

MACHINING SCIENCE AND APPLICATION

切削學 및 應用

*THEORY AND PRACTICE FOR
OPERATION AND DEVELOPMENT OF
MACHINING PROCESSES*

BY

Dr. M. KRONENBERG

*Consulting Engineer, Cincinnati, Ohio
Member: Am. Soc. Mech. Eng.; Am. Soc. Tool & Mfg. Engrs.
Am. Ord. Ass.; Am. Ass. Advancement of Science
Sigma Xi, U. of Cincinnati Chapter
Professor Emeritus, Tech. U. Berlin*

全北大學校 工科大學 教授

徐 南 燮 編譯

PERGAMON PRESS

OXFORD · LONDON · EDINBURGH · NEW YORK
TORONTO · SYDNEY · PARIS · BRAUNSCHWEIG

東 明 社

머 리 말

40여 년 전에 本書가 출판될 당시에는, 극소수의 고급기술자들을 제외한 아무도 chip에 의한 금속의 제거가 한 나라의 經濟와 生活水準에 어떤 의미를 갖고 있는지 알지 못하였다.

本人은 독일에서만 매년 chip 생성에 약 35억 시간*이 소요된다는 계산 내용을 1927년 本書의 초판에 실었으며, 이것은 그 당시 임금으로 환산하면 \$35억*에 해당하였다.

本人이 1963년 5월에도 미국 工作機械 및 生産學會에서 발표할 기회가 있었지만, 미국에서는 年 약 \$340억*이라는 돈이 chip生成에 소비되고 있다. 실제에 있어서는 chip의 생성이 목적이 아니고 旋削, milling, 平削 및 研削 등에 의하여 기계, 자동차, 비행기, 완구 등 수많은 물건을 제작하는 것이 우리의 목적이다.

젊은 기술자, 법률가 및 그 외의 많은 사람들은 우리의 생활 수준이 이상의 부품이 만들어지는 수많은 기계공장에 달려 있다는 사실을 인식하여야 한다. 産業體에서 이러한 목적에 쓰여지는 돈의 총액수는 놀라운 정도로 거액이다. 따라서 우리들이 基本原理를 연구하여 人間文明을 촉진시키는 방법을 향상시키고, 金屬取扱産業의 이익을 위하여 이러한 문제를 연구하는 것은 바람직한 일이다.

本書는 두 가지의 工學的 目的을 갖고 쓰여졌다. 즉 하나는 科學의 “왜”라는 물음에 대한 답이고, 다른 하나는 實技者들의 “어떻게”라는 질문에 대한 답이다.

시초에는 과학적 금속절삭과 절삭의 연구에 관심을 갖는 기술자는 소수였으나 이제는 세계 도처에 걸쳐서 무수한 수이다.

첫째 宇宙産業과 같은 새로운 분야에 의하여 精密度의 요구가 급증하였다. 이것은 바로 工作機械의 振動과 變形이 없어야 한다는 것을 요구하게 되었는데, 이러한 것은 바로 切削力, 切削速度 및 관련된 諸切削關係量에 의존하며, 이러한 것을 취급하는 것이 本書의 과제이다.

數値制御工作機械의 到來가 切削學에 대한 관심을 증가시킨 또 하나의 계기이다. program을 하는 사람은 切削速度, 切削力, 工具壽命, 절삭깊이, 절삭날의 幾何學, 動力, 振動, 生産時間 등을 알고 있어야 최적 결과를 얻을 수 있다.

초기의 投資費만 감소된다면 中小企業에서 數値制御工作機械의 사용이 한층 더 증가될 것이다.

耐熱材料와 같은 새로운 금속의 出現이 金屬切削 연구에 대한 또 다른 필요성을 요구한다. 이들 재료들은 흔히 절삭하기 곤란하여 절삭속도를 감소시켜야 하는 경우가 있어 同一單位의 製品을 생산할 때, 常用材料에서보다도 더 많은 工作機械 및 空間을 필요로 하기 때문에 投資費

* 譯者の註: 本 머리말에 인용된 chip 생성 시간과 chip 생성비는 번역되는 현지점에서는 의미가 없고, 단순히 막대한 수로 받아들이기 바랍니다.

가 증가한다.

금속절삭학 연구는 1920년대 초에 미국과 독일에서 거의 동시에 시작되었다.

本人도 참가한 바 있는 Berlin에 있는 VDI-building에서 개최된 委員會는 다음과 같은 決議를 하였다.

“금속절삭의 철저한 연구의 필요성은 극히 당연하며, 과거에서처럼 단일 인자를 취하는 것으로는 충분하지 못하고 금속절삭에 영향을 주는 諸因子들의 상호 관계성을 조사하여야 한다. chip의 壓縮에 대한 연구가 主研究課題가 될 것이다...”

이상과 유사한 결의가 1924년 1월에 발간된 機械工學誌에 다음과 같이 발표되었다.

“연구 과제: ... 본 위원회는 아래에 열거된 인자들이 대단히 중요하다는 것을 실감한다. 工具의 性能과 기타 많은 獨立變數間의 관계, 즉 공구 설계의 인자로서 공구의 形狀 및 剛性, 切削사각, ... 여유각, 가공물의 속도, 절삭깊이, 이송, 관련 재료의 성질(공구, 가공물, 절삭유제), 온도, 윤활 및 냉각 방법 등, 우리들은 절삭날에 일어나는 현상에 대하여 너무도 모르고 있다. 즉 속도, 이송 및 절삭깊이, ...에 대한 법칙이 미비하기 때문에 chip生成에 대한 만족한 理論이 확립되지 못하고 있다.”

그 이후 우리는 상당한 발전을 이루었으며, 앞에서 인용한 관계를 확립하고자 하는 것이 애초부터 본서의 목적이었다.

이러한 목적은 금속절삭에 관련된 인자들을 해석하고 상호 관련시켜서 기계공장에서 응용할 수 있고, 보다 深奧한 研究에 기초가 될 수 있도록 相互依存性을 갖는 理論的 方程式을 導出함으로써 달성되었다.

많은 공업국가들의 절삭 data에 대한 평가와 비교를 할 수 있도록 “共分母”를 결정하기 위한 방법으로서 절삭속도, 절삭력인자(C_v , C_p 및 지수 z , z_p)가 정하여졌다. 이러한 방법에 의하여 기계공장 및 기술자의 사무실에서는 더 이상 이제 비과학적인(우연적인) data에 의존하지 않고 논리적인 情報系와 접할 수 있게 되었다.

공업국가들의 대대적인 호응에 접하고 本書의 初版을 그들 국가들로 하여금 出版하도록 허용하였으며, 여러 外國語로 번역되었고, Dubbel's Handbook, Tool Engineers Handbook 및 기타의 곳에 要約이 게재되었다는 사실만으로도 本書의 내용이 原理로서 인정을 받았다는 하나의 증거이다.

우리는 금속절삭에서 발전된 法則을 보존하고, 그 법칙을 보다 확장하여 또 다른 결과를 얻을 수 있다. 要點을 정리하면 다음과 같다.

예로서 Berlin 工大에서 切削力 연구에 Stanton과 Heyde(영국인)가 열중하여 切削力과 有效傾斜角의 관계식을 확립하고, 그것으로부터 일찍이 소위 “칩수 효과”라 하는 내용을 내포한 간단한 切削力表를 만들었다.

출처가 다른 곳의 data를 비교 및 평가하기 위하여 같은 방법으로 切削速度表를 만들어 놓

았다.

2개의 切削常數(C_v , C_p), 切削速度 및 切削力法則은 chip의 크기뿐 아니라 그 斷面의 形狀도 포함한다. 이와 같은 방법에 의하여 절삭깊이가 표시되지 않은 AWF series와 같은 data를 얻고, 절삭력이 20 000 lb 한도이었기 때문에 外插法을 요하지 않는 Berlin工大 등의 data와도 비교할 수 있었으며, ASME 또는 다른 data와 비교가 가능했다.

35년 전의 약 6~7배의 切削率(in^3/min)을 얻고 있다는 것을 本實驗 data, 切削速度와 工具壽命에 의하여 볼 수 있다. 이와 같은 발전은 전에 비하여 6~7배의 동력에 견딜 수 있고, 또 전달할 수 있는 공구 및 공작기계를 사용할 수 있다는 데 있다.

그러나 주어진 재료와 주어진 공구의 幾何學에 대하여 馬力當 切削率($\text{in}^3/\text{min}/\text{HP}$)은 변하지 않았다. 왜냐하면 절삭력이라는 것은 위의 발전에 영향을 받지 않기 때문이다. 比切削力과 마력당 절삭률($\text{in}^3/\text{min}/\text{HP}$)은 어떤 常數를 곱한 동일량의 역수값에 불과하다는 것을 인식할 필요가 있다. 여기에는 工具壽命이 고려되어 있지 않으므로, 절삭속도와 관련시키는 것보다는 절삭력에 대한 章을 먼저 논하도록 하였다.

基礎切削學에 대한 공헌은 工學者들에 의해서 보다는 物理學者들에 의하여 조사 연구되는 경우에도 있다는 것에 주목할 필요가 있다. 物理學과 金屬切削學간에 기술용어의 부분적인 차이 때문에 어려움이 있을 때도 있다. 금속절삭에서 “摩擦係數”라는 오해의 소지가 많은 용어를 들 수 있다. 생산 기술자들은 마찰계수의 감소를 마찰력의 감소와 관련시키는 일이 많다. 그러나 금속절삭에서는 운동체인 chip의 塑性變形 및 보통 마찰에서는 발생하지 않는 변형 때문에 위의 관계가 역으로 되는 경우가 흔히 존재한다.

또 하나의 예로 물리학자들에 의한 용어인 “金屬의 單位體積當 除去量에 대한 일”과 공작기계 학자의 용어인 “比切削力”이 동일한 것임에도 불구하고 제각기 사용되고 있다. 한편 공작기계 학자들은 물리학자의 공헌을 대수롭지 않게 생각하기도 한다. 따라서 공작기계의 학자와 물리학자간의 간격에 교량 역할을 하는 것이 필요하며, 本書가 이러한 점에서도 도움이 될 것으로 기대한다.

미국의 급속한 공업 발전은 基礎金屬切削學에서 chip壓縮 및 절삭력 등과 같은 새로운 사실을 찾아내는 데 크게 도움이 되었다. 금속절삭에 처음으로 次元解析法을 적용하여 결론을 이끌어내고, 연구에 대한 새로운 진로를 터주는 데 著者の 貢獻이 컸다고 생각한다.

本書는 “基礎研究”와 “實驗的研究 및 實際應用”의 두 주요 부분으로 구성되어 있다.

기초연구(第1篇)의 목적은 切削加工에서 발생하는 現象의 原因 및 起源을 探究하는 데 있다. 따라서 摩擦, chip壓縮, 剪斷, 應力, 分子 및 原子構造, 次元解析, 熱 등의 문제가 基礎研究의 篇에서 취급된다.

반면에 金屬切削에서 實驗的研究(第2篇)의 목적은 生産性的의 增加 및 향상에 있으며, 이 목적은 切削加工에 포함된 諸量間의 關係를 확립함으로써 달성될 수 있다.

따라서 여기에서는 工作機械를 最適條件에서 사용하기 위하여 工具壽命, 切削速度, 切削力, 振動, chip斷面積, 動力, 移送, 切削깊이(또는 물림깊이), 切削率 등의 상호 관계에 관심을 둔다.

研究者 및 技能人을 위한 最適推薦값, 美國 및 獨逸製鋼의 成分과 名稱比較 등의 관련 정보를 附錄에 수록하였다.

理論篇(基礎研究篇)에서 개발된 원리가 單刃切削에서 확립된 것이나 여타의 조건에서도 적용된다는 것을 기억하여 주기 바란다.

M. Kronenberg

謝 辭

여기에서 상세히 소개할 수 없는 몇 件의 諮問에 관한 것 외에는 著者が 私적으로 또는 美國과 Europe의 産業體工場에서 행한 未發表된 研究結果까지도 망라하여 本書에 포함시켰다. American Society of Mechanical Engineers, American Society of Tool and Manufacturing Engineers, Massachusetts Institute of Technology, University of California at Berkeley and Los Angeles에서 발표한 論文 및 Technical University of Berlin의 教授로 있을 때, 그곳에서 수행한 金屬切削에 관한 연구 결과도 일부 소개하였다.

著者が 金屬切削, 振動 및 工作機械 變形의 분야에서 접촉한 바 있는 會社들을 여기에 전부 나열할 수는 없으나, 그 중에서도 著者が 특별히 感謝하고 싶은 곳은 Ludw. Loewe and Co., Raboma Works, Hermann Kolb Works, Nema Works-Neisse, Cincinnati Milling Machine Co., R.K. LeBlond Machine Tool Co., Bryant Chucking Grinder Co., Warner and Swasey Co., Lockheed Aircraft Corp. 그리고 United States Army Ordnance Corps 등이다.

英式單位와 meter單位를 함께 표시한 圖表를 만들고 그 외에도 餘暇의 대부분을 本書의 出刊을 위하여 바친 William A. Kimsey에게도 특별한 감사를 드린다.

人類文明은 工具의 發明에 의하여 시작되었고, 이것으로 인하여 人間이 다른 動物보다 앞서게 되었다고 볼 수 있다. 오늘날 工作機械가 最初工具의 後繼物로서 産業의 基幹을 이루고 있다. 따라서 人類의 보다 큰 발전은 工具의 切削刃에서 일어나고 있는 神秘에 싸인 많은 特性을 洞察하는 데 있다고 볼 수 있다.

本書가 바로 이러한 목적을 이루는 데 一翼을 담당하였으면 하는 바람이다.

Cincinnati, Ohio. M. Kronenberg.

譯者의 말

著者が 앞에서 언급한 바와 같이 切削의 基礎原理를 이해하여 切削加工의 각 重要性 程度에 맞는 最適條件을 구하는 방법을 연구하는 것이 切削學의 目標가 된다는 데에는 再論의 여지가 없겠습니다.

切削學의 大父이고 大家인 M. Kronenberg 著인 “Machining Science & Application”을 제가 번역하기로 한 것은 本書의 定量的인 data 보다는 定性的인 內容에 魅了되었기 때문이었습니다. 즉 研究者들의 實驗 data 를 분석하여 각각에서 論文 原著者도 看過한 중요한 새로운 결론, 또는 별개의 論文으로부터 종합적이고 일반적인 법칙 및 그 法則을 導出하는 방법에 대한 idea 등이 소개되어 있어, 어느 다른 冊에서도 接할 수 없는 內容을 담고 있기 때문입니다.

譯者は 本書를 단순히 直譯하기 보다는 어떤 결론에 이르는 省略된 導出過程을 일일이 찾아내어 挿入함으로써 讀者들께서 短時間에 本書의 內容을 이해하는 데 도움을 주려고 노력하였습니다.

本書의 內容중에는 現時代에 걸맞지 않는 것도 있으나, 原書의 것을 있는 그대로 소개하는 것도 의미가 있을 것으로 생각되어 빠짐없이 옮겨 놓았습니다.

우리 말에 없는 專門術語는 본 의미를 전하는 데 무리가 없도록 표현하였으므로 이 점을 이해하여 주시기 바랍니다.

金屬切削學에 대한 理論的 體系를 수립하기 위하여는 本翻譯書를 접하기 앞서 또는 동시에 “金屬切削理論, 徐南燮 著, 東明社”의 一讀을 감히 권하는 바입니다.

翻譯版을 내놓음에 있어 原書의 內容이 충분히 담겨져 있는지, 또한 誤譯이 있거나 않은가 하는 두려움이 있습니다만, 이와 같은 未備點에 대하여는 讀者 여러분의 鞭撻을 받아 점차 보완하고자 합니다.

譯者 徐南燮 啓

차례

1 편 基礎 研究

1장 切削力學	1
1-1 發達史	1
1-2 剪斷角 및 壓縮比	2
1-3 金屬切削의 3速度	7
1-4 chip壓縮比의 測定	13
1-5 摩擦과 現象의 摩擦係數	15
1-6 摩擦 및 磨耗理論	18
1-7 切削性에 대한 基本方程式	20
1-8 基本方程式의 새로운 接近	26
1-9 새로 導入된 式의 實驗	30
2장 機械加工이 加工材의 機械的 性質에 미치는 영향	37
3장 金屬切削의 次元解析	39
3-1 次元解析의 性質	39
3-2 工具溫度의 次元解析	40
3-3 工具壽命과 切削速度 關係의 次元解析	45
3-4 Taylor方程式의 一般化	48
3-5 Taylor常數 C_T 의 解析	51
3-6 工具壽命과 溫度 關係의 解析	51
3-7 溫도와 時間 關係의 次元解析	52
4장 金屬切削熱	55
4-1 chip과 工具의 熱 및 溫度	55
4-2 冷却 및 潤滑	59
5장 工具의 幾何學	64
5-1 基準面과 工具傾斜面 사이의 4大 重要角	64
5-2 主要工具角의 定義	67

- 5-2-1 有效傾斜角 67
- 5-2-2 斜傾斜角 68
- 5-2-3 切削刃의 傾斜角 68
- 5-3 定義에 대한 理由69
- 5-4 工具幾何學의 方程式69
 - 5-4-1 有效傾斜角(α)의 式 71
 - 5-4-2 切削刃傾斜角(λ)의 式 72
 - 5-4-3 斜傾斜角(σ)의 式 74
- 5-5 有效傾斜角의 最大值(\pm)75
- 5-6 有效傾斜角 및 切削刃傾斜角의 關係圖76
- 5-7 實用을 위한 結論78
 - 5-7-1 有效傾斜角 78
 - 5-7-2 切削刃傾斜角 79
 - 5-7-3 圓周 milling 80

2 편 實驗的 研究 및 實際應用

- 편 2-1 切削速度82
- 6장 實驗法則의 必要條件82
 - 6-1 概要 82
 - 6-2 工具壽命 및 磨耗基準83
- 7장 工具壽命과 切削速度(T_L-v 관계) 87
 - 7-1 Taylor 方程式 87
 - 7-2 工具壽命指數 y 의 計算 90
 - 7-3 T_L-v 관계의 最近實驗93
 - 7-4 工具壽命指數의 比較113
 - 7-5 工具壽命指數와 工具材料의 實用的 選擇115
 - 7-6 工具壽命指數와 切削加工費117
 - 7-7 輕切削에서 T_L-v 관계의 불규칙성118
- 8장 切削速度의 基本法則122
 - 8-1 chip斷面積($A=f \cdot d$)과 切削速度(v)의 關係122
 - 8-2 切削速度基本法則의 導出($A-v$ 관계)127
 - 8-3 切削速度基本法則의 meter系-英式系 變換128
 - 8-4 切削速度基本法則의 數值 data131

9장 切削速度法則의 擴張 142

9-1 chip斷面の 細長比 142

9-2 확장된 切削速度法則의 導出 144

 9-2-1 獨立量으로서 移送 및 물림깊이 144

 9-2-2 chip斷面積과 細長比로 표시된 移送 및 물림깊이 146

9-3 切削速度方程式과 變換因子의 요약 147

9-4 細長比와 主切刃角 148

9-5 확장된 切削速度法則의 數值 data 149

9-6 常數 C_v 와 Brinell硬度 169

9-7 切削速度의 計算例 170

편 2-2 切 削 力 173

10장 切削力의 基本法則 187

10-1 切削力基本法則의 導出 187

10-2 切削力基本法則의 meter系-英式系 變換 187

10-3 切削力基本法則의 數值 data 188

11장 切削力法則의 擴張 197

11-1 基本因子의 관계 197

 11-1-1 확장된 切削力法則의 導出 197

 11-1-2 常數의 meter系-英式系 變換 199

 11-1-3 擴張된 切削力法則의 數值 data 200

 11-1-4 副切削分力 217

11-2 切削力法則에서 引張強度 (또는 Brinell硬度) 의 영향 221

 11-2-1 切削力の 理論式과 實驗式의 相互關係 221

 11-2-2 meter系-英式系 變換 227

11-3 切削力法則에서 有效傾斜角의 영향 228

 11-3-1 有效傾斜角의 實用 data 228

 11-3-2 切削力-有效傾斜角 關係의 導出 235

11-4 chip斷面積, 引張強度 및 工具幾何學의 複合函數로서의 切削力 243

11-5 最適값 Table로부터 切削力公式의 도출 및 實用切削力 計算 245

11-6 合切削力의 方向 249

11-7 工具傾斜面에서의 負傾斜角과 應力 255

11-8 振動, chip生成 및 切削力 259

11-9 加工物과 切削力 272

편 2-3 工作機械의 應用	274
12장 基本法則	274
12-1 切削動力 및 切削率	274
12-2 數值 data	276
12-3 機械法則 및 工具法則 ($A-v$ 關係)	278
13장 生産性	280
13-1 幾何學的으로 相似한(일정한 細長比) chip斷面	280
13-1-1 生産性 圖表 287	
13-1-2 一般式의 導出 294	
13-1-3 生産성에 대한 結論과 提言 296	
13-2 幾何學的으로 相似되지 않는 chip斷面(細長비가 變化함)	298
13-2-1 交叉切削速度 298	
13-2-2 幾何學的의 相似 chip斷面과 非相似 chip斷面에 대한 生産성의 결론 303	
14장 事例史	306
14-1 自動 나사切削機에서의 黃銅切削에 대한 時間研究	306
14-2 多量生産에 대한 金屬切削時間研究	310
14-3 새로운 加工方法의 연구	312
14-4 垂直 boring mill의 실험	317
14-5 高温加工實驗	322
14-6 主軸의 對數級數速度列	323
14-7 strain gauge에 의한 金屬切削實驗	329
부 록	331
참고문헌	345
기호설명	353
찾아보기	356