

<論 文>

# 振動移送切削에 관한 研究

朴 天 卿\*

(1983年 4月 6日 接受)

## A Study on the Oscillatory Feed Cutting

Chun Kyung Park

### Abstract

To investigate the effects of oscillatory feed cutting on the chip breaking and surface roughness and circularity, A prototype unit developed for the experiment is used. The results obtained are as follows.

- (1) It is obtained the region of chip breaking as  $f_{t,min} < 0.03mm (=0.3f)$ .
- (2) The surface roughness becomes worse with increasing the value of  $A/f$ , but the type of variation with respect to  $n/N$  differs from the case of  $A/f \geq 1$ .
- (3) The circularity of workpiece is increasing from the fundamental mode of  $n/N=i$  to the maximum value of  $n/N=i+0.5$ , and becomes worse with increasing the value of  $A/f$ .
- (4) From the viewpoint of above details and tool mechanics, the condition of  $A/f=1.0$  and  $n/N=i \pm \delta$  ( $0.3 < \delta < 0.4$ ) is recommended.

### 記 號 說 明

$x$  : 移送方向의 變位  
 $f$  : 移送量  
 $f_t$  : 實際移送量  
 $A$  : 全振幅  
 $a$  : 振幅  
 $N$  : 工作物의 回轉速度  
 $n$  : 振動數  
 $S$  : 隣接工具通過距離  
 $v_0$  : 接線方向의 平均切削速度  
 $t$  : 切削깊이  
 $v$  : 칩의 排出速度  
 $R$  : 工具날끝의 半徑

$H_{max}$  : 表面粗度  
 $\theta$  : 工作物의 圓周角  
 $Rz$  : 圓周의 最大變位  
 $i$  : 時間

### 1. 緒 論

최근 工作機械의 高速化와 自動化에 따라 NCI 工作機械, CNC 工作機械는 물론 FMS(flexible manufacturing system)等 無人化加工이 활발하게 이루어지고 있다.

이와같이 自動化 또는 無人化加工이 이루어지고 있으나 아직도 많은 問題點이 惹起되고 있으며 그 중 하나가 칩의 처리문제이다.

\* 正會員, 서울大學校 工科大學

즉 超硬切削工具로 外徑을 旋削할 때 칩이 연속적으로 排出되어 工作物과 切削工具에 감겨 작업을 하기 어려울 뿐만 아니라 加工自體는 自動化되어도 칩을 처리하기 위하여 사람의 손이 필요하게 되고 많은 노력과 시간을 낭비하게 된다.

이것을 해결하기 위하여 Worthington 과 Redford<sup>(1)(2)</sup>는 칩을 curl 시켜서 切削工具에 감기는 것을防止하고 있으나 이것은 切削工具의 磨滅이 빠르고 또한 磨滅에 따라 切削工具날의 變形으로 curl 形狀의 칩이 발생하지 않고 연속 칩이 발생한다.

또 chip breaker를 사용하여 칩을 切斷하는 방법도 있으나 이것도 다듬질할 때에는 高速切削과 低速移送에 의하여 역시 연속 칩이 발생한다.

즉 Nakayama<sup>(3)</sup>의 研究에 의하면 chip breaker를 사용하여도 칩의 流出圓半徑에 대하여 限界移送速度가 존재한다는 것이 판명되어 있고, 限界值 이하의 移送速度에서는 chip breaker를 사용하여도 칩은 切斷되지 않고 排出된다는 것이며 실제로 自動化된 NC 工作機械를 사용하는 곳에서도 이에 대한 대책으로 고심하고 있는 실정이다.

그러므로 여기에서는 이것을 解決하기 위하여 切削工具에 移送方向으로 振動을 주며 이것을 自動移送를 시킴으로써 연속칩을 切斷시키도록 하는 裝置를 만들었다.

즉 振動移送裝置를 제작하여 그 振幅과 振動速度를 工作物의 回轉速度와 移送速度에 대하여 여러가지로 변화시키면서 칩의 切斷狀態와 加工面의 表面粗度 그리고 直圓度에 미치는 영향에 대하여 구명하였다.

## 2. 理 論

### 2.1. 工具切削날의 運動機構

工作物에 대하여 工具가 sin wave에 따라 rake angle이 극히 작은 값이기는 하나 변화하는 有效工具角이 변화하지 않고 移送方向의 sine wave 振動을 한다고 가정하면 어느 時刻에 있어서 切削날의 振動中心에 대한 移送方向의 變位  $x_1$ 은 다음과 같이 된다.

$$x_1 = a \sin 2\pi \frac{n}{60} t \quad (1)$$

工作物이 1 回轉한 후 어느 時刻에 있어서의 變位  $x_2$ 는

$$x_2 = f + a \sin \left( 2\pi \frac{n}{60} t + 2\pi \frac{n}{N} \right) \quad (2)$$

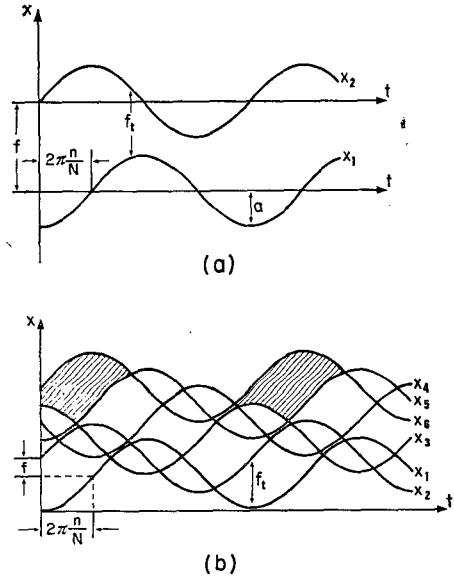
이 되며, 공구의 實際移送  $f_i$ 는 다음과 같이 된다.

$$f_i = f + A \sin \pi \frac{n}{N} \cdot \cos \left( 2\pi \frac{n}{60} t + \pi \frac{n}{N} \right) \quad (3)$$

實際移送의 極大值와 極小值는

$$\left. \begin{aligned} f_{i,max} &= f + \left| A \sin \pi \frac{n}{N} \right| \\ f_{i,min} &= f - \left| A \sin \pi \frac{n}{N} \right| \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

이며, 이 때 Fig. 1에서  $f_{i,min} \geq 0$ 의 경우에 따라 連續切削과 斷續切削의 두 類形으로 나누어지며 Fig. 1 (a) 및 (b)와 같이 分類된다.



(a) continuous (b) intermittent.

Fig. 1 Tool path and variation of actual feed,

Fig. 1 (b)의 경우는 工具의 每經路마다 び트낀 부분만이 切削되며, 工具의 經路가 K번째 후의 經路와 교차되는 점은 (3)式에서

$$0 = (K-1)f + A \sin(K-1)$$

$$\pi \frac{n}{N} \cos \left[ 2\pi \frac{n}{60} t - (K-1)\pi \frac{n}{N} \right]$$

그러므로

$$\cos \left[ 2\pi \frac{n}{60} t - (K-1)\pi \frac{n}{N} \right] = - \frac{(K-1)f/A}{\sin(K-1)\pi \frac{n}{N}} \quad (5)$$

### 2.2. 칩의 切斷機構

斷續切削切削狀態에서는 항상 칩이 切斷되지만, 連續切削狀態에서는 Fig. 2와 같이 칩切斷의 臨界條件이 발생된다<sup>(4)(5)</sup>.

Fig. 2에서 칩 ab의 質量을 m, 速度를 v, 切削速度를  $v_0$ , 칩의 彈性係數를 k라 할 때

$$m = \frac{d^2x}{dt^2} = k(v_0 t - x) \quad (6)$$

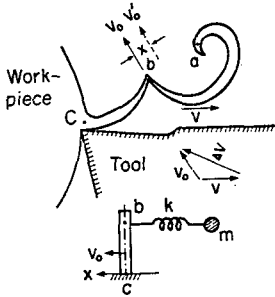


Fig. 2 Mechanism of chip breaking.

初期條件으로  $t=0$  에서  $x=0, \frac{dx}{dt}=0$  를 사용하면  
一般解는

$$x = -v_0 \sqrt{\frac{m}{k}} \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t + v_0 t \quad (7)$$

한편  $v = \frac{dx}{dt}$  이므로 스프링  $b$  가  $\Delta t_c$  의時刻에서 최대 처짐  $\Delta l$  을 일으키며 切斷된다고 하면, 이 때 필요한 힘은 다음과 같다.

$$F_c = m \frac{\Delta v}{\Delta t_c} = \frac{m}{\Delta t_c} \sqrt{v_0^2 - \frac{k}{m} (\Delta l)^2} \quad (8)$$

2.3. 加工面の 理論거칠기

加工面の 거칠기는 切削날끝의 모양과 移送運動機構에서 幾何學的으로 구하는 理想거칠기  $H_1$  과 built up edge의 生成과 脫落에 의해서 생기는 거칠기  $H_2$ , 工具의 chipping 과 磨滅에서 생기는 거칠기  $H_3$ , 工具의 振動 및 chatter에서 생기는 거칠기  $H_4$ , 그리고 재료의 機械的 性質에서 생기는 거칠기  $H_5$  등의 요인에 의한 補正거칠기의 합으로 볼 수 있다.

즉 加工面の 거칠기  $H$  는

$$H = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5 \quad (9)$$

그리고 理想거칠기  $H_1$  은 切削날끝의 모양과 連續切削間隔  $S$  의 크기에 따라 Fig. 3에서 다음과 같은 세가지 경우로 나누어 求할 수 있다.<sup>(6)</sup>

移送距離가 매우 짧아 거칠기의 山이 切削工具날의 圓弧와 그 다음 圓弧가 서로 이어질 경우

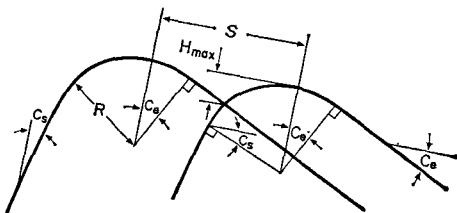


Fig. 3 Configuration of surface roughness in adjacent cutting edge nose.

즉,  $S \leq 2R \sin C_0$  일 때에는

$$H_1 = R \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{S^2}{4R^2}} \right) \quad (10)$$

移送距離가 다소 길어서 거칠기의 山이 圓弧에서 연장된 直線部分과 그 다음 圓弧가 서로 이어질 경우

즉,  $2R \sin C_0 e < S \leq R[1 - \sin(C_0 - C_*)] / \sin C_0$  일 때에는

$$H_1 = R \left[ 1 - \cos C_* \left( 1 - \frac{S}{R} \sin C_0 - \sin C_* \right) \sqrt{2 \frac{S}{R} \sin C_0 - \left( \frac{S}{R} \sin C_0 \right)^2} \right] \quad (11)$$

移送距離가 길어 거칠기의 山의 圓弧에서 연장된 直線部分과 그 다음 圓弧에서의 연장된 直線部分이 서로 이어질 경우

즉,  $S > R[1 - \sin(C_0 - C_*)] / \sin C_0$  일 때에는

$$H_1 = R + \frac{1}{\cos(C_0 - C_*)} (S \sin C_0 \cos C_* - R \cos C_* - R \sin C_*) \quad (12)$$

連續切削間隔  $S$  는 連續切削狀態에서는 徑路順序에 의존한다.

이 때 최대 거칠기 및 거칠기 波形을 얻으려면 Fig. 4와 같은 flow chart에서 加工面の 理論거칠기 曲線을 구할 수 있다.

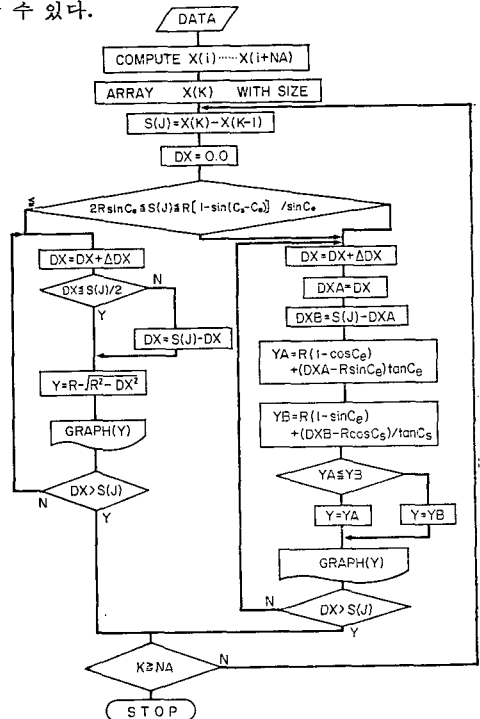


Fig. 4 Flow chart for a theoretical surface roughness curve.

2.4. 眞圓度에 대한 影響

切削工具날의 높이가 工作物의 중심 높이와 일치하고 chatter 振動을 일으킬 限界切削 깊이로 넣지 않는다면 主切削抵抗  $P_c(t)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다. 連續切削狀態에서는

$$P_c(t) = P_{mean} + P \sin \omega t \quad (13)$$

斷續切削狀態에서는 크기  $P_c$ , 經過時間  $t_c$  및 週期  $T$ 의 直四角形 pulse 로 가정하여

$$P_c(t) = \frac{t_c}{T} P_c + \frac{2}{\pi} P_c \sum_{r=1}^{\infty} \frac{1}{r} \sin r \frac{t_c}{T} \pi \cos r \omega t \quad (14)$$

이 때 Fig. 5와 같은 振動系에서 工具에 대한 工作物의 相對變位를  $y$ 라 하고,  $K = K_w + K_t$ 라고 하면 解는 다음과 같이 얻어진다.

$$M \frac{d^2 y}{dt^2} + C \frac{dy}{dt} + Ky = P_c(t)$$

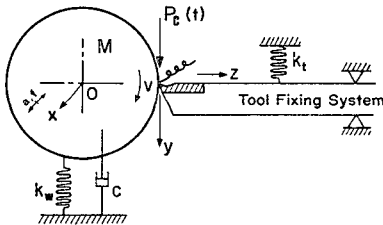


Fig. 5 Dynamic system between tool and workpiece.

連續切削狀態에서는

$$y = \frac{P_{mean}}{K} + \frac{P}{K} \frac{1}{\sqrt{(1 - \frac{\omega^2}{\omega_r^2})^2 + 4\nu^2 \frac{\omega^2}{\omega_r^2}}} \sin(\omega t - \varphi) \quad (15)$$

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{2\nu \frac{\omega}{\omega_r}}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_r^2}}, \quad \nu = \frac{1}{2} C / \sqrt{KM}, \quad \omega_r = \sqrt{K/M}$$

斷續切削狀態에서는

$$y = \frac{t_c}{T} \frac{P_c}{K} + \sum_{r=1}^{\infty} \frac{\frac{P_c}{K} \frac{2}{r\pi} \sin r \frac{t_c}{T} \pi}{\sqrt{(1 - r^2 \frac{\omega^2}{\omega_r^2})^2 + (4r^2 \nu^2) \frac{\omega^2}{\omega_r^2}}} \sin(r\omega t + \varphi_r) \quad (16)$$

$$\varphi_r = \tan^{-1} \frac{1 - r^2 \frac{\omega^2}{\omega_r^2}}{2r\nu \frac{\omega}{\omega_r}} \text{이다.}$$

따라서 工作物의 變化  $\Delta R$ 은

$$\Delta R = \sqrt{R^2 - y^2} - R \quad (17)$$

로 나타낼 수 있다.

3. 實 驗

3.1. 實驗裝置

實驗에 사용한 旋盤은 Okuma CS type 이고 旋盤主軸의 回轉速度와 振動移送裝置의 回轉速度를 精確하게 측정하기 위하여 stroboscope Sugawara S-3 A 를 사용하였고 檢出한 光電 pulse 신호를 Fig. 6과 같이 universal counter에 넣어 工具振動數와 工作物의 回轉數를 구한 후 切削實驗을 하였다.

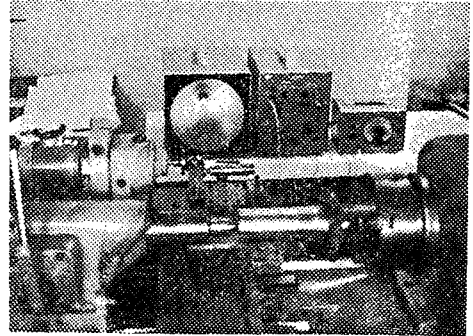


Fig. 6 Strobe scope and universal counter.

Surface roughness tester는 Kosaka SE-4 A 를 그리고 circularity tester는 Tokyo Seimitsu IC-10 CI 를 사용하였다.

이 實驗을 위하여 제작한 振動移送裝置는 Fig. 7과 같이 振動數를 자유롭게 택할 수 있도록 無段變速電動機를 사용하였으며 이 電動機 主軸에 傾斜圓板을 고정시키고 이것과 回轉 ring을 接觸시켰다.

傾斜圓板이 回轉하면 回轉 ring에 振動을 주며 이것을 工具台에 옮겨 工作物의 軸線方向으로 切削工具가 直線往復振動을 하도록 만들고 回轉 ring을 傾斜圓板의 中心點에 接觸시켰을 때에는 振動이 일어나지 않고 中心點에서 멀어질 수록 振幅이 넓어지도록 되어 있어 振幅을 자유롭게 정할 수 있도록 하였다.

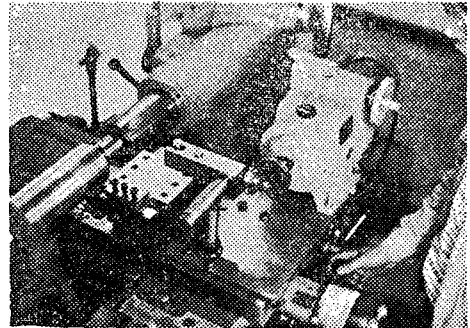


Fig. 7 Oscillatory feed cutting apparatus.

3. 2. 實驗條件

切削工具는 大韓重石鑛業株式會社製 P 20 精密級 正 4 角形 SNMA 120408 超硬工具를 사용하였고 工作物의 材質는 SM 45 C, 外徑은 85 mm, 切削速度는 150 m/min, 切削 깊이는 0.6 mm, 移送速度는 0.1 mm 로 하였다.

4. 實驗結果 및 考察

4. 1. 칩의 切斷過程

前述한 바와 같은 條件에서 移送方向으로 振動을 주 지 않고 工作物을 旋削한 結果 chip radius  $\rho \approx 3.5$  mm 인 연속칩이 排出되었고 chip breaker 가 있는 切削工具를 사용하여도 亦是 연속칩이 발생하였다.

그러므로 本 實驗에서는 주로 振動移送裝置를 사용하여  $A/f$  및  $n/N$  값의 크기에 따른 칩 切斷實驗을 하 였고 Fig. 8 과 같은 결과를 얻었다.

즉 Fig. 8 에서 칩의 切斷領域은 0 票로 表示한 곳이며 實線은 앞의 (4) 式에서  $f_{i \min} = f - \left| A \sin \pi \frac{n}{N} \right| = 0$  의 條件을 의미하고 이 曲線의 위쪽은 斷續切削의 경우이며 이 때에는 확실하게 칩이 切斷된다.<sup>(7)</sup>

그리고 이 曲線의 아래쪽은 連續切削狀態의 경우이며 (9) 式에서  $F_c$  가 칩의 最小 두께에 比例한다고 볼 때  $0 < f_{i \min} < 0.03$  mm 의 領域에서만 칩이 切斷되고,  $f_{i \min} = 0.03$  mm 의 曲線上에서는 칩의 切斷이 不安定한 過渡의 狀態로 된다.

따라서  $n/N = i (i = 0, 1, 2, \dots)$  에 해당되는 wave on wave cutting 에서는  $A/f$  값의 크기에 관계없이 칩이 切斷되지 않으며,  $n/N = i + 0.25$  의 경우에는  $A/f > 1.0$  인 領域에서 칩이 切斷되고 또  $n/N = i + 0.5$  의 경우에는  $A/f > 0.7$  인 領域에서 칩이 切斷되는 가장

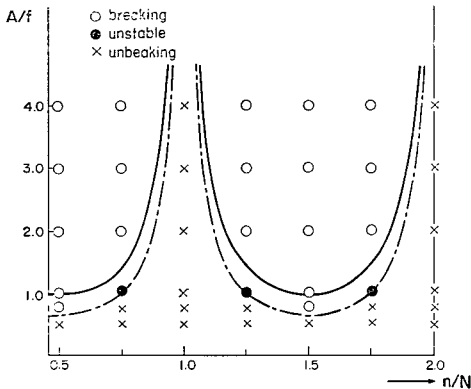


Fig. 8 Region of chip breaking.

유리한 경우이다.

또  $n/N = i + 0.75$  의 경우는 境界條件의 對稱性으로 인하여  $i + 0.25$  의 경우와 같은 조건이다.

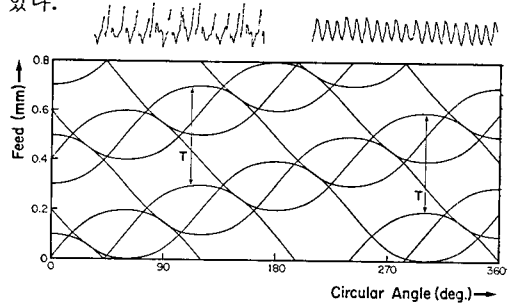
그리고 앞의 (8) 式을 사용하면 칩에 생기는 破壞應力의 觀點에서 칩切斷의 限界領域을 제한하면 過度의 狀態에서의 破壞時 칩에 생기는 모멘트는  $F_c L = \frac{mL}{\Delta i_c} \sqrt{v_0^2 - \frac{K}{m} (\Delta l)^2}$  이므로 破壞應力은  $\sigma_c = \frac{6}{d \cdot f_{i \min}^2} F_c L$  로서 구하여진다.

4. 2. 加工面 거칠기

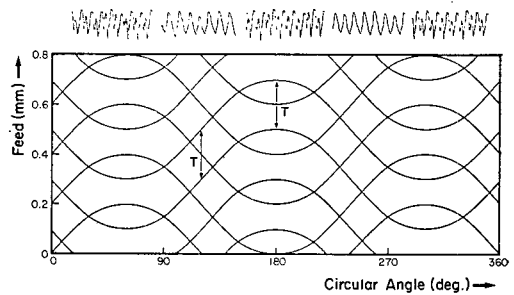
$C_s = C_r = 15^\circ, R = 0.8$  mm 의 切削工具날을 갖는 正 四角形 tip insert 를 사용하여 振動移送切削을 한 결과 다음과 같은 加工面 거칠기 特性을 얻었다.

앞의 Fig. 4 의 flow chart 에서 理論거칠기 曲線의 特性이 把握되었으며, 이는 曲線의 波形에 있어서 實驗結果와 잘 일치하였다.

Fig. 9 에서 (a) 는  $2\pi \frac{n}{N} = 90^\circ$ , (b) 는  $180^\circ$  의 두 경우에 대하여 連續切削날 間隔과 T 方向의 거칠기 波形과의 相關關係를 나타낸 것이며, 圓周角度에 따라 波形 및 최대높이가 周期的으로 반복되고 있음을 보여주고 있다.



(a)



(b)

(a)  $n/N = 1.25$ , (b)  $n/N = 1.5$

Fig. 9 Configuration of surface profiles due to adjacent tool path intervals.

이와같은 거칠기 曲線의 變化特性을 살펴보면  $n/N = i$

의 경우에는  $A/f$ 의 크기에 관계없이 항상  $S=f(=0.1 \text{ mm})$ 를 유지하며 波狀的 切削을 하기 때문에 單調로운 單一波形을 갖고 加工面거칠기도 가장 良好하지만 칩은 切斷되지 않는다.

$n/N=i+\delta(0<\delta<1)$ 의 상태에서는  $A/f \geq 1$ 에 따라서 다른 樣狀을 띠며 일연의 변화를 반복한다.

이 때 이 일연의 변화속에 포함되는 peak의 수를  $m$ 라하면  $2\pi \frac{n}{N} \cdot m = 2\pi i'$  ( $m, i'$ 는 이 식을 만족하는 최소자연수)이므로  $m = \frac{N}{n} i'$ 로 구해진다<sup>(8)</sup>.

한편 圓周角에 따른 軸方向 거칠기曲線의 변화는  $\delta=0$ 의 경우에서  $\delta=0.5$ 의 경우로 갈수록 현저하게 나타나며  $\delta=0.5$ 의 경우에서는  $\pi \frac{n}{N}$ 의 圓周角 마다 加工面에 생긴  $2 \frac{n}{N}$ 個의 干涉무늬를 육안으로도 식별할 수 있었으며 이는 加工面의 거칠기가 가장 良好한 곳임을 의미한다.

이처럼 加工面거칠기曲線의 波形은  $\delta$ 의 크기 뿐만 아니라 같은 工作物內에서도 圓周角에 따라서 서로 다르기 때문에 최대높이 거칠기로 나타내는 것이 합리적이다.

前述한 (10)式에서 切削速度를 150 m/min로 하였기 때문에 built up edge는 발생하지 않고, 切削工具는 새로운 것으로 수시 교체하여 사용하였으므로 chipping과 磨滅에 대한 影響도 없으며, 칩은 flow type이므로 材料의 機械的性質에 의한 影響은 적으나 切削面의 burr의 영향은 다소 받게되므로 補正거칠기는 주로 工具의 chatter 振動에 의한 것과 burr의 영향을 받은 것이 된다<sup>(9)</sup>.

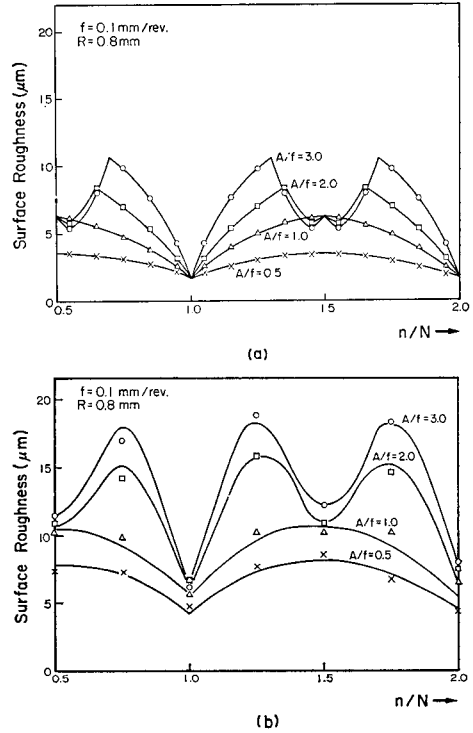
그러므로 Fig. 10에서 보는바와 같이 Fig. 4의 flow chart에서 얻어진 理論거칠기 보다 實驗에서 얻은 實驗거칠기가 커져 있음을 알 수 있다.

여기서 實驗値와 理論値의 차이가 생긴 補正거칠기는  $A/f=0.5$ 일 때 약  $3.0 \mu\text{m}$ ,  $A/f=1.0$ 일 때 약  $4.0 \mu\text{m}$ 로 거의 일정치를 유지하고 있으나  $A/f=2.0$ 일 때에는  $4.5 \sim 8.0 \mu\text{m}$ ,  $A/f=3.0$ 일 때에는  $6.0 \sim 10.0 \mu\text{m}$ 로서  $n/N$ 의 값에 따라 상당히 크게 변화하고 있다.

이는 斷續切削의 상태가 連續切削의 상태보다 位相에 따른 工具振動의 변화가 심하기 때문인 것으로 把握된다.

또 이 두 경우에 대해  $n/N$ 의 값에 따른 加工面거칠기의 變化特性도 달라지는데  $A/f \leq 1$ 의 경우에는  $\delta=0$ 일 때 가장 작고 暫次 增加하다가  $\delta=0.5$ 일 때 最大値를 갖지만,  $A/f > 1$ 의 경우에는  $\delta=0$ 일 때 가장 작고, 그 후 급속히 증가하며 最大値에 도달한 다음 다시 감소하게 된다.

이는 앞에서 밝힌바와 같이 최대높이 거칠기는 最大



(a) Theoretical value (b) Experimental value  
Fig. 10 Surface roughness variation.

連續切削날 간격에 相應하여 발생되기 때문에 斷續切削의 상태에서는  $\delta=0.5$ 라 할지라도  $S_{\text{max}}=2f$ 로서 比較的 良好한 面의 거칠기를 나타내는데 그 이유가 있다.

### 4.3. 眞圓度

移送方向으로 工具를 振動시키지 않고 旋削한 工作物의 眞圓度는 橢圓形으로 最大値와 最小値가 各各 두 번씩 나타났다.

그러므로 이 實驗裝置系에서 形成되는 眞圓度の 基本 mode는  $R_z \sin 2\theta$ 로 나타내며 振動移送切削을 하면 앞의 (17)式에 의한 工作物 半徑方向의 變位가 重疊되기 때문에  $n/N$  및  $A/f$  값의 크기에 따라 Fig. 11과 같이 변화하였다.

Fig. 11(a)는  $A/f=3.0$ 일 때  $n/N$  값의 크기에 따른 眞圓度の 차이를 나타낸 것이며,  $n/N=1.5$ 의 경우는 眞圓도가 가장 不良하고  $n/N=i$ 로 갈수록 漸次 良好하게 되고 있다.

이는  $n/N=i+\delta$ 에서  $\delta=0$ 으로 부터  $\delta=0.5$ 의 상태로 갈수록 앞의 (14)式에 있어서 pulse의 經過時間  $t_c$ 가 짧아지고 pulse의 크기  $P_c$ 가 커지기 때문에 이에 따라 (16)式的 變위가 커지는 것으로 考察되며, 이

는 주로 chatter 振動에 의한 것과 burr 에 의한 원인으로 取扱된 補正거칠기 값의 變化 樣狀과 類似한 特性을 보이고 있다.<sup>(10)</sup>

또한 Fig. 11(b)는  $n/N=1.5$  일 때  $A/f$  값에 따른 眞圓度の 變化를 나타낸 것이며  $A/f$  의 값이 커질수록 眞圓도가 나빠지는 추세를 보이고 있다.

$A/f < 1$  인 경우에는 앞의 (13)式에 있어서  $P_{mean} > 2P$  이며 (14)式과 비교하여 볼 때  $P_{mean} < P_c$  이고  $t_c$  도 斷續切削상태보다 큰 값으로 취급된다.

그러므로 이 實驗裝置系에서 (15)式에 의한 變位の 最大值는 斷續切削상태보다 일반적으로 매우 작게 나타나는 사실을  $A/f=0.5$  의 경우 眞圓度の 變化로 把握할 수 있다.

$A/f=2.0$  의 경우에는  $R_z=11\sim 12\ \mu m$  을 나타내는 반면에  $A/f=0.5$  의 경우는  $R_z=5\sim 6\ \mu m$  로서 매우 良好한 眞圓度を 나타내고 있다.

그리고  $n/N$  이 일정할 때  $A/f$  값이 커지면 Fig. 3 에서 보는바와 같이 uncut chip shape 에서 알 수 있

듯이 (14)式에서의 pulse 형태가  $t_c$  는 작아지고  $P_c$  는 커지는 성질을 가지고 있기 때문에 (16)式에 의한 變位도 커지고 眞圓度も 나빠지는 양상을 나타내고 있다.

이와같이 眞圓度は 工具-工作物系의 기본 mode 와 切削力 波形에 따른 振動系의 變位를 重疊하여 결정할 수 있음을 考察한 바 眞圓度曲線의 變化周期도  $n/N$  및  $A/f$  에 따라 서로 다르게 나타남을 Fig. 11에서 알 수가 있다.

이는 (16)式에 있어서 pulse 의 經過時間  $t_c$  가 길어질수록 變位の 週期가 길어지는 성질에서 把握할 수 있다.

즉 Fig. 11(a)에서  $\delta=0$  인 連續切削狀態에서는 眞圓度曲線이 基本 mode 의 周期과 거의 一致하고 있음을 나타내고 있으며  $\delta=0.5$  에 가까와 질수록 眞圓度曲線은 不規則하게 나타나고 있다.

이상과 같이 實驗結果를 綜合的으로 考察하여 볼 때 振動移送切削에 있어서 칩의 切斷, 加工面거칠기 및 眞圓度は 칩이 切斷되는 領域中 斷續切削狀態에서는

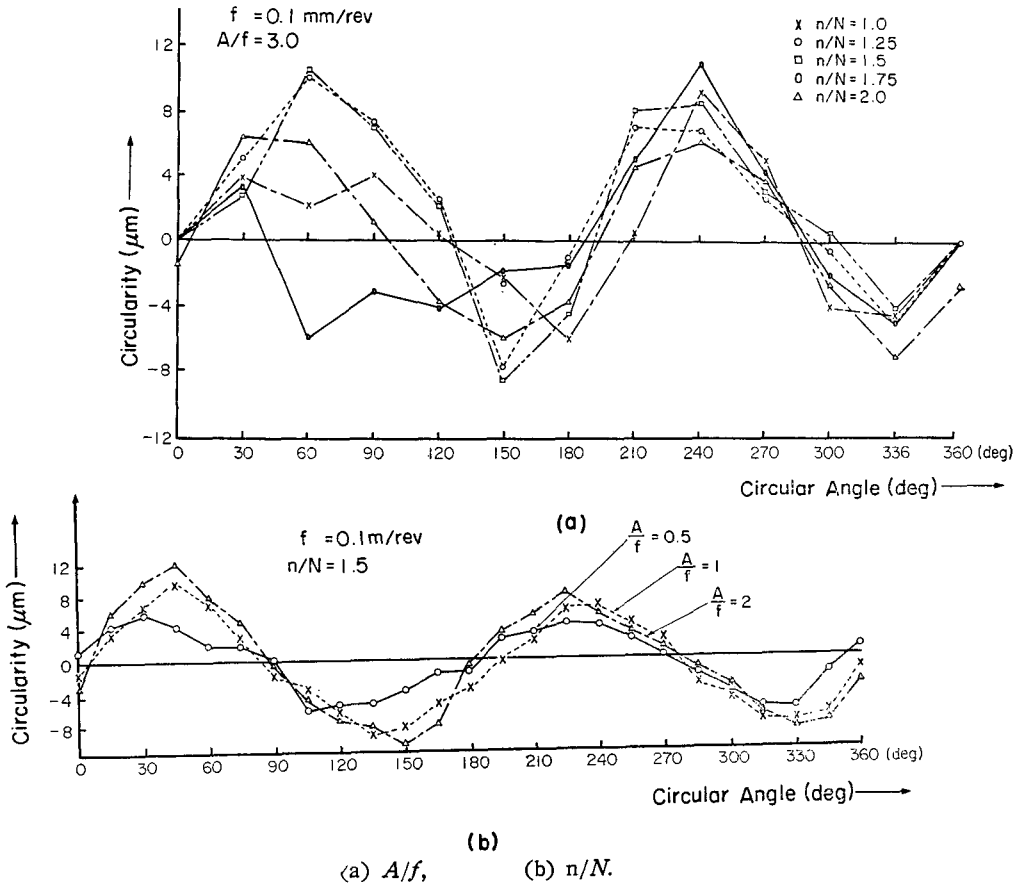


Fig. 11 Experimental values of circularity according to  $n/N$  and  $A/f$ .

加工面 거칠기가 나빠질 뿐만 아니라 工具損傷의 원인이 되는 문제점을 갖고 있다<sup>(11)</sup>.

한편  $A/f=1$  일 경우에는 Fig. 10에서 보는바와 같이 칩의 切削效果가 안정되어 있고 또한 加工面거칠기도 비교적 良好하다.

그러나 이 때에는  $n/N=i+0.5$ 의 부근에서는 工作物의 圓周方向에 따라 거칠기의 변화가 심하고 眞圓度も 나빠지므로 이와같은 상태는 바람직하지 못하다.

따라서 일반적으로 振動移送切削은 능률적으로 하려면  $A/f=1$ ,  $n/N=i+\delta(0.3<\delta<0.4)$ 의 부근에서 切削하는 것이 바람직하다.

### 5. 結 論

振動移送切削實驗을 통하여 칩의 切斷과 加工面の 거칠기 및 眞圓도에 미치는 영향에 대하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

- (1) 本 實驗에서 칩이 切削되는 領域은  $f: \text{min} < 0.03\text{mm}$  ( $=0.3f$ )이다.
- (2) 加工面 거칠기는  $A/f$ 가 커짐에 따라 증가추세를 보이고  $n/N \leq 1$ 인 경우에는  $\frac{n}{N}=i(i=0, 1, 2, \dots)$ 에서 최소값을 가지며 점차 증가하여  $\frac{n}{N}=i+0.5$ 일 때에 최대로 되는 단조로운 변화를 나타내지만  $A/f=1$ 인 경우에는  $\frac{n}{N}=i$ 의 최소값에서 급속히 증가하여 최대값에 도달하고 다시  $\frac{n}{N}=i+0.5$ 에 이를 때까지 감소한다.
- (3) 加工物의 眞圓도는  $\frac{n}{N}=i$ 의 기본 mode에서 점차 나빠지고 또한  $A/f$  값이 증가함에 따라 다시 나빠지게 된다.
- (4) 칩 切斷과 加工面 거칠기 및 眞圓도에 대한 특성을 고려할 때 振動移送切削에서는  $A/f=1$ ,  $n/N=i \pm \delta(0.3 < \delta < 0.4)$ 의 부근에서 切削하는 것이 바람직하다.

### 後 記

本 研究는 1982年度 三美文化財團 研究費 支援에 의하여 이루어진 것이다. 三美文化財團의 關係 諸位에게 感謝를 드리고 또한 本 研究의 實驗에 積極 協助하여 주신 大韓重石鑛業株式會社의 關係 諸位에게 謝意를 表한다.

### Reference

1. B. Worthington, A.H. Redford, Chip Curl

- and the Action of the Groove Type Chip Former, Int. J. MTDR Vol. 13, pp. 257~270, 1973.
2. G.R. Ponskhe, A New Explanation of the Phenomenon of Chip Curling During Machining, Journal of Engineering for Industry, Trans. ASME, pp. 376~379, 1967.
3. K. Nakayama, A Study on Chip Breaker, JSME, 27—178, pp. 833~842, 1961.
4. N.H. Cook, P. Jhaveri, N. Nayak, The Mechanism of Chip Curl and its Importance in Metal Cutting, Trans. Journal of Engineering for Industry, ASME, pp. 374~380, 1963.
5. J.K. Russell, R.H. Brown, Deformation During Chip Formation, Journal of Engineering for Industry, Trans. ASME, pp. 53~56, 1965.
6. R.C. Skelton, Surface Finish produced by a Vibrating Tool During Turning. Int. J. MTDR, Vol.9, pp. 375~389, 1969.
7. A.J. Pekelharing et al., The Exit Failure in Interrupted Cutting, Ann. CIRP, 27—1, pp. 5~10, 1978.
8. R.C. Skelton, Turning with an Oscillating Tool, Int. J. MTDR, Vol.8, pp. 239~259, 1968.
9. C. Rubenstein, An Analysis of Dynamic Cutting when a Plane Surface is Cut with an Oscillating Tool, Int. J. MTDR, Vol. 12, pp. 176~191, 1972.
10. W.K. Luk, R.C. Brewer, An Energy Approach to the Mechanics of Discontinuous Chip Formation, Jour. of Engineering for Industry, Trans. ASME, 1964, pp. 157~162, 1964.
11. P.K. Philips, Tool Wear and Tool life in Intermittent Cutting of Hardened Steel Using Conventional Hardmetal Insert, Int. J. MTDR, 18, pp. 19~28, 1977.