

旋削에 있어서의 被覆, 非被覆팁 및 防振装置가
切削성에 미치는 影響에 관한 實驗的 研究

南 俊祐*, 李 用成**

An Experimental Study on the Machinability Influenced by Coated
and Uncoated Tips, and Damping Device in Turning

Joon-Woo Nam, Yong-Seong Lee

ABSTRACT

An experimental investigation of the machining characteristics such as cutting resistance, surface roughness and tool wear in turning the test pieces of SM45C steel with both coated and uncoated carbide tool tips under various cutting conditions was conducted.

Also a specially designed simple vibration damping device was experimentally evaluated for its effectiveness on machined surface roughness and a vibration test was conducted to confirm its ability to reduce the amplitude.

Based on these tests finding, the following conclusions are made ;

1. The cutting resistance(P_1) increases as the depth of cut(d) increases at fixed feed rate(f) over the cutting speed(v) range of 43-226 m/min and p decreases about 18% average when V is increased for fixed d and f . At $V=226$ m/min, P_1 for A,C tips are about the same level but P_1 for B tip is 15% less than A,C tips.
2. The specific cutting resistance(K_s) at $V=226$ m/min was derived for A,B,C tips respectively and the value of K_s for B tip is about 20% less than A,C tips.
3. The surface roughness(R_a) improves significantly as the cutting speed(V) is increased and this effect was greater when $V>100$ m/min.

On the other hand, R_a deteriorates as the feed rate(f) is increased and this trend was accelerated when $f>0.3$ mm/rev.

* 國民大, 工大

** 檀國大, 工大

With regard to the difference of Ra values among A,B,C tips, at $V=226\text{m/min}$, $d=0.4\text{mm}$, and $f=0.31\text{-}0.61\text{mm/rev}$, Ra values for B,C tips are about 17% less than tip A.

- The experimental tool wear equations were derived for A,B,Ctips and from these equations, the tool life (T_L) based on the I.S.O. criteria was calculated to be $T_{LA} < T_{LB} < T_{LC}$ for both flank wear(V_B) and boundary wear(V_N). Hence, the coated tips are superior to the uncoated tip and tip C is considered to be the best.
- The cutting resistance may be slightly reduced and the surface roughness improved when the damper is used especially when $V > 100\text{ m/min}$.

Therefore this damping device is considered to be effective and practical. The experimental surface roughness equations were also derived.

Based on the vibration test, it is established that the surface roughness improvement was the result of amplitude reduction made possible by the damper.

I. 緒 論

機械工業製品生産에 있어서 切削加工 工程이 차지하는 比重은 매우 크고, 生産原價 構成의 重要한 部分을 차지한다. 따라서 切削費用의 節減과 加工된 部品의 品質向上을 期하기 위한 여러가지 研究, 즉, 切削機構의 理論的解析이나 實驗的 研究가 過去에 많이 이루어졌으며, 이러한 研究는 工作機械의 性能向上과 더불어 재료의 登場한 超硬切削工具의 出現으로 더욱 더 活潑해졌다.

Taylor, Merchant 등의 切削理論이라든지, Kronenberg, Taylor 등의 切削抵抗 및 工具壽命에 關한 實驗的 研究는 이 分野의 學問的 基礎를 이루고 있다. 切削에 關한 많은 研究 中에는 切削抵抗과 工具摩耗에 關한 研究^{1,2)}, 工具摩耗과 工具壽命에 關한 研究^{3,4,5,6)}, 表面粗도와 切削速度^{7,8)}, Chatter振動^{9,10)}, 防振方法 및 裝置^{11,12)} 또는 超硬tip材의 切削性에 關한 研究^{13,15)} 등 그 研究主題가 多樣하나 相互 聯關性이 있고, 이들 研究의 窮極的인 目的은 切削機構의 올바른 理解와 解明을 通하여 關聯學問과 工業의 계속적인 發展에 寄與하는데 있다고 볼 수 있다.

康明順等¹⁵⁾의 超硬工具 tip材의 切削性能 研究에서는 低速域으로 볼 수 있는 $90\text{m/min} \sim 125\text{m/min}$ 의 切削速度域에서의 工具摩耗 등을 調査한 바 있다. 그런데 이보다 높은 高速域에서, 輕切削 時의 tip材의 切削性을 調査한은 工作機械의 高速化 傾向에 비추어 必要하다고 判斷된다. 한편, 切削加工 中에 發生하는 工具와 被削材 間의 심한 相對振動은 加工精密度の 低下, 工具壽命의 단축, 切削抵抗의 增加 등의 문제를 유발한다. 지금까지는 이러한 문제점을 극복하기 위하여 工具의 形狀, 材質, 被覆技能의 向上, 各種 超硬合金 母材의 보급 등으로 많은 向上을 이룩한 바 있으며, 吉元弘 等¹⁶⁾은 旋削 作業에 있어서의 再生型 Chatter振動을 抑制할 수 있는 裝置를 만들어 荒削(切削깊이가 1.8mm , 移送速度가 0.13mm/rev), 低速(切削速度가 70m/min)의 切削條件下에서 센터作業 時의 防振 效果를 評價한 바 있다. 그러나 이러한 대책이 粗作業 時의 高速의 輕切削 條件下에서도 有效 適切한가를 調査 研究할 必要가 있다고 思料된다. 따라서 本 研究의 一次的 目的은 被覆 및 非被覆 超硬工具의 切削條件의 變化에 따른 切削抵抗, 表面粗度 및 摩耗量 등 切削性에 關聯

되는 여러 因子들을 實驗的으로 調查하여 比較 評價함으로써 切削性 特히 工具壽命의 優劣을 判斷하고 同時에 切削性能에 直接 影響을 미치는 것으로 알려진 振動의 減衰를 위해, 實用的인 防振裝置를 設計製作하여 그 有效性을 比較的 高速切削條件 下에서 實驗的으로 評價하고 또한 이 性能向上과 防振效果와의 關係를 確認하는데 目的이 있다. 따라서 本 研究의 切削性 實驗에서는 調查對象 材料의 選定 및 切削條件의 設定에 있어서는 다른 研究者⁽¹⁰⁾⁽¹⁵⁾의 調查範圍를 高速域으로 擴大함으로써 既存 研究資料를 活用함과 동시에 그 應用範圍를 넓힘으로써 實用性을 向上하는데 重點을 두었으며, 防振裝置實驗 및 振動 實驗에서도 다른 研究者⁽¹²⁾보다 應用範圍를 高速域으로 擴大하여 高速輕切削에서의 防振效果를 評價하였다.

II. 實驗機器 및 方法

2-1. 實驗機器 및 裝置

2-1-1. 切削性 實驗

本 實驗에서 使用된 主要實驗機器는 다음과 같다.

- 1) 高速精密旋盤(Lathe)
Model : DLK - 1000 (大邱重工業)
- 2) 工具動力計(Tool dynamometer)
Model : TD - 300KA (KYOWA)
- 3) 增幅器(Dynamic strain amplifier)
Model : DPM - 305B (KYOWA)
- 4) 記錄計(Recording oscillograph)
Model : RAPET Series RMS - 11 (KYOWA)
- 5) 表面粗度計(Surface roughness tester)
Model : SURFTEST III Standard set
- 6) 顯微鏡(Versamet 2 microscope)
Model : 7158 (UNION)
- 7) 工具顯微鏡(Tool makers microscope)
Model : TM 101 Standard set (MITUTOYO)

2-1-2. 防振裝置

本 實驗에서는 切削性實驗에서 使用한 同一

한 機器를 使用하였으며 本 實驗을 위해서 특별히 設計, 製作된 振動減衰裝置는 다음 Fig. 2-1과 같다. 이 장치는 既存의 선반에 간단하게 부착할 수 있으며 構造가 簡單하고 機械의 운전 에 아무런 지장을 주지 않고 몇가지 簡單한 調整機能이 있어 接觸角(θ)이나 무게의 位置調整 으로 最適效果를 얻을 수 있게 設計하였다.

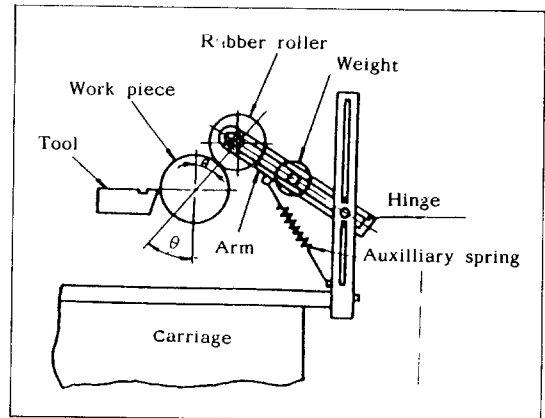


Fig. 2-1 Schematic diagram of the damper

이 裝置에 使用한 고무 roller($\phi 64\text{mm} \times 40\text{mm}$ 1 350g)는 쉽게 시중에서 구입할 수 있는 防振 고무로 만든 것이고, 重量물의 무게는 2.1kg($\phi 80\text{mm} \times 62\text{mm}$ 1)로서 防振 고무 roller 中心에서 110mm 떨어진 位置에 設置, 固定한 狀態에서 試驗을 하였다.

2-1-3. 振動實驗裝置

本 實驗에서 使用한 機器는 다음과 같다.

- 1) Gap detector, Model VT - 100 (Ono Sokki)
Sensor, Model VS - 021, measuring range :
0.05 ~ 2.05mm, sensor diameter : 10mm
- 2) FFT Analyzer, Dual Channel, Model CF -
500 (Ono Sokki)
- 3) XY Recorder, Model CX - 446 (Ono Sokki)

2-2. 被削材 및 切削工具

切削性實驗에서 使用한 재료는 일반적으로 많이 使用되는 構造用 炭素鋼 SM 45C ($\phi 48\text{mm} \times$

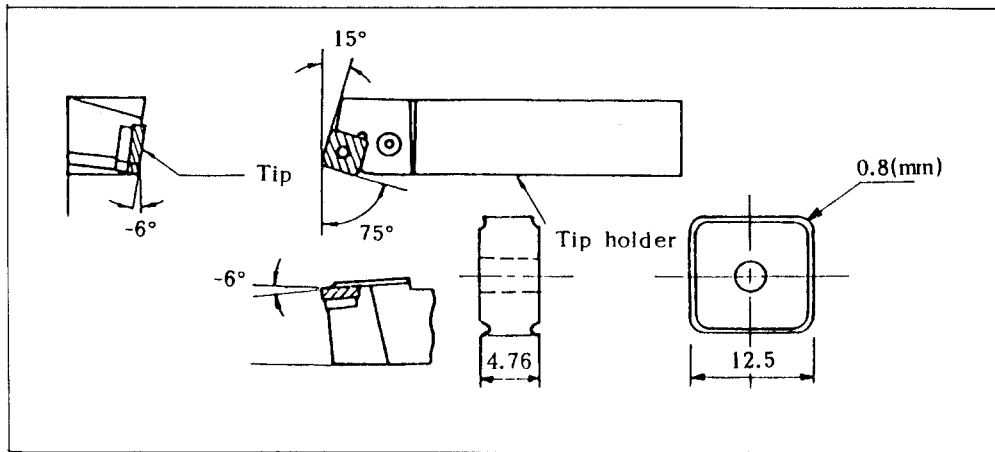


Fig. 2 - 2 Cutting tool geometry

600mm 1)로서 Fig. 2-3 과 같은 形狀으로 試片을 加工하여 切削抵抗 및 表面粗度試驗用 으로 사용하고 摩耗試驗用으로는 같은 SM45C 로서 $\phi 48\text{mm} \times 300\text{mm}$ 1 의 크기로 加工하여 사용하였다.

그리고 實驗에서 사용한 切削工具 팁은 국내에서 生産되는 throwaway팁 중 chip-breaker 가 있는 非被覆팁 KTP 20 (SNMG 120408) 및 被覆팁 KT 200 (WC+TiC+TaC+Co) 과 수입품인 서독(H社) 제 TiN+TiC 被覆팁 CM 3 (SNMG 120408) 의 3 중으로서, 편의상 KTP 20 을 A팁, KT 200 을 B팁, CM 3 를 C팁으로 각각 부르기로 한다.

工具角은 3 중이 모두 Fig. 2-2 와 같으며 lever type tip holder (PSBNR 252512N) 을 사용하였다.

防振實驗에서는 被削材로서 國產 構造用 合金鋼인 SCM 4 (SCM 4 ($\phi 50\text{mm} \times 220\text{mm}$ 1,)) 을 Fig. 2-4 와 같은 形狀으로 加工하여 사용하였다. SCM 4 를 選定한 것은 댄퍼 性能評價에 있어서 chatter振動을 더 크게 함으로써 그 減衰效果를 確實히 볼 수 있게 하기 위해서이다. 切削에 사용된 工具는 B팁이며 工具의 角度 등은 切削性實驗에서와 같다.

그리고 振動實驗에서 사용한 試片은 SCM 4 ($\phi 48\text{mm} \times 300\text{mm}$ 1) 이고 工具는 B팁을 부착한 tool holder로서 防振實驗에서와 同一하다.

2-3. 實驗方法

2-3-1. 切削性實驗

切削抵抗 測定을 위한 實驗器機 배열은 Fig. 2-3 과 같이 하였고 表面粗度 측정 에 있어서는 별도로 설치된 測定器 (Surftest II) 을 사용하였다. 測定用計器의 補正을 위해서 工具動力計의 경우 Instron (Model 1137, 500kgf load) 에서 50kgf 및 100kgf 하중을 걸어 比較한 결과 Instron에 비해 (-) 1%의 精密度를 확인할 수 있었다. 그리고 表面粗度 測定器는 製作者가 供給하는 표준시편으로 補正하여 사용하였다.

A팁의 Test No. 1 의 경우 試片을 양센터로 지지하고 팁을 고정된 工具를 工具動力計에 부착하였으며 動力計는 工具臺에 고정시켰다. 사용 선반의 仕様범위를 고려하여 切削條件은 우선 移送 $f = 0.31\text{mm/rev}$ 로 一定히 한 상태에서 $V_1 = 226.19\text{m/min}$ 의 一定 速度下에서 시편의 zone 1, 2, 3, 4 에서의 切削깊이 d 를 각각 0.2, 0.4, 0.8, 1.5mm로 변화시키면서 선삭시의 切削抵抗의 主分力 P_1 을 측정하였다.

表面粗度 (Ra) 測定을 위해 試片을 풀어서 V block에 고정시킨 상태에서 임의의 3점의 Ra 를 측정하여 평균치를 택하였다. 이러한 방법으로 $V_2 = 148.44\text{m/min}$, $V_3 = 91.04\text{m/min}$, $V_4 = 42.88\text{m/min}$ 에서 이 변화에 따른 P_1 , Ra 값을 차례로 측정하였다.

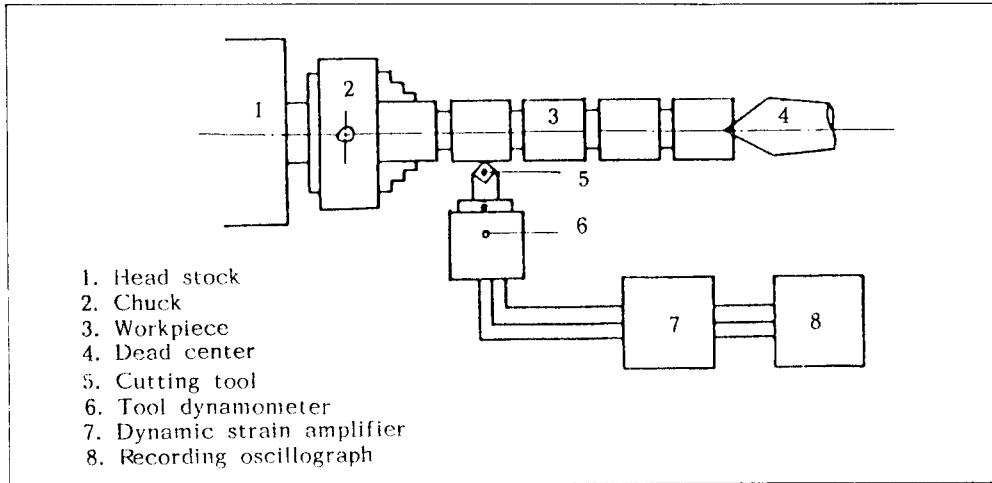


Fig. 2 - 3 Block diagram for cutting resistance test

A 팁의 Test No. 2는 f 대신 $d = 0.4\text{mm}$ 로 일정히 한 상태에서의 시험으로서 $V_1 = 226.19\text{m/min}$ 일때 試片의 zone 1, 2, 3, 4에서 f 를 각각 0.08, 0.15, 0.31, 0.61mm/rev로 변화시켰을 때의 P_1 을 측정하고 前述한 방법으로 Ra를 측정하였다. 同一한 방법으로 B팁에 대해서는 Test No. 3, Test No. 4를 C팁에 대해서는 Test No. 5, Test No. 6을 順次的으로 試驗을 시행하였다.

工具摩耗特性的 比較를 위해서는 試片을 양 센터로 지지하고 超硬 工具 팁 A, B, C를 각각 工具臺에 고정하고, $f = 0.21\text{mm/rev}$, $d = 0.5\text{mm}$, $V = 226.19 - 122.5\text{m/min}$ 의 切削條件 下에서 35분간 乾式切削을 하는 과정의 工具摩耗量(flank wear V_B , grooving wear V_N)을 매 5분마다 측정하였다.

摩耗는 크레이터마모, 플랭크마모, 경계마모(grooving wear)로 大別할 수 있으나 본 실험에서는 팁에 chip breaker가 부착되어 있으므로 크레이터마모를 측정하여 摩耗特性을 판정하기에는 많은 문제점이 있어 I. S. O. 판정기준을 따라 플랭크마모의 摩耗幅 V_B 와 경계마모폭 V_N 만을 측정하였다.

摩耗測定은 V_B 와 V_N 을 동시에 측정하였으며 마모폭은 Digi-matic head의 사용으로 각각 1/1000mm까지 精密測定하였고 이때 마모량측정에 사용한 工具顯微鏡 倍率は 5×15 이었다.

2-3-2. 防振實驗

被削材와 防振 고무 roller가 接觸하는 角度 θ 에 關係서는 吉元弘等¹²⁾은 振動의 最大振幅方向을 測定한 結果, 垂直方向에 對해서 約 30度 傾이 確認되었다고 報告하고 있다. 그런데,

$$\tan \theta = \frac{P_3}{P_1}$$

(但, P_3 은 切削抵抗의 背分力, P_1 은 垂直分力) 임으로, 본 實驗에서도 댐퍼없이 切削하는 豫備 實驗을 통해서 P_1, P_3 을 測定한 값으로 부터 θ 를 計算.

$$(\tan \theta = \frac{25.4}{39.7}, \theta = 32^\circ)$$

해본 바 30° 程度가 最適으로 判斷되어 32度로 固定하였으며, 重量物의 무게는 2.1kg, $l_1 = 125\text{mm}$ 로 固定한 상태에서 댐퍼를 사용하였을 때와 사용하지 않았을 때의 切削抵抗(P_1) 및 表面粗度(Ra)를 測定하였는데 測定方法은 切削性 實驗에 準했으며 Fig. 2-4는 實驗機器 配列을 表示한다.

切削條件으로 Test No. 1에서는 $f = 0.61\text{mm/rev}$, $d = 0.2\text{mm}$ 로 하고 切削速度를 變化시켰으며 test No. 2에서는 $f = 0.08\text{mm/rev}$, $d = 1.5\text{mm}$ 로 하고 切削速度를 變化시켰다. 測定誤差를 줄이고 實驗結果值의 信賴性을 높이기 위해서 사전에 충분한 豫備切削試驗을 하였으므로 시간과

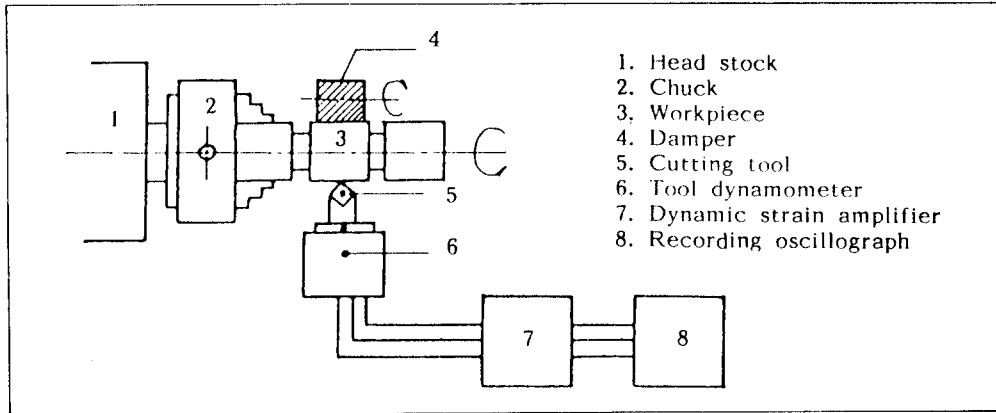


Fig. 2 - 4 Block diagram for damper test

비용등을 고려해서 본 실험의 횟수는 1로 한 정시켰다.

2-3-3. 振動實驗

Fig. 2 - 5 는 振動實驗의 概要圖인 바 sensor 로 부터의 變位量은 gap detector 를 거쳐 FFT analyzer에서 分析되며 分析된 data는 別途로 記録하고, X-Y recorder를 通해서 gap의 變化를 볼 수 있는 curve를 만들었다.

振動實驗에 앞서 使用할 sensor를 固定한 狀態에서 前後 上下兩方向으로 位置調整이 가능한 固定具(fixture)를 設計 製作하였다.

한편, sensor의 補正에 있어서는 digital height gauge를 使用하여 變位를 測定해본 바 製作社의 calibration curve와 一致하였다.

切削條件은 試作業으로서 $V = 158 \text{ m/min}$ (1050 RPM, $\phi 48 \text{ mm}$), $f = 0.15 \text{ mm/rev}$, $d = 0.1 \text{ mm}$ 이었는데 表面粗度의 觀點에서는 輕切削에서의 防振效果가 거치른 切削때보다 뜻이 있다는 생각에서 이러한 任意條件을 택하였다. 이러한 條件에서 damper를 使用했을 때와 使用하지 않았을 때의 被削材의 振動으로 因한 被削材와 sensor 사이의 간격(gap)의 切削前後의 變化를 測定하는데 있어서 sensor의 測定範圍가 2.05mm 上限

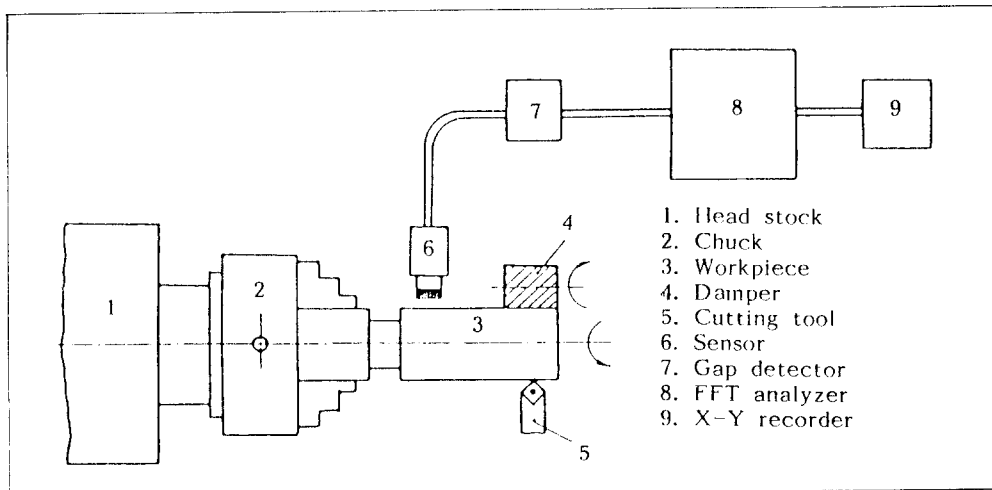


Fig. 2 - 5 Block diagram for vibration test

임을 고려하고, 被削材의 中心이 前後 두 方向으로 振動할 것을 豫想해서 切削前 gap이 大略 1mm가 되도록 sensor를 固定시켰다.

그리고, 이때의 gap을 正確히 測定하고 切削中 gap의 變化를 測定하여 FFT에서 gap의 增減을 分析하면 最高, 最低의 값을 찾게 되는데 어기서 앞서의 固定值를 빼면 이것이 被削材의 앞 뒤 두 方向의 振動에 해당된다.

III. 實驗結果 및 考察

3-1. 切削性 實驗

3-1-1. 切削抵抗

實驗結果로부터 d對P₁ 및 V對P₁의 關係를 그림으로 例示하면 Fig. 3-1 및 Fig. 3-2와 같다. 이 그림들과 data를 分析한바 V가 增加할 때 P₁이 減少하는데 A, B, C팁 全体로서는 약 18% (平均) 減少한다. 그리고 V = 226 m/min에서 A 및 C팁의 d變化에 따른 P₁은 各各 16.5, 30.2, 51.8, 97.1kgf 및 17.2, 31.0, 55.0, 99.0kgf로서 비슷한 水準이나, B팁의 경우 13.5, 27.0

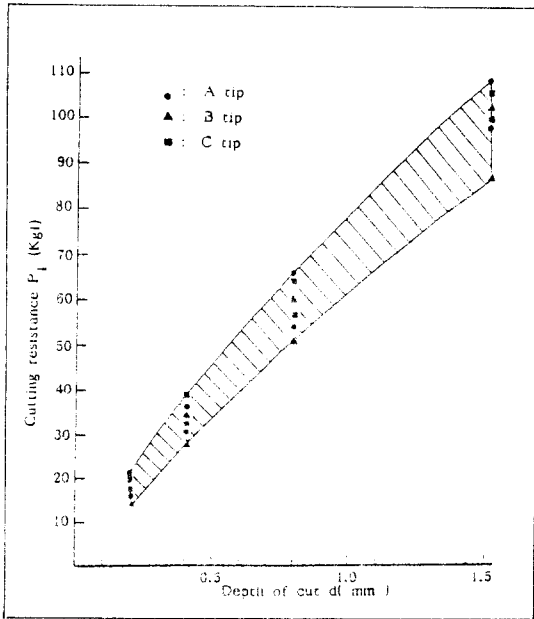


Fig. 3-1 Depth of cut vs cutting resistance
Feed : 0.31mm/rev
range for A, B, C tips
Cutting speed : 226.19 - 42.88mm/min

49.2, 85.5kgf로서 이들보다 平均 15% 적다.

A, B, C팁 各各에 대해서 d對P₁, f對P₁을 兩對數 座標로 表示하면 Fig. 3-3, Fig. 3-4와 같다. 이 그림으로부터 P₁과 d, f 間에는 直線關係가 成立됨을 알 수 있고,

이 두그림으로부터 實驗式을 구하면 Fig. 3-3 으로부터 f = 0.31mm/rev, V = 226.19m/min 일 때의 A, B, C팁 各各에 對한 切削抵抗 P_{1A}, P_{1B}, P_{1C}는 다음 式(3-1)으로 表示할 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} P_{1A} &= 67.97d^{0.88} \\ P_{1B} &= 58.97d^{0.92} \\ P_{1C} &= 69.61d^{0.87} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3-1)$$

그리고 Fig. 3-4로 부터 d = 0.4mm, V = 226.19m/min 일 때의 A, B, C, 팁 各各에 對한 切削抵抗 P_{1A}, P_{1B}, P_{1C}는 다음 式(3-2)으로 表示된다.

$$\left. \begin{aligned} P_{1A} &= 80.43f^{0.72} \\ P_{1B} &= 49.95f^{0.57} \\ P_{1C} &= 67.91f^{0.64} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3-2)$$

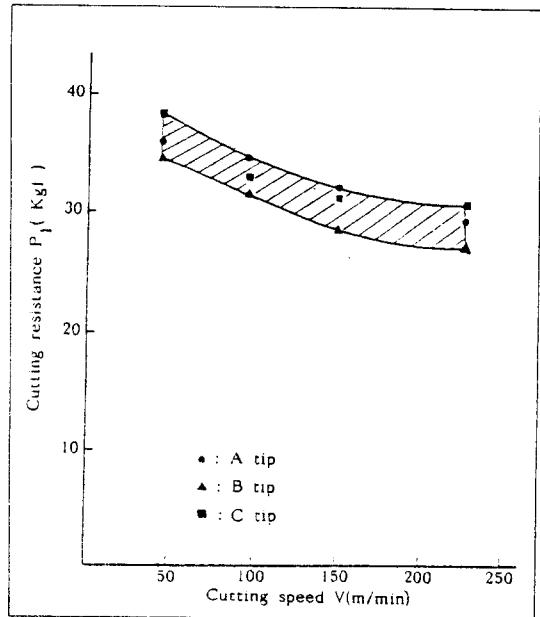


Fig. 3-2 Cutting speed vs. cutting resistance range for A, B, C tips
Feed : 0.31mm/rev
Depth of cut : 0.4mm

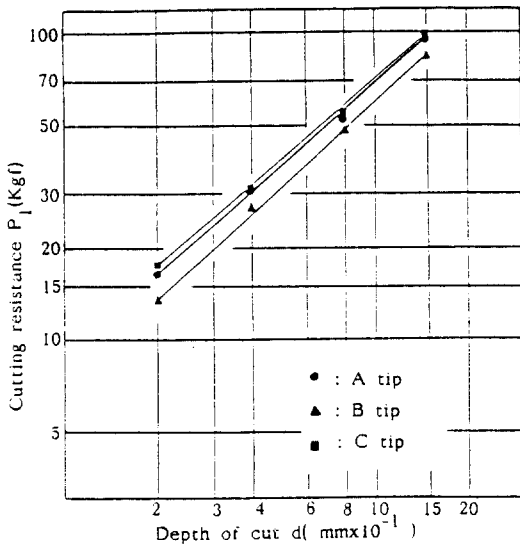


Fig. 3 - 3 Depth of cut vs. cutting resistance for A, B, C tips
Feed : 0.31mm/rev
Cutting speed : 226.19m/min

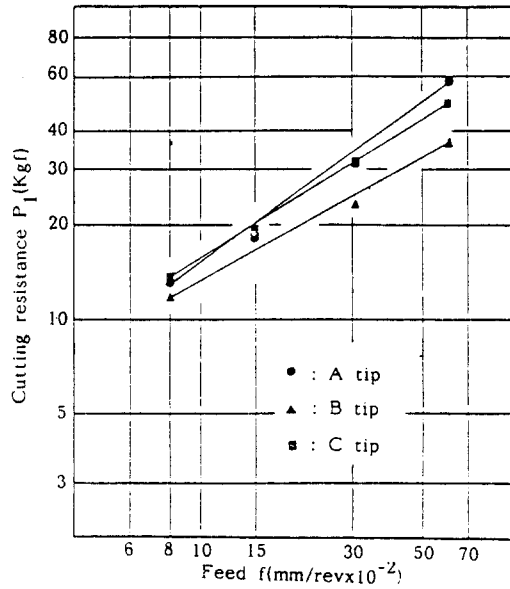


Fig. 3 - 4 Feed vs. cutting resistance for A, B, C tips
Depth of cut : 0.4mm
Cutting speed : 226.19m/min

Fig. 3 - 3 및 Fig. 3 - 4 그리고 data로부터 A팁 및 C팁의切削抵抗은 비슷한水準이나 Fig. 3 - 3 에서 B팁의 P₁은 A, C팁의 약 83%이며, Fig. 3 - 4에서 B팁은 A, C팁의 약 80%의 낮은 값으로切削抵抗面에서는 B팁이 가장 우수하다고 볼 수 있다.

또한 data로부터 A, B, C팁 각각에 대해서切削面積 A (f × d)와 比切削抵抗 K_s와의關係를 兩對數 座標로 表示하면 Fig. 3 - 5와 같다.

Fig. 3 - 5로부터 實驗式을 구하면 V=226.19 m/min 일때의 A, B, C팁의 比切削抵抗 K_{sA}, K_{sB}, K_{sC}는 다음 式(3-3)으로 表示할 수 있다.

$$K_{sA} = \frac{163.04}{4.68\sqrt{A}}$$

$$K_{sB} = \frac{120.68}{3.75\sqrt{A}} \dots\dots\dots (3-3)$$

$$K_{sC} = \frac{148.56}{3.77\sqrt{A}}$$

에 따라 그 差異가 變함으로 一定치 않으나 B팁이 A, C팁 보다 약 20% 정도 적다고 할 수 있다.

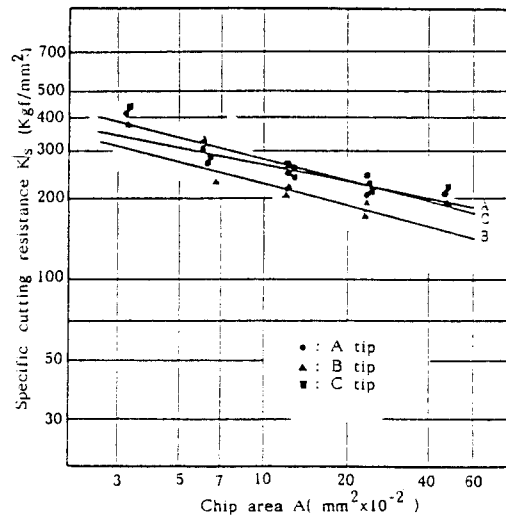


Fig. 3 - 5 Chip area vs. specific cutting resistance for A, B, C tips
Cutting speed : 226.19m/min

Fig. 3 - 5로부터 A, B, C팁間의 K_s 값은 A의값

3-1-2. 表面粗度

Fig. 3-6, Fig. 3-7은 각각 A,B,C팁에 대한 V와 Ra간의 關係圖인 바 V增加에 따른 Ra減少傾向과 f增加에 따른 Ra增加傾向은 理論과 一致한다. 그리고 A,B,C 팁간의 表面粗度の 差異는 存在하나 크지 않으며, Fig. 3-6으로 부터 V = 90m/min 근처에서 低速方向으로 Ra의 增加를 보이고 있는 것은 軟鋼의 경우 빌트업에지가 가장 심하다는 V = 25 m/min보다는 훨씬 切削速度가 크기 때문에 빌트업에지의 影響인지 如否를 확인할 수는 없으나 V = 100m/min 以上일때 表面粗度の 向上效果가 크다고 할 수 있다.

文獻²⁰⁾에 의하면 佐田은 SCM-4의 경우 V = 50 m/min에서 低速方向으로 빌트업에지 領域이 시작되는 것으로 報告하고 있고, 竹山은 S45C의 경우, 移送 f의 크기에 따라 빌트업에지 消失의 臨界條件이 變하는데 V = 100 ~ 50 m/min

에서 Ra가 거칠어 진다고 報告하고 있어 本實驗結果를 竹山의 結果와 比較할 때 大體의 로 타당한 것으로 判斷된다.

Fig. 3-7로 부터 f가 0.3mm/rev以上에서 表面粗度 惡化現象이 加速化 됨을 알 수 있으므로 f = 0.3mm/rev以下の 條件에서의 切削이 바람직하다.

또한, A,B,C 팁간의 Ra값의 差異를 比較하면 data로 부터 V₁ = 226m/min, f = 0.31mm/rev의 경우, d變化에 따른 A팁의 Ra값은 4.0, 4.0, 4.5, 4.0 μm, B팁은 4.0, 4.5, 4.0, 4.5 μm 또 C팁은 5.0, 5.5, 5.0, 5.5 μm으로서 큰 差異는 없으며, V₁ = 226m/min, d = 0.4mm 條件에서의 f變化에 따른 A팁의 Ra값은 3.5, 4.0, 7.5, 21 μm 이고, B팁은 3.5, 3.5, 6.0, 18 μm 이며, C팁은 3.5, 3.5, 5.5, 18 μm으로서 f = 0.31과 f = 0.61mm/rev일 때 B 및 C팁은 A팁보다 平均 약 17% 적다.

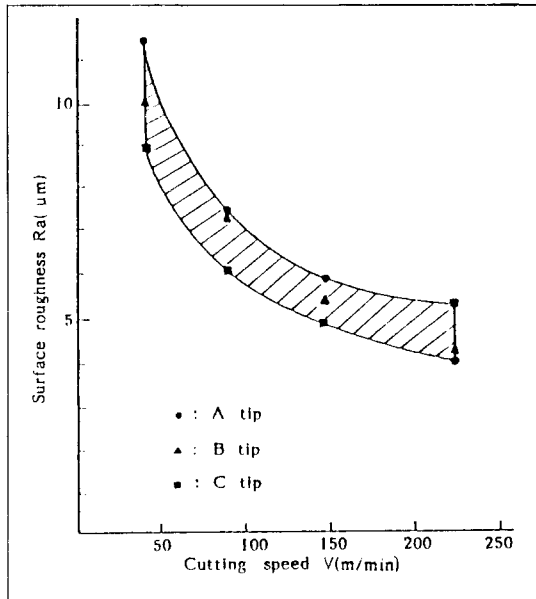


Fig. 3-6 Cutting speed vs. surface roughness range for A, B, C tips
Feed : 0.31 mm/rev
Depth of cut : 0.4 mm

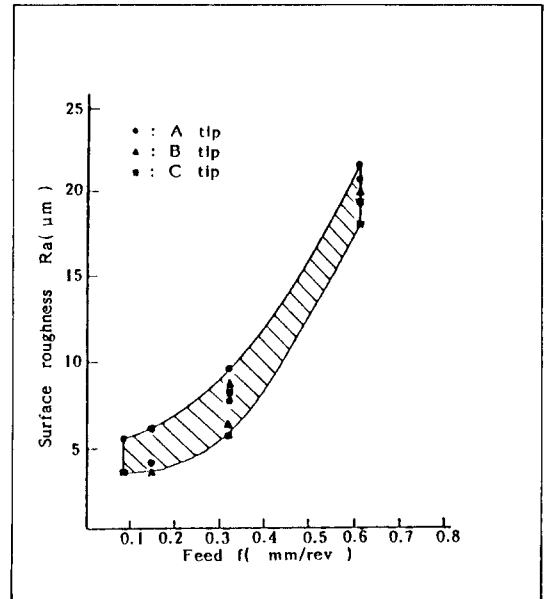


Fig. 3-7 Feed vs. surface roughness range for A, B, C tips
Depth of cut : 0.4 mm
Cutting speed : 226.19 - 42.88 m/min

3-1-3. 工具摩耗

摩耗量 測定結果를 兩對數座標로 表示하면 Fig 3-8 및 Fig. 3-9와 같이 直線으로 나타나며, 다음과 같은 工具摩耗方程式으로 表示할 수 있다. 即, $V_B = CT^n, V_N = CT^n$, 但, n 은 工具材料, 被削材에 따라 變하는 實驗常數로서 兩對數線圖에서의 直線의 기울기이며, C 는 切削速度, 工具材料의 抗折力, 切削條件에 따라 變하는 實驗常數로서 兩對數線圖에서의 軸上의 절편에 해당한다.

Fig. 3-8로부터 $f=0.21\text{ mm/rev}, d=0.5\text{ mm}, V=226.19 \sim 122.5\text{ m/min}$ 일 때의 A,B,C팁의 플랭크 마모 V_{BA}, V_{BB}, V_{BC} 는 다음 식(3-4)로 표시되며,

$$\left. \begin{aligned} V_{BA} &= 0.11 T_A^{0.14} \\ V_{BB} &= 0.09 T_B^{0.17} \\ V_{BC} &= 0.07 T_C^{0.19} \end{aligned} \right\} \dots\dots (3-4)$$

但, T_A, T_B, T_C 는 A,B,C팁의 切削時間(min)

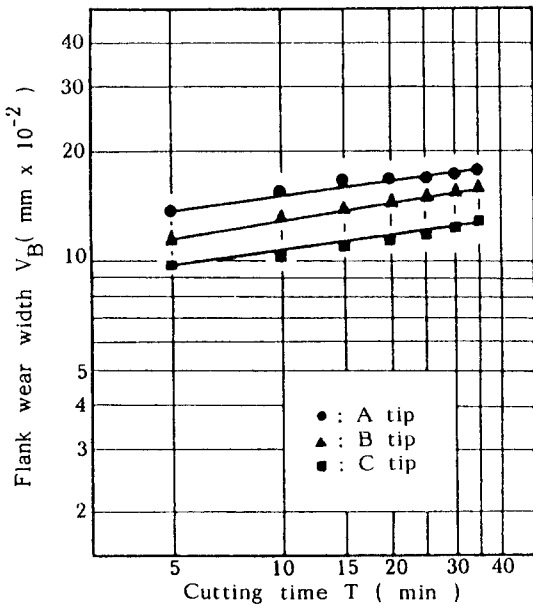


Fig. 3-8 Cutting time vs. flank wear width
Feed : 0.21mm/rev
Depth of cut : 0.5mm
Cutting speed : 226.19 - 122.5m/min

Fig. 3-9로부터 A,B,C팁의 境界마모 V_{NA}, V_{NB}, V_{NC} 는 다음 식(3-5)로 表示할 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} V_{NA} &= 0.10 T_A^{0.31} \\ V_{NB} &= 0.07 T_B^{0.33} \\ V_{NC} &= 0.07 T_C^{0.27} \end{aligned} \right\} \dots\dots (3-5)$$

I.S.O. 工具壽命基準 $V_B = 0.3, V_N = 1.0$ 을 해당팁의 工具摩耗實驗式(3-4)(3-5)에 代入하면 그 팁의 工具壽命 T_L 이 계산된다.

플랭크마모 V_B 에 대해서 A,B,C팁의 工具壽命 T_{LA}, T_{LB}, T_{LC} 는 各各 1314, 1586, 2932分으로 計算되어 수명의 順位는 $A < B < C$ 順으로 C팁의 수명이 가장 길다.

境界마모 V_N 에 對한 A,B,C팁의 工具壽命은 各各 1725, 3967, 18608分으로서 V_N 의 경우도 역시 A,B,C의 순으로 A팁보다 B팁이, B팁보다 C팁의 수명이 길다. 따라서 被覆팁은 非被覆팁의 수명보다 길고, 같은 被覆型이라도 C팁의 수명이 가장 길다.

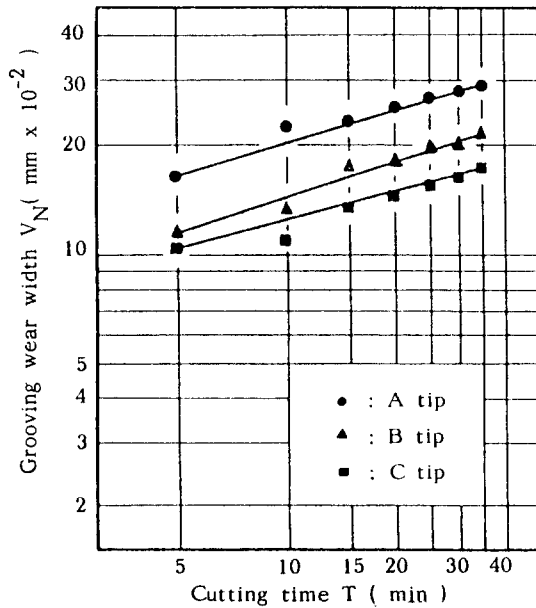


Fig. 3-9 Cutting time vs. grooving wear width
Feed : 0.21mm/rev
Depth of cut : 0.5mm
Cutting speed : 226.19 - 122.5m/min

本實驗에서 推定한 工具壽命을 다른 研究結果와 比較檢討해 보면 康明順等⁽¹³⁾의 實驗에서는 P 20型 鋸 A, B, C, D 4 종류에 대해서 切削條件 $A = 0.508 \text{ mm}^2$ ($f = 1.27, d = 0.4$), $V = 90 \sim 125 \text{ m/min}$ 로 하고 매 15분마다 마모량을 測定하며 60分間 炭素鋼을 선삭한 結果로부터 구한 工具壽命式에서 V_B 마모량 0.3mm에 대한 工具壽命을 계산한 결과 A, B, C, D 鋸에 대해서 각각 120, 59, 260, 333 분이였다.

이 結果를 본 實驗結果인 V_B 에 대한 T_L 값 인 1314, 1586, 2932 분과 比較하면 5~10배 壽命이 긴 것으로 보이나,

첫째, 鋸의 差異는 물론이고 본 試驗에서 設定한 切削條件에서 $A = 0.105 \text{ mm}^2$ ($f = 0.21, d = 0.5$)로서 절삭면적이 1/5이라 輕切削 이고 $V = 122.5 \sim 226 \text{ m/min}$ 로서 절삭속도는 약 2배 빠르고 따라서 절삭저항이 적어 마모도 적을 것이며,

둘째, 마모측정량을 매 5분마다 했으므로 실질적인 連續切削 時間은 1/3로서 切削熱로 인한 鋸의 온도상승이 적고 따라서 마모억제효과

가 있을 수 있다는 점 등으로 미루어 壽命이 길게 계산된 것은 수공이 되고 타당하다고 생각된다.

3-2. 防振實驗

3-2-1. 切削抵抗 및 表面粗度

P_1 및 R_a 의 測定結果를 그림으로 그려 檢討해 본바 V 와 P_1 의 關係圖에서 防振裝置를 使用했을 때의 切削抵抗이 多少적음을 알 수 있고, 切削速度가 增加함에 따라 切削抵抗은 減少하는 傾向을 보이고 있어 이것은 알려진 理論과 一致한다.

다음으로 V 와 R_a 의 關係圖에서 첫째, V 가 增加하면 R_a 의 값이 작아지고 따라서 表面은 고와 지는데 본 實驗結果는 대체로 이러한 傾向을 보이고 있어 理論과 一致한다.

둘째, 같은 切削面積임에도 $f = 0.61 \text{ mm/rev}$ 인 경우가 $f = 0.08 \text{ mm/rev}$ 보다 R_a 의 값이 큰데 이것 역시 理論式과 잘 符合되는 것으로 判斷된다.

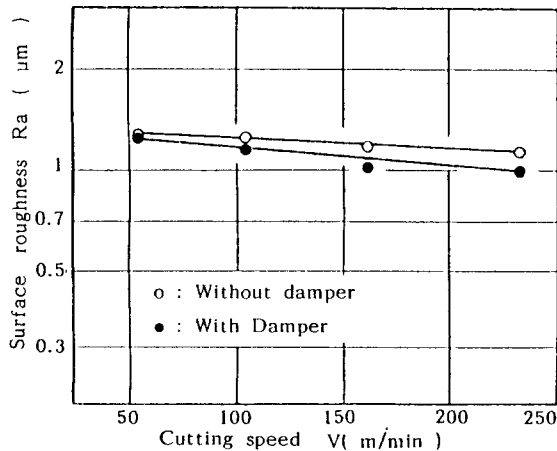


Fig. 3-10 Cutting speed vs. surface roughness
Feed : 0.61mm/rev
Depth of cut : 0.2mm

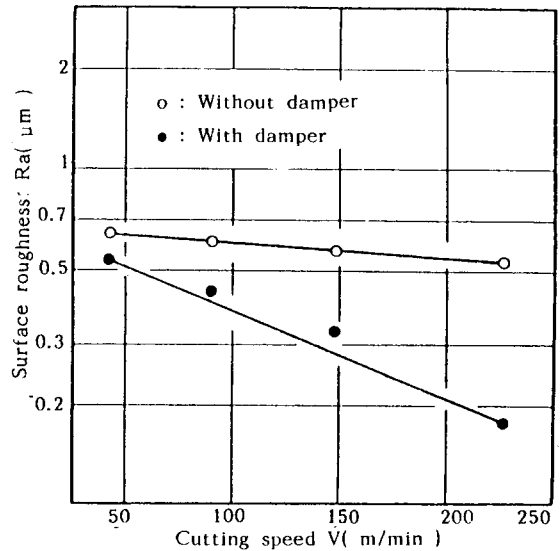


Fig. 3-11 Cutting speed vs. surface roughness
Feed : 0.08mm/rev
Depth of cut : 1.5mm

셋째, 本 實驗의 一次 目的이었던 damper의 有效性에 關해서 檢討해 보면 damper를 使用했을 경우 表面粗度가 사용치 않을 때 보다 좋고 特히 高速切削區域에서 그 效果가 현저하다. 따라서 防振效果가 表面粗度 向上으로 나타난 것으로 본다.

V와 Ra의 關係圖를 다시 半對數座標로 表示하면 Fig. 3-10, Fig. 3-11과 같이 直線關係가 있으므로 이것으로 부터 Ra對V의 實驗式을 구하면 Fig. 3-10으로 부터 $f = 0.61 \text{ mm/rev}$, $d = 0.2 \text{ mm}$ 인 條件에서 B 타입으로 SCM 4 試片을 댄퍼없이 선삭시의 表面粗度 Ra는 다음 式(3-6)으로 表示되며,

$$\log Ra = 1.3 - 0.8 \times 10^{-3} V \dots\dots\dots (3-6)$$

但, Ra = 表面粗度 (μm), V = 切削速度 (m/min)

Table 3-1 Results of vibration test
($f = 0.15 \text{ mm/rev}$, $d = 0.1 \text{ mm}$, $V = 150 \text{ m/min}$, SCM 4)

Test No.	Maximum displacement of workpiece (mm)			
	Turning without damper		Turning with damper	
	Backward	Forward	Backward	Forward
1	0.106	0.084	0.032	0.089
2	0.110	0.091	0.035	0.082
3	0.107	0.087	0.037	0.083
Average	0.108	0.087	0.035	0.085

댄퍼사용시는 式(3-7)로 表示된다.

$$\log Ra = 1.3 - 0.2 \times 10^{-2} V \dots\dots\dots (3-7)$$

Fig. 3-11로 부터 $f = 0.08 \text{ mm/rev}$, $d = 1.5 \text{ mm}$ 인 條件에서 댄퍼없이 선삭시의 Ra는 式(3-8), 그리고 댄퍼사용시는 式(3-9)로 表示된다.

$$\log Ra = 0.7 - 0.5 \times 10^{-3} V \dots\dots\dots (3-8)$$

$$\log Ra = 0.6 - 0.2 \times 10^{-2} V \dots\dots\dots (3-9)$$

3-2-2. 振動實驗

振動實驗은 豫備實驗을 거쳐 같은 條件에서 3번 反復되었는데 그 結果는 다음 Table 3-1과 같다.

damper없이 旋削時의 gap의 변화와 damper 사용시의 gap의 變化를 X-Y recorder에서 그려본바 damper 사용시의 gap의 變化가 그렇지 않은 경우에 比해서 훨씬 安定되어 있음을 알 수 있었다.

또한, Table 3-1로 부터 變化의 前後方向의 最高값인 被削材 振動의 振幅이 damper를 사용했을 경우가 적다는 事實은 damper의 防振效果를 直接的으로 實證하는 것이라고 생각된다.

특히 後方向으로의 振幅이 약 1/3 減少한데

比해 前方向의 振動은 큰 差異가 없는데 그 理由는 明白하지 않으나 再生型振動이 抑制된 때 문인 것으로 推測된다.

一般的으로 切削加工에 있어서의 振動은 대단히 複雜한 現象으로서 工作機械의 特性, 加工物의 材質, 크기, 길이, 工具의 材質, 角度, 그리고 切削條件 等の 影響을 받는데 本 實驗의 경우 追加해서 防振裝置라는 새로운 因子가 추가된 셈인데 어느 側面으로 檢討하나 damper의 效果가 있다는 事實은 確實하다. 吉元⁽¹²⁾ 등은

S 45C 試片($\phi 46\text{mm} \times 450\text{mm} 1$)을 센터 作業으로 $V = 70\text{m/min}$, $f = 0.13\text{mm/r}\phi v$, $d = 1.8\text{mm}$ 라는 荒削으로 볼 수 있는 條件에서 振動實驗을 하여 damper의 效果를 實證한 바 있는데, 本 實驗의 條件인 高速 輕切削의 振動實驗에서도 damper의 防振效果가 있음이 밝혀 졌다.

IV. 結 論

被覆 및 非被覆 팁의 切削性能을 實驗적으로 調査하고, 防振裝置實驗 및 振動實驗을 하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 切削速度域 $V = 43 \sim 226\text{m/min}$ 의 SM 45 C 鋼材의 旋削에 있어서 移送速度(f)가 一定하고 切削깊이(d)가 增加함에 따라 切削抵抗(P_1)은 增加하며, 切削速度가 增加할 때 抵抗은 平均 18% 減少하며, $V = 226\text{m/min}$ 에서 A 및 C 팁의 P_1 은 비슷한 水準이나 B 팁은 이들보다 약 15% 적다.

2. A, B, C 팁 各各에 대해서 $V = 226\text{m/min}$ 일때의 比切削抵抗을 구했으며, 그 값은 팁간에 多少의 差異는 있어서, B 팁이 A, C 팁보다 약 20% 정도 낮으며, K_s 의 實驗式은

$$K_{sA} = \frac{163.04}{4.68\sqrt{A}}; K_{sB} = \frac{120.68}{3.75\sqrt{A}},$$

$$K_{sC} = \frac{148.56}{3.77\sqrt{A}} \quad \text{이다.}$$

3. 表面粗度(R_a)는 切削速度(V) 增加에 따라 현저히 向上되며 $V = 100\text{m/min}$ 以上일 때 그 效果가 크다. 反面 移送速度(f)가 增加하면 R_a 는 惡化되며 $f = 0.3\text{mm/rev}$ 以上에서는 이 現象이 加速化된다. 그리고 A, B, C 팁 간의 表面粗度(R_a)의 값은 $V = 226\text{m/min}$ $d = 0.4\text{mm}$, $f = 0.31 \sim 0.61\text{mm/rev}$ 일 때 B 및 C 팁이 A 팁보다 약 17% 적다.

4. A, B, C 팁 各各에 對해서 工具摩耗實驗式을 導出하고 이로 부터 I. S. O. 基準 工具壽命을 計算한 結果, 壽命의 順位는 V_B, V_N 모두 $A < B < C$ 로서 被覆팁이 非被覆팁보다 월등히 우수하

고 C 팁이 가장 좋다.

5. 防振裝置를 使用하여 旋削하면 切削抵抗을 多少 減少시킬 수 있으며, 表面粗度도 向上되는데 특히 $V = 100\text{m/min}$ 以上인 高速域에서의 向上效果가 큼으로 本 裝置는 有效하며, 實用性이 있다고 判斷된다. 아울러 이때의 表面粗度の 實驗式도 導出하였으며 振動實驗의 結果 이 表面粗度 向上은 被削材振動의 振幅을 減소가 減少시킨 結果임이 判明되었다.

參考文獻

- 1) 賴 光哲, 齊藤義夫, 伊東 誼, 丸橋康産, "切削抵抗의 動的成分による 工具摩耗의 檢出", 精密機械, Vol. 50, No. 7, pp. 1117 ~ 1122, 1984
- 2) 賴 光哲, 齊藤義夫, 伊東 誼, "切削抵抗의 動的成分に關する研究(第二報)-刃先形狀의 動的成分に及ぼす影響-", 精密機械, Vol. 49, No. 5, pp. 642 ~ 648, 1983
- 3) H. N. Cook, "Tool Wear and Tool Life", ASME Journal of Engineering for Industry, pp. 931 ~ 938, Nov., 1973
- 4) A. Bhattacharya, A. Ghosh and I. Han, "Analysis of Tool Wear Part II : Applications of Flank Wear Models", ASME, Journal of Engineering for Industry, pp. 109 ~ 114, Feb., 1970.
- 5) M. M. Tseng and R. A. Noujaim, "On the Measurement and Propagation of Flank Wear in Cutting Tools", ASME, Journal of Engineering for Industry, Vol. 101, pp. 109 ~ 115, 1979
- 6) 前川克廣, 北川武揚, "超硬工具逃げ面摩耗のばらつきの原因究明に關する基礎的研究", 精密機械, Vol. 51, No. 5, pp. 140 ~ 146, 1985.
- 7) K. L. Chandiramani and N. H. Cook, "Investigations on the Nature of Surface Finish and Its Variation with Cutting Speed", ASME, Journal of Engineering for Industry, pp. 134 ~

- 140, May, 1964
- 8) S. Doi and S. Kato, "Chatter Vibration of Lathe Tools", Transactions of the ASME, pp. 1127 ~ 1134, July, 1956.
- 9) 前田良昭, 山本 明, 木下幸夫, "軸回轉速度振動を伴う再生型旋削ひびり(第一報)", 精密機械, Vol. 48, No. 5, pp. 665 ~ 660, 1982
- 10) 松原 十三生, 山本久隆, 水本 洋, "動的切削力を考慮した再生ひびり振動の研究", 精密機械, Vol. 50, No. 7, pp. 1079 ~ 1083, 1984.
- 11) 竹山秀彦, 飯島 昇, 西脇信彦, 幸元克彦, "高減衰材料によるツールホルダの動剛性向上に関する研究", 精密機械, Vol. 48, No. 12, pp. 1628 ~ 1633, 1982.
- 12) 吉元 弘, 稻崎一郎, 米津 宋, "旋盤用ひびり振動抑制ダンパの試作"精密機械, Vol. 48, No. 12, pp. 1603 ~ 1607, 1982.
- 13) 北嶋弘一, 田中行雄, "防振合金利用の切削工具によるひびり振動の抑制", 精密機械, Vol. 50, No. 5, pp. 860 ~ 865, 1984.
- 14) I. H. Moon, Y. L. Kim and M. S. Kang, "Performance of Nickel Bonded WC-Based Cemented Carbide", ASME, Wear of Materials, pp. 243 ~ 249, 1983.
- 15) 康 明順, 文 仁炯, 金 鼎根, 安 仁燮, "國産超硬合金 工具摺材の 特性 및 切削性能의 調査研究", KSME, Vol. 4, No. 1, pp. 26 ~ 38, 1980
- 16) 康 明順, "超硬質合金 工具로서 極軟鋼旋削時の 工具切削날의 摩滅과 加工表面粗度에 관한 研究", KSME, Vol. 8, No. 3, pp. 22 ~ 28, 1968.
- 17) 鳴瀧則彦, "コーティング工具の摩耗", 機械と工具, pp. 19 ~ 24, Aug, 1977.
- 18) 杉澤泰次郎, "コーテイド超硬工具の特性と性能", 精密機械, Vol. 46, No. 5, pp. 21 ~ 26, 1980
- 19) 廉 永夏, 工作機械의 切削理論, 東明社, 1981.
- 20) 臼井英治: 切削・研削加工學(上), 共立出版株式會社, 1971.
- 21) Geoffrey Boothroyd, Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools, Sprints Book Company, Washington, D. C., 1975.