

SM45材의 선삭조건이 표면거칠기에 미치는 영향

The Effect of Various Cutting Conditions on the Surface Roughness of SM45C Materials

안영호(목포기능대학), 박창언(목포대학교), 김일수(목포대학교),
정영재(목포대학교 대학원), 손준식(목포대학교 대학원),
An Young-Ho(Mokpo Polytechnic College), Paek Chang-Eun(Mokpo National Univ.),
Kim Il-Soo(Mokpo National Univ.), Jeong Young-Jae(Graduate School, Mokpo National Univ.),
Son Joon-Sik(Graduate School, Mokpo National Univ.)

ABSTRACT

Generally, a great deal of attention is given to the maintenance of consistent surface roughness. Therefore one of the major goals of research in this area has been the development of models which can predict the surface roughness obtainable on a machined metal part over the simultaneous variation of cutting condition. A comparison is also made between the theoretical and actual values of surface roughness to calculate the overall variance in the developed models, Mathematical models developed from the experimental data in the course of this work can be employed to control the cutting conditions in order to achieve the desired surface roughness and in deed quality.

Key Words : Surface roughness(표면거칠기), Cutting condition(절삭 조건), Factorial design(요인사험법)
Multiple regression analysis(다중회귀분석), Automation(자동화)

1. 서 론

최근 기계공업의 발전으로 산업사회에서 생산성 향상을 위한 자동화 기술이 급진적으로 발전됨에 따라 제품의 형태에 따른 제품의 정밀도와 표면거칠기 등의 가공기술이 절실히 요구되고 있으며, 소비자의 수요를 충족시키기 위해 공작기계의 고속화, 고정밀도화, 자동화의 요구와 자동화 시스템에 의한 제품의 설계기술 및 가공기술, 제품의 품질향상과 생산성을 증대하기 위하여 많은 연구가 수행되고 있다¹⁻⁹⁾.

일반적으로 절삭특성은 절삭공구와 피삭재 사이에 칩의 생성과 형성, 절삭 에너지의 영향, 공구의 수명과 절삭저항등을 제시할 수 있다¹⁻²⁾. 또한 절삭속도, 이송은 공구수명, 공작물의 형상치수, 가공면의 거칠기 뿐만 아니라 절삭동력등에도 많은 영향을 미친다³⁾. Galloway⁴⁾는 절삭특성을 연구하였으며, 회전수를 높이고 이송을 적게 주면 고정밀도의 다듬질면을 얻을 수 있는 절삭속도와 이송관계를 연구하였다. 절삭가공에 관한 연구로는 Kronenberg⁵⁾의 이론적 해석을 기초로 하여 Taylor⁶⁾와 Merchant⁷⁾이 공구수명에 관한 실험결과와 Greenhow⁸⁾와 Shaw⁹⁾이 절삭

속도 및 이송변화가 절삭에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 현재까지 이론적 연구는 상당한 수준에 이르고 있으나, 실험적 연구는 여기에 미치지 못하고 있는 실정이다.

또한, 금속절삭에서 상면 경사각과 절삭속도의 영향을 고찰하여 보면 절삭가공에 있어서는 다수인자가 절삭에 많은 영향을 미치고 있고, 다수인자 가운데 절삭공구가 절삭저항 및 표면조도에 영향이 클 수 있다⁶⁾. 따라서 본 논문에서는 SM45材를 선반에서 절삭할 때 절삭조건의 변화에 따른 표면거칠기의 영향을 연구하고, 표면거칠기에 대한 상호 특성 변화와 수학적 방정식을 개발하여 최적의 절삭조건을 예측, 산업현장에서 자동화에 필수적인 모델로 이용될 수 있는 방안을 제공하고자 한다.

2. 실험

절삭속도 및 피이드는 공작물의 재질, 절삭깊이, 절삭동력에 따라 최적의 값을 선택하여야 한다. 일반적으로 공구의 수명이 허용되는 한도내에서 큰 값을 선정하고 특히 정밀한 가공면이 필요한 때에는 높은 절삭속도와 낮은 이송으로 작업하는 것이 좋

다. 하지만 절삭조건을 선택하는 데에는 많은 어려움을 고려해야 하며 Table 1은 본 연구 목표를 달성하기 위하여 실험 디자인한 것이다.

Table 1 Cutting conditions and limits

Cutting conditions	Unit	Limits
Cutting speed	m/min	118, 170, 282
Feed rate	mm/rev	0.055, 0.099, 0.136
Depth of cut	mm	0.4, 0.8, 1.2

본 실험에서는 절삭조건에서 충분히 견딜 수 있는 기계구조용 탄소강(SM45)材를 이용하며 피복초경합금(NC309 TNMG 120404)공구를 사용하여 절삭속도, 이송량, 절삭깊이를 변화시켜 표면거칠기와의 관계를 조사하기 위하여 총 27회 실험을 실시하였다.

실험에 사용된 절삭공구는 중절삭 및 고속절삭과 산업현장에서 널리 이용되고 있는 경질 피막공구 인서트팁(NC309, TNMG120404)을 선정하였으며, 전용모재에 티타늄 나이트라이드층(TiN)과 티타늄 카바이드층(TiC), 특수 세라믹층, 알루미늄산화물층(Al₂O₃)을 피복시켰다.

선반의 주축에 시험편을 다이얼 테스트 인디게이터로 1/100mm 이내로 정확히 고정하고, 심압대에 베어링 센터(bearing center)로 견고하게 지지한후 선반을 5분 동안 공회전 시킨후 4~5회에 걸쳐 예비실험을 실시하였다.

선반가공에서 실험한 시험편 가공면의 표면상태를 측정하기 위하여 진동과 충격의 영향을 받지 않는 장소(측정온도 18~20℃)에 설치하여 표면거칠기 테스트의 정반위에 측정할 시험편을 놓고 다이얼 테스트 인디게이터로 수평도를 확인한후 표면거칠기의 형상을 측정하였다. 또한 선단 반지름이 2 μm인 다이아몬드 촉침의 픽업(pick-up)을 드라이브 유닛(drive unit)의 일정한 속도로 조정후 후 종배율 1000배, 횡배율 50배로 정하고 컷오프(cut-up)값을 0.8 mm로 고정시킨 다음 픽업을 이동시켜 테스트에 나타나는 중심선평균거칠기값(R_a)을 읽어가면서 픽업(pick-up)에서 종폭기를 거쳐 기록기에 표면거칠기 곡선을 그리게 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 중심선평균거칠기의 영향

중심선평균거칠기(R_a)의 조도를 측정하기 위하여 절삭속도를 118m/min, 170m/min, 282m/min로 선정

하고, 절삭깊이를 0.4mm, 0.8mm, 1.2mm와 이송량을 0.055mm/rev, 0.099mm/rev, 0.136mm/rev로 변환시켜 절삭 가공한 시험편을 표면거칠기 테스트에 의하여 측정된 중심선평균거칠기(R_a)을 이송량 변화에 따른 표면거칠기의 변화를 Fig. 1에 나타내었다.

절삭속도를 118m/min로 일정하게 유지하고 이송량 0.055mm/rev에서는 2.6 μm를 기록하였으며, 이송량 0.099mm/rev에서는 3.0 μm으로 0.4 μm증가했으며, 이송량 0.136mm/rev에서는 5.6 μm으로 2.6 μm 표면거칠기의 상태는 거칠음의 상태가 높게 나타났으며, 표면거칠기는 절삭속도와 이송량의 증가에 따라 증가됨을 알 수 있다. 또한 절삭조건을 변환시켜 170m/min의 절삭속도를 유지하고 이송량을 0.055mm/rev상태에서의 실험치는 2.4 μm를 나타냈으며, 이송량 0.099mm/rev에서는 2.7 μm를, 이송량 0.055mm/rev에 비하여 0.3 μm의 미세한 상승이 있었으며 이송량 0.136 mm/rev에서는 4.2 μm로 0.099 mm/rev의 값보다는 1.5 μm이 상승하였다. 절삭속도를 282m/min로 변환하고 이송량 0.055 mm/rev에서는 2.0 μm으로 표면거칠기 상태가 양호하게 나타났으나, 이송량의 증가에 따라 이송량 0.099 mm/rev에서는 2.7 μm로 0.7 μm만큼 상승했으며 이송량 0.136 mm/rev에서는 4.1 μm로 1.4 μm만큼 상승했다. 이는 절삭속도와 이송량을 증가시키면 표면거칠기 변화 양상은 불량해지는 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다.

절삭깊이에 의한 표면거칠기의 변화는 Fig. 2에 나타낸다. 절삭속도를 118 m/min로 일정하게 유지하고 절삭깊이를 0.4 mm로 시험 가공한 시험편을 측정 한 결과 3.3 μm로 나타났으며, 0.8 mm의 절삭깊이에서는 3.6 μm, 절삭깊이 1.2 mm에서는 4.3 μm로 표면거칠기의 조도가 불량해지는 경향이 있으나 이는 절삭깊이의 영향이 표면거칠기에 많은 영향을 미치고 있음을 의미한다. 또한 절삭 조건을 변환하여 절삭속도를 170 m/min로 일정하게 유지하고 절삭깊이를 0.4 mm로 가공하였을 때 중심선평균거칠기는 2.7 μm이었으며, 0.8 mm에서는 3.1 μm, 1.2 mm에서는 3.3 μm로 나타났다. 이는 절삭속도와 이송량의 증가에 따라서 거칠기 곡선이 상반되는 양상을 나타내는 경향을 나타낸다. 그리고 절삭조건을 282 m/min의 절삭속도로 변화시키고, 절삭깊이를 0.4 mm로 절삭하였을 때 중심선표면거칠기는 2.4 μm로 아주 양호하게 나타났으며 0.8 mm에서는 2.7 μm로 0.4 μm증가하였으며, 절삭깊이 1.2 mm에서는 3.7 μm로 1 μm상승하였다. 이는 절삭깊이의 증가에 따라 조금씩 거칠기의 정도는 증가함을 알 수 있다. 가공면의 표면거칠기는 절삭속도 및 절삭깊이에 따

라 뚜렷한 차가 있음을 알 수 있고 절삭속도가 증가되고 절삭깊이가 작을수록 표면 거칠기는 개선되는 경향을 보이고 있으며, 절삭속도 282 m/min, 이송량 0.055 mm/ rev로 선정할 때 가장 양호한 상태를 나타내고 있다

3.2 적용한 수학적 모델링

표면거칠기 형상은 절삭속도, 이송량, 절삭깊이에 의하여 영향을 받는다는 것을 실험결과로부터 알 수 있다. 그러므로 최적절삭 방법을 위한 수화적인 모델은 주어진 품질기준의 제품을 생산하기 위한 절삭 공정 변수들을 결정함으로 가능하다. 3개의 공정변수를 가지고 응답변수 (y)는 표면거칠기중 하나이며 다음과 같이 나타낸다¹⁰⁾.

$$y=f(C_1FD) \quad (1)$$

여기서 C_1 은 절삭속도, F 는 이송량, D 는 절삭깊이를 나타낸다.

본 연구를 위하여 2개의 실험적인 수학 모델들(곡선 방정식, 직선방정식)을 개발하였다. 이 연구의 근본적인 목적은 거칠기 형상에 공정변수 영향을 연구하기 위하여 수화적인 방정식을 개발하고 2개의 표면 거칠기의 크기에 최적의 수화적 방정식을 개발하는 것이다.

Box et al.¹¹⁾은 가까운 범위내에 선형관계를 가정하고 곡선 방정식을 도입하였으며 다음과 같이 나타낸다.

$$y=b_1C_1^{b_2}F^{b_3}D^{b_4} \quad (2)$$

b_1, b_2, b_3 와 b_4 는 상수이다.

이 방법의 순서는 먼저 각각 절삭 조건의 중요성을 평가하고 절삭변수들 사이에 어떤 상호영향이 있는지를 검사하기 위하여 각각 표면거칠기 크기에 절삭변수 영향을 평가하는 시차분석(ANOVA)을 수행한다. 두번째로, 멀티플 상관계수와 Fisher's - ratio의 1% 레벨의 중요성을 나타내기 위하여 고용하였다. 결국 시차분석에 기초한 함수는 실험결과를 나타내기 위하여 개발하였다. 선형 방정식은 다음과 같이 나타낸다.

$$y=d_1+d_2C_1+d_3F+d_4L \quad (3)$$

여기서 d_1, d_2, d_3 및 d_4 는 상수이다.

3개의 절삭변수와 표면거칠기 사이의 상호작용을 연구하기 위한 최적 방정식은 다중회귀분석(multiple regression analysis)같은 기본적인 통계적방법¹²⁾을 이용하여 개발하였다. 이 분석은 평균 통계 컴퓨터 프로그램 SAS를 이용하여 표면거칠기를 예측하고 절삭변수와 표면거칠기 사이의 상호관계를 조사하기 위하여 곡선방정식과 직선방정식을 실험결과를 이용하여 개발하였으며, 다음과 같다.

(1) 곡선 방정식

$$S=\frac{10^{1.8261} \times D^{0.2847} \times F^{0.6942}}{C_1^{0.2558}} \quad (4)$$

(2) 선형 방정식

$$S=0.3673-0.0043C_1+1.2917D+27.7147F \quad (5)$$

개발된 수화적모델의 정확성을 점검 및 분석하기 위하여 분산분석(variance technique)을 이용하였으며, 결과는 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Analysis of variance test for mathematical models for surface roughness (R_a)

No. of equation	Standard error of estimate	Coefficient of multiple correlation	Coefficient of determination
linear	0.0691	0.9008	0.8114
curvilinear	0.5637	0.8965	0.8037

Table 2은 식 (4)~(5)의 산출표준오차(standard error of estimate), 복합상관계수(coefficient of multiple correlation)와 결정계수(coefficient of determination)를 보여준다.

이들 식의 복합상관계수값은 각각 0.9008과 0.8965이다. 식(4)의 복합상관계수는 식(5)의 복합상관계수보다 높다는 것을 Table 2로부터 알 수 있다. Figs. 3~4는 실험으로 측정값과 이론식으로부터 계산된 표면거칠기를 산란그래프(scatter graph)로 나타내고, 선형회귀방법을 이용하여 플롯점들의 최적의 선으로 표시하였다.

모델의 정확성을 평가하기 위한 방법으로 이론값을 실험값과 비교하는 오차법(error method)을 이용하였다. 계산된 백분율을 7개 범주(0~5%, 5~10%, 10~20%, 20~30%, 30~40%, 40~50%, 50%이상)로 나누어서 곡선방정식과 직선방정식에 대한 분석결과

를 Fig. 5에 나타냈다. 실험결과를 이용하여 개발한 실험식들은 표면거칠기에 관한 절삭공정 제어의 알고리즘으로 이용될 수 있다는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

이상과 같이 기계구조용 탄소강材인 SM45C를 사용하여 절삭조건을 변화하여 표면거칠기 영향을 분석 고찰한 결과는 다음과 같다.

1. 절삭시험후 표면거칠기 상태는 절삭속도 282m/min, 이송량 0.055mm/min, 절삭깊이 0.4mm로 선정하는 것이 표면거칠기 상태가 가장 양호하게 나타났다.
2. 절삭조건과 표면거칠기 사이의 상호관계를 직선 및 곡선방정식으로 나타내었으며, 두방정식의 복합상관계수의 차이가 거의 나타나지않아 실험결과와 근사하게 일치함을 알 수 있었다.
3. 실험결과로 부터 개발한 수학적모델은 최적의 표면거칠기를 얻기위한 절삭조건 예측 및 제어 알고리즘으로 이용할 수 있으며, 결론적으로 절삭가공시 품질을 향상 시킬 수 있다.

참 고 문 헌

- (1) J. F. Sarnicola, "Effect of surface slope on machining force during wave removing", Trans. of ASE, pp. 1202~1206, (1974).
- (2) 白井英治. "接觸面積拘束具의 切削成의 研究", 精密機械 工學會支, 30호 3집, pp. 280~281, (1964).
- (3) 竹山秀彦, "切削標準設定に 関す"る 研究", Journal of the JSME, Vol. 66, No. 532, pp. 638~648, (1963).
- (4) D. F. Galloway, "Recent Research in Metal machining", Proc. of Int. Mech. Engrs., Vol. 153, No. 4, pp. 113~155, (1965).
- (5) M. Kronenberg, "Machining science and acation", Pergaman Press, pp. 235~386, (1966).
- (6) F. W. Taylor, "On the of cutting metals", ASME, pp. 28, (1907).
- (7) M. E. Merchant, "Mechanics of the metal cutting process", Journal of Applied physics, Vol. 16, pp. 267~299, (1945).
- (8) J. N. Greenhow, "Orthogonal cutting with worn tools", Int. J. Mech. Tool Des. Res.,

Vol. 9, pp. 1~16, (1969).

- (9) M. C. Shaw, N. H. Cook and I. Fine, "The shear angle relationship relationship in matal cutting", Trans. of Mech. Engrs., ASME, Vol. 75, pp. 273~288, (1953).
- (10) D. C. Montgomery., "Design and analysis of experiments" John Wiley and Sons, 2nd Edition, New York, USA, pp. 387~433, (1984).
- (11) G. E. P. Box, W. H. Hunter, and J. S. Hunter, "Statistics for experimenters: An introduction to design data analysis and model building", John Wiley and Sons, 10th Edition, New York, pp. 165~ 240, (1978).
- (12) SAS Institute. Inc., "SAS/STAT user's Guide", Edition SAS Institute Inc, Cary, NC, USA, pp. 83~95, (1988).

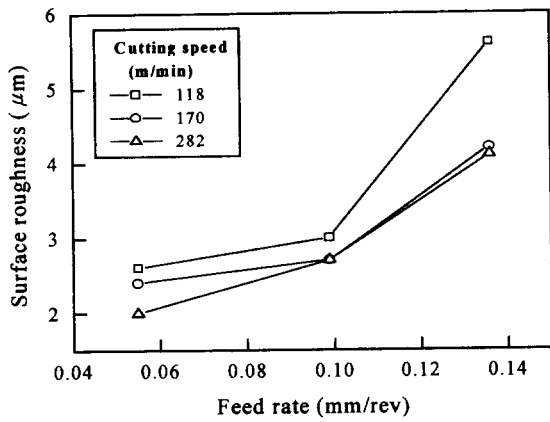


Fig. 1 The effect of feed rate on average surface roughness (R_a)

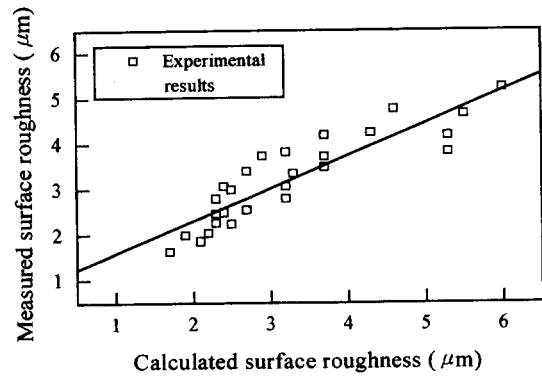


Fig. 4 Comparison between measured and calculated surface roughness using the linear equation (R_a)

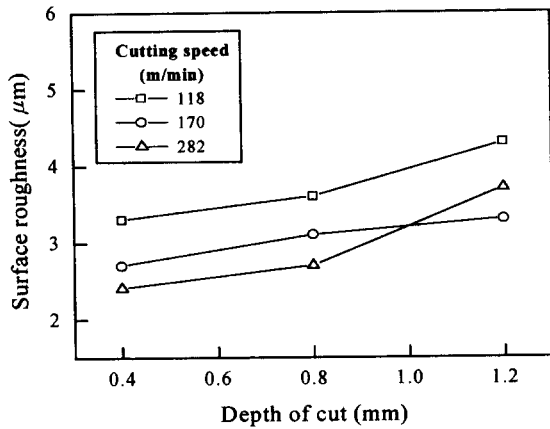


Fig. 2 The effect of depth of cut on average surface roughness (R_a)

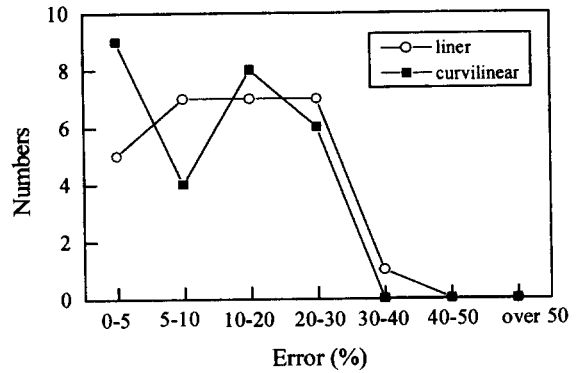


Fig. 5 Accuracy analysis of surface roughness (R_a)

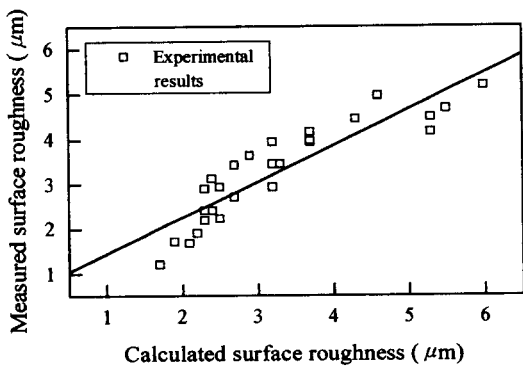


Fig. 3 Comparison between measured and calculated surface roughness using the curvilinear equation (R_a)