터닝센터의 에너지 소모 특성에 관한 연구

Study on Energy Consumption of Turning Center

*,#김형중 [1], 곽상엽 [1], 정은수 [1], 최재성 [1], 우일 [1]

*,#H. J. Kim(hyungjung.kim@doosan.com)[1], S. Y. Kwak[1], E. S. Jung[1], J. S. Choi[1] , I. Woo[1]

[1] 두산인프라코어 기술본부 APDC (Advanced Product Development Center)

Key words : Machine Tools, Energy Consumption, Measurement, Estimation

1. 서론

자원 고갈, 기후변화협약을 통한 CO_2 배출 규제 등으로 에너지 비용이 생필품의 비용 증가보다 더 빠르게 증가하고 있다[1]. 이러한 배경으로, 최근 제조업에서도 소비되는 에너지의 특성을 파악하고 저감하기 위한 연구 및 기술 개발이 증가하고 있다[2].

터닝센터(Turning Center, TC)는 머시닝센터(Machining Center, MC)와 함께 대표적인 공작기계의 한 형태로, 공작물을 회전시키면서 절삭 공구를 이동시켜 원통형 형상을 가공하는 방법이다.

본 논문에서는 터닝센터의 에너지 소모 모델을 구성하고, 이를 활용한 에너지 소모 분석 결과에 대해서 기술하였다.

2. 터닝센터 에너지 소모 모델

공작기계의 에너지 소모는 크게 구동부에서 소재의 절삭을 위해 직접 사용되는 발생하는 가변적(variable) 에너지 소모와 구성부품들에서 소모되는 단계적(stepwise) 에너지 소모로 나눌 수 있다.

2.1 에너지 소모 모델

TC 의 에너지 소모 모델은 MATLAB 및 SIMULINK 환경에서 각 구성부품들의 에너지 소비 모델을 구현하였다(Fig. 1). 이를 통해, 공작기계의 부품 규격과 입력된 가공 프로그램에 대응하여 에너지 소모량의 예측이 가능하다. 본 논문에서는 두산 인프라코어의 수평형 TC PUMA 시리즈를 대상으로 모델을 구성하였다[3].

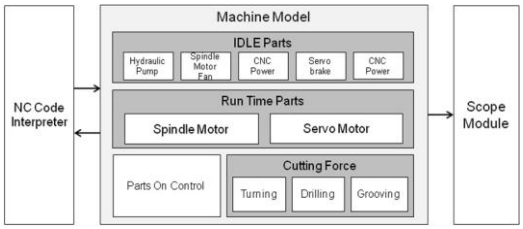


Fig. 1 Diagram of TC energy consumption model

2.2 에너지 소모 측정 및 모델 개선

에너지 소모 분석을 위하여 예제 가공 프로그램을 선정하고, 이에 대한 에너지 소모량을 측정하여 에너지 소모 예측 모델을 조정하였다(Fig.2).

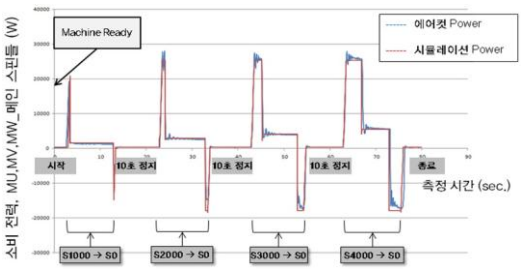


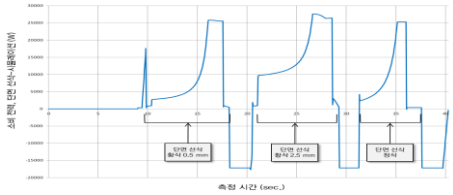
Fig. 2 Energy consumption with spindle RPMs

3. 에너지 소모 분석

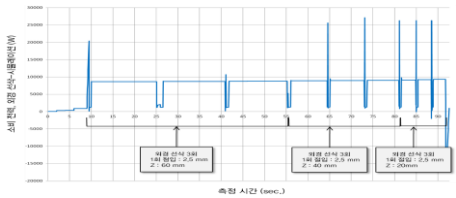
TC 의 에너지 소모에 영향을 미치는 요소는 절삭속도, 이송속도, 절입량과 같은 가공 조건, 공작물의 물성, 절삭 공구의 형태 및 소재, 구성 부품의 규격 등으로 다양하다. 본 연구에서는 구현된 에너지 소모 분석 모델을 기반으로 터닝 공정 및 가공 조건 차이에 따른 에너지 소모 특성을 고찰하였다.

3.1 터닝 공정별 에너지 소모

대표적인 터닝 공정으로 단면 가공과 외경 선삭에 대해 에너지 소모를 분석하였다.



(a) Face turning



(b) Outer general turning

Fig. 3 Energy consumption with turning processes

이를 통해, 단면 가공의 경우 소재의 반경 방향에 대한 이송으로 인해 스핀들 회전수(RPM)의 변화가 크며, 이로 인한 감가속으로 인해 전력 소모가 큰 것을 확인하였다(Fig. 3). 반면, 외경 선삭은 가공 깊이에 따라 차이가 있지만, 전체적으로 가공 중 절삭력으로 인한 에너지 소모가 대부분을 차지하였다. 또한, 절입량 또는 가공량에 대해 에너지 소모가 비례함을 알 수 있었다.

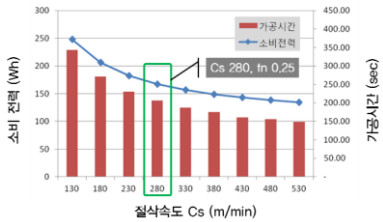
3.2 가공 조건에 따른 에너지 소모

가공 조건은 가공품의 품질뿐만 아니라 작업의 생산성에도 큰 영향을 미치는 요소이다. 따라서, 품질이 보장되는 영역 내에서는 경제적인 가공 조건을 선택하는 것이 중요하다.

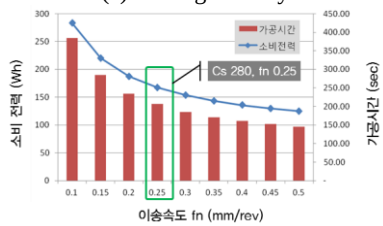
에너지 소모 모델을 기반으로 가공속도와 절삭속도의 영향을 평가하였다(Fig. 4).

평가된 영역에서 절삭속도와 가공속도가 증가할수록 가공 시간 및 에너지 소모가 감소하였다. 이는 절삭력 증가보다 가공 시간 감소에 따른 효과로 보여진다.

에너지 소모는 가공 시간, 절삭력, 구동부의 에너지 소비 등의 변화에 따라 그 패턴이 다양할 수 있기 때문에 에너지 소모량을 사전에 예측함으로써 경제적인 가공을 달성할 수 있을 것으로 판단된다.



(a) Cutting velocity



(b) Feed rate

Fig. 4 Energy consumption with variable cutting velocities and feed rates

4. 결론

본 연구에서는 대표적인 공작기계인 수평형 TC 의 에너지 소모 분석을 위한 예측 모델을 구성하고, 이를 기반으로 가공 공정 및 가공 조건의 변화에 따른 에너지 소모 예측 결과를 기반으로 정량적인 에너지 소모 특성의 분석이 가능함을 확인하였다.

또한, 에너지 소모 모델을 활용하여, 가공 실험을 줄이면서 에너지 소모에 대한 다양한 이론적 접근이 가능함을 확인하였다.

참고문헌

1. Kara, S. and Li, W., and Min, S., " Unit process energy consumption models for material removal processes," CIRP Annals – Manufacturing Technology, **60**, 37-40, 2011.
2. 김형중, 최재성, 우일, 현용탁, "에너지 저감 관점에서의 공작기계 친환경 기술 동향," 한국정밀공학회 추계학술대회논문집, 2012.
3. 두산인프라코어, http://www.doosaninfracore.com, 2013.