

切削깊이가 漸變하는 過渡切削 過程에 關한 研究

白 仁 煥 · 辛 玫 教

Study on the Transient Cutting Process with
Gradual Increase of Cutting Depth

Paik In-Whan · Shin Min-Kyo

〈目 次〉	
1. 緒 論	3.1 切削抵抗의 變化過程
2. 實驗裝置 및 方法	3.2 表面輪廓의 檢討
2.1 實驗裝置	3.3 切削 始作點에 對한 考察
2.2 試驗片	3.4 切削條件이 過渡切削 特性에 미치는 影響
2.3 工 具	3.5 定常切削 過程에의 活用に 對한 提言
2.4 切削抵抗의 測定	4. 結 論
2.5 表面거칠기 및 表面輪廓의 測定	參考文獻
2.6 實驗에 있어서의 參數	
3. 實驗結果 및 考察	

Abstract

The cutting force and the surface roughness were measured and analyzed by an experiment on the low speed orthogonal cutting with gradual increase of cutting depth, and the effects of some machining conditions in the transient cutting process were investigated in this paper. Some results observed are as follows:

1. The transient region from the beginning of contact between cutting tool and workpiece to the steady state cutting is classified into three regions; elastic deformation region, plastic deformation region, and cutting region. Moreover, these regions are distinctly observed by the measurement of surface roughness and surface profile.
2. The more the increasing rate of cutting depth, the less the sliding distance. The cutting depth and the critical normal force at beginning of cutting are not conce-

2 1983年 4月 韓國海洋大學 船舶工學研究所 論文集 第2輯

- rned with the increasing rate of cutting depth.
3. The critical normal force and the sliding distance are proportional to the hardness of workpiece.
 4. when the cutting speed increases, the sliding distance increases proportionally to it, and the critical normal force increases slightly.

1. 緒 論

밀링가공이나 연삭가공등 多刃 回轉工具에 依한 加工에서는 工具가 進行됨에 따라서 切削깊이가 점차로 變하며 工具와 被削材가 接觸해서 부터 바로 切削이 始作되지 않고 過渡的 現象이 나타난다. 卽 工具의 날끝이 加工表面에 接觸한 순간부터 칩(chip)이 發生하는 것이 아니고, 날끝이 加工面위를 얼마간 미끄러진 後에 비로소 칩을 發生시켜 切削이 이루어 진다. 이와 같이 칩이 發生되지 않고 미끄러 지는 現象을 彈性變形領域과 塑性變形領域으로 나누고 各各 러빙(rubbing), 프라우잉(Ploughing)이라고 부르며, 그 特性에 關하여 研究한 結果가 報告되어 있다.^{1,2)} 이러한 過渡現象은 채터(chatter) 振動의 發生 原因이 되고³⁾, 表面거칠기에 영향을 주며 加工表面에 殘留應力을 남게 하고⁴⁾⁻⁶⁾, 加工성을 나쁘게 하는 原因이 되므로⁷⁾, 初期切削現象 또는 過渡切削現象에 對하여 많은 研究가 이루어져 왔다.⁸⁾⁻¹⁰⁾

奧島등은⁸⁾ 削기를 두드러 박는 경우의 자국 問題를 塑性力學的으로 檢討하여 負의 傾斜角에 對한 切削機構를 解明하고 切削初期에서 定常狀態로 될 때 까지의 變化를 考察하였다.

勇田는 模型切削 實驗에 依하여 轉位論의 觀點에서 러빙영역의 特性을 觀察하였으며⁹⁾, 工具의 날끝 半徑과 被削材 表面層의 性質이 初期切削 現象에 미치는 영향에 對하여 究明하고⁹⁾ 切削시스템의 剛性 및 被削材溫度의 영향에 關하여 研究하였다.¹⁰⁾

山本등은¹¹⁾ 工具의 날끝 半徑이 切削初期 現象에 미치는 영향을 究明하여 切削初期 모델을 導出하였으며, 그 모델을 利用하여 接觸面에 作用하는 마찰력에 對하여 究明하고 光彈性 實驗으로 檢討하였다.

小栗등은 單刃 밀링공구에 依한 水平 밀링가공 實驗으로 材料의 加工硬化性이 밀링가공의 切削抵抗變化에 미치는 영향을 究明하였으며¹²⁾, 밀링가공 初期의 切削抵抗 變化와 칩의 生成過程에 對하여 檢討하였다.¹³⁾

宇野는 밀링가공을 모델化하고 二次元 旋削에 依하여 實驗을 行하고 切削抵抗의 變化過程을 究明하였으며¹⁴⁾, 單刃 밀링공구에 依한 切削實驗으로 表面거칠기에 對하여 檢討하였다.¹⁵⁾

그런데 過渡切削 現象이 切削 性能에 미치는 영향을 究明하고 過渡切削 現象을 定量化하는 것이 要望되며, 이 結果를 定常切削의 理論에 活用하는 것이 期待된다.

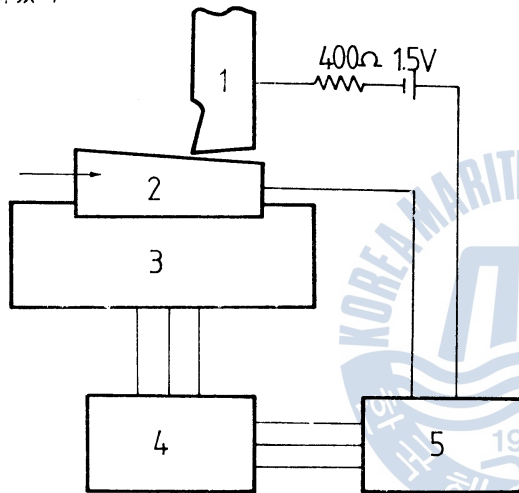
本 研究에서는 過渡切削 過程에 關한 現象을 究明하기 爲하여 垂直 밀링머신의 主軸에 바이트를 固定하고 테이블을 移送하여 切削깊이가 漸增하는 二次元 低速 切削 實驗을 行하여 切削抵抗의 變化過程을 測定하고, 表面거칠기 測定機에 依하여 表面거칠기와 表面輪廓을 測定하였으며, 切削抵抗

의 變化와 表面輪廓의 特性을 比較檢討하였다. 또 切削깊이 增加率, 切削速度, 被削材의 硬度 등 몇 가지 切削條件이 過渡切削 過程에 어떠한 影響을 미치는가에 對하여 考察하였다.

2. 實驗裝置 및 方法

2.1 實驗裝置

본 研究에 利用된 切削抵抗 測定裝置의 構成은 Fig.1과 같으며 實驗裝置의 사진을 Fig.2에 나타내었다.



1. Tool
2. Workpiece
3. Tool Dynamometer
4. Dynamic Strain Amp.
5. Electronic Oscillograph

Fig. 1. Schematic diagram of cutting force measuring system

切削抵抗을 測定할 때 工具와 被削材가 接觸하기 始作하는 것을 確認하기 爲하여 Fig.1에 보인 바와 같이 400Ω의 抵抗과 1.5V의 乾電池로 回路를 만들어서 전자 오실로그래프에 入力시키고, 서로 絶緣되어 있는 工具와 被削材가 스위치 役割을 하도록 하였다.

2.2 試驗片

試驗材料는 S20C 및 S45C 鋼으로 壓延한 4角棒材를 썼으며, 밀링가공한 후 研削하여 Fig.3(a)와 같은 치수로 試驗片을 만들고 熱處理하였다. S20C는 眞空中에서 880°C로 1時間 加熱한 後에 爐冷 空冷 油冷 하였으며, S45C는 眞空中에서 850°C로 1時間 加熱한 後에 爐冷 空冷 하여 硬度가 各各 다른 試驗片을 얻었다. 또 熱處

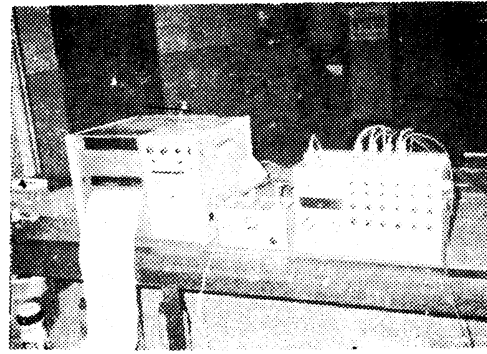
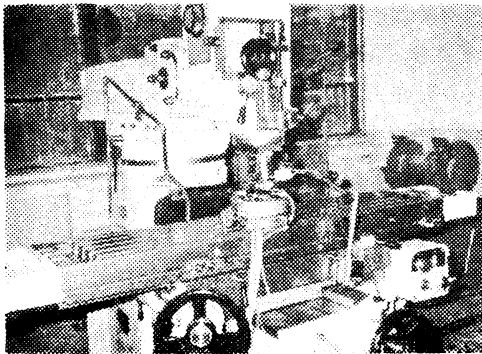


Fig. 2. Views of experimental apparatus

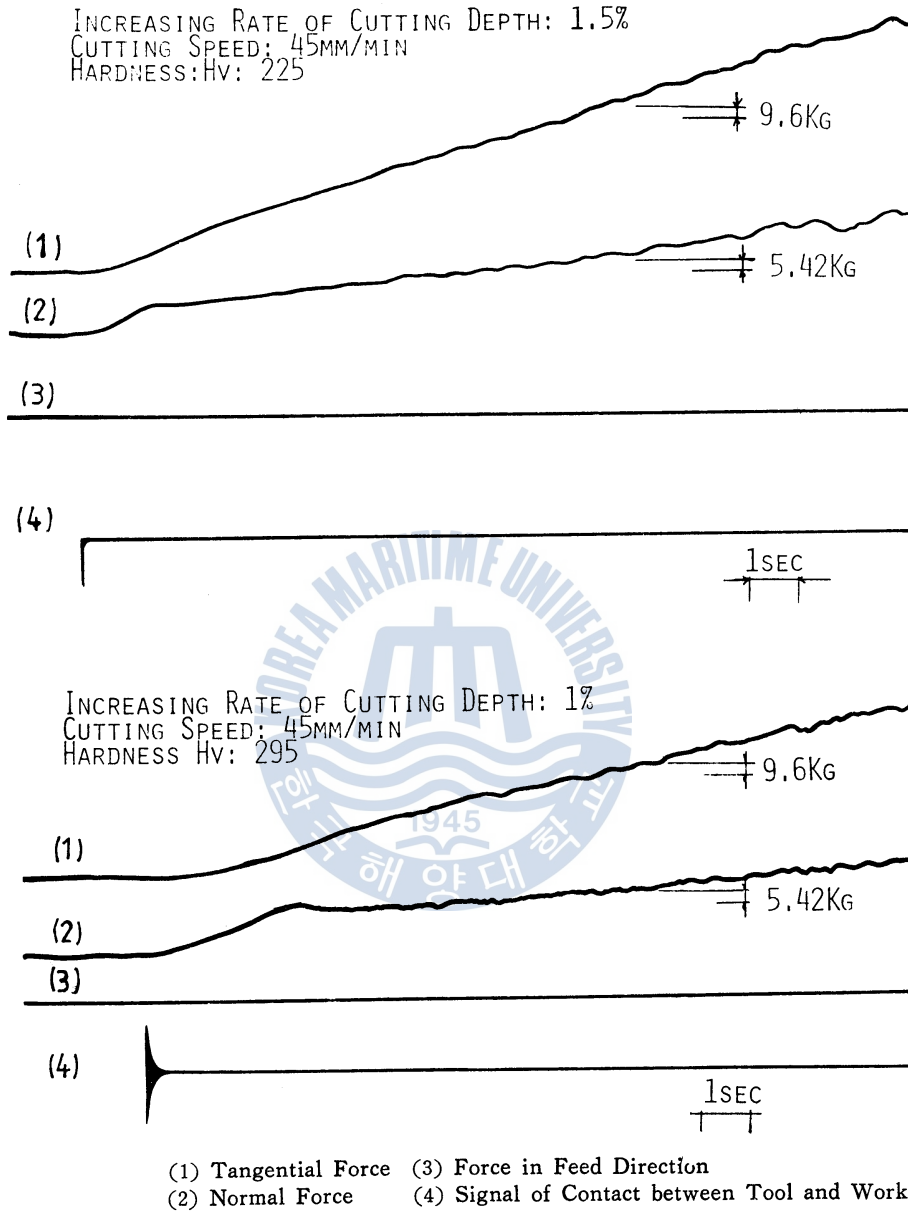


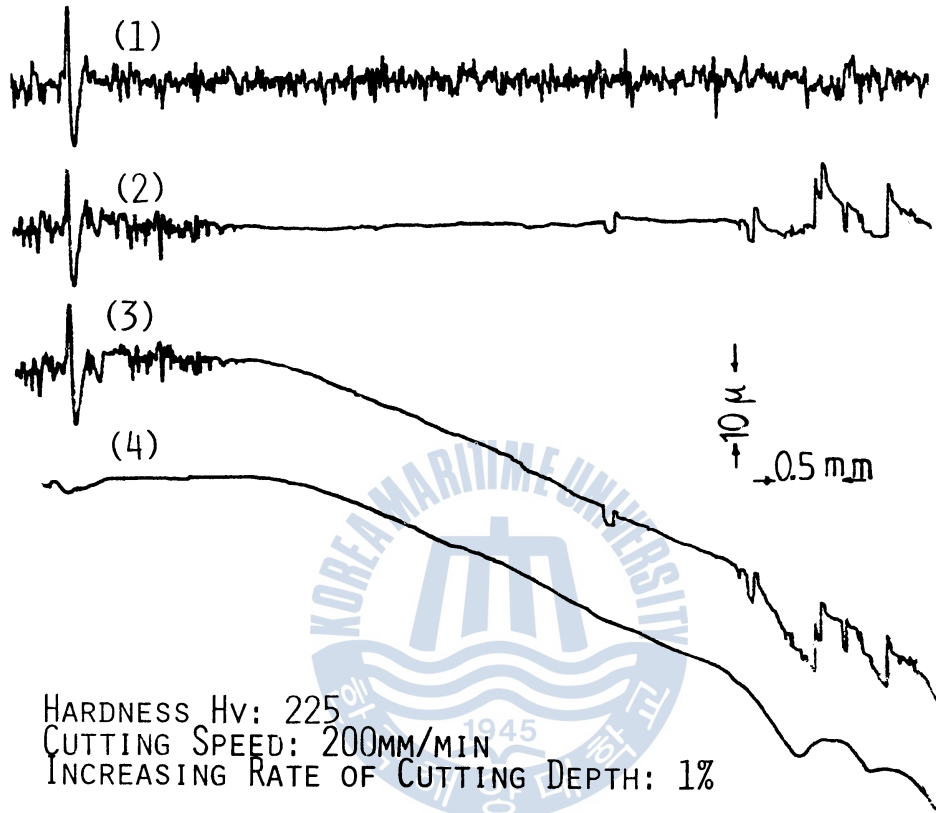
Fig. 5. Examples of cutting force

2.5 表面거칠기 및 表面輪廓의 測定

切削後의 輪廓變化를 測定하기 爲하여 SE-3C型 表面거칠기 測定機를 利用하였다. 먼저 試驗片에 긋치를 넣고 表面거칠기를 測定한 後에, 긋치 後方 1mm 程度의 位置로 부터 切削을 行하고 同一 位置에 對하여 표면거칠기, 웨이브니스 및 표면거칠기+웨이브니스를 各各 測定하였다. 이 때 試料 臺 위의 지그(Jig)와 긋치를 利用하여 切削 前後의 測定 位置를 同一하게 할 수 있었다.

測定된 한가지 例를 Fig.6에 나타내었는데 (1)은 加工前의 表面거칠기, (2)는 加工 後의 表面거

칠기, (4)는 加工後의 웨이브니스 曲線, (3)은 (2)와 (4)를 겹쳐서 합하여 나타낸 曲線이다. 여기서 웨이브니스 曲線이 表面輪廓을 나타내는 것이다.



(1) Surface Roughness before Cutting, (2) Roughness of Cut Surface
 (3) Roughness+Waviness (4) Waviness of Cut Surface

Fig. 6. Example of roughness and waviness of surface

2.6 實驗에 있어서의 파라미터

本 研究의 實驗은 乾式 二次元 切削을 行하고 여러가지 切削 파라미터 中에서 切削깊이 增加率, 被削材의 硬度, 切削速度를 變化시킬 경우 過渡切削 特性이 어떻게 되는가를 測定하였다. 그 變化 範圍는 다음과 같으며 하나의 파라미터를 變化시킬 때 다른 條件은 一定하게 하였다.

- 切削깊이 增加率 $i(\%)$: 2, 1.5, 1, 0.5, 0.25 (5種)
- 被削材의 硬度 Hv: 105, 125, 180, 225, 295 (5種)
- 切削速度 $V(\text{mm}/\text{min})$: 15, 25, 45, 125, 200, 370 (6種)

3. 實驗結果 및 考察

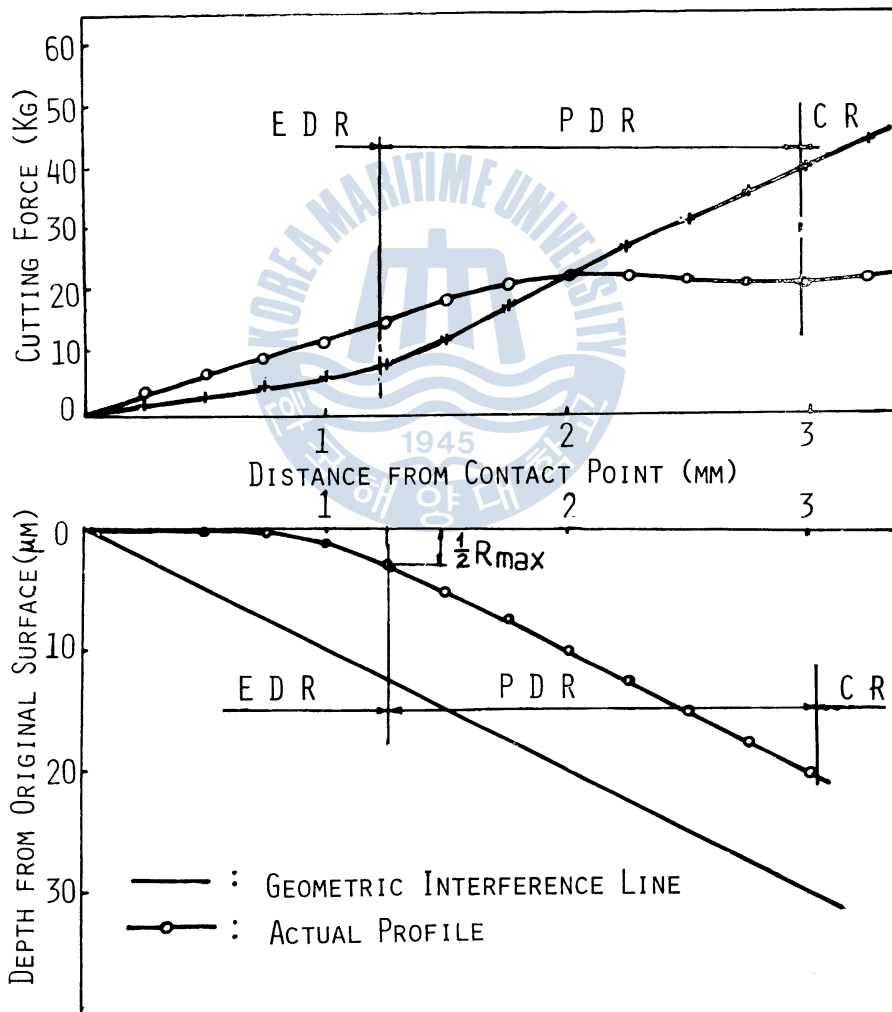
3.1 切削抵抗의 變化過程

實驗結果의 例가 Fig.5에 提示되었는데 이것의 橫軸은 時間, 縱軸은 切削抵抗을 나타내고 있으

3.2 表面輪廓의 檢討

Fig. 8에서 알 수 있는 바와 같이 表面거칠기의 測定結果에서 工具와 試驗片의 接觸이 始作되는 點은 切削 前後의 表面거칠기 曲線을 比較하여 거칠기 曲線의 돌기 部分에 變化가 일어난 點으로써 判斷할 수 있으며 그림의 a 點이다. 이것은 加工된 試驗片을 工具顯微鏡으로 觀察하여 notch 點으로 부터의 距離를 測定한 結果와 잘 一致하였다.

또 工具가 接觸한 後 被削材 위로 미끄러지면서 表面을 버어니싱(burnishing)하여 매끈하게 만들다가, 切削이 始作되면서 칩을 除去하고 表面을 거칠게 만든다고 생각되기 때문에, 切削 始作點은 切削後의 表面거칠기 曲線 (2)에서 거칠기가 0의 狀態에서 거칠어지기 始作하는 點이며 c點으로



Hardness Hv: 295, Cutting Speed: 45mm/min, Increasing Rate of Cutting Depth: 1%

Fig. 9. Comparison of cutting force and profile

判斷된다. 한편 웨이브니스 曲線의 notch 部分은 表面거칠기 曲線의 notch 部分과 特性이 다르므로 표면거칠기+웨이브니스 曲線을 媒介로 하여 接觸 始作點과 切削 始作點을 確認하였다.

한편 彈性變形 領域과 塑性變形 領域의 區分은 웨이브니스 曲線에서 加工된 表面輪廓과 원래의 表面과의 差異가 표면거칠기 Rmax의 절반 정도 되는 點으로 取할 수 있으며, 그림에서 b 點이 된다. 이것은 表面의 요철이 除去되는 範圍의 變形을 彈性變形으로 보며, 基地의 材料가 버어니싱 되어서 공구 날끝에 밀려 쌓이는 범위를 塑性變形 領域으로 볼 수 있기 때문이다.

한편 表面輪廓의 變化狀態를 接觸 始作點에서 부터의 距離에 對하여 나타낸 것이 Fig. 9의 아랫部分이다. 이 그림에서 幾何學的인 干涉線은 工具와 工作物이 剛體的으로 干涉하여 그 部分이 모두 칩으로 除去될 경우의 表面 位置를 나타내며 實際輪廓은 실제로 加工되어 얻어진 表面輪廓을 表示한 것이다. 여기서 나타나는 實際輪廓과 幾何學的의 干涉線과의 差異는 切削에 隨伴되는 시스템 剛性, 接觸 剛性, 表面거칠기, 被削材의 스프링백 등의 影響으로 切削되지 않고 남는 部分이라고 생각된다.

3.3 切削 始作點에 對한 考察

앞 節에서 切削抵抗의 變化 및 表面 特性을 各各 利用하여 過渡切削 現象을 檢討하였는데 여기서는 두가지를 結付시켜 考察하고자 한다.

Fig. 9에서 比較한 바와 같이 切削抵抗에 依한 判定과 表面特性에 依한 判定이 거의 같게 되지만, 이 때 切削抵抗에 依한 判定은 曲線의 기울기가 變하는 點을 찾아서 내리는 것이므로 어려움이 있으며, 여기서 表面輪廓의 特性을 結付시켜서 그 境界를 區分하던 領域의 境界가 더욱 明確하게 判別될 수 있다.

山本등의 研究¹¹⁾에서는 法線分力이 極大值에 到達하는 點이 切削 始作點이라고 發表하고 있으나 이것은 잘못이 있다고 생각된다. 첫째 理由로 3.1절에서 檢討한 바와 같이 法線分力이 極大值를 이룬 後에 다소 減少하거나 一定하게 維持된다는 것은 被削材 内部가 塑性變形을 시작하였을 뿐 切削이 이루어지지 않고 계속하여 工具가 미끄러지고 있다는 事實을 意味하기 때문이다. 만약 이 點에서 부터 定常切削 狀態로 들어 갔다고 하면 切削깊이가 增加하기 때문에 法線分力이 接觸分力과 더불어 增加하여야 한다. 또 둘째 理由로 3.2절에서 檢討한 바와 같이 表面 特性으로 부터 找은 切削 始作點은 法線分力이 極大值를 이룬 點보다 工具가 훨씬 더 미끄러진 後의 點이기 때문이다.

한편 宇野의 研究¹⁴⁾에서는 切削抵抗比(F_T/F_N)가 2로 되는 點이 切削 始作點이라고 하였으며 定常切削領域에서는 그 비가 2로써 一定하다고 發表하였다. 勇田의 判定基準에 依하면, 切削 始作點이 本 研究의 경우보다 다소 늦게 나타났으나 큰 차이는 없다. 그러나 定常狀態에서 切削 抵抗比가 2로써 一定하다는 것은 問題點이 있다. 왜냐하면 切削抵抗과 切削깊이 사이에 정상 절삭 狀態에서는 近似的인 線形性이 維持되지만 過渡切削의 特異性 때문에 完全히 比例하지 않으므로¹⁷⁾, 비가 一定한 값이 되기는 어렵기 때문이다.

結局 本 研究에서는 表面거칠기의 測定에 依하여 切削깊이가 漸增하는 경우의 過渡切削 現象을 彈性變形 領域, 塑性變形 領域, 切削 領域으로 區分하여 그 特性을 檢討할 수 있었다. 또 過渡切削

現象에서 重要한 特性인 工具의 미끄럼 距離는 주로 表面 特性에 依하여 測定하였고, 臨界 法線 分力은 切削抵抗 變化에 依하여 測定하였으며, 몇 가지 切削條件에 對한 關係는 다음 節에서 考察 하고저 한다.

3.4 切削條件이 過渡切削 特性에 미치는 影響

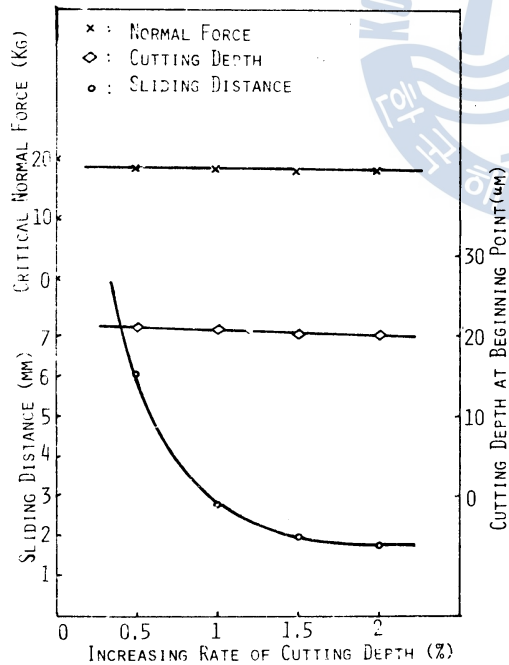
3.4.1 切削깊이 增加率의 影響

Fig. 10은 切削깊이 增加率만을 變化시킬 때 臨界 法線分力, 미끄럼 距離, 切削 始作點에서의 切削된 깊이가 變化하는 상태를 그린 것이다.

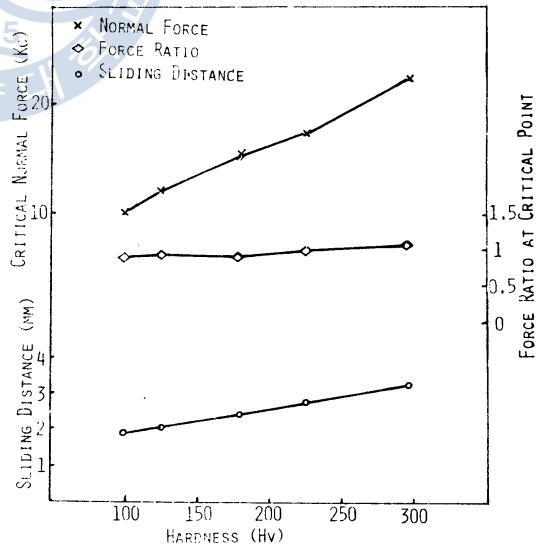
切削깊이 增加率이 커지면 미끄럼 距離는 작아지며 거의 反比例的인 關係가 成立된다. 이것은 工具와 被削材가 큰 角度로 干涉할 수록 빨리 칩이 生成되는 것을 意味한다.

또한 切削 始作點에서의 切削깊이는 20 μ m 程度로 거의 一定하며 切削깊이 增加率이 커질 수록 다소 작아지는 傾向을 볼 수 있다. 그런데 臼井에 依하면 切削깊이가 漸變하지 않는 보통 切削의 경우 예리한 바이트로 切削 可能한 最小 깊이는 13 μ m 이라고 한다.¹⁷⁾ 이것과 比較하면 상당히 큰 값을 보이는데 그 理由는 表面거칠기, 미끄럼의 持續性 때문이라고 생각된다.

한편 臨界 法線分力은 거의 一定하며 被削材의 硬度에 따라서 달라질 뿐이다. 그런데 약간의 減少 現象은 銼기를 박는 경우의 降伏에 미치는 影響으로 說明될 수 있다.



Hardness Hv: 225, Cutting speed: 45mm/min
Fig.10. Effects of increasing rate of cutting depth



Cutting speed: 45mm/min
Increasing Rate of Cutting Depth: 1%
Fig. 11. Effects of hardness

3.4.2 被削材 硬度的 影響

Fig. 11은 被削材의 硬도가 變하는 경우 臨界 法線分力 및 臨界 法線分力이 發生하는 때의 接線 分力과의 比, 미끄럼 距離 등이 어떻게 變하는가를 나타낸 것이다.

臨界 法線分力은 材料의 硬도가 커질 수록 거의 直接的으로 增加하는 것을 알 수 있다. 또 切削 力比는 材料의 硬도에 影響을 받지 않고 一定하다. 이것은 硬도의 變化에 對하여 接線分力과 法線 分力이 거의 같은 比率로 增加하는 것을 意味한다.

또 미끄럼 距離는 材料의 硬도가 커질 수록 커지며 그 程度는 比較的 輕微하다.

以上の 結果로써 材料의 硬도가 클 수록 工具가 材料에 파고 들어가기 어려우며 보다 큰 힘이 걸리는 것을 알 수 있다. 切削 現象은 材料가 降伏點을 넘어서 剪斷面上으로 슬립이 일어나고 그것이 蓄積되어 칩을 形成하면서 이루어지는 過程이므로 切削抵抗은 材料의 降伏應力 또는 파괴강도에 比例하여 커지며 硬도에 比例하여 커지는 것이다. 뿐만 아니라 臨界 法線分力은 材料를 降伏시켜서 塑性變形을 일으키고 持續시키는데 必要한 힘이므로 硬도에 따라서 變하는 것은 당연하다고 생각된다.

3.4.3 切削速度的 影響

Fig. 12는 切削速度的 變化에 따라서 臨界 法線分力, 미끄럼 距離가 어떻게 變하는가를 나타낸 그림이다. 切削速度가 低速인 範圍에서 切削速度가 增加함에 따라서 臨界 法線分力은 근소하게지만 增加하는데 이것은 過渡切削 過程이 갖는 特殊性이다. 또한 切削速度가 커짐에 따라서 미끄럼 距離는 增加하며 半對數 그래프 上에서 直線的으로 變化한다. 여기서 미끄럼 距離가 增加하는 原因은 날끝面 上의 摩擦係數의 變化 및 被削材의 變形速度的 變化에 依한 變形性의 差異에 基因한 것이라고 생각된다. 卽 摩擦係數는 彈性接觸 領域에서는 速度에 關係없이 一定하지만 塑性變形 領域에 들어가면 切削速度가 커질 수록 작아지며, 變形性은 變形速度가 增加할 수록 작아지므로 工具가 進行됨에 따라서 被削材가 工具 날끝에 쌓여서 칩으로 除去되기 어려워진다. 그래서 미끄럼 距離가 增加한다고 생각된다. 그러나 이 增加는 低速에서의 現象이며 어떤 限界가 있을 것이고, 高速에서 어떻게 될 것인가는 追後 檢討할 餘地가 있다.

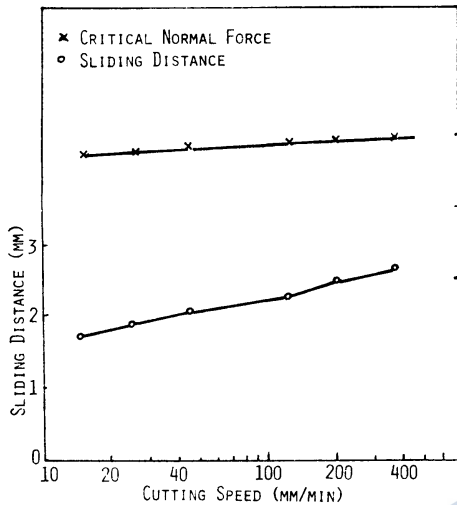
3.5 定常切削過程에의 活用に 對한 提言

지금까지는 切削이 定常狀態에 到達하기 前의 問題에 對하여 考察하였는데, 여기서는 切削깊이가 漸變하는 경우의 定常切削 實驗을 利用하여 一般 切削에서의 切削面積에 對한 切削抵抗의 關係式을 導出하는 方案에 對하여 檢討하여 보기로 한다. 앞에서 얻은 實驗 結果 中에서 경도가 다른 2가지를 取하여 切削깊이와 切削抵抗의 關係를 Fig. 13에 나타내었다. 이 關係에서 알 수 있는 切削 主分力과 背分力을 利用하여 切削抵抗 F 를 計算하고, 切削깊이와의 關係를 利用하면 다음과 같은 關係式의 係數 및 指數들을 쉽게 實驗的으로 求할 수 있다.

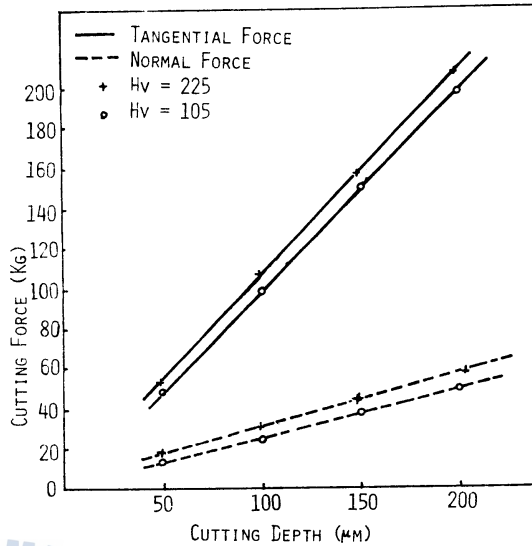
$$F=C_1 t^\alpha \cdot s^\beta \quad \text{또는} \quad F=C_2 A^\gamma$$

여기서 t 는 절삭깊이, s 는 절삭폭, A 는 절삭면적, $C_1, C_2, \alpha, \beta, \gamma$ 는 常數이다.

한가지 問題點으로 實際의 切削速度에서 實驗하기가 어려운 것이지만 宇野의 研究¹⁴⁾에서와 같이,



Hardness Hv: 225
Increasing Rate of Cutting Depth: 1%
Fig. 12. Effects of cutting velocity



Cutting Speed: 45mm/min
Increasing Rate of Cutting Depth: 1%
Fig. 13. Relation between cutting force and cutting depth

旋盤에서 파이프를 二次元 切削하면서 工具를 새들(saddle)의 横移送으로 移動시켜 切削깊이를 變化시키면 可能할 것이다.

4. 結 論

切削깊이가 漸増하는 二次元 切削을 模型實驗으로 行하고, 切削抵抗과 表面거칠기를 測定하여 過渡切削 過程에 關한 現象을 究明하였으며 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 切削깊이가 漸増하는 경우의 過渡切削 現象은 彈性變形領域, 塑性變形領域, 切削領域으로 나누어지며, 表面거칠기의 測定에 依하여 分明히 區分될 수 있다.
2. 切削깊이 增加率이 커질 때 미끄럼 距離는 작아지며, 切削始 作點에서의 切削깊이는 一定하며 臨界 法線分力도 一定하다.
3. 被削材의 硬度가 커질 때 臨界 法線分力은 直線的으로 커지며 미끄럼 距離는 增加한다.
4. 切削速度가 增加할 때 臨界 法線分力은 僅少하게 增加하고, 미끄럼 距離도 增加한다.

本 論文이 完成되기 까지 始終 指導하여 주신 辛政教學長님께 衷心으로 感謝드리며, 아낌없이 激勵과 助言을 하여주신 金永植博士님, 王之錫博士님께 感謝드립니다.

또한 本 研究를 遂行함에 있어서 實驗을 도와준 釜山大學校 工科大學 生産機械工學科 朴慶澤助教와 金鍾仁技士에게 심심한 謝意를 表하는 바입니다.

參 考 文 獻

1. 正野崎友信：金屬切削における Ploughing について，機械と工具，1964，12月號，pp.13~18.
2. 勇田敏夫：切削初期現象の觀察，精密機械，V.35，No.5，pp.292~298，(1969)
3. R. S. HAHN: Metal Cutting Chatter and Its Elimination, Trans. of ASME, V.75, No.3, pp.1073~1080, (1953, Aug.)
4. 岡村健二郎，中島利勝，宇野義幸：過渡的切削過程における表面特性の研究(第1報)，精密機械，V.39，No.6，pp.590~595，(1973)，岡村健二郎，中島利勝，井上一陽，宇野義幸：過渡的切削過程における表面特性の研究(第2報)，精密機械，V.39，No.8，pp.794~800，(1973)
5. 岡村健二郎，中島利勝，宇野義幸，梶田英夫：過渡的切削過程における表面特性の研究(第3報)，精密機械，V.43，No.7，pp.814~819，(1977)
6. 勇田敏夫，田頭孝介：二次元切削により生ずる加工變質領域の觀察，精密機械，V.39，No.3，pp.312~317，(1973)
7. 坂本正史，中村平，末安正治：りん青銅切削における切れ刃のすべり，日本機械學會論文集，V.43，No.375 pp.4287~4295，(1977)
8. 奥島啓貳，人見勝人：金屬切削における過渡現象について，日本機械學會論文集，V.26，No.169，pp.1216~1222，(1960)
9. 勇田敏夫：切削初期現象に及ぼす工具切れ刃先端半徑と被削材表面層の影響について，精密機械，V.36，No.3，pp.202~206，(1970)
10. 勇田敏夫：切削初期現象に影響を及ぼす二，三の因子について，精密機械，V.37，No.2，pp.93~97，(1971)
11. 山本明，中村示：微小切削における切削開始の條件について，精密機械，V.24，No.5，pp.310~315，(1968)
12. 小栗幹男，藤井洋，太田忠夫，森弘道：切削厚さの漸變する非定常切削機構について，日本機械學會論文集，V.40，No.330，pp.591~599，(1974)
13. 小栗幹男，藤井洋，山口勝美，加藤仁：フライス削りの初期切削機構について，日本機械學會論文集，V.41，No.345，pp.1576~1586，(1975)
14. 宇野義幸，津和秀夫：過渡的切削過程に関する研究(第1報)，精密機械，V.42，No.5，pp.358~363，(1976)
15. 岡村健二郎，中島利勝，宇野義幸：過渡的切削過程に関する研究(第2報)，精密機械，V.43，No.5，pp.597~602，(1977)
16. WEINMANN, K. J., TURKOVICH, B. F. VON: Mechanics of Tool-Workpiece Engagement and Incipient Deformation in Machining of 70/30 Brass, Trans. ASME, J. of Engineering for Industry, V.93, No.4, pp.1079~1089, (1971)
17. 白井英治：切削・研削加工學 上，共立出版株式會社，東京，pp.24~27，(1978)

