한국정밀공학회 2006년도 춘계학술대회논문집 pp. 15~16 KSPE 06S137

주축변위를 이용한 표면품위 예측에 관한 연구

장훈근*(서울대 기계항공공학부), 장동영(서울산업대 산업정보시스템공학과),
한동철(서울대 기계항공공학부)

A Study of Surface Roughness Prediction using Spindle Displacement

H. K. Chang(Mech. and Aero. Eng. SNU), D. Y. Jang(Ind. and Info. Sys. Eng. Dept., SNUT),
D. C. Han(Mech. and Aero. Eng. SNU)

ABSTRACT

In-process surface roughness prediction is studied in this research. To implement in-process prediction, spindle displacement is introduced. Machined surface's roughness is assumed to be expressed in terms of spindle displacement. In-process measurement of spindle displacement is conducted using CCDS (cylindrical capacitive displacement sensor). Two prediction models are developed. One is simple linear model between measured surface roughness and values by spindle displacement. The other is multiple regression model including machining parameters like spindle speed, fee rate and radial depth of cut. Relation between machined surface roughness and roughness by spindle displacement are verified.

Key Words : Surface roughness (표면품위), End milling (엔드밀링), Displacement sensor (변위센서), Spindle displacement (주축변위)

1. 서론

표면품위는 공작물의 질을 결정하는 주요한 변수 중 하나이다. 많은 연구들이 절삭속도, 이송속도, 절삭깊이와 같은 절삭인자들과 표면품위간의 관계를 밝히기 위하여 수행되었다. Fuh 등[1]은 통계적인 표면품위 모델을 제안하였다. 이에 엔드밀링에서의 표면품위를 독립적인 변수들의 항으로 표현하는 모델들이 다양하게 연구되었다[2]. Tsai 등[3]은 공작물에 가속도계를 부착하여 그 진동신호를 표면품위 예측에 사용하기도 하였다.

본 연구에서는, 가공 중 주축의 변위 신호를 받아, 그 값으로 가공면의 표면 품위를 예측하였다. 신호의 센싱을 위하여 원통형 정전용량 변위센서를 사용하였다. 주축변위 신호만을 이용하는 모형과 주축변위 신호와 절삭인자를 이용하는 예측 모형을 도입하고 절삭 실험을 통하여 각각의 모형을 검증하였다.

2. 주축변위의 측정

절삭면의 표면품위는 공구의 흔들림, 절삭조건, 절삭면에서의 칩 영향 등에 의하여 결정된다. 표면품위를 측정하기 위하여 빛, 초음파, 절삭면의 정전용량 등을 이용하는 다양한 방법이 도입되었으나, 실제 가공 현장에 적용하기에는 많은 어려움을 가지고 있다. 본 연구에서는 원통형 주축변위 센서[4]를 적용하여 공작물의 교체, 절삭유의 유무 등과 같은 문제점을 극복하고자 하였다.

원통형 주축변위 센서는 Fig. 1 과 같이 주축의 하단부에 하우징 커버를 대체하는 형식으로 제작, 부착되었다.

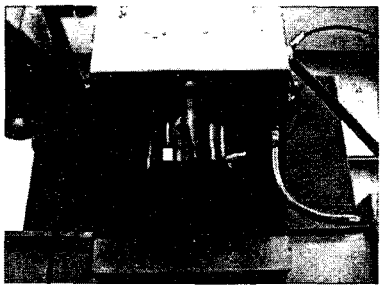

Fig. 1 CCDS sensor on machining center

3. 표면품위의 측정

표면품위 예측을 위하여 여러 조건에서의 절삭실험이 수행되었다. 공작물은 프라스틱 금형강으로 많이 사용되는 NAK80, 공구는 TiAlN 코팅된 초경 스퀘어 엔드밀이 사용되었다. 절삭 조건으로는 주축의 회전수(rpm)는 500, 750, 1000, 1250 이, 이송 속도(mm/min)는 40, 60, 80 이, 절입량(mm)은 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 이 각각 사용되어 총 48 개의 조건에 대하여 절삭이 수행되었다. 측면 절삭에서의 표면품위 측정을 위하여 접촉식 표면 조도계가 사용되었으며,

측정은 공구 잠입깊이의 중간 지점에서 이송방향으로 이루어졌다. 표면품위를 나타내는 여러 가지 인자들 중에서 이번 연구에서는 산업현장에서 폭넓게 사용되는 R_a 가 고려되었다.

3. 표면품위 예측 모형

두 가지 예측 모형이 검증 되었다. 첫 번째 모형은 주축 변위 신호의 중심선 평균만을 이용하여 절삭면의 표면품위를 예측하는 선형 모형이다. 이 모형은 아래의 식으로 표현되었다. 이 모형의 평균 % 편차는 5.71% 이다.

$$R_{a_workpiece} = 0.027 + 0.274 \cdot R_{a_spindle} \quad (1)$$

R	R^2	Adjusted R^2	Std. Error of the Estimates
0.894	0.800	0.795	0.1543443

Table 1 Linear regression model summary

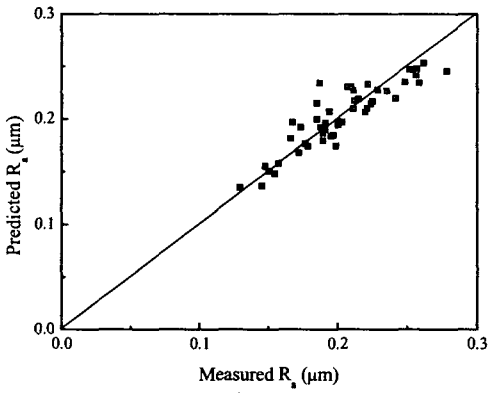

Fig. 2 Measured vs. predicted R_a of linear regression model

두 번째 모형은 주축변위 신호의 중심선 평균과 더불어 주축 회전수, 이송 속도, 절입량을 포함하는 선형 병렬 식으로 아래와 같이 표현되었다. 이 모형의 평균 % 편차는 4.90%로, 선형 모델과 비슷한 정도의 예측 오차를 보였다.

$$\begin{aligned} R_{a_workpiece} = {} & 0.018 + 0.260 \cdot (R_{a_spindle}) \\ & + 2.07 \times 10^{-7} \cdot (rpm) \\ & + 6.94 \times 10^{-5} \cdot (feed) \\ & + 0.022 \times (Radial_dp.) \end{aligned} \quad (2)$$

R	R^2	Adjusted R^2	Std. Error of the Estimates
0.912	0.831	0.815	0.01466890

Table 2 Multiple regression model summary

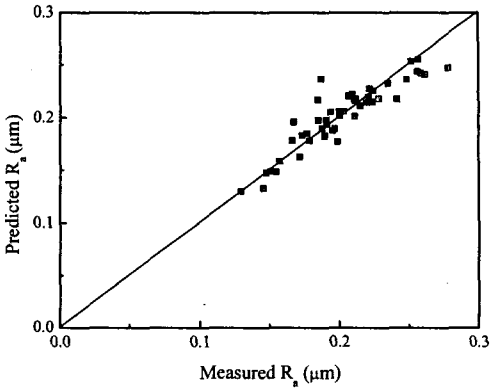

Fig. 3 Measured vs. predicted R_a of multiple regression model

모형의 검증을 위하여 9 개의 새로운 절삭조건에 대하여 절삭을 수행하고 각 예측모형의 값들을 평가하였다. 첫 번째 모형은 5.02%, 두 번째 모형은 5.49%의 평균 % 편차를 얻어, 두 가지 예측 모형이 비교적 잘 적용됨을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 표면품위 예측을 위하여 주축변위를 도입하였다. 원통형 정전용량 주축변위 센서를 사용하여 실시간 표면품위 예측 시스템을 구축하였다. 주축변위의 중심선 평균만을 이용하는 선형 모형과 주축변위와 함께 독립적인 절삭 변수들을 포함하는 선형 병렬 모형을 제안하였다. 각 모형은 94-95%의 유사한 예측 정밀도를 갖는다. 이를 통하여, 주축변위 신호의 중심선 평균값을 이용하여 효과적인 절삭면의 표면품위 예측이 가능함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Fuh, K.H., and Wu, C.F., "A Proposed Statistical Model for Surface Quality Prediction in End-milling of Al Alloy", Int. J. Mach. Tools. Manu. Vol.35, pp. 1187-1200, 1995.
2. Mansour, A., and Abdalla, H., "Surface Roughness Model for End Milling: a Semi-free Cutting Carbon Casehardening Steel (EN32) in Dry Condition", J. Mat. Proc. Tech. Vol. 124, pp.183-191, 2002.
3. Tsai, Y.H., Chen, J.C., and Lou, S.J., "An In-process Surface Recognition System based in Neural Networks in End Milling Cutting Operations", Int. J. Mach. Tools. Manu. Vol. 39, pp.583-605, 1999.
4. 김일해, "원통형 정전용량 변위 센서를 이용한 주축의 진동 측정과 절삭 상태의 감시에 관한 연구", 박사학위논문, 서울대학교, 2001.