어 질수 있다고 생각된다. 또한 stylus의 각도가 톱니의 각도보다 작을 때에 원래형태에 가까운 톱니 단면이 얻어진다.

4.2 Stylus의 오차

stylus가 톱니의 단면을 기록할때 톱니가 완전한 날카로움을 가지고 있다고 가정하면, 그림 2와 같이 stylus와 톱니가 점 A에서 접촉하여 점 A가 톱니의 정점에 도달하기전까지는 stylus의 둔함이 톱니의 단면기록에 영향을 없으나 톱니의 정점이 \overline{AB} 상에 있을 때에는 톱니의 표면과 \overline{AB} 사이의 톱만큼 오차가 생기고 톱니의 정점이 BC상에 있을 때에는 톱니의 표면과 BC사이의

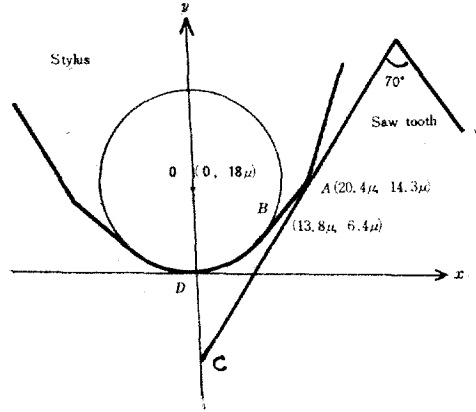


그림 2. Stylus와 톱니의 접촉모식도
Fig 2. Contact point between stylus and saw tooth.

톱만큼 오차가 생겨 점 C와 점 D의 거리가 최대오차가 될 것이다. 그림 1은 stylus를 1225배로 확대촬영하여 원의 반경 및 접점들을 실측한 것이고 점 B는 원과 \overline{AB} 의 접점을 계산한 것이다.

그림 1, 2와 같이 stylus의 정점을 (0, 0)으로 한 x, y축에 놓으면 \overline{AB} 는

$$Y \quad 13.8\mu \leq x < 20.4\mu = \frac{14.3\mu - 6.4\mu}{20.4\mu - 13.8\mu} X - 10.12\mu,$$

BD는 $x^2 + (y - 18\mu)^2 = (18\mu)^2$ (단 $0 \leq x < 13.8\mu$), \overline{AC} 는 $y = \frac{14.3 - (-14.7\mu)}{20.4 - 0} x - 14.7\mu$ 으로 표현되며 오차는

$x \geq 20.4\mu$ 일 때는 0 , $13.8\mu \leq x < 20.4\mu$ 일때는 $y = -0.2246x + 4.59\mu$, $0 \leq x < 13.8\mu$ 일때는 $y = -\sqrt{(18\mu)^2 - x^2} - 1.42x + 32.7\mu$ 으로 표현된다. 따라서 오차가 최대일 때 즉 $x=0$ 일때 오차량 $y=14.7\mu$ 이 된다.

4.3 Stylus의 오차와 Talysurf에 기록된 톱니단면과의 관계

4.3.1 Talysurf에 기록된 톱니단면

그림 3과 같이 Talysurf에 의해 100배로 확대 기록된 톱니단면을 $\frac{13}{5}$ 배로 확대촬영하여 그림 4와 같이 톱니의 정점을 (0, 0)로 한 x, y축에 놓으면 x가 \overline{AB} 상에 있을 때에는 \overline{AB} 와 \overline{AD} 사이의 톱만큼 오차가 생기고 x가 BC상에 있을 때에는 \overline{AB} 와 BC사이의 톱만큼 오차가 생기게 되는데, 점 B는 $(-12.5\mu, -4.9\mu)$ 으로 계산되고 \overline{AD} 는 $y = \tan 55^\circ x + 23\mu$, \overline{AB} 는 $Y - 32.2\mu \leq x < -12.5\mu = 0.9207X + 6.64737\mu$, BC는 $x^2 + (y + 18.5\mu)^2 = (18.5\mu)^2$ (단, $-12.5\mu \leq x \leq 0$)으로 표현되며 \overline{AD} 와 \overline{AB} 및 \overline{AD} 와 \overline{BC} 의 간격은 $-32.2\mu \leq x < -12.5\mu$ 일때 $y = 0.5074x + 16.3526\mu$, $-12.5 \leq x \leq 0$ 일때 $y = \sqrt{(18.5\mu)^2 -$



그림 1. Stylus의 정점
Fig 1. End of stylus (×1225)

$x^2 + \tan 55^\circ x + 41.5\mu$ 으로 표현된다. 따라서 간격이 최대 일때 즉 $x=0$ 일때 $y=23\mu$ 이 된다.

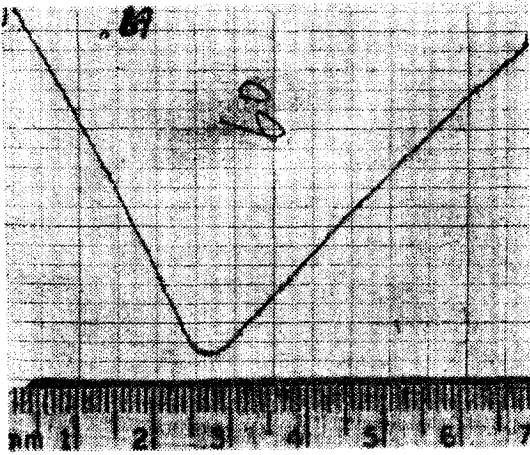


그림 3. 기록된 톱니단면
Fig 3. Graph of saw tooth

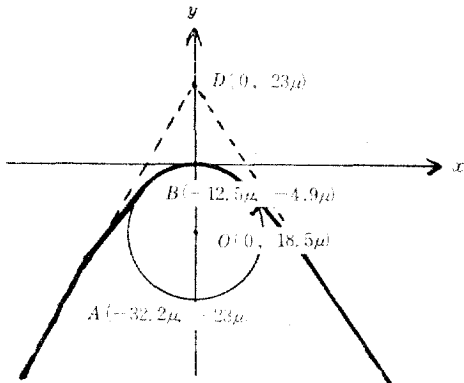


그림 4. 톱니단면 모식도
Fig 4. Graph of saw-tooth by talysurf

따라서 talysurf에 의하여 기록된 곡선의 각 점점에서 마모정도를 계산할 수 있으며 이를 컴퓨터에 기록 계산하면 간단한 측정이 가능할 것으로 생각된다.

4.3.2 Talysurf에 기록된 톱니단면과 stylus오차와의 관계

(1) 오차율

Talysurf에 기록된 톱니단면의 윤함은 stylus의 오차와 복합기록되었다고 생각되며 오차가 없는 완전한 톱니단면을 기준한 stylus의 오차는 다음 그림 5와 같으며 다음식 2와 같이 표현된다.

$$E(\%) = \frac{f(r) \times \frac{r_1}{18\mu}}{f(R) \times \frac{R_1}{18.5\mu} - f(r) \times \frac{r_1}{18\mu}} \times 100 \dots \dots \text{식 2}$$

$E(\%) = \frac{\text{stylus의 오차}}{\text{톱니의 윤함}} \times 100$
 r : stylus의 정점에서 얻어지는 원의 반경
 R : 기록된 톱니단면의 정점에서 얻어지는 원의 반경
 $f(r)$: stylus의 윤함
 $f(R)$: 기록된 톱니단면의 윤함

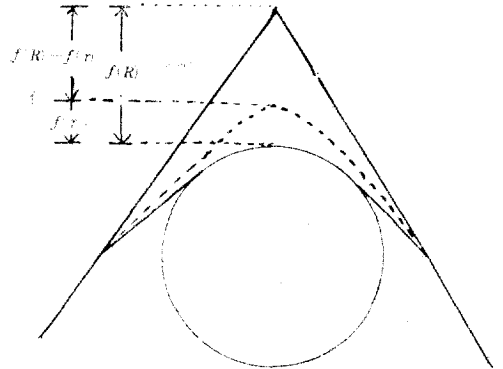


그림 5. 완전한 톱니단면(점선)
Fig 5. Ideal curve (dotted line)

따라서 stylus와 톱니의 각 점점에서의 오차는 다음 3가지 경우로 나누어 생각 할 수 있다.

i) $-20.4\mu \leq x < -13.8\mu$

$$E(\%) = \frac{(-0.2246x + 4.59\mu)}{(0.5074x + 16.35\mu) \times \frac{R_1}{18.5\mu} - (-0.2246x + 4.59\mu) \times \frac{r_1}{18\mu}} \times 100$$

ii) $-13.8\mu \leq x < -12.5\mu$

$$E(\%) = \frac{(-\sqrt{(18\mu)^2 - x^2} - 1.42x + 32.7\mu)}{(0.5074x + 16.35\mu) \times \frac{R_1}{18.5\mu} - (-\sqrt{(18\mu)^2 - x^2} - 1.42x + 32.7\mu) \times \frac{r_1}{18\mu}} \times 100$$

iii) $-12.5\mu \leq x \leq 0$

$$E(\%) = \frac{(-\sqrt{(18\mu)^2 - x^2} - 1.42x + 32.7\mu)}{(-\sqrt{(18.5\mu)^2 - x^2} + \tan 55^\circ x + 41.5\mu) \times \frac{R_1}{18.5\mu} - (-\sqrt{(18\mu)^2 - x^2} - 1.42x + 32.7\mu) \times \frac{r_1}{18\mu}} \times 100$$

그런데 위의 식은 stylus의 모양이 변하지 않고 stylus의 정점에서 얻어지는 반경 r 이 stylus의 크기에 비례한다는 가정 및 talysurf에서 기록된 톱니의 모양이 변함이 없이 정점에서 얻어지는 반경 R 이 기록된 톱니의 크기에 비례한다는 가정하에 얻어진 식이다. 따라서 톱니가 다모뿔에 따라 톱니의 모양이 변하게 되어 상기 식이 성립하지 않으므로 4.3.1과 같은 방법으로 식을 만들거나 또는 talysurf에 의하여 톱니단면에서 마모량의 최대치를 간단히 측정하는 방법을 생각할 수 있다.

(2) 최대오차율

최대오차는 $x=0$ 일때 y 의 값이며 최대오차율은 다음 식 3과 같다.

$$E_{max} = \frac{14.7\mu \times \frac{r_1}{18\mu} \times 100}{23\mu \times \frac{R_1}{18.5\mu} - 14.7\mu \times \frac{r_1}{18\mu}} \dots\dots\dots \text{식 3}$$

stylus의 정점에서 얻어진 반경 $r=18\mu$ 을 식 3에 대입한 식 4는 그림 6과 같은 E_{max} 과 기록된 톱니단면에서 얻어진 반경 R 의 쌍곡선 그래프를 얻게되며 오차율 100%일때 R 은 23.65μ 이 된다.

$$E_{max} = \frac{1470\mu}{1.24324\mu \times R - 14.7\mu} \dots\dots\dots \text{식 4}$$

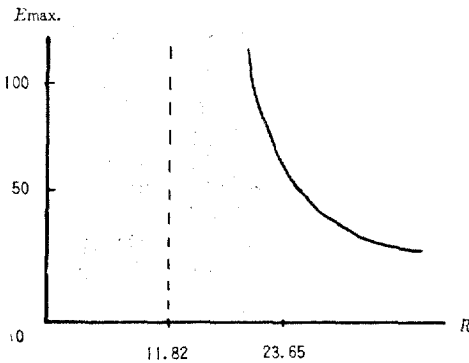


그림 6. $r=18\mu$ 일때 E_{max} 과 R 과의 관계
Fig 6. Relationship of maximum error to radius of graph

5. 적 요

Talysurf에 의한 톱니마모정도의 수량화가 수행되었다.

(1) 톱니의 단면은 아래식을 만족시키는 조건에서 Talysurf의 그래프로서 얻어진다.

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{V\Delta x}{V_x} \begin{cases} \Delta h : \text{stylus의 수직이동거리} \\ h : \text{챠트에있어서 수직거리} \\ V\Delta x : \text{stylus의 이동속도} \\ V_x : \text{챠트의 이동속도} \end{cases}$$

(2) stylus의 오차는 아래식에 의하여 계산된다.

i) $13.8\mu \leq x < 20.4\mu$
 $y = -0.2246x + 4.59\mu$

ii) $0 \leq x < 13.8\mu$
 $y = -\sqrt{(18\mu)^2 - x^2} - 1.42x + 32.7\mu$

(3) 톱니단면과 stylus의 오차는 아래식에 의하여 계산된다.

$$E(\%) = \frac{f(r) \times \frac{r}{18\mu}}{f(R) \times \frac{R}{18.5\mu} - f(r) \times \frac{r}{18\mu}} \times 100$$

- $E(\%)$: stylus의 오차 / 톱니의 분함
- r : stylus의 반경
- R : 챠트에서 얻어지는 그래프의 반경
- $f(r)$: stylus의 오차
- $f(R)$: 챠트에서 얻어지는 그래프의 분함

(4) 최대오차와 톱니단면의 관계에서 쌍곡선 그래프를 얻을 수 있다.

6. 인용 문헌

1. Barz, E., and H. Breier, 1969. Kurzverfahren zur Prüfung der Verschleißwirkung und der Zer-spanbarkeit von Holz und Holzwerkstoffen. Holz als Roh- und Werkstoff 27(4) : 148-152
2. Bridges, R.R. 1971. A quantitative study of some factors affecting the abrasiveness of particleboard. Forest Prods. J. 21(11) : 39-41.
3. Edamatsu, N., and Ohira, Y. 1957. The effect of tooth angle on the blunting of saw teeth. Journal Jap. Wood Res. Soc. 3(2) : 67-70.
4. Fischer, R. 1978. Ein Beitrag zur Mechanik des Spannungsvorganges nicht fließfähiger Werkstoffe am Beispiel von Holz. Holz-technologie 19(2) : 75-80.
5. Grube, A.E., and Alekseev, A.V. 1961. Specific cutting force in the milling of particleboard. De-rev. Prom. 10(2) : 7-8.
6. Johnston, J.S. 1968. Crosscutting trees and logs by shear blades. Southern Lumberman 217(2689) : 39-41, 44, 46. Canadian Forest Ind. 88(6) : 34-37.
7. Kirbach, E. and T. Bonac 1979. Assessing circular saw dullness by measuring cutting forces and power. Wood Sci. 11(3) : 159-163
8. Kivimaa, E. 1952a. Was ist die Abstumpfung der Holzbearbeitungswerkzeuge? Holz als Roh-

- und Werkstoff 10(11) : 425—428.
9. Konishi, C. 1972. Cutting ability of knife with planer. I. Relationship between condition of wood and cutting force. J. Jap. Wood Res. Soc. 18(5) : 223—229.
10. Mckenzie, W.M. 1965. Wood as a meterial to be cut the basic equirement of cutting devices. Presented at Meeting of IUFRO, Section 41, Oct. : 1965, Melbourne.
11. Salje, E., and Dubenkropp, G. 1977. Zerspanbarkeitskennwerte beim Fräsen von Holz. Holz als Roh und Werkstoff 35(9) : 333—336.