韓國精密工學會 2001年度 秋季學術大會論文集 pp.851~856 KSPE 01F207

통계적 기법을 이용한 선삭 가공 절삭조건에 따른 공구온도 예측

김성청(충북대 기계공학부), 이응석(충북대 기계공학부)
문홍현*(충북대 대학원), 송길용(충북대 대학원)

Study on the tool temperature estimation for different cutting conditions in turning using a statistical method

S. C. Kim(Mechanical. Eng. Dept. CHB), E. S. Lee(Mechanical Eng. Dept. CHB)
H. H. Moon(Mechanical. Eng. Dept. Graduate School, CHB)
G. Y. Song(Mechanical. Eng. Dept. Graduate School, CHB)*

ABSTRACT

This study is on the estimation of the tool temperature for different tool nose radius and cutting conditions in turning. The experiment has been performed in different cutting conditions such as cutting speed, feed rate, and depth of cut for the tool nose radius, 0.4R, 0.8R using SMC workpiece materials. Tool temperature is measured using thermo-couple which is embedded in the insert tip. Using a multiple linear regression method, the tool temperature can be determined as an exponential equation with cutting variables and tool nose diameters for different tool materials. The equations determined in this study show a good correlation for the cutting conditions and can be used for the tool temperature estimation. The result indicates that the tool temperature decreases for increasing the tool nose radius in general. Also, nose radius hardly influences on the tool temperature compared with cutting speed, feed rate and depth of cut.

Key Words : 공구온도, 공구인선반경(Tool nose radius), 다중회귀분석 (Multiple regression analysis), 열전대 (T.C., Thermo-couple)

1. 서론

공장자동화 감시 기술 중 가장 강조되는 기본요소의 하나는 기계가공 공정 중에 발생하는 공구의 마멸 및 파손에 따른 공구 수명의 문제이다. 공구의 마멸은 제품의 불량발생 및 비가공시간의 증가 요인이 되고 가공오차를 발생시키는 직접적인 원인으로 여러 가지가 있으나 절삭시 발생되는 절삭열의 영향이 가장 크다. 이 절삭열이 공구의 전단면 및 경사면 등의 저항에 대한 에너지로 변환되므로 공구 마멸을 증대시키는 원인이 된다고 생각된다. 대부분의 열은 절삭중 전단면에서 발생하게 되며 칩과 함께 제거되고 일부는 공구에 또 다른 일부는 가공물에 전도되어 공구마모 진행에 중요한 인자로 작용하게 된다. 절삭온도에 대한 연구는 1950년대에 제안된 Rapier[1], Lowen-shaw[2]의 이론들이 있으며 Stephenson[3]등은 열전대를 이용하여 피삭재, 칩-공구접촉면 상의 평균온도를 비교적 정확하게 측정하였다. Trigger[4]는 다음과 같이 공구온도(Θ_m)와 공구수명(T)과의 관계식을 정립하였다.

$$(\theta_m)^g T = C \quad (1)$$

식(1)에서 C : Constant, g : exponent. 또한 공구면의 온도분포를 실험적으로 측정한 것으로는 공구 경사면 및 플랭크면을 포함하여 공구 인선부의 온도해석과 측정결과 등을 비교한 예는 있지만 공구활용도에 비하여 그 연구범위가 좁은 편이다.

본 연구에서는 현장에서 많이 사용되는 기계구조용 탄소강을 각각 초경공구로 외경 선삭 할 때 절삭속도, 이송 절삭깊이와 공구인선반경을 절삭조건으로 하고, 공구 인선에 열전대를 삽입하여 순간 공구온도를 측정하고 이들 데이터를 이용하여 다중회귀분석에 의하여 공구온도방정식을 구하였다. 예측된 온도 방정식을 F-검정하여 신뢰성을 검증하였

다. 본 연구는 현장 조건에서 기계구조용 탄소강의 선삭 가공 시 절삭조건의 변화에 따른 공구온도의 변화를 쉽게 알 수 있어 공구의 마모 및 공구수명의 예측에 도움이 되도록 하는 것이 목적이다.

2. 절삭열 발생

가공물의 절삭시 공급된 에너지는 여러 가지 형태의 일로 소비되며 이 소비 에너지의 대부분은 열로 변한다. 이때 발생된 열의 일부는 칩에 의하여 제거되고 일부는 공구에 전달되며 일부는 대기중으로 방열 또는 절삭유에 의해서 제거된다. 공작물 내부에 잔류되어 있는 일정한 양의 열이 절삭온도를 결정한다. 재료의 탄성 변형 에너지는 재료 내부에 저장되며 열은 거의 발생되지 않지만 소성변형시는 대부분 에너지가 열로 변환된다. 절삭 작업이 이루어지기 위하여 재료는 소성변형을 받게 되고, 탄성변형이 차지하는 비율은 전체변형에 비하여 매우 작다. 그러므로 절삭 시 요구되는 에너지의 대부분은 열로 변환된다고 가정할 수 있다. 선삭가공시 주어진 절삭조건 및 공구 인선반경에 따라 발생되는 열은 크게 두 영역에서 나타난다. Fig. 1에서와 같이 1차 변형영역인 AB에서의 전단에 의한 열과 2차 변형영역인 AC에서의 마찰열이다. 대부분의 실제상황에서와 같이 절삭공구가 완벽하게 예리하지 않다면 세 번째 열원인 AO에서 공구와 새로운 가공면 사이의 마찰열이 존재하게 된다. 그러나 공구의 마모상태가 심하지 않다면 세 번째 열원은 작아서 무시될 수 있다.

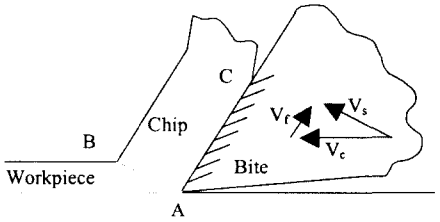

Fig. 1 Tool and chip velocity relation

절삭에 소요되는 동력 즉 단위시간에 하는 절삭일량 E_o는 절삭속도 V_c에 의한 절삭저항 즉, 주 절삭저항 F_c를 곱한 것이 된다. 이 동력의 대부분은 전단면 AB에서의 소성변형과 공구의 경사면 AC 에서의 마찰일로 소모된다. 이외에 여유면과 가공면과의 마찰은 미소하므로 무시한다. 전단면에서의 속도를 V_s, 이때의 전단저항을 F_s, 또한 공구면에서 절삭칩의 유동속도를 V_f, 이때 발생되는 마찰저항을 F_f, 라고 하면 전단면 및 공구면에서의 단위시간에 하는 일량 E_s, E_f는 각각 F_s V_s 및 F_f V_f 이다. 따라서 절삭에너지는 전단면에서의 소성변형과 공구경사면의 마찰일로 소비되어 열로 변하며 이때 발생되는 총열량 Q [kcal/sec]는 전단에 의한 발생열 Q_s와 마찰에 의한 발생열 Q_f의 합으로 다음과 같이 된다.

$$Q = Qs + Qf = \frac{F_s \cdot V_s}{J_s} + \frac{F_f \cdot V_f}{J_0} \qquad (2)$$

식(2)에서 J_0 : 일의 열당량[427kcal/kg· m]. 그러므로 절삭열은 전단력, 전단속도 및 칩의 유출속도 등에 따라 증가되고 이들은 절삭속도, 절삭깊이 및 이송 등의 조건에 따라서 크게 달라진다.

절삭 조건에는 절삭 속도, 이송 속도, 절삭 깊이가 있으며 일감의 치수 정밀도와 표면 거칠기는 바이트의 각도와 모양뿐만 아니라 절삭 조건, 절삭유제 등의 영향을 받는다. 즉, 절삭 조건을 정확히 선택하지 못 할 때에는 가공 표면 거칠기, 치수 정밀도가 나빠지고 바이트의 수명도 짧아지며 절삭능률도 떨어진다. 일반적으로 선삭 가공시 한 공정 내에서 선반의 회전수는 일정하게 유지되는데 절삭을 수행함에 따라 피삭재의 지름이 줄어들게 되고 절삭속도는 변하게 된다. 절삭속도는 절삭 조건 중 가장 중요한 요소로 절삭온도, 절삭저항, 공구수명 등에 가장 큰 영향을 미친다. 절삭운동을 연속적으로 하기 위해 공작물이 한번 회전시 필요한 공구이송은 대략 0.01[㎜/rev]에서 2[㎜/rev]사이에 들게 되는데, 이는 가공물의 표면 거칠기와 밀접한 관련이 있다. 이송은 절삭작업의 능률을 생각할 때 중요한 요소가 되며 이송에 절삭깊이를 곱하면 절삭면적이 된다. 공구수명을 고려하면서 피삭재에 이송량이 결정되어야 한다. 기계의 강도, 공구강도, 공작물형상 및 재질, 공구의 절삭 여유각 등에 따라 절삭깊이를 판단해야 하나 일반적으로 다듬질가공에서는 0.1 ㎜에서 1 ㎜로 한다.

3. 공구 온도 측정

실험 장비는 CNC 선반 (MECCA-3), R type 열전대 및 시간에 따른 기전력 측정을 위한 μR Recorder등이 사용되었다. 절삭조건의 변화에 의한 공구온도의 측정은 Fig. 2와 같이 초경합금 Insert tip의 공구인선에서 중앙으로 3.5mm 떨어 진 길이에 지름 2mm의 구멍을 3.26mm떨어진 부위에 설치된 열전대로 측정하였다.

시험편은 절삭가공에서 널리 사용하는 기계구조용탄소강 SM20C, SM45C이며 먼저 CNC 선반를 이용하여 ψ 100mm×250mm, 치수정밀도 ±0.01mm로

정확히 제작하였고 시험절삭구간은 심압대 고정단에서 170mm로 하였다. 사용된 절삭공구는 TNGG160404,

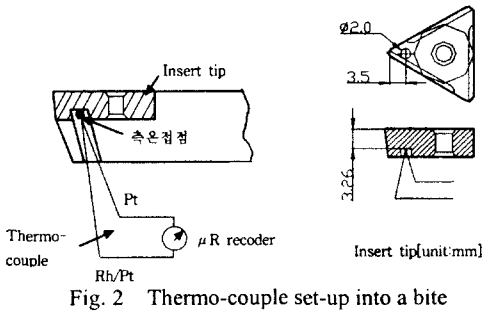

Fig. 2 Thermo-couple set-up into a bite

TNGG160408로서 경사각 및 여유각을 일정하게 할 수 있도록 초경합금 Insert tip을 사용하였다. 실험은 CNC선반의 주축에 정밀 제작한 시험편(ψ 100mm× 250mm, 치수정밀도 ±0.01mm)을 설치하고 심압대 센터로 지지하였다. 시험편 가공부위는 심압대 센터로부터 170mm 이다. 절삭공구는 Fig. 2와 같이 인선부위에 열전대를 설치한 Insert tip을 Tool holder에 고정하였다. 절삭은 건식으로 하였고 공구마모가 공구온도에 영향을 주는 것을 줄이기 위해 가공 후 공구마모에 관계없이 Insert tip을 교체하였으며 적용된 절삭조건은 Table 1과 같다.

Table 1 Cutting conditions for turning.

Cutting speed, m/min	80, 120, 160, 200
Feed rate, mm/rev	0.05, 0.20, 0.35
Depth of cut, mm	0.1, 0.3, 0.5

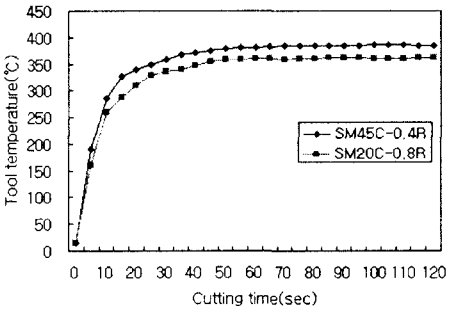

Fig. 3 Tool temperature vs. cutting time, cutting speed 200m/min, feed rate 0.35mm/rev, depth of cut 0.5mm

절삭은 공구인선반경 0.4R인 Insert tip을 선정하고 시험편 2종류(SM20C, SM45C)를 선정하여, 각각의 재료에 대하여 절삭하였다. 주어진 절삭조건으로 한번 절삭 후 충분한 냉각시간을 두어 다음 절삭에 영향을 주는 것을 방지하였다. 온도 측정은 열전대와 연결된 μ R recorder 를 통하여 디지털화된 온도(℃)를 10sec 간격으로 측정하였으며, 다중회귀분석 시 사용한 공구온도는 절삭 시작 후 안정화 시점으로 고려한 온도 즉 70초가 경과되었을 때의 온도를 선정하였다. Fig. 3은 안정화 시점을 찾기 위한 예비실험 결과 그래프를 나타낸 것이다.

4. 다중회귀분석 모델

종속변수 Y를 k개의 독립변수인 $X_1,X_2,.....X_k$를 도입하여 설명되는 다중회귀모형은 다음과 같이 정의된다.

$$Y_1 = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \\ .....\beta_k X_{ki} + \varepsilon_i \qquad i = 1,2,3.....,n \tag{3}$$

여기서 $\beta_0,\beta_1,\beta_2,.....,\beta_k$ 는 추정되어야 할 회귀계수들이며, ε_i는 서로 독립이고 동일한 분포 $N(0,\sigma^2)$을 따르는 오차항이다. β_j(j=1,2,...k)는 j번째 독립변수 X_j의 회귀계수를 의미하는데 X_j를 제외한 다른 모든 독립변수의 값이 고정된 상태에서 X_j의 값이 한단위 증가할 때의 Y값의 평균변화량을 나타낸다. 그리고 X_{ji}는 독립변수 X_j의 i번째 관측치를 의미한다. Y항, X,항, 모수, 오차를 각각 묶어 다음과 같이 벡타와 행렬로 정의한다.

$$Y = X\beta + \varepsilon \tag{4}$$

식(4)는 모두 열벡타 (column vector)이고 벡타 y와 ε 은 크기 n의 열벡타, β 는 크기 (k+1)의 열벡타이며, X는 n×(k+1)의 행렬이 된다. 다중회귀모형에서 회귀계수들의 추정은 최소자승법에 근거하고 있다. 오차항 제곱합 Q는 다음과 같이 표현된다.

$$Q = \sum [Y_i - (\beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \cdots \\ + \beta_k X_{ki})]^2 \tag{5}$$

따라서 최소 자승법에 의한 회귀계수의 추정은 제곱합 Q 를 각β_j에 대하여 편미분하고 이를 0으로 하는 연립방정식을 풀어 β_j 들을 구하는 것이다. 연립방정식을 만족하는 β_j를 bar β_j 라 하고 이들의 관계를 정규방정식이라 하고 다음과 같이 표현된다.

$$(X^T X)\overline{\beta_j} = X^T y \tag{6}$$

즉, β 의 최소자승 추정량과 추정된 회귀식은 다음

과 같이 유도된다.

$$\overline{\beta_j} = (X^T X)^{-1} X^T y \tag{7}$$

$$\overline{Y} = \overline{\beta_0} + \overline{\beta_1} X_1 + \overline{\beta_2} X_2 + \overline{\beta_k} X_k \tag{8}$$

고려하고 있는 회귀모형 또는 추정된 회귀식이 얼마나 데이터를 잘 반영하고 있는가를 알아보기 위해서는 분산분석을 할 필요가 있다. 회귀모형에 대한 분산분석은 총변동을 회귀방정식에 의하여 설명되어지는 변동과 설명 안되어지는 잔차에 의한 변동으로 나눈다. 독립변수가 k개 있는 일반적인 경우 총변동은 총자승합(SST)이라고도 하며 다음과 같다.

$$\begin{aligned} SST &= \sum (Y_i - \overline{Y})^2 \\ &= \sum (Y_i - \overline{Y_i} + \overline{Y_i} - \overline{\overline{Y_i}})^2 \\ &= \sum (Y_i - \overline{Y_i})^2 + \sum (\overline{Y_i} - \overline{\overline{Y_i}})^2 \\ &\quad 2\sum (Y_i - \overline{Y_i})(\overline{Y_i} - \overline{\overline{Y_i}}) \end{aligned} \tag{9}$$

위의 마지막 등식에서 첫 항은 잔차자승합인 SSE가 되고 마지막항은 0이 되며 두번째항은 회귀모형으로서 설명되는 부분으로 해석하며 이를 회귀 자승합 SSR이라 한다. 즉,

$$\begin{aligned} SSE &= \sum (\overline{Y_i} - \overline{Y_i})^2 \\ SSR &= \sum (\overline{Y_i} - \overline{\overline{Y_i}})^2 \end{aligned} \tag{10}$$

$$SST = SSE + SSR \tag{11}$$

이 된다. 자유도는 한개의 독립된 실험치가 생성되었을 때 자유도 한개를 부여한다. 그러므로 n개의 독립된 실험치가 주어지면 자유도는 n이 된다. 그리고 잔차자승합(SSE)의 자유도는 n-k-1이며 회귀자승합(SSR)의 자유도는 k이다. 이상에서 얻은 자승합과 자유도로부터 다중회귀분석의 분산분석표(ANOVA)를 작성하면 Table 2와 같다. MSR은 회귀방정식에 의하여 얻어지는 자승평균으로서 회귀방정식의 자승합 SSR을 자유도 k로 나누어 얻어지는 값이다. MSE는 잔차에 의한 자승평균으로서 잔차의 자승합 SSE를

Table 2 ANOVA table for multiple regression

Factor	Sum of squares	d.o.f	Mean of squares	F_0	$F(\alpha)$
Regression	SSR	K	MSR	$\frac{MSR}{MSE}$	$F(k,n-k-1;\alpha)$
Residual	SSE	n-k-1	MSE		
Total	SST	n-1			

자유도 n-k-1로 나누어 얻어지는 값이다. F_0는 F-검정을 위하여 MSR을 MSE로 나눈 검정통계량으로 회귀방정식이 데이터의 성질을 설명하는데 유의한가 아닌가를 검정한다. 만약 귀무가설 H_0가 제1종의 과오를 범할 확률인 유의수준 α 에서 검정통계량 F_0의 값이 $F(k, n-k-1 ;\alpha)$값 보다 크면 회귀방정식이 유의한 것이며 회귀변동이 유의한 경우에는 F_0의 값 오른쪽위에 *표시를 하여 식별한다.

5. 측정결과 분석

측정은 Table 1의 절삭조건을 단계별 적용하여 총 72회의 가공 파라메타를 절삭조건으로 선정하여 CNC 선반 가공시 공구의 평균온도가 Table 3과 같이 측정되었다.

Table 3 Measured tool temperature for different cutting condition with 0.4mm NR. [Unit : ℃]

Cutting speed, m/min / Feed rate,mm/rev, Dept of cut, mm			80	120	160	200
SM20C	0.05	0.1	84.1	105.4	117.1	130.6
		0.3	148.9	169.5	193.6	200.7
		0.5	164.9	204.8	233.7	258.2
	0.20	0.1	116.8	129.9	146.6	162.7
		0.3	183.3	216.9	246.7	260.3
		0.5	223.1	265.3	307.9	323.0
	0.35	0.1	135.6	171.8	227.8	249.5
		0.3	223.4	291.4	301.7	313.6
		0.5	276.5	318.9	344.8	354.6
SM45C	0.05	0.1	85.9	119.3	129.1	138.6
		0.3	151.6	179.0	193.4	208.3
		0.5	187.1	221.0	230.0	268.5
	0.20	0.1	116.3	140.2	158.1	166.8
		0.3	196.9	224.3	248.7	265.8
		0.5	230.8	269.3	307.3	349.8
	0.35	0.1	138.0	222.4	284.7	302.9
		0.3	234.6	290.2	317.3	333.6
		0.5	279.3	320.0	349.3	384.8

또한 각 절삭조건에 따라 측정된 공구온도 데이터를 사용하여 다중선형 회귀분석하여 피삭재 종류 공구 온도방정식을 구한 식이 (14) 및 (15)이며, 위의 공구 온도방정식이 데이터를 잘 반영하고 있는지를 알아보기 위하여 Table 4와 같은 다중회귀분석표를 통해 검증하였다.

절삭공구의 온도방정식을 구하기 위한 멱방정식 모델은 다음과 같다.

$$T = a_0 \cdot v^{a1} \cdot f^{a2} \cdot d^{a3} \quad (12)$$

윗식의 양변에 ln을 취하면

$$\ln T = \ln a_0 + a_1 \ln v + a_2 \ln f + a_3 \ln d \quad (13)$$

이 된다. 식(13)은 lnT가 $\ln a_0$, lnv, lnf, lnd 의 선형함수 이기 때문에 다중선형회귀분석에 적합하다. 따라서 식(7), (8)에 의해 회귀계수 $\ln a_0$, a_1, a_2, a_3를 추정하여 식(12)에 적용한 절삭공구의 온도방정식은 다음과 같다.

$$T = 70.8 v^{0.42} f^{0.23} d^{0.4}$$

for SM20C, 0.4mm NR (14)

$$T = 66.1 v^{0.43} f^{0.24} d^{0.36}$$

for SM45C, 0.4mm NR (15)

또한, 절삭조건 뿐만 아니라 공구인선반경의 영향을 추가로 고려하였을 때의 공구온도방정식은 다음과 같다.

$$T = 66.1 v^{0.39} f^{0.23} d^{0.34} r^{-0.17}$$

for SM20C (16)

$$T = 57.5 v^{0.42} f^{0.23} d^{0.32} r^{-0.16}$$

for SM45C (17)

위의 식에서 절삭조건이 공구온도에 미치는 영향은 절삭속도가 가장 높음을 알 수 있다.

위의 추정된 절삭공구 온도방정식이 잘 적응하는지를 검정하기 위한 다중회귀분석표(ANOVA Table)는 Table 4와 같다.

Table 4 ANOVA table using tool temperature data for different speci nens

(a) SMC20C

Factor	Sum of squares	d.o.f	Mean of squares	F_0	F(0.05)
Regression	0.8708	3	0.2903	270.45*	2.92
Residual	0.0343	32	0.0011		
Total	0.9051	35			

(b) SMC45C

Factor	Sum of squares	d.o.f	Mean of squares	F_0	F(0.05)
Regression	0.8157	3	0.2719	103.83*	2.92
Residual	0.0838	32	0.0026		
Total	0.8995	35			

이들은 모두 귀무가설 H_0가 제1종의 과오를 범할 확률인 유의 수준 α 가 5%이내 일 때 F검정을 위한 검정통계량 F_0의 값이 F_0>F(0.05)이므로 각 회귀방정식은 모두 유의한 것으로 판명되었다. 따라서 다중회귀분석으로 구한 공구온도방정식를 분산분석한 결과 충분히 타당성이 있으며 본 연구에서 설정한 조건 영역내에서 95%의 신뢰성을 가지고 있다고 할 수 있다.

SM20C, SM45C를 시험편으로 사용하고 절삭공구인 선삭바이트 insert tip의 인선반경을 0.4R로 하여 절삭속도에 따른 공구온도변화를 관찰한 결과는 다음과 같다. 절삭속도와 공구온도는 양(+)의 상관관계를 가지며 공작물 재료별로는 SM45C를 절삭할 때가 SM20C를 절삭할 때 보다 공구 온도가 높은 것으로 나타났으나, 절삭깊이 0.3~0.5mm에서 절삭할 때는 공작물 재질에는 관계없이 공구온도 변화는 거의 비슷하게 나타내었다. Fig. 4는 이송속도 0.2mm/rev 절삭깊이 0.5mm로 일정하게 하고 절삭속도의 변화에 따른 공구온도의 변화를 Curve fitting한 곡선과 실제온도를 나타낸 것이다.

이상에서 살펴본 바와 같이 공구온도는 절삭속도가 증가함에 따라 높아진다. 이는 식(2)에서 나타난 것 같이 절삭 열이 칩의 전단변형과 마찰 일에 의해 발생하는데 절삭속도가 증가하면 칩의 전단속도 및 유출속도가 증가되기 때문에 절삭열의 발생이 많아져 공구의 온도가 상승하게 된다는 근거와 일치됨을 알 수 있다.

이송의 증가에 따른 공구온도는 양(+)의 상관관계를 가지며, 이송의 초기 단계에는 공구온도가 급격히 높아지지만 이송량이 어느 정도 증가하면 초기에 비해 공구온도가 서서히 증가됨을 알 수 있다.

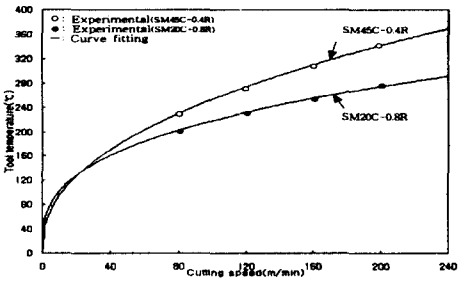

Fig. 4 Tool temperature vs. cutting speed, depth of cut 0.5mm, feed rate 0.2mm/rev

피삭재에는 SM45C를 절삭할 때가 SM20C를 절삭할 때 보다 높게 나타났으며, 절삭속도에 따른 공구온도의 변화 관계와 비슷한 경향을 나타내었다. Fig. 5는 공구온도에 있어 가장 많은 차이를 보인 SM45C-0.4R 와 SM20-0.8R의 조건으로 절삭시 Curve fitting한 곡선과 실제온도를 나타낸 것이며, 이송의 증가는 절삭면적을 증대시켜 마찰 면을 크게 하므로 절삭열의 발생이 많아져 공구온도를 높이는 것으로 추정된다.

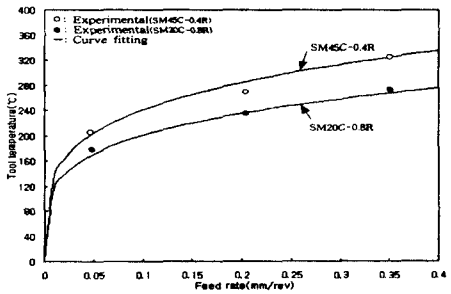

Fig. 5 Tool temperature vs. feed rate, depth of cut 0.3mm, cutting speed 200m/min

대체적으로 인선반경 0.4R인 공구로 절삭할 때가 0.8R인 공구로 절삭할 때보다 공구온도가 높았고 피삭재 별로는 SM45C를 절삭할 때가 SM20C를 절삭할 때 보다 높아, SM45C-0.4R, SM20C-0.4R, SM45C-0.8R, SM20-0.8R의 절삭 순서로 공구온도가 높은 것으로 나타났다. Fig. 6은 이송 0.35mm/rev, 절삭속도 80mm/min로 일정하게 하고 절삭속도 변화에 따른 SM45C-0.4R와 SM20-0.8R의 공구 및 피삭재를 가공할 때 온도의 변화를 Curve fitting한 곡선과 실제온도를 나타낸 것으로 절삭깊이의 증가 역시 절삭면적을 증대 시켜 마찰 면을 크게 하므로 절삭열의 발생이 많아져 공구온도를 높이는 것으로 추정된다.

식(16),(17)은 공구온도와 공구인선반경이 음(-)의 상관관계를 가지고 있음을 보여준다. 같은 재질의 피삭재를 같은 절삭조건으로 절삭할 때 0.8R의 인선반경을 가진 공구가 0.4R의 인선반경을 가진 공구보다 온도가 낮게 나타나며, 그 정도는 절삭속도, 이송 및 절삭깊이에 비해 매우 작다. 그러나 절삭깊이 0.1mm, 절삭속도 80m/min에서는 반대로 인선반경 0.8R인 공구가 인선반경 0.4R로 절삭할 때보다 온도가 높게 나타나는 특이 현상을 보였는데, 이것은 칩 배출속도가 낮은 경우 공구반경이 크면

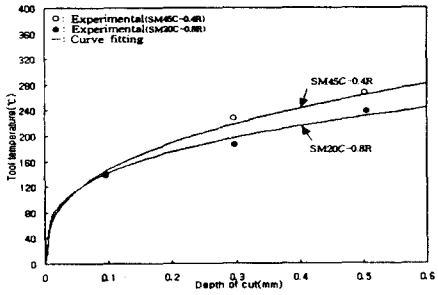

Fig. 6 Tool temperature and depth of cut, feed rate 0.35mm/rev, cutting speed 80m/min

공구반경이 작은 0.4R인 공구보다 열 방출량이 지연되어 공구로 축적되는 열이 많기 때문인 것으로 추정된다.

이상에서 살펴본 바와 같이 공구의 인선반경은 열 전달 개선을 가능하게 하며 공구 온도에 미소한 영향을 끼친다.

6. 결 론

현장에서 일반적으로 사용되는 SMC 재료를 초경합금 insert tip 인선반경 0.4R, 0.8R의 선삭공구로 주어진 절삭조건 즉 절삭속도, 이송, 절삭깊이를 단계별 적용하여 가공실험을 수행하여 열전대를 사용 공구온도를 측정하고 회귀분석법으로 공구방정식을 구하였다. 도출된 공구방정식은 검정을 통하여 본 연구에서 설정한 조건영역내에서 95%의 신뢰성을 갖는다는 것을 확인하였다.

절삭조건(절삭속도, 이송, 절삭깊이)중 공구온도에 가장 큰 영향을 미치는 것은 절삭속도로 나타났으며 이것은 칩의 전단속도 및 유출속도가 증가되기 때문에 절삭열의 발생이 많아져 공구의 온도가 상승하게 되며, 이송량 및 절삭깊이의 증가에 따른 공구온도의 상승은 절삭면적이 증가되어 공구 면에 마찰이 커져 상승되는 것으로 추정된다.

피삭재 및 공구인선 반경의 영향을 동시에 고려하여 비교하면 SM45C-0.4R, SM20C-0.4R, SM45C-0.8R, SM20C-0.8R의 조건으로 절삭한 순으로 공구온도가 높게 나타났으며, 이것은 피삭재의 탄소함유량이 많을수록 절삭력이 커져 공구온도가 높아지는 것으로 추정된다.

참 고 문 헌

1. A.C. Rapier, " A Theoretical investigation of the temperature distribution in the metal cutting process" , British journal of appl. phys. Vol. 5, pp. 400-405, 1954.
2. M.C. Shaw and E.G. Laewen, trans, ASME, p. 217, Feb. 1954. 4. K. Nakayama, " Temperature rise of workpiece during metal cutting" , Bull. Fac. Engr.Nat.Univ.Yokoyama, pp. 1-10, 1956.
3. D.A Stephenson, " Assesment of steady state metal cutting temperature models based on simulations infrared and thermocouple data" , ASME Journal of engineering for industry, Vol. 113, pp. 121-128, 1991.
4. Trigger," An analytical evaluation of metal cutting temperature" , ASME C-45, p. 59, 1971.