

CNC에 의한 SM45C 旋削時 切削性能 評價

황 경 충*, 최 원 식**, 윤 종 호**

Assessment of Cutting Performance for SM45C using CNC Lathe

K.C.Hwang*, W.S.Choi**, J.H.Yoon**

Abstract

This paper provides a review of the performance for SM45C using the CNC lathe.

Under the constant cutting area, the tool wear for large feedrate is more than the small feedrate, and the progress goes more rapidly as the cutting speed is increased. This is caused by the friction between the workpiece and the bite. The average cutting force increases as the feedrate increases, and decreases as the cutting speed increases. This is because the effective rake/shear angle becomes smaller as the feedrate becomes larger. The higher is the cutting speed and the aspect ratio (the ratio for depth of cut to feedrate), the lower is the cutting force and the surface roughness. Also, for the optimal selection of the cutting conditions, many experimental graphical data were obtained. That is, the cutting force, the tool life, and the surface roughness were measured and investigated as the depth of cut and the feedrate changed. And the size effect was examined as the depth of the cut varied.

Keywords : Cutting Force(절삭력), Tool Wear(공구마멸), Surface Roughness (표면거칠기), Size Effect(치수효과), Aspect Ratio(중횡비)

1. 서론

최근 들어 기계공업의 발달로 인하여 생산성향상 및 원가절감이 산업체의 주요 목표로 대두되고 있다. 경제적인 절삭의 목표는 가공비의 최소화, 절삭량의

최대화 및 이익의 극대화 등을 들 수 있는데, 어느 경우나 단위 시간당의 절삭량을 기준으로 볼 때 절삭 면적이 일정하다고 하면 절삭 속도의 크기에 따라 결정된다.⁽¹⁾ 그러나, 절삭속도를 크게 하면 절삭 능력은 증가하지만 반면에 절삭온도가 상승되어 공구 선단의 마멸현상이 촉진되

* 영진대학교 기계설계과

** 경일대학교 기계공학부

공구수명이 감소 되므로 연속절삭이 곤란하다.⁽²⁾

기계가공을 할 때에 최적 절삭조건 선정에는 많은 변수들에 의하여 영향을 받는다. 따라서 절삭속도를 일정하게 하고 같은 절삭면적의 값이라도 이송량과 절삭깊이중 어느 것을 더 크게 할 것인가에 따라서 절삭력 및 공구수명에 영향을 준다. 이러한 절삭 치수효과(size effect)에 관한 연구는 Shaw⁽³⁾가 발표한 바 있으며, 염⁽⁴⁾ 등은 바이트 인선각의 변화에 따른 절삭성의 최적화 방안에 관한 연구를 하였다. 한편 Mathew⁽⁵⁾ 등은 NC선반을 이용하여 공구마멸과 파손에 대한 연구를 하였으며, Kaye⁽¹²⁾ 등은 CNC 선반에서의 주축속도를 변화시켜 플랭크 마멸의 예측에 대한 연구를 하였다. 그러나 기존의 연구는 수동식 선반을 이용한 연구가 대부분이었고 주축일정제어의 기능 및 정밀도를 높일 수 있는 장점을 지닌 CNC선반을 이용한 연구는 아직 많이 진행되지 못했다.

본 연구에서는 임계 절삭속도를 기준으로 저속, 중속 및 고속으로 절삭조건을 선정하여 같은 절삭면적에서 절삭깊이와 이송량의 변화에 따른 절삭력 및 공구수명을 측정하였다. 같은 절삭면적에서 절삭깊이의 대소 및 이송량의 대소에 따른 측정치를 비교 검토하였으며, 최적 절삭조건 선정에 위해 여러 가지 절삭조건들에 따라 절삭력과 표면거칠기를 측정 한 후 이 데이터들을 비교 분석하였다. 한편 진동영향을 확인하기 위해 절삭력을 FFT해석하여 주파수분석을 행하였다.

2. 理論 解析

2-1. 절삭력

선삭시 절삭저항은 3개의 분력으로 나누어 생각할 수 있다. 피삭재 접선방향의 주분력(Fx), 이송방향의 이송분력(Fy), 피삭재 반경방향의 배분력(Fz)으로서 측정 한 3개의 절삭력중에서 가장 중요한 주분력을 연구하였다.

2-2 공구수명

공구수명은 절삭시작에서 공구교환까지의 총 절삭시간, 혹은 총 절삭거리로서 정의된다. 원리적으로는 공구의 수명시간이 있는 이상, 이에 대응하는 마멸량은 반드시 존재하므로 어떤 경우에도 미리 정한 마멸량에 도달할 때까지의 절삭시간 또는 절삭거리를 공구수명으로 하고 있다.⁽⁶⁾

그러나, 실체는 마멸량에 의하지 않고 간접량이 설정치에 도달했을 때를 공구수명으로 하는 경우도 많다. 즉 생

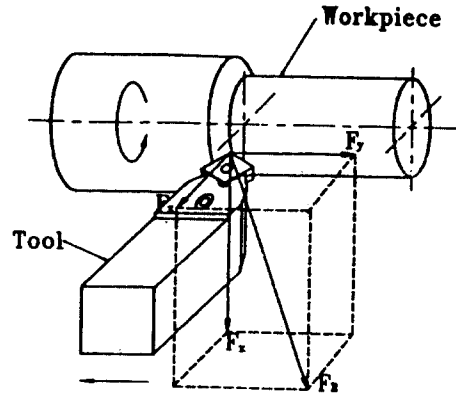


Fig.1 Cutting force

산제품의 치수에 생기는 오차가 허용치를 넘을 때를 기준으로하거나 또는 절삭저항이 증대되어 일정한 값을 넘을 때를 공구수명의 판정기준으로 이용할 때도 많다.⁽⁷⁾ Taylor⁽⁶⁾가 제안한 공구수명식은 우선, 공구수명을 절삭시간으로 나타내면 식(1)과 같으며

$$V T^{(n)} = C \quad (1)$$

여기서 V : 절삭속도 (m/min)

T : 공구수명 (min)

n, C : 재료 및 절삭조건에 따른 상수

공구수명을 절삭거리로서 나타내면 식(2)와 같다.

$$V L^A = B \quad (2)$$

여기서 L : 수명절삭거리 (m)

A, B : 상수

2-3. 표면 거칠기

가공면의 표면거칠기는 절삭날끝의 형상과 이송량에 의해 발생하므로 Fig.2처럼 도시할 수 있다.⁽⁸⁻¹⁰⁾ 그림에서 f는 이송량(mm/rev), R은 바이트날끝 반경(mm), C_s는 측면절삭날끝각(side cutting edge angle) 그리고 C_e는 끝면절삭날끝각(end cutting edge angle)을 나타낸다. 이송량에 따른 최대 표면거칠기의 이론적인 계산치를 살펴보면 다음과 같다.

(1) 이송량이 극히 작은 경우

Fig.2(a)와 같이 이송량이 극히 작아서 절삭가공면 표면거칠기의 산모양이 원호인 경우처럼 이론적 최대 표면거칠기(R_{max})는 식(3)으로 표시할 수 있다.

$$R_{max} = R - R \cos \delta = R (1 - \cos \delta)$$

$$= R (1 - \sqrt{1 - \sin^2 \delta}) \approx \frac{R}{2} \sin^2 \delta = \frac{f^2}{8R} \quad (3)$$

단, $f \leq 2R \sin C_e$

(2) 이송량이 약간 큰 경우

Fig.2(b)와 같이 이송량이 (a)보다 다소 큰 경우이며 HBC는 곡선부분 HB와 직선부분 BC로 형성되고 GC는 곡선만으로 형성되는 경우처럼 이론적 최대 표면거칠기는 식(4)같이 표시할 수 있으며, 측면절삭날끝각(C_s) 및 끝면절삭날끝각(C_e) 이 모두 현저히 큰 경우이다.

$$R_{max} = R \left[1 - \cos C_s \left(1 - \frac{f}{R} \sin C_e \right) - \sin C_e - \sin C_s \sqrt{2 \frac{f}{R} \sin C_e - \left(\frac{f}{R} \sin C_e \right)^2} \right]$$

$$= R \left[1 - \cos C_e + T \cos C_e - \sin C_e \sqrt{T(2-T)} \right] \quad (4)$$

단, $2R \sin C_e \leq f \leq R \{1 - \sin(C_s - C_e)\} / \cos C_s$

이고, $T = (f/R) \sin C_e$ 이다.

(3) 이송량이 큰 경우

Fig.2(c)와 같이 가공면의 표면거칠기가 산의 경사면과 같이 원호와 직선부분으로 형성되는 경우이며 이송량이 큰 경우의 R_{max} 는 식(5)로 표시할 수 있다.

$$R_{max} = R + \frac{f \sin C_e \cos C_s - R \cos C_s - R \sin C_e}{\cos(C_e - C_s)} \quad (5)$$

단, $f \geq R \{1 - \sin(C_s - C_e)\} / \cos C_s$ 이다.

2.4 피절삭재의 고유진동수 계산

선반가공시 피삭재는 절삭력에 의해 가진되므로 진동을 하게 된다. 이 때, 절삭력으로 가진된 피삭재는 표면거칠기에 영향을 받게 된다. 여기서 피삭재의 고유진동수가 절삭력 및 표면거칠기에 미치는 영향을 규명하기 위해 피삭재의 고유진동수를 계산하면 피삭재의 한 쪽 끝을 척으로 고정하고, 또 다른 쪽은 심압대로 지지되어 있으므로 양단 고정의 부정정보로 생각할 수 있다.

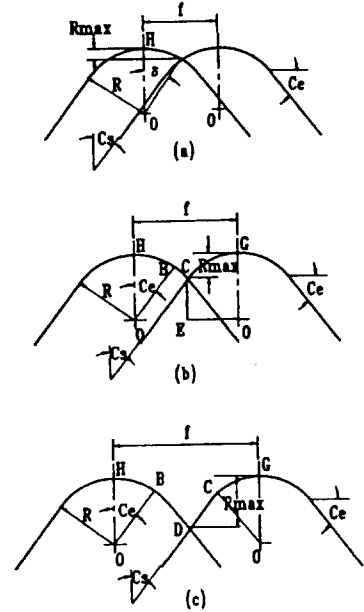


Fig. 2 Ideal surface roughness

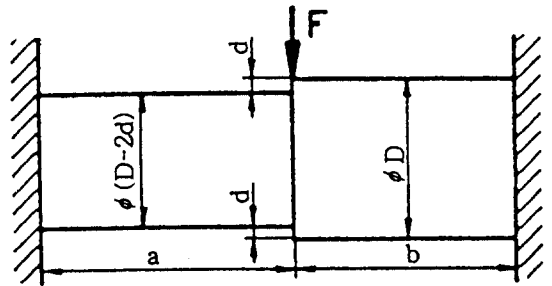


Fig.3 Beam model of workpiece

Fig.3에서 D는 피삭재의 직경(mm), d는 절삭깊이(mm), F는 피삭재축에 수직인 절삭력, a는 기절삭부의 길이, b는 미절삭부의 길이이고 전체길이 $l = a + b$, 그리고 E는 종탄성계수(200 GPa)이다. 양단고정보에서 피삭재의 등가 스프링상수는

$$k = \frac{3EI^3}{a^3b^3} \quad (6)$$

가 된다. 시험편의 질량을 m 이라하면 시험편의 기본 고

유진동수는 $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$ 에 의해 계산된다.

3. 實驗裝置 및 實驗方法

3-1 실험 장치

본 실험에서 사용된 실험기기 및 사양은 Table 1과 같으며 실험장치 개략도는 Fig.4와 같다.

Table 1. Specifications of experimental apparatus

| Apparatus Name | Manufacturer | Model |
|---------------------|--------------|-------------------------------|
| CNC Lathe | Hwa-Cheon | ECOSTAR-2 (3000 rpm) (7.5 kw) |
| DC Charge Amplifier | Baldwin | MD-1031, 6 CH. |
| Oscilloscope | Iwatsu | SS-5702 |
| Tool Dynamometer | Kistler | 9251A |
| A/D Converter | PC LABCARDS | PLC-714 |
| Tool Microscope | Mitutoyo | TM-101 |
| SEM | Amray | 1830 I D4 |
| Insert Type | | SNMG12408 |
| Workpiece | | SM45C (ϕ 50-80) |

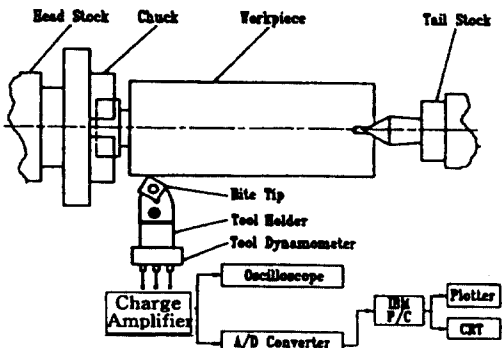


Fig. 4 Schematic diagram of experimental set-up

3-2. 실험방법

3-2-1. 절삭력 측정

시험편을 가공할수록 소재의 지름은 작아지고, 회전수가 빨라지는 주속일정제어(G96)를 채택하였다. 또한 피삭재의 휨과 진동을 최소화 하기 위하여 십압대(30 kgf/cm²)를 사용하였으며 절삭력의 측정에 필요한 공구동력계 및 공구를 설치하였다. 공구팁은 매 실험때마다 새로운 것으로 교환 사용하여 절삭하였다. 공구마멸과 공구수명 고찰을 위한 절삭조건으로 Table 2에서와 같이 조건을 6가지경우로 변화시켰다. 또한 절삭깊이 또는 절삭면적에 따른 절삭력과 비절삭력의 고찰 즉, 치수효과와 고찰을 위한 절삭조건으로는 Table 3에서와 같이 절삭깊이를 5가지 경우로 나누어 절삭실험하였다. 본 실험에서 사용된 공구동력계는 압전형으로 공구대에 부착하였으며 절삭시 발생되는 3분력(주분력, 배분력, 이송분력)을 동시에 측정하였으나 그 중 배분력 및 이송분력은 주분력과 그 파형은 유사하나 진폭이 제일 크게 나타나는 주분력신호만을 증폭시킨 후 모니터링하면서 A/D 변환하여 컴퓨터에 저장하였다.

Table 2. Experimental cutting conditions for tool life

| Cutting Condition Group | I | II | III | IV | V | VI |
|--------------------------------|------|-----|------|-----|------|-----|
| Cutting Speed(m/min) | 70 | | 120 | | 170 | |
| Feed Rate(mm/rev) | 0.05 | 0.5 | 0.05 | 0.5 | 0.05 | 0.5 |
| Depth of Cut(mm) | 2.0 | 0.2 | 2.0 | 0.2 | 2.0 | 0.2 |
| Cutting Area(mm ²) | 0.1 | | 0.1 | | 0.1 | |

Table 3. Experimental cutting conditions for size effects

| Cutting Speed (m/min) | Feed Rate (mm/rev) | Depth of Cut (mm) | Cut Area (mm ²) | Cutting Conditions Group |
|-----------------------|--------------------|-------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 170 | 0.5 | 0.1 | 0.05 | A |
| | | 0.15 | 0.075 | B |
| | | 0.2 | 0.1 | C |
| | | 0.25 | 0.125 | D |
| | | 0.3 | 0.15 | E |

3-3-2. 공구마멸 측정

여유면 마멸의 정의는 ISO의 규정에 의한 인서트의 노우즈(nose)반경부와 절입경계부의 1/4을 제외한 절입부의 마멸 평균폭으로 정의하였으며, 절입부의 플랭크 마멸⁽¹¹⁾을 Fig.5와 같은 마멸형상의 평균폭(flank wear land) V_B 로 규정하였다.

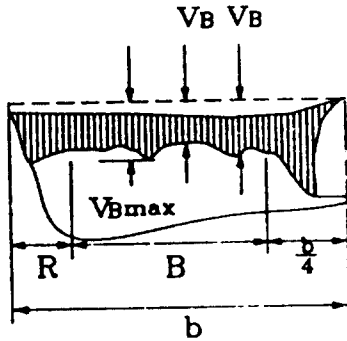


Fig. 5 Terminology of tip wear

본 연구에서는 가공정밀도의 요구에 따라 달라지는 V_B 의 값을 선정하기 위하여 특수강과 주강 절삭시 사용되는 공구 여유면마멸폭의 중앙값과 현장에서 강의 절삭시 많이 사용하는 값들을 고려하여 V_B 가 0.6 mm에 도달되었을 때를 공구교환시기로 선정하였다.⁽¹¹⁾ Fig.4와 같은 공작물을 Table 3와 같은 절삭조건으로 한 번 절삭하는 것을 1회 패스(pass)시켰다고 할 때, 마멸폭 V_B 는 1회 패스후 측정하고, 그 후는 매 2회 패스후에 측정하였으며, V_B 가 0.6 mm에 도달할 때까지 계속 절삭하였다. 이때 마멸 형상은 공구현미경을 사용하여 관찰하였다.

3-3-3. 표면거칠기 측정

표면거칠기 측정기를 이용하여 Table 2 및 3과 같은 조건으로 절삭한 후 수평으로 놓은 석정반위에 마그네틱 V-블록을 셋팅한후, 그 위에 피측정물을 수평으로 올려놓고 표면거칠기계의 촉침(stylus tip)을 접촉이송시킨다. 촉침의 변위량에 비례하여 나타나는 전압은 증폭기에서 증폭된후 A/D 변환기를 이용하여 샘플링 속도 2 kHz로 1024 개의 표면거칠기 값을 디스크에 저장한다. 이때 표면거칠기계의 작동설정조건은 트레이싱 속도가 3.0 mm/sec이므로, 1.536 mm의 표면거리에서 거칠기값들을 읽게되며, cut off 값은 0.8mm로 설정하였다.

4. 實驗結果 및 考察

4-1. 절삭력

절삭력은 절삭깊이와 이송량의 비인 종횡비가 40인 절삭조건 I 일 때의 평균 절삭력은 95.7 kg이고 종횡비가 0.4인 절삭조건 II 일 때의 평균 절삭력은 160.5 kg이다. 절삭조건 I과 II를 비교해 보면 같은 절삭면적에서는 종횡비가 적은 조건 II가 평균 절삭력이 64.88 kg 더 크게 나타났다. 즉, 종횡비가 상대적으로 큰 조건 I의 경우보다 절삭력이 67.7 % 증가했다.

절삭조건 III 일 때의 평균 절삭력은 90.5 kg이고 절삭조건 IV 일 때의 평균 절삭력은 151.8 kg이다. 조건 III과 IV를 비교해 보면 같은 절삭면적에서 종횡비가 적은 조건 IV가 평균 절삭력이 61.3 kg 더 크게 나타났다. 즉, 종횡비가 상대적으로 큰 조건 III의 경우보다 절삭력이 67.7 % 증가되었다.

절삭조건 V 일 때의 평균 절삭력은 86.36 kg 이었고, 절삭조건 VI 일 때의 평균 절삭력은 142.33 kg 이었다. 경우 V와 VI를 비교해보면 같은 절삭면적에서 종횡비가 적은 조건 VI의 경우가 평균 절삭력이 56.74 kg 더 크게 나타났으며, 종횡비가 큰 조건 V의 경우보다 절삭력이 72.89 % 증가되어 나타났다.

절삭력들을 절삭조건별로 정리하면 Fig.6과같이 된다. 그림에서 보는 바와 같이 같은 절삭면적의 조건하에서는 이송량이 적은 경우보다 큰 경우가 절삭력이 크게 나타났으며, 절삭속도가 커질수록 절삭력은 감소되는 것을 확인할 수 있다. 이송량과 절삭깊이에 따른 직선들의 실험식을 커브피팅하여 계산하면 다음과 같은 식이 얻어진다.

$$F_x = 102.3 - 0.095 V \quad (\bigcirc \text{ 점들의 연결식})$$

$$F_x = 173.1 - 0.180 V \quad (\bullet \text{ 점들의 연결식})$$

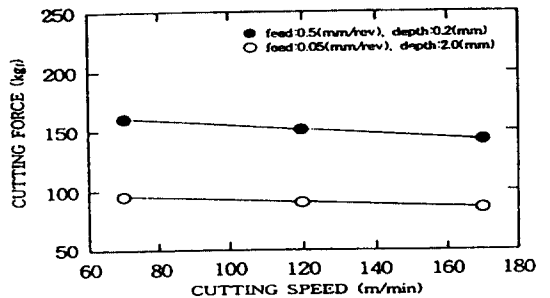


Fig. 6 Cutting forces vs. cutting speed

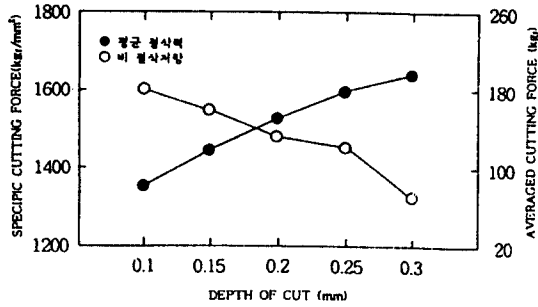


Fig. 7 Specific & averaged cutting force vs. depth of cut

Table 3에 준하여 절삭속도와 이송량을 일정하게 하고, 절삭깊이만을 변화시키면서 측정된 절삭력은 조건A에서 E까지를 비교하면 절삭깊이가 커짐에 따라 절삭력이 증가됨을 알 수 있었다. Fig.7은 Table 3에 따라 실험한 비절삭저항(specific cutting force)과 평균주절삭력의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 절삭속도와 이송량을 일정하게 하고 절삭깊이 또는 절삭면적을 크게하면 평균절삭력은 증가하지만 비절삭저항은 감소함을 알 수 있다.

4-1-1. 절삭력의 주파수분석

Fig.8-1, Fig.8-2는 Table 2의 절삭조건들에 따라서

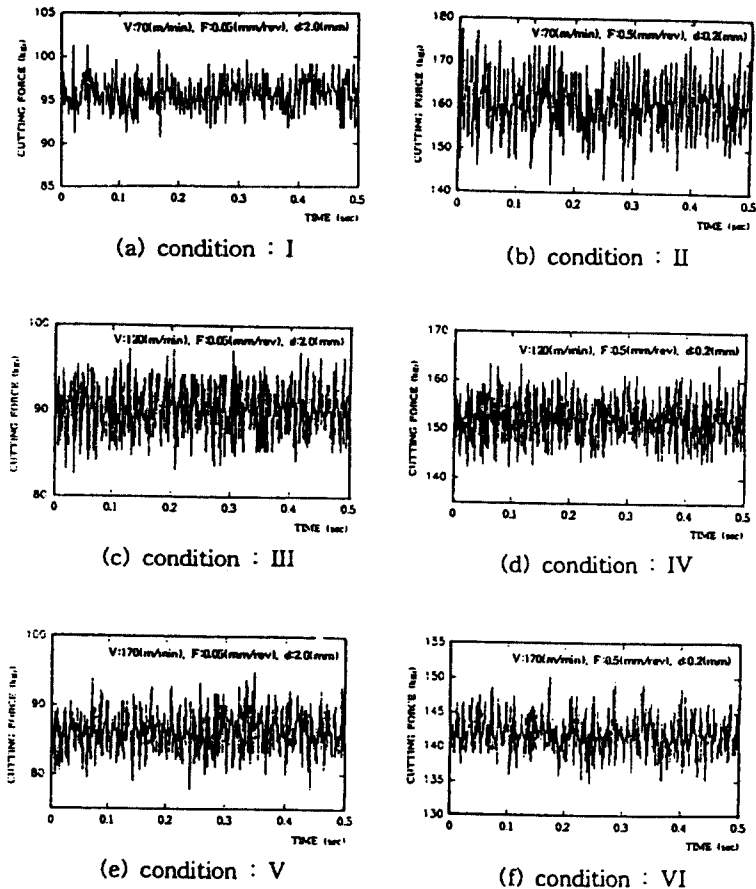


Fig. 8-1 Comparision of cutting forces according to cut-depth variance

측정된 시간함수 절삭력들을 FFT분석한 주파수성분을 나타낸 그림들이다. 각 그림들을 절삭깊이와 이송량의 비인 중횡비에 따라 비교검토한다. 그림8(a)와 (b)는 절삭초기의 불규칙한 가진으로 인하여, (a)에서는 110 Hz 및 330 Hz, 그리고 (b)에서는 50 Hz ~ 400 Hz 의 저주파수 영역이 많이 가진되어 나타났다. 그러나, 가진이

비교적 안정된 절삭조건 III부터는 CNC 선반의 고유진동수로 추정되는 80 Hz와 160 Hz 에서 스펙트럼 피크들이 나타났으며, 피삭재의 횡진동 고유진동수로 추정되는 750 Hz ~ 850 Hz 부근의 스펙트럼들이 공진되어 절삭력파형에 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다.

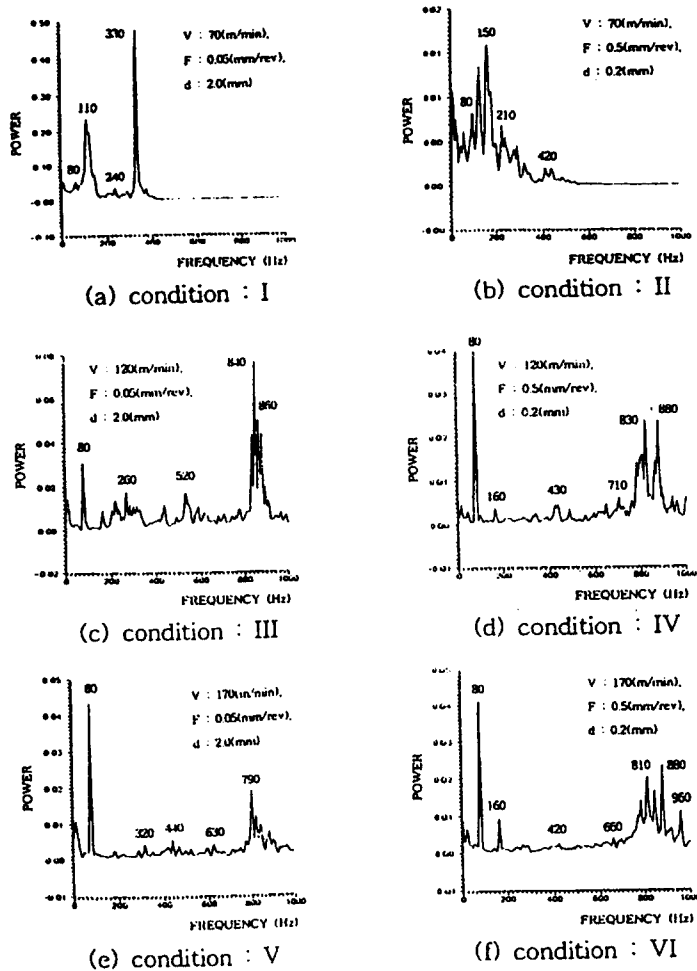


Fig. 8-2 Power spectra of cutting forces according to cutting conditions

Fig. 9-1, Fig.9-2는 Table 3에 준하여 실험한 결과를 절삭속도와 이송량을 일정하게 하고, 절삭깊이만을 변화시켜서 측정된 시간영역의 절삭력들을 주파수분석한 결과들이다. 스펙트럼이 부각되어 나타난 80 Hz는 CNC선반의 고유진동수가 가진되어 절삭력에 나타난 것으로 생각되며, 고유진동수 영역의 스펙트럼이 절삭조건 A, B, C, D 및 E를 따라서 970 Hz에서 640 Hz로 점점 적어지고 있는

것을 알 수 있다. 양단이 고정된 보의 기본 고유진동수는 선삭으로 점점 적어지고 있는 피삭재의 직경을 고려할 때 피삭재의 고유진동수들과 잘 일치하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 절삭력은 선반의 기본 고유진동수와 피삭재의 진동에 많은 영향을 받은 파형으로 나타나는 것이 확인되었다.

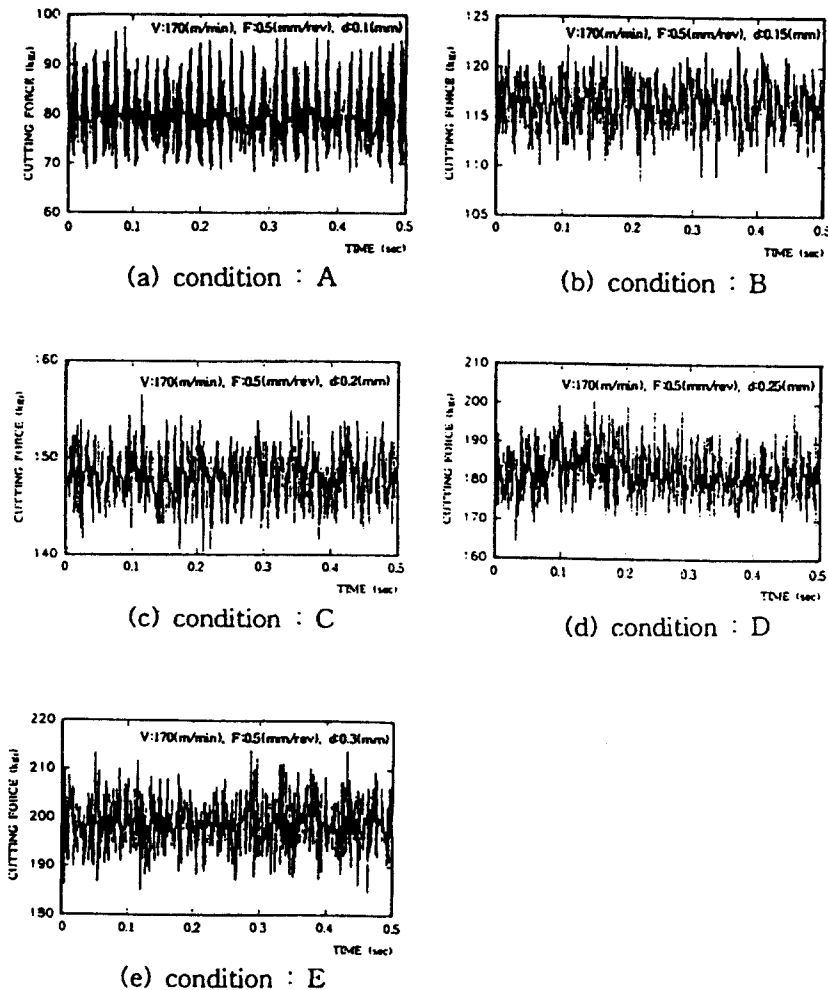


Fig.9-1 Comparison of cutting forces according to cut-depth variance

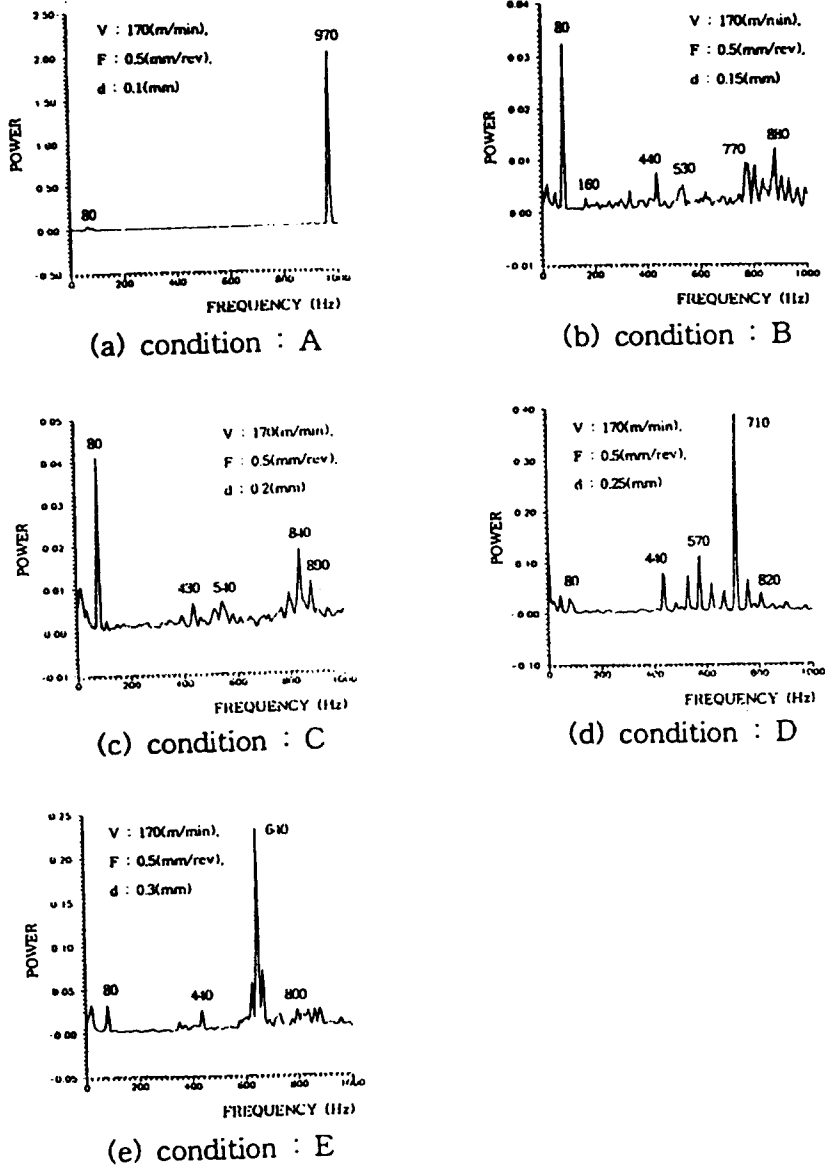


Fig.9-2 Power spectra of cutting forces according to cut-depth variance

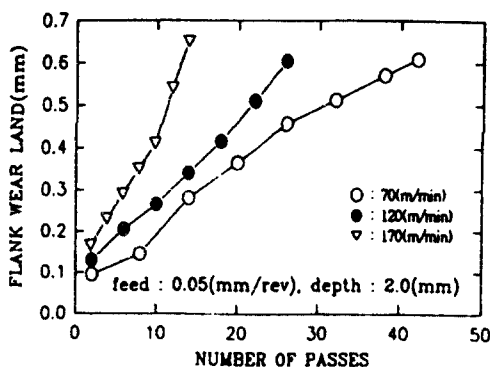
4-2. 공구마멸

Fig.10은 Table 2에서의 절삭조건들에 따른 공구마멸을 나타낸 그림이다. (a)에서는 Table 2의 절삭조건들에

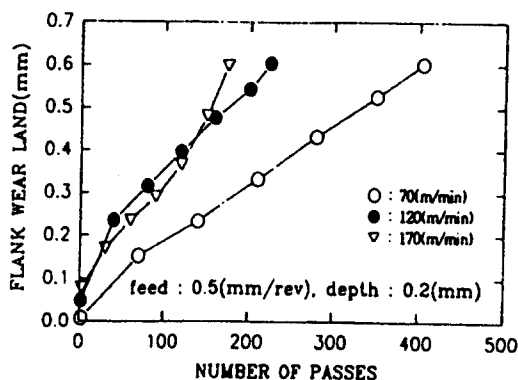
대한 공구마멸값을 나타냈으며, 각 조건들에서 공구수명인 마멸폭 0.6 mm 에 도달하는 데 소요된 가공횟수는 각각 42회, 26회 및 14회가 소요되었다. (b)에서는 Table 2

의 절삭조건들 II, IV 및 VI의 경우에 대한 공구마멸 진전도를 나타냈으며 마멸폭 0.6 mm에 도달하는 데 소요된 각 조건별 가공횟수는 각각 406회, 224회 및 174회가 소요되었다.

그림 (a)와 (b)에서 보는 바와같이 선삭횟수에 따른 공구마멸폭의 변화는 비선형적으로 변화되는 것을 알 수 있다. 또한 두 그림에서 절삭속도가 같은 경우들끼리 즉, 조건 I과II, 조건III과IV, 그리고 조건V와VI을 짝으로 하여 공구수명이 이르기까지의 가공횟수들을 비교하면 각각 종횡비가 40인 그림(a)의 경우가 종횡비가 0.4인 그림(b)의 경우들 보다 대략 10배, 9배 그리고 12배 정도 일찍 공구수명이 끝나는 것을 알 수 있다. 이와 같이 같은 절삭속도에서 종횡비가 큰 경우가 공구수명이 짧은 것은



(a)



(b)

Fig. 10 Flank wear land vs. cutting passes

절삭깊이가 깊을수록 공구와 칩의 마찰열이 커져서 마멸이 크게 나타나는 것으로 생각된다. 또한 같은 절삭단면치수하에서도 속도가 빠를 수록 공구수명이 단축되는 것도 공구와 칩사이에 마찰열이 커지는 것에 기인된다고 할 수 있다.

Table 2에서 정의된 절삭조건들에 의거하여 얻어진 실험 데이터들을 정리하면 Table 4과 같다.

Table 4. Experimental data according to the conditions(I-VI)

| Cutting Conditions Items | Cutting | | | | | |
|--------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | I | II | III | IV | V | VI |
| Cutting Force (kg) | 95.71 | 160.5 | 90.5 | 151.8 | 86.36 | 142.3 |
| Passes to Wear | 42 | 406 | 26 | 224 | 14 | 174 |
| Cutting Length(m) | 8.4 | 81.2 | 5.2 | 44.8 | 2.8 | 34.8 |
| Tool Life (min) | 404.9 | 225.9 | 142.6 | 128.8 | 68.2 | 46.2 |
| Surface Roughness(μm) | 21.5 | 32 | 11 | 18 | 7.5 | 17 |

상기의 실험결과로부터 Taylor의 공구수명식(1)의 상수들을 계산할 수 있다. Table 4에서 절삭조건 I, III, 및 V가 같은 절삭깊이와 이송량에 대한 속도 변화에 따른 측정값이고, 절삭조건 II, IV 및 VI은 같은 속도변화에 대하여 또다른 절삭깊이 및 이송량에 대한 측정값들이다. 따라서 모든 측정값들을 같은 관점에서는 볼 수 없고, 두 개의 집단으로 나누어 세 개의 데이터를 연결시켜 공구의 수명계산식을 유도할 수 있다.

최소자승법에 의한 절삭속도(V)와 공구수명(T)의 관계를 나타내는 직선식은 $\log T = a + b \log V$ 의 형태이고, 측정된 데이터를 이용하면 Fig.11에 있는 두 직선들의 식은 다음과 같이 얻어진다.

$$\log T = 6.257 - 1.979 \log V \quad (\bigcirc \text{ 점들의 연결식})$$

$$\log T = 6.076 - 1.966 \log V \quad (\bullet \text{ 점들의 연결식})$$

4-3. 표면거칠기

본 연구에서의 이송량은 0.05 mm/rev 와 0.5 mm/rev 이고 바이트날끝반경 R은 0.8 mm이며, 바이

트의 절삭날 끝각 Ce와 Cs는 각각 15도로 2장에서의 이송영역은 $f \leq 0.414$, $0.414 \leq f \leq 3.09$ 및 $f \geq 3.09$ 의 세 영역으로 구분된다. $f = 0.05$ mm/rev의 경우는 식(3)에 해당되고, $f = 0.5$ mm/rev인 경우는 식(4)에 해당된다. 따라서 이송량이 0.05 mm/rev인 경우의 이론 최대 표면거칠기값은 $R_{max} = 0.39 \mu\text{m}$ 이 되고, 이송량이 0.5 mm/rev인 경우의 이론 최대 표면거칠기 값은 $39.37 \mu\text{m}$ 가 된다.

Fig.12는 Table 2의 절삭조건들에 따른 표면거칠기측정값을 보여주는 그림이다. (a)는 Table 2의 절삭조건 I 일 때의 최대표면거칠기 $21.5 \mu\text{m}$ 를 나타내며, 최대치는 $11.9 \mu\text{m}$, 최소치는 $-9.6 \mu\text{m}$ 이다. (b)는 Table 2의 절삭조건II 일 때의 최대 표면거칠기는 $32 \mu\text{m}$ 으로 나타났으며, 최대치는 $17 \mu\text{m}$ 이며 최소치는 $-15 \mu\text{m}$ 이다. (a)와 (b)를 비교하여 보면 같은 절삭면적에서 절삭깊이에 비해 이송량이 큰 (b)의 경우에 표면거칠기가 $10.5 \mu\text{m}$ 더 크게 나타났으며 절삭깊이에 비해 이송량이 적은 (a)의 경우보다 표면거칠기는 48.8% 나빠졌다. 즉, 일

정한 단면적 일지라도 칩의 종횡비가 클수록 표면거칠기는 좋아짐을 알 수가 있다.

(c)는 절삭조건III 일 때의 표면거칠기로서 $11 \mu\text{m}$ 를 나타내며, 최대치는 $6 \mu\text{m}$, 최소치는 $-5 \mu\text{m}$ 이다. (d)는 절삭조건IV 일 때의 최대 표면거칠기는 $18 \mu\text{m}$ 로 나타났으며, 최대치는 $9.6 \mu\text{m}$ 이며 최소치는 $-8.4 \mu\text{m}$ 이다. (c)와 (d)를 비교하면 같은 절삭면적에서 절삭깊이에 비해 이송량이 큰 (d)의 경우에 표면거칠기가 $7 \mu\text{m}$ 더 크게 나타났으며 절삭깊이에 비해 이송량이 적은 (c)경우보다 표면거칠기는 63.6% 나빠졌다.

(e)는 Table 2의 절삭조건V 일 때의 표면거칠기로서 $7.5 \mu\text{m}$ 이며, 최대치는 $3.52 \mu\text{m}$, 최소치는 $-3.98 \mu\text{m}$ 이다. (f)는 절삭조건VI 일 때의 최대 표면거칠기 $17 \mu\text{m}$ 이며, 양의 최대치는 $9.8 \mu\text{m}$, 음의 최소치는 $-7.2 \mu\text{m}$ 이다. (e)와 (f)를 비교하여 보면 같은 절삭면적에서 절삭깊이에 비해 이송량이 큰 (f)의 표면거칠기가 $9.5 \mu\text{m}$ 더 크게 나타났으며 절삭깊이에 비해 이송량이 적은 (e)의 경우보다 표면거칠기는 126% 나빠졌다.

지금까지 열거한 절삭조건들에 따른 최대 표면거칠기를 살펴보면, 이송량이 0.05 mm/rev인 경우는 최대 이론치인 $0.39 \mu\text{m}$ 보다 모두 크게 나타나서 이론 계산치에 보정상수를 더해 주어야 함을 알 수 있으며, 이송량 0.5 mm/rev인 경우는 최대 이론치인 $39.37 \mu\text{m}$ 보다 모두 적게 나타났다. 이는 절삭깊이에 따른 시험편(피삭재)의 진동에 기인되는 것으로 생각된다.

상기의 그림들에서 절삭면적을 일정하게 하고 절삭속도가 증가하면 표면거칠기는 감소함을 알 수가 있다. 또한 같은 절삭속도에서 이송량이 크고 절삭깊이가 작을수록 표면거칠기는 증가 함을 알 수가 있으며, 그 원인은 절삭력이 크므로 가공중 공작물과 공구사이에 진동에 의하여 표면거칠기가 절삭면에 나쁜영향을 주는 것으로 생각된다. 이상의 절삭조건들에 따른 표면거칠기의 변화를 Fig.13에 나타내었다. 그림에서 보면 절삭속도에 따라 표면거칠기는 지수함수적으로 감소하는 경향을 나타내고 있다.

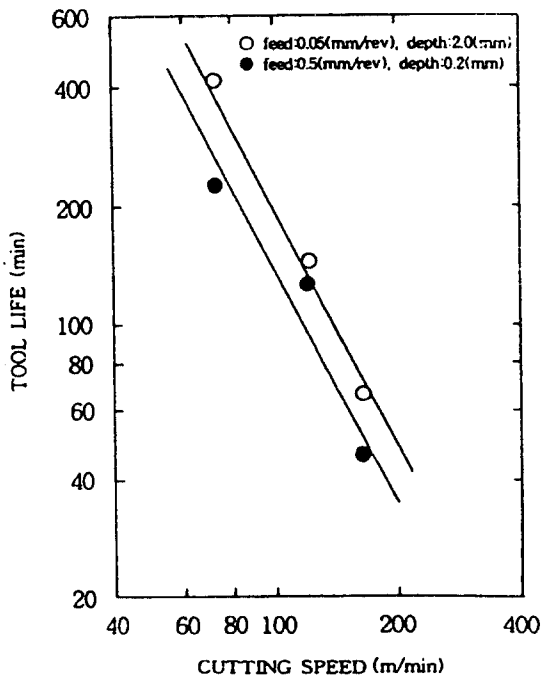


Fig.11 Relation between cutting speed and tool life

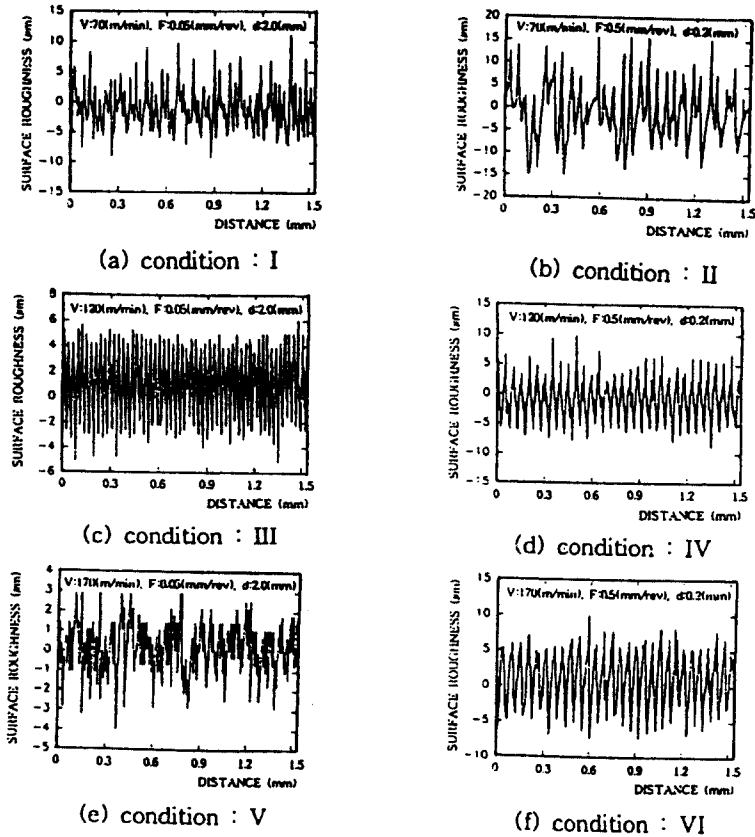


Fig.12 Comparison of surface roughness according to cutting conditions

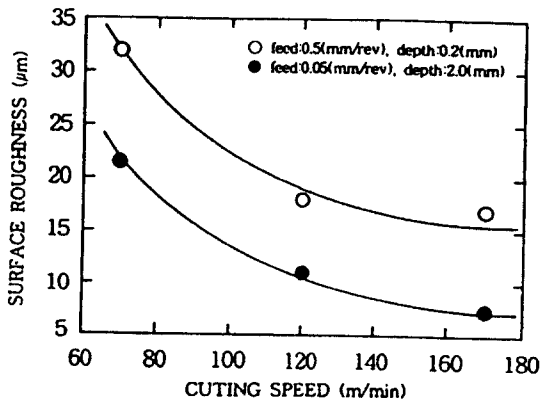


Fig.13 Surface roughness vs. cutting speed

5. 結 論

주축제어가 용이한 CNC 선반을 이용하여 기계구조용 탄소강(SM45C)의 절삭조건에 따른 절삭특성(절삭력, 공구마멸 및 표면거칠기)을 실험적으로 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 정한 절삭단면적에서 이송량이 클수록 평균 절삭력이 커지며, 절삭속도가 클수록 평균 절삭력은 작아지는 경향을 보였다. 이는 이송량이 커짐에 따라 유효경사각과 유효전단각이 작아지기 때문이다.
2. 일정한 절삭단면적에서 공구마모는 이송량이 큰쪽이 느리고 절삭속도가 클수록 빠른 경향을 보였다.
3. 절삭조건 선정에서 절삭속도와 중형비(절삭깊이의 이송량에 대한 비)를 크게 하면, 절삭력은 감소되고,

- 가공물의 표면거칠기는 향상되었다.
4. 일정한 절삭단면적에서 표면거칠기는 이송량이 빠른 쪽이 거칠게 나타났으며, 절삭속도가 빨라질수록 양호해지는 경향을 보였다. 또한 같은 절삭속도에서 일정한 칩단면적 일지라도 이송량이 적을수록 표면거칠기는 향상되었다. 이는 이송량이 빨라지면 이론적인 면칠기가 불량해지기 때문이다.
 5. 절삭력 및 표면거칠기의 파형을 FFT해석하여 주파수 분석한 결과 절삭력과 표면파형의 변동은 선반의 고유진동수 및 피삭재의 고유진동수에 크게 영향을 받는 것이 확인 되었다.

參 考 文 獻

- (1) 谷 和南外 2名, “旋削の最適化および適應制御,” 日本機械學會 論文集, 第44卷, 第377號, 1978. 1, pp.366 ~ 373.
- (2) 佐田 登志夫, “材料の被削性,” Journal of JSME, Vol.70, No. 577, 1967, pp.52.
- (3) M.C. Shaw, “Optimum Selection of Machine Tool Speeds and Feed,” Int.J.Mach. Tool Des. Res. Vol.5, 1965, pp.25 ~ 34.
- (4) 염성하 외 3명, “바이트 인선각의 변화에 따른 절삭성의 최적화 방안에 관한 연구,” 대한기계학회논문집, 제12권, 제5호, 1988, pp.1043 ~ 1054.
- (5) J. Mathew, Li Pan, “Tool wear and Failure Monitoring Techniques for Tuning - A Review” MTDR, vol.30 No.4, 1990, pp579~598.
- (6) J. Taylor, “The Tool Wear-Time Relationship in Metal Cutting,” Int.J Mach. Tool Des. Res., Vol. 2, 1962, pp.119.
- (7) H.K. Kook, “Tool Wear and Tool Life,” Trans. of ASME Journal of Engineering for Industry,” Vol. 95 B, 1973, pp.931 ~ 938.
- (8) T.C. Hsu, “A Study of Wear on Cemented Carbide Cutting Tool,” Trans. ASME B 91, 1969, pp.652 ~ 658.
- (9) 竹山秀彦, 林田良司, 1974, “工具壽命に關聯して,” 日本機械學會誌, 第77卷, 第669號, PP.877 ~ 884.
- (10) A. Bhattacharyya, A. Ghosh, Inyong Ham, “Analysis of Tool Wear Part II: Applications of Flank Wear Models,” Transactions of the ASME, February 1970, pp.109 ~ 114.
- (11) C. Rubenstein, “An Analysis of Tool Life Based on Flank-Face Wear: Part I: Heory,” Trans. of the ASME, February 1976, pp.221 ~ 226.
- (12) J.E.Kaye, D.H. Yan, N.Popplewell, S. Balakrishnan, “Predicting Tool Flank Wear using Spindle Speed Change”, MTDR, Vol.35, No9, 1995, pp.1309~1320.