

환경성을 고려한 절삭조건 결정

임석진*(한국과학기술연구원 CAD/CAM 연구센터), 박면웅(한국과학기술연구원 CAD/CAM 연구센터), 김경섭(연세대 컴퓨터과학·산업시스템공학과)

A Determination of Cutting Conditions Considered Environmental Factors

S. J. Lim(CAD/CAM Research Center. KIST), M. W. Park(CAD/CAM Research Center. KIST), K. S. Kim(Industrial Systems Eng. Dept., YSU)

ABSTRACT

Owing to governmental regulations and concern regarding the safety of the environment, environmental conscious machining technology has become important in today's manufacturing industries. However, cutting conditions in metal cutting processes must also consider traditional dimensions such as production cost, production time and quality of a final product. The purpose of this study is to determine the cutting conditions in achieving a balanced consideration of productivity and environmental consciousness. The environmental factors such as cutting fluid, toxicity and energy are considered in metal cutting processes. In order to consider the relationship between environmental impacts and machining parameter, two factors of the metal cutting processes in this study are considered: cutting fluid and tool life. The experimental results are provided and discussed.

Key Words : Environmental Conscious Machining(환경친화적 기계가공), Cutting condition (절삭조건), Cutting fluid (절삭유)

1. 서론

산업혁명 이후 기업은 생산관련기술의 비약적인 발전과 다양한 소비자의 욕구를 충족시키기 위하여 좋은 품질의 제품을 저가로 대량생산하기 위한 노력에 집중되어 왔다. 하지만 이와 같은 가공경제성만을 고려한 생산방식으로 인하여 야기되는 환경오염과 같은 문제에 대해선 소홀이 취급되어 온 것이 사실이다. 최근에는 가공과정에서 발생하는 폐자재, 분진과 절삭유 등으로 인한 환경오염과 작업자 및 기업의 작업환경 개선에 대한 인식부족으로 인한 질병 및 사고와 같은 산업재해의 발생이 빈번하여졌으며 이로 인한 분쟁이 많이 발생하고 있다. 이에 따라 환경문제와 작업장의 작업환경 개선을 위한 환경친화적인 생산기술이 중요시 되고 있으며 이에 대한 대응책을 마련하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 즉, 가공의 경제성뿐만 아니라 환경성도 동시에 고려하는 연구들이 수행되고 있다. 환경

친화형 생산기술은 제품생산에 수반되는 제품설계, 공정설계 및 운영 그리고 환경오염을 최소화하고 자원의 소비를 극소화하는 생산활동 등이 서로 통합된 시스템이다. 즉, 제조프로세스의 기본목표인 고품질의 제품개발과 제조생산성 및 경제성의 향상뿐 아니라 생산제조단계에서부터 가공폐기물 및 인체 유해물질의 발생을 억제하거나 최소화 하기 위한 환경적인 요소도 동시에 고려하는 방식이다. 환경친화형 생산기술은 자재 및 공구폐기량의 감소, 인체 유독성 감소, 절삭유 사용량 감소등과 같은 환경성 측면과 에너지 절감, 가공률 향상, 제조원가 절감 등의 경제성 측면을 동시에 고려하는 연구이다. 즉, 가공정도 및 가공능력의 향상과 가공능력의 극대화, 공구사양 및 공작물 물성의 최적선정, 공구마멸의 억제, 가공동력의 극소화, 가공시간의 단축 등과 같은 생산성, 효율성, 품질 등 기술적인 측면의 경제성의 고려한 활동과 분진의 발생억제와 폐자재의 감소 그리고 절삭유사용량을 배제 혹은

극소화하여 환경오염 및 작업자 등의 인체유해성을 억제하며 또한, 재활용이 용이한 칩의 형성등과 같은 환경성을 고려한 연구가 동시에 고려되어야 한다.

본 연구에서는 환경친화적인 생산기술중에서 절삭가공공정에서의 환경성을 고려한 최적 절삭조건을 결정하는 방법에 관한 연구를 수행한다. 이를 위해 먼저 경제성을 고려한 전통적인 요소뿐 아니라 동시에 환경성을 고려하여 절삭조건을 결정하는데 필요한 입력변수와 출력변수들이 정의되고 이를 적용하는 방법을 개발하였다. 이를 그림으로 나타내면 다음과 같다.

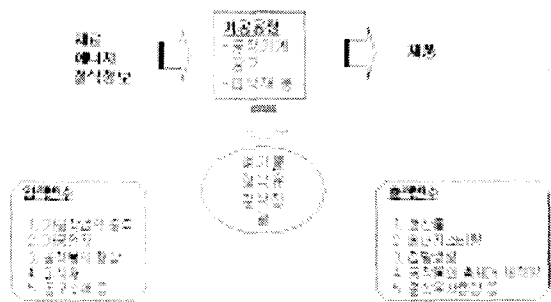


Fig. 1 Technology of a metal cutting process

2. 환경성을 고려한 절삭조건 결정

2.1.1 절삭조건 결정 방법

실제생산·가공현장에서 논의되고 있는 많은 요소인 진동, 소음, 폐자재, 절삭유등이 있으며 이 중에서 절삭유를 중심으로 환경성 요소를 정량적으로 분석하기 위한 연구를 수행한다. 이를 위하여 먼저 절삭공정에서 경제성과 환경성을 고려하기 위한 평가기준을 제시하고 이를 바탕으로 경제성을 고려한 환경친화적인 절삭조건선정방법을 제시한다. 다음은 본 연구에서 수행하는 연구 방향에 대한 그림이다.



Fig. 2 Method of determination of a environmentally conscious cutting condition

본 연구에서는 기존의 많은 연구에서 고려되고 있는 절삭조건결정을 위한 요소에 절삭가공시 사용되거나 발생하는 절삭유 등과 같은 환경오염 및 인체유해물질에 대한 분석하고 이 중에서 고려할

요소를 선정하여 이를 정량적으로 표현하기 위한 방법을 제시하였다. 이를 통하여 기존의 절삭조건과 환경적인 요소를 동시에 고려하기 위한 비용요소로 변환하기 위한 방법의 제시를 통하여 최적의 절삭조건을 제시하는 연구를 수행한다. 최적절삭조건은 공작기계, 공구, 작업의 종류, 가공인자, 공작물 소재, 공구형상, 공구소재 등 기존에 고려되고 있는 가공공정에서 발생하는 요소에 대한 비용과 본 연구에서 고려되어야 하는 절삭유 등 환경적인 요소로 발생하는 환경성비용을 동시에 고려하여 최소의 비용을 산정하는 수학적 모형을 개발하였다.

2.1.2 절삭조건 결정을 위한 수학적 모형

본 연구에서는 최적절삭조건을 산정하기 위한 수학적 모형을 이용하였다. 즉, 절삭조건을 비용으로 표현하고 이를 수학적모형을 이용해 총비용을 산정하고 이를 통해 최적절삭조건을 결정한다. 경제적인 절삭공정에 관한 연구로는 Taylor 에 의해 시작되었으며 공구수명 방정식은 아직도 많이 이용하고 있다. 이후에 Gilvert 는 절삭공정에서의 최적화에 대한 이론적 분석을 수행하였다. Hitomi 는 절삭속도와 이송량의 최적조합결정을 위한 비선형 계획의 필요성에 대한 연구등 기존의 연구들은 절삭가공공정에서 경제성만 고려한 연구를 수행하였다. 본 연구에서는 절삭유의 사용과 관련하여 절삭유 사용에 따른 절삭조건의 변화를 공구마모와 가공시간과의 관계와 또한 절삭유의 폐기하는데 소모되는 비용등 환경성 비용을 고려하여 절삭조건을 결정하는 수학적 모형의 개발에 대한 연구를 수행하였다. 최적 절삭조건결정을 위해 제시하는 수학적 모형의 목적식은 기존에 고려되는 가공비용, 공구비용, 공구교환비용, 핸들링비용에 환경성비용인 절삭유의 사용과 폐기와 관련된 비용을 동시에 고려한다.

본 연구에서 사용되는 비용요소와 인덱스를 정리하면 다음과 같다.

- C_0 : 분당소요되는 가공비용
- C_f : 절삭날당 공구비용
- t_c : 공구교환시간(min/edge)
- t_h : 핸들링시간(min/edge)
- T : 공구 수명
- t_m : 절삭시간(min)
- C_c : 절삭유의 분당 소요단가
- C_x : 절삭유의 폐기단가
- R : 절삭유 수명

$$\text{가공비용} = C_o \cdot t_m$$

$$\text{공구비용} = C_t \cdot t_m / T$$

$$\text{공구교환비용} = C_t \cdot t_c \cdot t_m / T$$

$$\text{핸들링비용} = C_h \cdot t_h$$

$$\text{절삭유비용} = C_c \cdot t_m + C_x \cdot t_m / R$$

위에서 정의된 비용을 통합하여 목적식을 세우면 다음과 같다.

$$\text{Min } C_o t_m + C_t \frac{t_m}{T} + C_o t_c \frac{t_m}{T} + C_o t_h + C_c t_m + C_x \frac{t_m}{R}$$

가공시간은 하나의 공작물을 가공하는데 걸리는 총시간으로 일정한 깊이에 대해서는 다음식으로 정리된다.

$$t_m = \frac{\pi D L}{12 V f}$$

이때, D 는 공작물의 지름이고 L 은 축방향절삭길이이며 V 는 절삭속도, f 는 피드이다. Taylor 의 공구수명방정식을 이용하여 Olsen 이 제시한 일반화된 공구수명방정식은 다음과 같다.

$$V T^n f^m \phi^x = C$$

여기서 C 는 상수, ϕ 는 주절삭 날각, n 은 작업조건의 상수, m 은 절삭속도에 따른 상수, x 는 절삭깊이 계수이다. 이를 공구수명 T 에 관하여 정리하면 다음과 같다.

$$T = (C V^{-1} f^{-m} \phi^{-x})^{\frac{1}{n}}$$

총비용을 이용하여 최적절삭조건을 결정하는 목적식을 다시 표현하면 다음과 같다.

$$\text{Min } C_o t_h + C_o \frac{HDL}{12Vf} + C_t \frac{\frac{HDL}{12Vf}}{(C V^{-1} f^{-m} \phi^{-x})^{\frac{1}{n}}} + C_o t_c \frac{\frac{HDL}{12Vf}}{(C V^{-1} f^{-m} \phi^{-x})^{\frac{1}{n}}} + C_c \frac{HDL}{12Vf} + C_x \frac{HDL}{R}$$

위에서 설계된 목적식은 다음과 같은 parameter 와 공정제약조건 등을 고려하여 최적절삭조건을 결정할 수 있다.

- (1) 주축속도(spindle speed)의 제약
- (2) 가용한 이송량(cutting speed)의 제약
- (3) 표면거칠기(surface roughness)의 제약
- (4) 절삭깊이(depth of cut)의 제약
- (5) 최대절삭력(cutting force)의 제약
- (6) 기계동력(machining power)의 제약

본 연구에서 제시한 목적함수와 제약식을 이용하여 다음 그림과 같은 절차를 수행하여 경제성과 환경성을 동시에 고려한 총비용을 최소화 하는 최적절삭조건을 구할 수 있다. 절삭조건관련 정보를 데이터베이스화하여 우선 초기의 절삭조건을 결정하는데 이용하며 선정된 절삭조건에 대하여 수학적 모형을 이용하여 총가공비용을 평가하고 이에 대한 의사결정을 수행한 후 개선사항이 있으면 feedback 하여 다시 최적 절삭조건을 산정하는 절차로 수행한다. 다음은 경제성을 고려한 환경 친화형 절삭조건을 구하기 위한 절차를 나타낸 것이다.

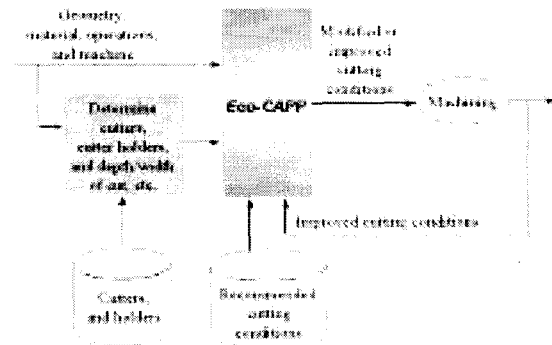


Fig. 2 Process of determination of a environmentally conscious cutting condition

3. 실험 및 결과

절삭유의 영향을 환경성요소로 고려한 통합된 수학적 모형의 유효성을 평가하기 위하여 아래와 같은 실험조건으로 실험하였다.

$Bhn = 195$ $D = 6$ inch $L = 8$ inch $\phi = 60$ degree
 $C_o = \$0.1/\text{min}$ $C_t = \$0.5/\text{cutting edge}$ $C_c = \$0.01/\text{min}$
 $C_x = \$0.005/\text{min}$ $t_h = 2.0$ min $t_c = 0.5$ min $n = 0.25$
 $m = 0.29$ $x = 0.35$ $R = 42300$ min

또한 목적함수에 대한 여러 제약조건중에서 다음과 같은 제약조건을 고려하여 실험하였다.

(1) 사용가능한 속도 및 피드

$$0.001 \leq f \leq 0.09(\text{ipr})$$

$$18 \leq N \leq 540(\text{rpm})$$

(2) 표면거칠기

속도와 피드에 근거한 Oslen 의 경험적 표면 거칠기 방정식중에서 다음을 선택하여 사용하였다.

$$R_a = 1.36 * 10^8 * f^{1.004} * V^{-1.52}$$

$$R_{max} = 100 \text{ 이라 하면}$$

$$R_a = 1.36 * 10^8 * f^{1.004} * V^{-1.52} \leq 100 \text{ 이 된다.}$$

(3) 동력

동력의 제약방정식은 $3.58 f^{0.78} V^{0.91} = (HP) \eta$ 이면 이때 HP 는 동력이고 η 는 효율이다. 본 연구에서는 $(HP) \eta = 5$ 로 가정하였다.

$$3.58 f^{0.78} V^{0.91} \leq 5$$

설계된 수학적 모형의 목적식과 제약식을 바탕으로 최적 절삭조건을 찾는 실험을 수행하여 총비용을 최소로 하는 결정되어진 절삭조건은 다음과 같다. 최적의 피드는 0.00561(ipr) 이고 절삭속도는 314.5(fpm)이었다.

4. 결론

환경에 대한 정부의 규제와 친환경적인 제품의 선호로 인하여 가공의 경제성뿐 아니라 환경성을 고려한 생산기술에 대한 많은 연구가 수행되고 있다. 본 연구는 경제성뿐 아니라 환경성을 고려한 절삭조건을 결정하는 방법에 대한 연구를 수행하였다. 이를 위하여 절삭유사용량을 절감하고 동시에 공구수명의 연장 그리고 폐기물량의 감소를 유도하는 절삭조건을 결정하는 방법을 제시하였다. 이를 위하여 가공에 소요되는 총비용을 산정하기 위한 목적식을 수립하였고 간단히 실험을 통하여 유효성을 검증하였다. 향후 연구과제로는 절삭유 이외에 폐자재 등 발생하는 환경성비용과 분진, 매연, 절삭유의 비산에 의한 흡입 등으로 인해 발생하는 인체 유해성비용 등도 고려하는 방안에 대한 연구와 절삭유와 공구수명 그리고 가공시간간의 관계를 표현하기 위한 수학적 모형의 개발이 수행되어야 할 것이다.

후 기

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실사업의 지원에 의하여 이루어진 과제의 연구결과이다.

참고문헌

1. Munoz, A. A., and Sheng, P., "An analytical approach for determining the environmental impact of machining processes," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 53, pp. 736 - 758, 1995.
2. Tolouei-rad, M., and Bidhendi, I. M., "On the optimization of machining parameters for milling operations," Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol. 37, pp. 1 - 16, 1997.
3. Oslen, K. F., "Surface Roughness as a function of cutting conditions when turning steel," Machine Tools and Production Trends, Engineering Proceedings., pp. 149 - 160, 1965.
4. 장윤상, "절삭유제의 환경영향을 고려한 밀링공정의 최적화," 한국 정밀공학회지, 제 99 권, 제 99 호, pp. 149-150, 1999.
5. 강재훈, 이찬홍, 송준엽, 이재경, "경제성을 고려한 환경 친화형 가공 기술," 한국 정밀공학회 2000년도 추계학술대회논문집, pp. 972-975, 2000.