

공작기계 에너지 저감 전략의 계층적 접근 Hierarchical approach of Energy Saving Strategies in Machine Tools

*윤해성¹, #안성훈^{1,2}, 김민수¹, 김은섭¹, 조정훈³, 윤여찬³

*H. S. Yoon¹, #S. H. Ahn(ahnsh@snu.ac.kr)^{1,2}, M. S. Kim¹, E. S. Kim¹, J. H. Cho³, Y. C. Yoon³

¹서울대학교 기계항공공학부 ²서울대학교 정밀기계설계공동연구소 ³현대위아주식회사

Key words : Energy saving, Hierarchy, Machine tools, Machining center

1. 서론

최근 환경 및 자원고갈에 대한 관심이 높아지면서, 이산화탄소 배출, 환경유해물질 대체, 에너지 저감, 신·재생에너지 생산 등에 대한 연구가 널리 이루어지고 있다.

특히 에너지 소모와 관련해서, 전 세계의 에너지 사용량은 신흥 경제국의 폭발적인 수요증가를 중심으로 크게 증가하고 있으며, 미 에너지부(U.S. Department of Energy)는 이러한 에너지 수급 불균형 추세가 계속 이어지리라 전망하고 있다 [1].

이 중 생산제조 분야는 에너지 소모량이 전체의 37% 수준으로 최종적으로 가장 많은 에너지를 소모하는 분야다 [2]. 그러나 생산 제조 장비의 변경 및 개선은 생산효율 및 품질에 직접적으로 영향을 미치게 되므로, 공정에 대한 깊은 이해와 더불어 생산효율 및 전력·전력량의 상호관계에 대한 모델을 필요로 한다.

본 연구에서는 생산제조 분야 중에서도 공작기계의 에너지 저감 전략에 대해서 다루고, 제안된 전략을 개선 수준에 따라 기술하였다. 특히 수치제어 복합 공작기계 (MCT, Machining Center)의 경우 기계에 포함되는 다양한 구성요소(냉각장치, 절삭유 공급장치, 공기압 장치 등)로 인하여 에너지 소모가 일반적인 생산제조 장비에 비하여 평균적으로 소모하는 전력이 큰 편이다 [3].

일반적인 공작기계, 수치제어 복합 공작기계, 생산제조 장비 등에 대하여 여러 가지의 에너지 측정·정량화 및 저감 전략에 관한 다양한 연구가 발표되고 있으나,

공작기계의 에너지 소모는 상황에 따라 크게 달라질 수 있기 때문에 확고한 에너지 저감 전략은 제시되지 않은 상황이다. 이에 제안된 에너지 저감 전략을 정리하고 이를 개선 용이도에 따라 계층적으로 나열함으로써, 이를 통하여 생산제조 분야의 에너지 저감 전략에 대한 지침을 제공하고자 하였다.

2. 선행연구조사

공작기계의 에너지 저감 연구는 에너지 소모의 평가 및 정량화로부터 시작된다. 공작기계를 구성하는 각 기계요소가 각각 어느 정도의 에너지 소모를 하는지 측정하고[4,5] 공정 변수에 따라 소모량이 어떻게 변화하는지 구함으로써 에너지, 혹은 가공비용이 최소가 되는 공정변수를 도출하는 연구[6] 등이 진행이 되었다.

한편으로는 제조공정 자체를 개선함으로써, 혹은 비슷하면서 서로 다른 제조공정의 에너지 소모를 비교함으로써[7] 에너지 소모 효율을 개선하고자 하는 연구가 진행되었다. MQL (Minimum Quantity Lubrication) 가공은 이러한 연구의 대표적인 예이며, 가공 품질에 크게 영향을 미치지 않으면서 절삭유 및 에너지 사용을 효과적으로 저감할 수 있는 방법이다.

업계에서는 기계의 구성요소, 즉 스펀들 및 서보 장치, 유압 장치 등의 최적화와 관련된 연구가 많이 진행되고 있다 [8]. 서보 장치의 경우 이송량에 따라 효율적인 이송 방법이 달라지며, 일반적인 유압장치의 경우 최적화를 통해 상당한 에너지를 절감할 수 있는 것으로 알려져 있다.

3. 에너지 저감 전략의 계층적 분류

Table 1 은 선행 절에서 소개된 선행연구 등을 분석하여 계층별로 나타낸 것이다. 에너지 저감 전략은 장비의 에너지 소모 평가·정량화로부터 시작되며, 이로부터 만든 모델에서 공정 변수, 가공 경로 최적화 및 대기시간 최소화 등을 포함하는 가공계획 최적화가 가능하다. 장비를 구성하는 각 요소들의 에너지 소모를 알고 있다면 다음 전략으로 공정, 주변기기의 전력을 필요에 따라 제어, 혹은 차단함으로써 에너지를 저감할 수 있다.

공정에 대한 이해도가 높다면 절삭유 사용을 줄이는 등 가공기술을 직접적으로 개선하는 전략을 시도해 볼 수 있으며, 나아가 고효율 스피들 사용, 유압 펌프 최적화 등을 포함하는 구성요소 개선을 시도해 볼 수 있다. 마지막 단계에서는 장비를 경량화하거나 최적 설계기법을 적용하여 작동 전 과정에서 에너지 소비를 저감할 수 있는 방법 등이 있다.

Table 1 Hierarchical classification of energy saving strategies in Machine Tools

Hierarchy	Energy saving strategy
1	평가·정량화
2	가공계획 최적화
3	공정, 주변기기 제어
4	가공기술 개선
5	구성요소 최적화
7	친환경 설계

4. 결론

자원고갈 등으로 인하여 에너지 가격은 계속 증가하는 추세이며, 이에 따라 에너지 저감에 대한 관심 또한 높아지고 있다. 공작기계의 경우 대표적인 에너지 소모 분야에 해당되며 다양한 에너지 저감 연구들이 발표되고 있다. 본 연구에서는 이러한 에너지 저감 연구들을 계층에 따라 분류·정리함으로써 공작기계 에너지 저감의 지침을 제시하고자 하였다. 에너지 저감 방법에 따라 다양한 전략을 시도해 볼 수 있으며 분석 결과에 따라 가장 효율적인 전략을 선택해야

할 것이다.

후기

본 연구는 2012년도 정부(지식경제부, 교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단(No. 2012-0008727), 한국생산기술연구원 (No. 2010-TD-700203-001), 현대엔지니어링(주)의 지원과 현대위아(주)의 도움으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. U.S. Energy Information Administration, Annual Energy Outlook 2012, U.S. Department of Energy, 2012.
2. Abdelaziz, E.A., Saidur, R., and Mekhilef, S., "A review on energy saving strategies in industrial sector," Renewable and Sustainable Energy Reviews, **15(1)**, 150-168, 2011.
3. "Energy-Using Product Group Analysis Lot 5 – Final Task 5 Report," Fraunhofer Institute for Reliability and Microintegration, IZM, Berlin, Germany, 2012.
4. Gutowski, T., Murphy, C., Allen, D., Bauer, D., Bras, B., Powonka, T., Sheng, P., Sutherland, J., Thurston, D., and Wolff, E., "Environmentally benign manufacturing: Observations from Japan, Europe and the United States," Journal of Cleaner Production, **13(1)**, 1-17, 2005.
5. Kordonwy, D.N., "A Power Assessment of Machining Tools," Bachelor of Science in Mechanical Engineering, Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, USA.
6. Rajemi, M.F., Mativenga, P.T., and Aramcharoen, A., "Sustainable machining: selection of optimum turning conditions based on minimum energy considerations," Journal of Cleaner Production, **18(10-11)**, 1059-1065, 2010.
7. Fratila, D., "Macro-level environmental comparison of near-dry machining and flood machining," Journal of Cleaner Production **18(10-11)**, 1031-1039, 2010.
8. "공작기계", 통권 245 호, 2013년 3월, 한국공작기계산업협회: 서울, 2013.