

가공특징형상을 이용한 표준 단위공정 절삭조건 제안시스템 Suggestion System for Standard Cutting Parameters of Unit Machining Operations using Machining Feature

백재용¹, 정소영¹, *#김보현¹, 김상철², 최규남²

J. Y. Baek¹, S. Y. Jung¹, *#B. H. Kim(bhkim@kitech.re.kr)¹, S. C. Kim², K. N. Choi²

¹ 한국생산기술연구원, ²(주)한국몰드

Key words : standard cutting parameter, unit machining operation, machining feature, plastic injection mold manufacturing

1. 서론

최근 자동차 및 전자 산업을 중심으로 원가 절감 및 납기 단축 등 금형제작의 생산성 향상을 위한 다양한 시도가 이루어지고 있다. 국내 대부분의 금형제작업체는 NC 가공을 위해서 CAM 시스템을 사용하고 있지만, 절삭조건을 체계적으로 관리하지는 못하고 있다. 실제로 가공 생산성 및 효율성을 결정짓는 공정계획이나 절삭조건 설정업무는 현장 작업자의 노하우에 의존하는 경향이 많다. 즉, 현장에서도 금형가공의 품질을 결정짓는 중요한 요인으로 체계적인 절삭조건 관리를 인식하고 있지만, 금형가공 현장의 열악한 환경과 작업자의 잦은 이직 등으로 인하여 체계적인 관리가 수행되지 못하는 것이 현실이다.

NC 가공에서 절삭조건은 가공물 품질과 공구수명에 크게 영향을 미친다. 과도한 절삭조건은 절삭력의 상승을 유발시켜 공구의 변형과 진동을 발생시키며, 가공정밀도를 떨어뜨리고 공구수명을 단축시킨다. 반대로 여유있는 절삭조건은 가공시간을 증가시켜서 생산성을 감소시키는 결과를 초래한다.

절삭조건이 체계적으로 관리되지 못하는 이유는 크게 세 가지로 요약할 수 있다. 첫째는 수주업체로부터 강요되는 납기를 준수하기 위해 실제 절삭가공 중심으로 업무를 수행하기 때문에, 가공조건을 문서화하거나 축적하는데 필요한 시간을 확보하지 못하고 있다. 둘째는 국내 금형업체의 대부분이 중소기업으로 절삭조건에 관한 연구인력이 부족하여 절삭조건을 체계화하기가 힘들다. 셋째는 작업자가 절삭조건을 결정해야 한다는 보수적인 사고방식 때문에 절삭조건에 대한 경험과 노하우를 지식화하고 공유하는 것에 대해 부정적인 견해가 크기 때문이다.

본 논문에서는 자동차 부품 금형업체를 대상으로 작업현장에서 사용되는 절삭조건을 축적한 후, 초보자도 숙련된 작업자의 절삭조건을 재사용할 수 있는 단위공정 절삭조건 제안시스템을 개발하였다. 절삭조건 체계화의 이론적 모형을 수립하기 위해 2장에서는 금형가공의 특징과 관련 절삭이론을 요약하였고, 3장에서는 절삭조건 체계화를 위한 절차와 방법을 설명하였다. 4장에서는 축적된 절삭조건을 바탕으로 회귀분석 모형을 수립하여 표준 절삭조건 제안시스템 개발 과정을 나타내었다.

2. 금형 절삭가공의 특성

일반적으로 NC 가공에서의 주축의 회전수와 테이블 이송속도(feed)를 절삭조건이라 한다. 절삭폭과 절삭깊이를 절삭조건으로 취급하기도 하지만 이는 상용 CAM S/W에서 제공하는 라이브러리 형태의 다양한 가공 패턴(machining pattern)과, 공구의 형상에 따라 변화되기 때문에 본 연구에서는 제외시킨다. 주축의 회전수와 테이블 이송속도는 날 선상 절삭속도(cutting speed)와 날당 이송속도(feed per tooth)로 표현하기도 한다. 절삭속도는 작업물과 절삭 날과의 상대속도를 의미하는데, 이는 공구수명에 직접적인 영향을 미치는 인자로 알려져 있다¹.

$$V = \pi \cdot D \cdot S \quad (1)$$

$$f_n = \frac{F}{S \cdot n} \quad (2)$$

D: 공구직경(mm), S: 회전수, n: 공구날수, F: 이송속도(mm/min)

바람직한 절삭조건은 절삭가공의 생산성을 높이고, 가공물의 정밀도를 일정한 수준으로 맞출 수 있어야 한다. 이를 위해서는 주어진 가공상황과 관련된 입력정보를 이용하여 적절한 절삭조건을 산출할 수 있는 모델이 있어야 한다. 절삭조건에 관한 척도로는 가공시간, 공구상태, 가공물 정밀도, 가공비용 등이 있다.

대부분의 금형 제작업체는 생산비용을 감소시키기 위해서 공구 제작업체와 공동으로 제작공구를 개발하여 사용하는 경우가 많이 있다. 특히 범퍼(bumper), 크래쉬패드(crash-pad) 등과 같은 대형 자동차 부품 금형에서는 자체 제작공구의 사용빈도가 매우 높다. 또한 정삭(finishing)에 이용한 공구를 황삭(roughing)에 재사용하는 경우도 빈번하게 발생한다. 따라서 절삭조건을 체계화하기 위해서는 이러한 많은 외부 변화요인을 인정하고 이를 관리 모델에 반영해야 한다.

금형가공 및 절삭조건에 관련된 몇 가지 용어에 대하여 정의하고자 한다. 표준단위공정(UMO: unit machining operation)이란 하나의 공구를 이용하여 특정 가공영역을 특정한 공구경로 패턴으로 수행되는 절삭가공 공정이다. 즉 상용 CAM S/W가 제공하는 라이브러리 형태의 가공 패턴을 의미한다. 가공 단계(MS: machining stage)란 특정 가공목적에 맞게 다수의 단위절삭 공정으로 구성된 것으로, 통상 황삭(roughing), 중삭(semi-finishing), 정삭(finishing) 등으로 구분한다².

3. 금형가공 절삭조건 체계화

절삭조건 체계화란 동일한 가공 환경에서 일관된 절삭조건을 부여하는 것을 의미한다. 즉 다양한 가공상황에 대해서 적합한 절삭조건(절삭속도, 날당 이송속도)을 제안할 수 있는 모델이 있어야 한다. 일반적으로 금형 제작업체별로 보유하고 있는 가공기의 종류와 특성이 다르고, 작업자, 사용공구, 작업장 환경 등이 상이하기 때문에 업체의 특성이 반영된 모델이 개발되어야 한다. 본 연구에서 제안하는 표준절삭조건 체계화 절차는 Fig. 1과 같이 요약할 수 있다.

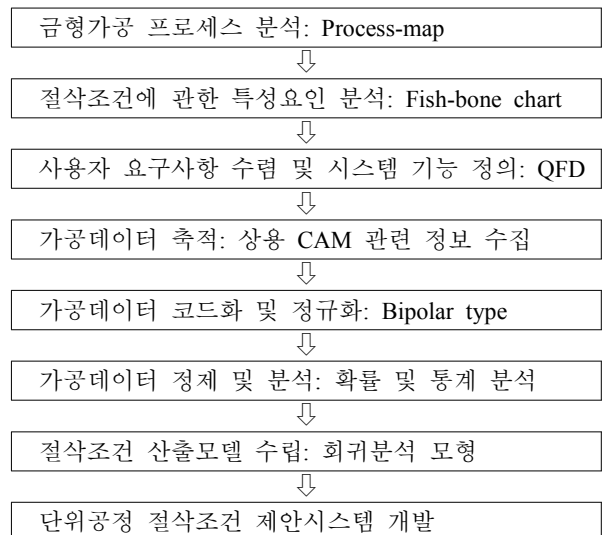


Fig. 1 금형가공 업무 분석 및 표준 절삭조건 체계화 절차

먼저 금형제작업체의 가공업무의 경향과 특성을 확인하기 위하여 프로세스 맵(process map)을 이용하여 업무절차를 분석하고, 각 단계별 입, 출력 정보와 산출물 평가지표를 정의하였다. 또한 특성요인도(fish-bone chart)를 이용하여 금형가공에 영향을 주는 주요인과 부요인을 구분하여 명시하고, 제어가 가능한 요인을 추출하여 절삭조건 표준화 대상영역을 구체화하였다. 사용자 중심의 절삭조건 제안시스템이 개발될 수 있도록 QFD-1.2를 이용하여 사용자 요구사항, 시스템 기능 요구사항 등을 정의하였다. 약 2개월 간 금형가공 담당자의 모든 NC 데이터 관련 자료를 수집한 후, 수치화가 불가능한 작업자, 공구종류(tool type; BEM, FEM 등), 가공단계(황삭, 중삭, 정삭), 가공패턴(CAM에서 제공하는 표준 단위 공정) 등을 코드화된 데이터 값으로 표현하였다. 이렇게 수치적으로 표현된 모든 데이터는 이차항까지 포함하여 요인별 절삭조건 변량의 크기를 분석하였다. 절삭조건의 변동에 크게 영향을 주는 요인은 회귀분석모형의 독립변수로 설정하였다. Fig. 2는 절삭조건 즉, 절삭속도와 날당 이송속도 변화에 영향을 주는 주요 인자로서 상위 5개의 인자를 이용하여 회귀분석 모형을 수립하였다.

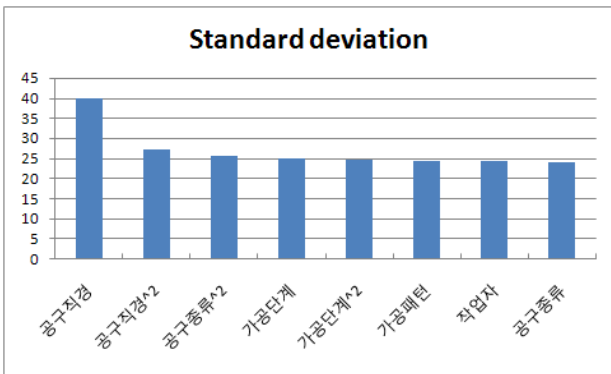


Fig. 2 절삭속도에 대한 절삭조건 산출모형의 요인별 중요도

4. 표준절삭조건 제안시스템 개발

절삭조건 제안시스템이란 주어진 가공상황에 따라 적절한 절삭조건을 부여하는 시스템을 의미한다. 여기서, 가공상황이란 가공에 이용되는 공구, 가공단계, 가공패턴 등을 포함한다. 이러한 절삭조건 제안시스템은 절삭조건 설정의 산출을 감소시키며, 절삭조건 설정 업무를 표준화하여 경험이 부족한 작업자도 일관된 절삭조건을 부여할 수 있게 한다. 본 연구에서 개발한 시스템은 절삭속도와 날당 이송속도를 식 (3)-(4)와 같은 산출모형을 이용하여 제안하게 된다. 절삭속도와 날당 이송속도는 2장에서 제시된 관계식을 이용하여 주축의 회전수와 테이블 이송속도로 변환시킬 수 있다.

$$V = f(D, D^2, MS, MS^2, T) \quad (3)$$

$$f_n = g(D, D^2, MS, MS^2, T) \quad (4)$$

V: 절삭속도, f_n : 날당 이송속도, D: 공구직경, MS: 가공단계(Machining Stage), T: 공구종류(Tool type)

절삭조건에 영향을 미치는 요소들은 매우 많이 존재한다. 이러한 각 요소들은 다양한 수준과 변량을 가지고 있기 때문에, 절삭조건에 영향을 주는 중요도에 따라 각 요소들을 관리해야 한다. 또한 각 요소들의 상관관계를 분석하기 위해서는 관련 정보의 표준화가 선행되어야 한다.

Fig. 3은 수립된 회귀분석모형을 이용하여 구현한 표준단위 공정 절삭조건 제안시스템의 메인화면이다. 작업자는 현재의 가공단계와 공구종류, 직경, 날수를 입력하여 표준화된 절삭속도, 주축회전수, 날당 이송속도, 테이블 이송속도 등을 시스템에서 확인할 수 있다.

이러한 절삭조건 제안시스템은 작업현장의 지속적인 가공관련 정보 축적과 시스템 기능개선에 대한 노력이 병행되어야만 성공적으로 정착되어 효과를 거둘 수 있다.

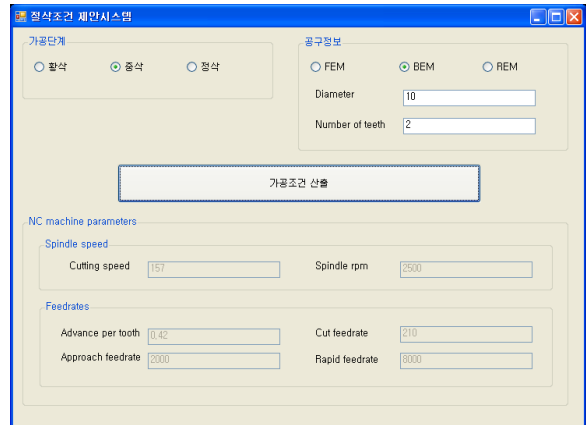


Fig. 3 표준 단위 공정 절삭 조건 제안 시스템 UI

5. 결론

최근 10,000 RPM 이상의 고속가공기, 새로운 소재 공구의 출현 등으로 금형 제작기술은 비약적으로 발전하고 있다. 그렇지만, 금형 가공현장에서의 납기 준수, 숙련인력 부족, 작업자의 보수적인 성향 등으로 절삭조건 체계화는 여전히 미흡한 편이다. 금형제작업체별 보유 장비와 작업자, 공구, 작업환경 등이 다르기 때문에 단순한 이론적인 접근만으로 절삭조건을 표준화하기에는 많은 제약이 따른다. 실제 금형업체에서 사용할 수 있는 표준화된 절삭조건 모형을 수립하기 위해서는 이러한 외부 변동요인을 흡수할 수 있어야 한다.

본 연구에서는 자동차 금형제작업체를 대상으로 현재 사용하는 가공관련 정보를 축적한 후, 체계화하여 경험이 부족한 작업자도 일관된 절삭조건을 부여할 수 있는 표준절삭조건 제안시스템을 개발하였다. 절삭조건 제안시스템의 개념은 현재 업체에서 사용하고 있는 절삭조건을 이용하여 절삭속도와 날당 이송속도의 산출을 최소화할 수 있는 회귀모형을 수립하는 것이다. 이는 현재 사용 중인 절삭조건에는 업체 고유의 특성 즉, 가공기, 작업자, 공구 등의 특성이 포함되었다는 가정이 전제되어 있다. 이러한 접근방법을 이론적으로 뒷받침하기 위해 통계분석 기법을 이용하여 각 요인별 변동의 크기를 정량적으로 분석하였다.

표준절삭조건 제안시스템의 개발절차는 크게 세 단계로 구분할 수 있다. 첫 번째 절차는 프로세스 맵, 특성요인도 등을 이용하여 현재의 업무절차를 확인하고 측정하는 단계이다. 두 번째 단계는 시스템 가공관련 정보를 축적한 후 분석하여 주요인 인자를 추출하는 단계이다. 마지막 단계는 추출된 인자를 이용하여 절삭조건 산출 모형을 수립하고 시스템을 구현하는 것이다. 이러한 개발절차는 금형가공뿐만 아니라 다른 산업분야의 공정조건을 체계화하는데 적용할 수 있을 것이다.

후기

본 연구는 지식경제부 부품소재전문기업 기술지원사업 “자동차 부품용 사출금형의 무오류, 쾌속 제작을 위한 생산기술 지원” 과제의 일환으로 이루어졌습니다.

참고문헌

1. 최병규 외, “CAD/CAM 시스템과 CNC 절삭가공”, 회중당, 1996
2. 최병규 외 “사출금형 가공을 위한 절삭조건부여 시스템 개발” KAIST CIM center Technical report CADM-96-2, 1996