

金屬切削을 연구하는 데에 있어서는 因子의 수가 많기 때문에 어려움에 직면하는데, F. W. Taylor는 12개의 因子가 있다고 하나 著者が 생각하기에는 그보다 많은 것 같다.

金屬切削의 3대 요소는 加工物, 工具 및 工作機械라 할 수 있으며, 加工物의 物理的 性質은 aluminium으로부터 高温合金에 이르기까지 광범위하고, 加工物의 直徑, 길이, 고정 상태, 微視組織 등의 변화 범위가 다양하다. 工具에 있어서도 H.S.S.工具, carbide工具 및 ceramic工具 등과 같이 그 성분이 다양하고, 傾斜角, 餘裕角, 主切刃角, chip breaker 등과 같은 工具幾何學에서의 변화도 많으며, 工具의 設置(中心線上 또는 中心線보다 높게), 直線 單刃에 의한 切削(free cutting) 또는 多刃에 의한 切削(compound cutting) (예, plunge cutting) 등도 고려되어야 할 변수들이다. 工作機械에는 主軸速度, 移送, 潤滑, 許容切削力, 動力, 진동, 撓量(deflection) 및 열팽창 등의 변수가 있다. 지금까지 나열한 것 외에(3대 요소 외에) 表面速度, 切削깊이, 金屬切削率 및 표면 상태 등이 있다.

이들 變數의 數는 旋削, milling, 平削, reaming, broaching, 研削, 電子浸蝕法 등과 같은 切削 과정의 수에 따라 배수로 증가한다. 가능한 組合數에 의하여 金屬切削理論과 실용에서 취급되는 범위를 확장할 수 있는 idea를 얻을 수 있다.

미국에서 매년 약 1500~2000만 톤의 chip이 약 340억 dollar라는 막대한 돈을 소비하면서 생성된다는 사실로부터 金屬切削이 산업에서 얼마나 중요한 역할을 담당하는지 알 수 있다.⁸⁾ 따라서 金屬切削加工法을 연구하여 향상시키면 가공비를 크게 절약할 수 있을 것이며, 유럽에서는 이미 이러한 문제를 國家經濟政策에 반영하고 있다.

오늘날 工具의 切削刃에서 발생하는 현상을 알기 위하여 많은 노력을 전세계적으로 경주하고 있다. 이제 金屬切削은 自然科學에서 그의 위치를 확보하였으며, 本書의 初版이 출간되던 1927년의 상황과는 현저히 다르다. 그 당시까지는 상호 관계가 적거나 또는 대부분이 없는 특수한 경우에 대한 工場의 data가 발표되었을 뿐이었다. 本書를 출간하게 된 동기는 표면적으로는 서로 관련이 없는 것같이 보이는 金屬切削 data에서 귀중한 정보를 발굴하여 해석하고 서로 관련시켜 보면, 金屬切削技術의 발달과 향상에 도움이 되는 기본원리와 새로운 개념을 확립할 수 있다는 데 있다.

6 장 實驗法則의 必要條件

6-1 概 要

chip斷面積(切削前의 chip斷面積, 切削斷面積) A 와 切削速度 v 는 旋盤工이 주축대의 gear 물림을 변화시키고 移送 및 물림깊이를 변화시켜 조정할 수 있는 2개의 중요량이다.

2개량의 積 $A \cdot v$ 는 單位時間(1min)에 chip으로서 제거되는 金屬의 體積이며 金屬切削率(metal removal rate)이라 한다. 이 切削率은 기계공장에서 생산성에 직접 영향을 주게 되어 대단히 중요하게 취급된다. 이러한 이유로 chip斷面積 A 와 切削速度 v 는 應用金屬切削의 연구에서 2大主要量으로 택하고 있다. A 를 독립변수로 취하고 v 를 종속변수로 취하여 이들 관계를 $A-v$ 관계라 하는데 $A-v$ 관계에 영향을 주는 因子 즉 工具壽命, 加工材料, 工具材料, 微視組織 등은 일반적으로 旋盤工이 조정할 수 없으므로 이들 量은 어느 의미에서는 既知量이라 할 수 있고, $A-v$ 관계의 실험법칙을 도출하는 데 先行條件으로 간주하게 된다.

가장 중요한 주어진 因子는 工具壽命과 切削速度의 관계이며, 이것을 $T-v$ 관계라 부르고, 때로는 $A-v$ 관계와 혼돈할 때도 있다. 이들 2개의 관계($T-v$ 와 $A-v$)를 組合할 수도 있으나, 일반적으로 機械工場에서는 $T-v$ 관계에 거의 영향을 줄 수 없는데, 이것은 壓延機, 鑄造, 工具製作 등에서 이미 이들 관계($T-v$ 관계)가 材料에 들어가 있기 때문이다. 마찬가지로 加工材料의 微視組織을 切削하기에 용이하도록 변화시키는 것도 일반적으로 불가하다. 왜냐하면 그러한 변화는 바로 機械部品設計의 기본이 되는 引張強度, 延性 및 기타의 기계적 성질에 영향을 주기 때문이다.

6-2 工具壽命 및 磨耗基準

carbide工具가 출현되기 전에는 工具壽命을 결정하는 것은 아주 쉬운 일이었는데, 이것은 工具가 둔화되면 加工物 주위에 생기는 광택 있는 자국에 의하여 工具의 손상을 쉽게 식별할 수 있기 때문이었다. 그러나 과학적인 방법으로는 Schlesinger 기준(切削分野에서 권위자이고 Berlin工大의 교수이었던 George Schlesinger의 이름을 따랐음)이 H.S.S.工具에 이용되었는데, 이에 대하여는 다음 기회에 설명하기로 한다.

carbide工具를 사용할 때에는 加工物에 광택자국이 생기지 않기 때문에 위의 방법은 오늘날에는 쓸모가 없게 되었다. carbide工具의 磨耗는 특히 餘裕面에서 Fig. 70에서와 같이 계단식으로 이루어진다. 어느 回數의 切削에서는 磨耗幅에 변화가 없다가 급격히 증가하고, 또 거의 증가하지 않은 상태를 유지하다가 다음 단계에서 다시 급증한다. 이와 같은 階段式 증가가 되풀이되다가 어느 最大值에 달하게 된다. 따라서 工具壽命은 이와 같이 가정된 工具磨耗의 최대값에 따라 달라지며, 또한 그 磨耗값이 工具壽命의 표준이 되는 것이 합당하겠으나 磨耗의 측정이 어렵기 때문에 표준화한다는 것은 어려운 문제이다.

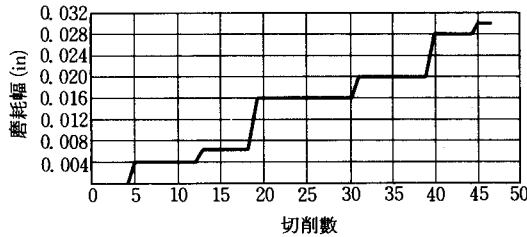


Fig. 70 carbide工具의 餘裕面磨耗

미국, 유럽 및 일본에서는 測定法의 개선을 필요로 하고 있지만 아직도 carbide工具의 餘裕面의 磨耗幅을 측정하고 있는 실정이다(Fig. 71). 磨耗幅이 균일하지 않고 Fig. 72와 같이 마모폭이 불규칙하여 工具壽命의 기준으로서 최대값을 취할 것인가, 평균값을 취할 것인가 하는 문제가 발생한다. 傾斜面에 발생하는 crater磨耗는 특히 그와 같은 磨耗 측정을 위하여 공

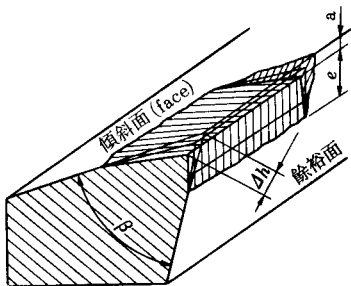


Fig. 71 餘裕面의 磨耗와 切削刃의 位置變動

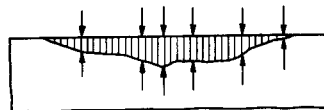


Fig. 72 磨耗幅의 不規則性

구를 공작기계에서 들어낼 필요가 있을 경우에는 더욱 어렵게 된다. Ernst, Merchant 및 Krabacher⁸⁶⁾와 Colding 및 Erwall⁸⁷⁾이 工具의 磨耗測定法을 다소 발전시켰는데, 그것은 放射能工具를 사용하여 chip 또는 切削液과 함께 떨어져 나간 放射能의 磨耗粒子數를 Geiger計數器로 계산하는 것이다(Fig. 73 a). 放射能法에 의하면 측정 결과는 좋게 나올 수 있으나 사용하기가 어렵고 비용이 많이 드는 단점이 있다.

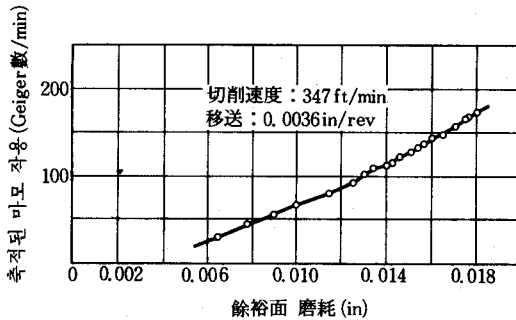


Fig. 73 (a) 磨耗量과 放射能 chip의 Geiger數(after Ernst, Merchant and Krabacher)

M.C. Shaw가 M.I.T.에서 개발한 방법은 旋盤에서 工具를 들어내지 않고 Knoop 硬度計를 사용하는 것과 유사한 방법으로 자국을 내어 측정하는 것이다. 자국(대각선)의 길이와 깊이의 比는 $(30\frac{1}{2} : 1)$ 이며, 磨耗가 진행되면 그 깊이는 점차 감소하므로 대각선 길이 변화를 측정하여 倍率로 마모깊이를 계산한다.⁸⁸⁾ 工具에 부착된 工具顯微鏡을 이용하면 磨耗幅의 변화를 보다 확실히 알 수 있다.

γ : 工具의 餘裕角, $(E_2 - E_1)$: 對角線의 감소량이라 하면 磨耗幅의 증가량 i 는

$$i = \frac{\cot \gamma (E_2 - E_1)}{30 \frac{1}{2}} \quad 89)$$

으로 되며, 이와 같은 방법의 이용은 硬材를 切削할 때만 가능하고, 軟材를 加工할 때에는 工具餘裕面의 자국이 문질러지기 때문에 곤란하다고 한다.

일반적으로 工具磨耗에 영향을 미치는 因子는 5가지로 요약할 수 있는데 이것은 (1) 塑性變形, (2) 機械的 磨耗, (3) 切削力의 脈動 및 工具의 疲勞限度의 초과에 의한 균열과 薄片의 生成, (4) 熱的 衝擊, (5) 構成刃先의 生成 및 탈락에 의한 磨耗이다.

磨耗粒子의 95% 정도가 chip과 함께 제거되므로 이상의 모든 영향은 放射能法으로 통합하여 측정된다. 이와 같이 대규모의 실험을 실시하려면 많은 시간을 요한다. 工具磨耗 기준과 測定基準은 아직 정해져 있지 않은 상태이며, 측정법이 상이한 工具壽命과 磨耗 data를 서로 비교하는 데에는 주의를 요한다.

미국에서는 실용상 carbide 工具에 대하여 餘裕面磨耗幅이 0.030 in, H.S.S. 工具에 대하여

0.060 in 일 때를 最大磨耗幅으로 하는 工具壽命基準을 택하고 있으며, 이것은 平均幅을 측정하는 것보다는 용이하다.*

유럽에서는 crater 깊이에 의하여 工具壽命을 판정하는데, 이것은 餘裕面磨耗에 의한 工具壽命-切削速度의 관계와 상이하며, 이에 대하여는 차후에 설명하기로 한다.

0.015 in의 磨耗幅을 工具壽命 기준으로 택하는 경우도 많은데, 이것은 0.030 in의 磨耗幅을 기준으로 하는 것보다 공구수명이 큰 것처럼 보인다. 따라서 공구수명을 비교할 때에는 이러한 기준의 차이를 고려하여야 한다. 즉, 0.015 in의 磨耗幅을 기준으로 한 공구수명은 因數 2를 곱하여 0.030 in를 기준으로 한 공구수명으로 환산할 수 있다.

H. S. S. 工具에서는 工具傾斜面의 crater 크기에 의하여 수명을 판정하는 것이 일반적이다. Bickel이 1956년 Microtecnic, No. 5에 발표한 것에 의하면 工具材料, 切削速度 및 工具幾何學的 형상에 관계없이 어느 일정시간 후에는 crater의 接線은 일정한 기울기에 접근한다고 보았다.

즉,

$$\tan \frac{c}{2} = \frac{2H}{L} \quad (91)$$

단, c : 切削刃 부근에서 工具傾斜面과 crater接線간의 角

H : crater 깊이, L : crater 길이

工具의 손상은 $c = 16^\circ \sim 18^\circ$ 에서 일어난다.

工具의 磨耗를 측정하는 경우에 공구 2개를 동시에 사용하여 앞에 있는 工具가 파손되면 뒤에 있는 工具가 계속 절삭 작업을 할 수 있게 하며, 이 때 先行工具의 切削始作 시각과 追從工具의 切削始作 시각 사이의 시간으로써 工具壽命을 정한다. 2개의 工具를 동일 切削깊이 (또는 물림깊이)에 정확히 고정하는 것이 중요하며, 이 방법은 工具先端의 磨耗에 의하여 工具壽命이 결정될 때에는 만족스런 결과를 가져오나 工具餘裕面의 磨耗에 의한 공구수명은 결정할 수 없는 경우가 많다. 追從工具의 절삭깊이를 아주 작게 하면 追從工具가 물리기 전에 先行工具의 磨耗는 심하게 되어 보다 많은 工具의 磨耗를 허용할 수 있다.

分散分析에 기초를 둔 統計數學을 응용하면 工具壽命 data를 보다 합리적인 방법으로 처리할 수 있다. Eric⁹⁰⁾이 이 문제를 연구하여 工具餘裕面의 磨耗에 영향을 주는 因子를 정하였는데, 그는 加工物에서 제거된 金屬體積이 工具磨耗와 분명한 관계가 있다고 보았다.

Kibbey와 Morris⁹¹⁾도 위와 유사한 제안을 하였는데, 그들은 分散分析을 이용한 적은 횟수의 실험으로 單一變數를 택한 실험에서보다도 많은 정보를 얻었다. 각 變數項에 정확한 용어를 부여하여 그의 중요성과 상호 작용을 알아볼 수 있을 것이다. 그들의 실험 및 실험 결과의 평가는 ceramic 工具에 대한 것이었으며, 절삭깊이와 工具先端半徑이 工具의 chipping에

* ISO에 의한 기준은 金屬切削理論, 徐南燮, 東明社, p. 141~142 참조

미치는 영향은 (20 : 1) 이상인데 대하여 기타의 인자가 미치는 영향은 실험 범위에서는 거의 무시할 정도라는 것을 알 수 있었다.

최근에는 digital computer 가 출현하여 재래의 방법에 의한 것보다 정도가 아주 높게 切削 實驗 data 를 평가할 수 있게 되었다. 특히 兩對數方眼紙에 실험의 평균값을 표시하여 평균직 선을 그어 보면 불일치되는 결과를 가져온다는 것을 알 수 있다. 예로서 Fig. 73b²⁾에서 절삭속도 $v=330$ ft/min 에 대한 點線(---)은 “O”로 표시된 실험값의 평균값을 나타내는데, 절삭속도 $v=820$ ft/min 와 $v=525$ ft/min 일 때에 비하여 직선의 기울기가 상당히 이탈되어 있다. 따라서 $v=330$ ft/min 에 대하여는 직선의 기울기를 다르게 하는 어떤 원인이 존재하는가, 또는 산만한 點들을 무시하여야 할 것인가 하는 의문점이 제시되고 있다. 왜냐하면 실험점이라는 것도 이론에서와 같이 흔히 과실이 있을 수 있기 때문이다. 때로는 실험 조건과 실험의 과실 때문에 理論값이 實驗값보다 오히려 정확한 경우가 있다. 著者의 생각으로는 Fig. 73b 의 3개의 직선은 같은 기울기를 나타내어야 하고, digital computer 로 실험 data 를 계산하여 Fig. 73b 의 직선들의 기울기가 같다는 것과 Fig. 73b 상의 A 및 B 點은 고려 대상이 되지 않는 실험적 과실에 의한 것이라는 점을 증명하였다.

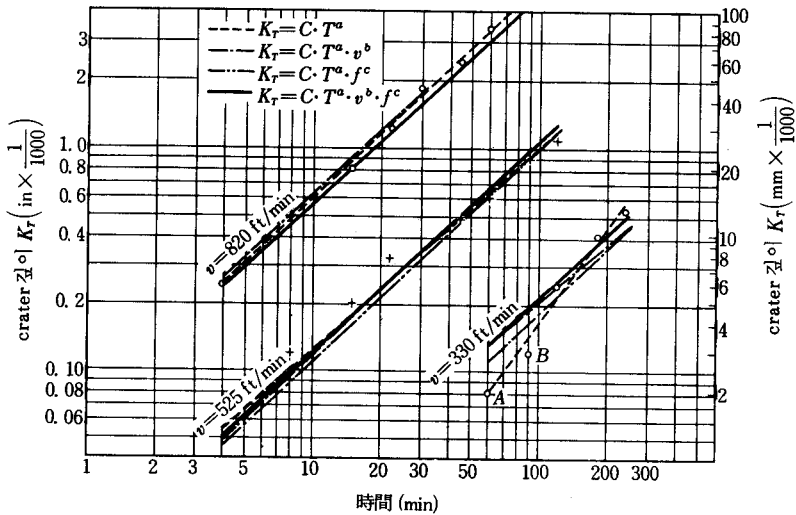


Fig. 73 (b) digital 計算機에 의한 實驗值의 평가 (after Heinhold and Schneeberger)