

NC 데이터 정량화를 통한 고품질 사출금형 NC 가공데이터 선정 방안

허은영*, 김동원#, 김보현**

Development of a System for Selecting High-Quality Mold Manufacturing NC Data Using Evaluating the NC Data

Eun Young Heo*, Dong Won Kim# and Bo Hyun Kim**

ABSTRACT

Since mold industries are regarded as belonging to three types of bad business, capable young people are reluctant to work in this field. The industries are hard to employ skilled workers who have much experience and knowledge on the mold manufacturing. Thus, effective CAM systems are required for unskilled workers to create process plans and NC data for the manufacturing, and process plans play important roles in the downstream manufacturing processes, such as NC machining, polishing, and final assembly. This study proposes a decision support system that facilitates unskilled workers to easily select high quality NC-data, as well as to increase productivity. The proposed system is assumed to follow a CAM operation scenario that consists of next three steps: 1) identifying several process plans and enumerating feasible unit machining operations (UMOs) from material and part surface information, 2) creating all feasible NC-data based on UMOs using a commercial CAM system, 3) selecting the best NC data among the feasible NC data using four screening criteria, such as machining accuracy, machining allowance, cutting load, and processing time. A case study on the machining of a camera core mold is provided to demonstrate the proposed system .

Key Words : CAM system(캠 시스템), high quality NC-data(고품질 NC 데이터), mold machining(금형가공), knowledge(지식).

1. 서론

NC 가공에 있어서 공정계획이란 부품의 가공영역, 지그와 툴, 가공순서, 그리고 공구의 이송률이나 공구회전속도와 같은 가공조건을 결정하는 것이라 할 수 있다. 일반적으로 이런 조건들은 CAM

가공에 대한 풍부한 경험과 지식을 갖춘 숙련공에 의해서 결정되어지고 금형가공을 위한 데이터들은 상용 CAM 시스템을 이용하여 생산되고 검증되어진다. 이렇게 생성된 정보들은 선후 가공 단계에 있어서 상호 연관성을 갖게 되고 선행공정의 잘못된 NC 가공데이터는 NC 가공, 경면래핑 및 조립

☞ 접수일: 2005년 10월 13일; 게재승인일: 2006년 2월 10일

* 전북대학교 산업정보시스템공학과

교신저자: 전북대학교 산업정보시스템공학과

E-mail dwkim@chonbuk.ac.kr Tel. (063) 270-2328

** 한국생산기술연구원 생산공정기술본부 e 가공공정팀

등 의 추가적인 공수를 유발한다.

NC 가공의 생산성 향상을 위해서 많은 연구가 수행되어진 바, 공구경로 생성¹⁻⁵ 및 연결 분야에서 연구가 이루어 졌다⁶. 공구경로의 패턴이나 경로간격은 금형의 종류 및 가공단계에 따라 다르게 설정되는데, 이것은 가공면의 품질 및 가공의 생산성과 밀접한 관련을 가지고 있다.

일반적으로 NC 가공에 영향을 미치는 요소들은 많이 있지만, 특히 공구 이송속도는 생산성 및 가공성에 중대한 영향을 끼친다⁷. 기존연구의 대부분은 절삭력 모델⁸⁻¹⁰을 수립하고 가공 시 발생하는 절삭력이 주어진 범위를 넘지 않도록 공구의 이송속도를 조절하는 방법을 채택하고 있다.

기존의 절삭력 예측 모델은 가공 중 가공부하를 예측하여 적절하게 공구 이송속도를 조절하기 위하여 연구되었으며, 부하가 많이 걸릴 것으로 예상되는 부위를 사전에 가공하는 릴리프 가공과 가공 중에 부하를 예측하여 공구 이송속도를 조절하는 이송율자동조절(automatic Feedrate adjustment)과 관련한 연구가 진행되었다¹¹. 이러한 연구와 더불어 금형가공 생산성 평가에 필수적으로 요구되는 가공시간을 정확하게 예측하고, 가공시간을 최소화할 수 있는 공구경로 생성에 관한 연구¹²⁻¹⁶도 중요하게 부각되고 있다¹³.

위와 같이 NC 가공의 생산성 및 품질을 높이기 위한 많은 연구들이 수행되었지만 NC 데이터 품질 평가에 대한 연구는 수행되지 않았다. 한 개의 공구로 정의된 가공영역 내부를 특정한 패턴으로 가공하는 것을 단위가공공정 (UMO ; unit machining operation) 이라 한다면⁶, 임의의 가공단계에서 일정한 가공영역에 대한 UMO 는 가공전략에 따라서 다수개가 존재 할 수 있고, UMO 에 따라서 가공정밀도, 표면조도, 가공시간 등이 달라질 수 있다. 따라서 가공 품질 및 생산성을 높이기 위해서는 UMO 에 의해 정의되는 NC 데이터를 평가할 수 있는 지표 및 평가방법에 대한 연구가 선행되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 NC 데이터의 품질을 정량화하고 생산성 향상을 지원할 수 있는 시스템에 대하여 다룬다. 또한 본 연구에서는 전통적인 3D 분야인 금형산업에서 이 분야에 대한 전문가가 타 산업에 비해 부족한 현실을 감안하여 경험이 부족한 비숙련자도 고품질의 NC 데이터를 쉽게 생성하고 생산성을 높일 수 있는 의사결정지원시스템을

제안한다.

2. 고품질 NC 데이터

NC 가공데이터는 사람이 이해하기 어려운 NC 코드들로 작성되어 있고 실제 가공을 통하여 가공된 피삭재의 가공품질과 가공시간을 정확히 측정할 수 있다. 일반적으로 가공품질과 관련하여 좋은 NC 가공데이터라 함은 다음과 같은 특성을 만족하여야 한다. 1)설계된 형상과 가공된 형상간의 오차가 적어야 한다. 2)미삭 또는 과 절삭된 영역이 없어야 한다. 3)가공 중 균일한 가공부하를 유지하여야 한다. 4)가공된 피삭재의 가공여유가 균일하여야 한다. 5)피삭재 표면에 공구 흔적이 없어야 한다. 6)가공시간이 짧아야 한다. 이러한 기준들은 가공단계별로 조금씩 그 중요도가 다르지만 일반적으로 이러한 기준들을 통하여 고품질 NC 가공데이터를 정의 할 수 있다. 즉, 주어진 정밀도를 만족하면서 미삭 또는 과삭이 없고 가공부하 및 가공여유가 균일하고, 가공시간이 짧은 가공데이터라 할 수 있다.

본 연구에서는 고품질 NC 데이터 정의를 일반적인 NC 가공데이터의 속성으로부터 NC 데이터를 평가할 수 있는 측정지표를 가공 정밀도, 가공부하, 가공시간, 가공여유로 추출하였고, 이런 측정지표를 통하여 NC 데이터를 평가하고자 한다.

2.1 정량화 측정지표 개발 시 고려사항

가공단계별 NC 가공을 위한 고품질 NC 데이터는 각 가공단계의 특성을 만족하여야 한다. 일반적으로 각 가공단계별 고려사항을 만족하는 NC 데이터를 선정하기 위해서는 측정지표에 대한 차별적 적용이 필요하다.

즉, 황삭 가공단계의 목적은 소재형상으로부터 중간 가공단계의 가공 전 형상을 가능한 빨리 생성하기 위한 것으로 불필요한 소재 볼륨을 제거하는 단계이다. 따라서 가공시간에 대한 가중치가 높고, 일정한 두께의 가공 여유량을 갖는 정삭 가공단계의 가공 전 형상을 생성하는 것을 목적으로 하는 중삭 가공단계에서는 가공부하와 가공여유의 균일도에 높은 가중치를 부여하여야 한다. 중삭 가공단계에서는 가공부하와 가공여유의 균일도에 높은 가중치를 부여하여야 한다. 정삭 가공단계의 경우, 요구되는 정밀도를 만족하는 최종 금형곡면

Table 1 Considerations in developing the measurement of NC-data quality

Machining stage	Measurement	Machining characteristics and considerations
Roughing	Machining precision	• Over-cut because of using big size cutters
	Machining time	• Minimizing rapid motion (G00) • Minor ac/deceleration effect
	Uniformity of cutting load	• Rapid increase of cutting load in sharp edge of tool path • Applying AFA function in this area
	Uniformity of machining allowance	• Not uniform case cause decreasing the uniformity of machining allowance and increasing machining time in semi-finishing stage
Semi-finishing and finishing	Machining precision	• Directly affect machining quality • Require rework if an error arise
	Machining time	• Difference in accordance with tool path pattern and statistic characteristics tool path • Taking into account ac/deceleration of CNC controllers
	Uniformity of cutting load	• Applying relief and pencil cutting in sharp corner areas and AFA functions • Determining the sequence of tool paths
	Uniformity of machining allowance	• Require machining allowance in semi-finishing stage for finishing

을 생성하며, 가공시간 단축을 위해서 비교적 큰 볼 엔드밀이 사용된다. 이러한 목적의 정삭에서의 고품질 NC 데이터는 정밀도와 가공여유의 균일도가 만족되어야 하며 또한 가공시간이 짧아야 한다. 이상과 같은 가공단계별 정량화 지표의 고려사항은 Table 1 에 나와 있다.

2.2 NC 가공데이터의 품질측정 지표

고품질 NC 데이터 선정을 위한 측정지표는 가공단계별로 다른 가중치를 갖는다. 황삭의 경우 불필요한 소재제거가 우선적으로 고려되는 반면 일반적으로 품질 측면에서 정밀도, 가공시간, 가공부하, 가공여유의 순으로 가중치를 갖게 된다. 따라서 가공단계에 따라서 4 개의 측정지표에 대한 가중치를 달리 적용하여야 하는 바, NC 가공데이터의 정량화 측정값은 각 측정지표별 정량화 수치에 가중치를 부여하여 계산한다.

일반적으로 가공영역에 대한 가공단계별 NC 가공데이터는 다수개가 존재하고 일정한 영역을 가공하기 위한 후보 NC 가공데이터들을 NC 가공데이터 셋트(set)라 한다. 이 때, i 번째 NC 가공데이터의 품질평가 값은 식 (1)과 같이 측정지표의 정량화 값에 가공단계별 가중치를 고려하여 평가한다.

$$S(i) = W_p(i) \times V_p(i) + W_T(i) \times V_T(i) + W_L(i) \times V_L(i) + W_A(i) \times V_A(i) \quad (1)$$

여기서, $S(i)$ = i 번째 NC 가공데이터의 정량화 값이고, $\{W_p, W_T, W_L, W_A\}$ 는 정밀도 가중치, 가공시간 가중치, 가공부하 균일도 가중치, 가공여유 균일도 가중치이며 V_p, V_T, V_L, V_A 는 i 번째 NC 데이터의 정밀도, 가공시간, 가공부하 균일도, 가공여유 균일도 정량화 점수이다.

황삭가공의 경우 대부분의 상업용 CAM 시스템에서 과삭이 발생하지 않는 공구경로를 생성한다고 가정할 때, 측정지표별 가중치는 $\{W_p, W_T, W_L, W_A\} = \{0.1, 0.4, 0.3, 0.2\}$ 와 같이 선택할 수 있다.

중삭 가공단계의 경우 정삭가공 여유가 있고 황삭가공 후의 불균일한 소재를 절삭 가공을 위하여 균일하게 가공한다고 볼 때 측정지표별 가중치는 $\{W_p, W_T, W_L, W_A\} = \{0.3, 0.3, 0.2, 0.2\}$ 와 같이 선택할 수 있다.

정삭 및 잔삭 가공단계의 경우 가공여유는 가공정밀도에 묻히고 가공정도가 이상한 경우에는 재작업이 필수적이기 때문에 제외 중요하다고 할 수 있다. 또한, 갑작스런 가공부하의 증가는 가공면 품질 저하를 수반하고 공구가 손상되는 현상이 발생한다. 따라서 측정지표별 가중치는 $\{W_p,$

W_T, W_L, W_A } = {0.5, 0.3, 0.2, 0.0}와 같이 선정할 수 있다.

이상과 같이 각 가공단계별 가중치를 가공단계별 특성에 맞게 조정하는 것이 필요하다. 그러나 가공소재 및 현장의 특수성을 반영할 수 있도록 가중치를 사용자 입력에 따라 조정할 수 있도록 하는 것이 필요하다.

2.3 가상 시뮬레이션을 이용한 정량화

가공 정밀도 및 가공여유 균일도의 정량화 수치는 절삭 가공 시뮬레이션을 통하여 가공 후 남게 되는 과삭 또는 미삭 영역에 대하여 일정한 간격의 Z-map 을 구성하였을 때, Z 축 값의 높이와 설계된 곡면의 Z 축 값을 비교하여 구할 수 있다. 본 연구에서는 가공 시뮬레이션으로 Z-MASTER 를 사용하여 과삭 또는 미삭 영역의 오차를 측정하였다.

Fig. 1 에서 보는 바와 같이 가공 후 형상은 가공단계별 설계 형상과 가공오차를 수반한다. 이 두 형상에 대하여 불리언(boolean) 오퍼레이션을 수행하면 Fig. 2 와 같은 형상을 얻을 수 있다.

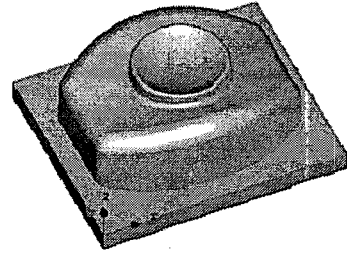
이러한 과정을 xy 평면상에 일정한 간격으로 격자를 만들고, 각 격자점에서의 z 축 값을 저장한 것을 Z-map difference 라 하고, 본 연구에서는 이와 같이 일정한 간격으로 Z-map 을 구성하였을 때 각 격자점에서의 Z 축 값을 비교하여 가공오차를 넘어 과삭된 영역이 존재하는지 여부에 따라서 가공 정밀도의 측정값을 0 과 100 으로 정밀도 측정값을 구한다.

$$\begin{aligned}
 V_p(i) &= i \text{ 번째 NC 데이터의 정밀도 함수} \\
 &= 100 \quad \text{if tolerance is satisfied} \\
 &= 0 \quad \text{otherwise}
 \end{aligned} \tag{2}$$

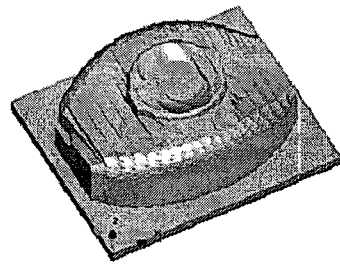
NC 데이터 세트에서 i 번째 데이터의 가공여유 균일도는 식 (3)과 같이 제일 작은 값($L_{A,\min}$)을 100 으로 산정하여, 상대 평가를 한다.

$$\begin{aligned}
 V_A(i) &= i \text{ 번째 NC 데이터의 가공여유 점수} \\
 &= L_{A,\min} / L_{A,i} \times 100
 \end{aligned} \tag{3}$$

가공부하의 정량화는 정밀도 및 가공여유 균일도 측정과 같이 절삭 시뮬레이션을 이용하여 측정할 수 있다. NC 코드를 분석하면 공구의 이동에 따라서 피삭재가 제거되는 볼륨(volume)을 계산할



(a) Final shape of roughing



(b) Cutting simulation of rough-cut machining

Fig. 1 Shapes for boolean operation

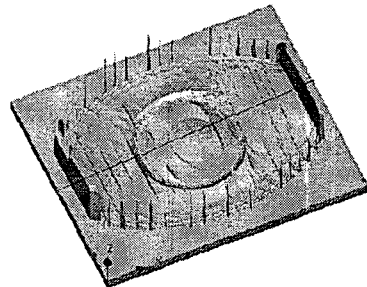


Fig. 2 Shape of boolean operation

수 있다. NC 코드를 분석하면 공구의 이동에 따라서 피삭재가 제거되는 볼륨(volume)을 계산할 수 있고, 일정 가공경로에 대하여 제거된 볼륨을 누적하여 공구경로 길이로 나누면 단위가공길이 당 소재제거율(MRR: Material Remove Rate)을 구할 수 있다.

본 연구에서는 절삭 시뮬레이션으로 Z-MASTER 를 사용하며, 연구를 위하여 절삭 시뮬레이션 중에 제거되는 소재 볼륨을 텍스트 파일로 출력할 수 있게 하였다.

NC 가공데이터 세트에서 i 번째 NC 가공데이

터의 가공부하 균일도 값은 가공여유 균일도 정량화와 같은 방법으로 NC 데이터 셋트에서 제일 작은 가공부하 값($L_{L,min}$)을 기준으로 상대평가를 이용하여 계산한다.

$$V_L(i) = i \text{ 번째 NC 가공데이터의 공구부하점수} \\ = L_{L,min} / L_{L,i} \times 100 \quad (4)$$

3. 가공시간의 평가

3.1 NC 블록의 가공시간 계산

두 블록사이에서의 이송속도 변화를 세밀히 관찰하면, 두 블록이 이루는 사이각, 블록길이, 명목 이송속도가 두 블록사이에서의 이송속도 변화와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 즉, 현재 블록의 길이가 짧은 경우 최소경유이송속도는 현재 블록길이와 두 블록의 사이각의 함수형태로 표현할 수 있고, 블록길이가 긴 경우 최소경유이송속도는 두 블록의 사이각과 명목 이송속도의 함수로써 표현할 수 있다. 이러한 함수적인 관계를 명확하게 규명하기 위해서는 이송속도의 변화를 측정하고 기록할 수 있는 장비가 필요하지만, 아직까지 이러한 장비가 쉽게 제공되지 않고 있다¹³. 따라서 Heo¹³가 제안한 가공시간 예측모델을 사용하여 가공시간을 정량화 한다.

동일한 길이의 두 NC 블록에 대하여, 한 블록은 일정한 이송속도(F)로 움직이고 다른 블록은 선형적인 이송속도로 움직인다고 가정할 때, 전자는 명목 가공시간을 나타내고 후자는 실제 가공시간을 의미하게 된다. Fig. 3 에서 음영된 부분의 면적은 공구의 실제 이송거리를 나타내고, 시간 축에서 음영된 부분의 거리가 실제 가공시간을 나타낸다. 또한, 공구가 일정한 거리를 이동할 때 가. 감속

상수가 증가할수록 명목 가공시간(T_N)과 실제 가공시간(T_A)의 차이가 감소한다는 것을 알 수 있다. 고속가공을 지원하는 대부분의 머시닝 센터는 급속한 가. 감속기능을 가지고 있기 때문에, 특히 블록 길이가 짧은 경우에 가. 감속효과에 의해서 명목 가공시간과 실제 가공시간의 차이가 많이 나타난다. 등속구간이 존재하지 않는 블록길이가 짧은 경우에 있어서, 가공시간 모델은 가. 감속 구간에서의 이송속도 모델이 선형이고 동일한 가속도 상수값을 갖는다($a_{acc} = d_{dec}$)는 가정으로부터 유도할 수 있다. i 번째 블록에서 가. 감속 구간의 길이와 절삭시간은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$d_{ai} = \frac{F(i)^2 - F_m(i-1)^2}{2a} \quad (5)$$

$$d_{di} = \frac{F(i)^2 - F_m(i)^2}{2a} \quad (6)$$

$$d_{ui} = d_i - d_{ai} - d_{di} \quad (7)$$

$$t_i = t_{ai} + t_{ui} + t_{di} \\ = \frac{F(i) - F_m(i-1)}{a} + \frac{d_{ui}}{F(i)} \\ + \frac{F(i) - F_m(i)}{a} \quad (8)$$

여기서, d_i 는 i 번째 블록의 길이, $F_m(i)$, $F_m(i-1)$ 은 (i-1)번째, i 번째 최소경유이송속도, $F(i)$ 는 i 번째 블록의 이송속도, a 는 가. 감속도 상수, t_{ai} , t_{di} 는 i 번째 블록의 가속과 감속 시간이고, t_{ui} 는 등속시간이다.

3.2 NC 블록의 분류

NC code 는 수많은 짧고 긴 NC 블록으로 구성되어 있으며, 개개의 NC 블록의 가공시간은 블록 길이, 선. 후 블록과의 사이각, 최소경유이송속도, 명목이송속도, NC 장비의 기계적 특성값을 이용하여 계산할 수 있다. NC 장비의 기계적 특성이 알려져 있다는 가정 하에 NC 블록의 가공시간은 다음의 네 가지 경우로 구분하여 계산되어진다.

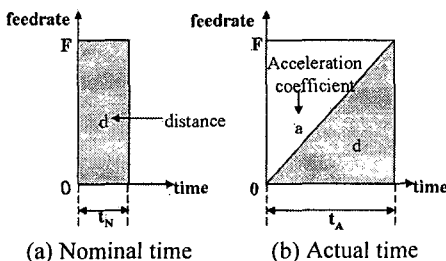


Fig. 3 Nominal time and actual time in NC block

Case 1 모든 구간이 존재 하는 경우: 블록 내에 가속구간, 등속구간 및 감속구간이 모두 존재하는 경우 Fig. 4(a)로서 식 (8)로부터 절삭시간 t_i 를 식 (9)와 같이 구할 수 있다.

$$t_i = \frac{2F(i) - F_m(i-1) - F_m(i)}{a} + \frac{d_i}{F(i)} - \frac{2F^2(i) - \{F_m^2(i-1) + F_m^2(i)\}}{2aF(i)} \quad (9)$$

Case 2 가속구간과 감속구간 만 존재하는 경우: 블록은 가속구간과 감속구간 만으로 구성된 경우 Fig. 4(b)로서, 이송속도가 증가하다가 명목 이송속도에 도달하기 전에 감속하기 시작한다. 이 경우 블록의 가공시간은 다음과 같이 계산된다.

$$t_i = \frac{2F_M(i) - F_m(i-1) - F_m(i)}{a} \quad (10)$$

여기서, $F_M(i) = [ad_i + 0.5\{F_m^2(i-1) + F_m^2(i)\}]^{1/2}$ 이다.

Case 3: 가속구간 만 존재하는 경우: Fig. 4(c)로서 현재 블록의 최소경유이송속도가 전 블록의 최소경유이송속도보다 매우 클 때 나타난다. 이 경우 이송속도가 계속 증가하더라도 예측 모델에 의해 계산된 최소경유이송속도에는 도달할 수 없기 때문에, 최소경유이송속도는 증가될 수 있는 최대 이송속도 $F_M(i)$ 로 대체되며 가공시간은 다음과 같이 계산된다.

$$t_i = \frac{F_M(i) - F_m(i-1)}{a} \quad (11)$$

여기서, $F_M(i) = F_m(i-1) + [2ad_i + \{F_m^2(i-1)\}]^{1/2}$ 이다.

Case 4 감속구간만 존재하는 경우: Fig. 4(d)와 같이 감속구간만 존재하는 경우로서 현재 블록의 최소 이송속도가 전 블록의 최소 이송속도보다 매우 작을 때 나타난다. 이 경우 이송속도가 계속 감소하더라도 예측 모델에 의해 계산된 최소 이송속도까지 떨어질 수 없기 때문에, 최소 이송속도는 가장 낮은 이송속도 F_M^* 로 대체되며 가공시간은

다음과 같이 계산된다.

$$t_i = \frac{F_m(i-1) - F_M^*(i)}{a} \quad (12)$$

여기서, $F_M^*(i) = F_m(i-1) - [2ad_i + \{F_m^2(i-1)\}]^{1/2}$ 이다.

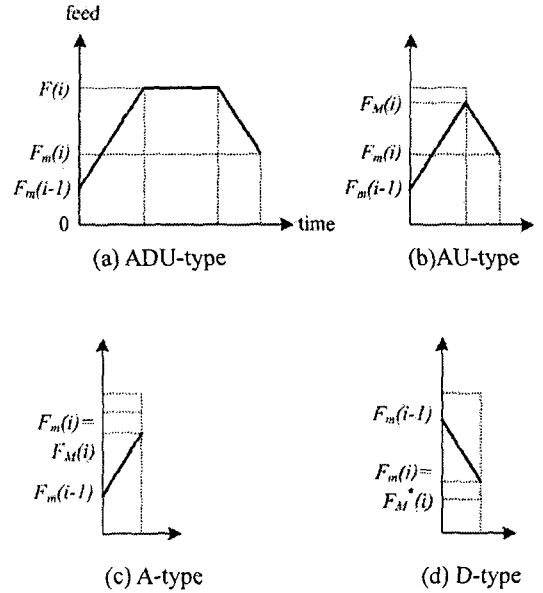


Fig. 4 Four Cases of the federate behavior

3.3 가. 감속을 고려한 가공시간 예측

본 연구에서는 NC 블록 형태에 따른 4 가지 이송속도에 대해서 가공시간을 계산할 수 있는 반복 알고리즘을 제안한다 Fig. 5. 가공시간 계산의 첫 번째 단계에서는 총 가공시간과 가공 시작점에서의 최소 이송속도($F_m(0)$)를 초기화한다. 두 번째 단계에서는 현재 블록의 가공시간을 계산하는데 필요한 변수들(블록길이(d_i), 최소경유이송속도($F_m(i)$), 블록의 가. 감속 구간 거리(d_{ai} , d_{di}))을 계산한다.

특히, 두 블록 사이의 최소경유이송속도($F_m(i)$)는 현재 블록에서 감속구간의 시간과 다음 블록에서 가속구간의 시간을 결정하는 주요 변수이고, 실제 가공시간을 예측하기 위해서는 반드시 필요하다. 그러나, 최소경유이송속도의 결정에 영향을 미치는 인자들에 대한 정보가 없기 때문에 가공시간 예측 모델의 수립을 위해서는 많은 실험

과 관찰이 필요하며 Heo¹³ 가 제안한 다음과 같은 회귀식을 사용하도록 한다.

Case 1 인 경우 :

$$\begin{aligned}
 F_m(\theta, F) = & 0.00373558 + 0.00095021 \theta \\
 & + 0.00042856 \theta^2 + 0.00029782 \theta^3 \\
 & + 0.00034261 \theta^4 + 0.9987780 F \\
 & - 0.01076820 \theta F - 0.110314 \theta^2 F \\
 & + 0.00354889 \theta^3 F + 0.00000239 F^2 \\
 & + 0.00000492 \theta F^2 - 0.00000542 \theta^2 F^2 \\
 & - 0.0000000237796 F^2
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

Case 2,3,4 인 경우:

$$F_m(d_a^*, \theta) = -191 + 379 d_a^* + 42.1 \theta \tag{14}$$

여기서, d_a^* =가속구간의 거리, θ =두 블록의 사이 각(radian)이다.

4. 시스템 구현 및 검증

본 연구는 기존의 상업용 CAM 시스템을 최대한 사용하고 숙련되지 않은 CAM 엔지니어도 사용 가능한 의사결정지원시스템을 구현하도록 하였다. NC 데이터 선정 절차에 따라서 사용자와 시스템의 상호작용을 보면 먼저, 1)사용자의 가공전략 입력에 따라서 본 연구의 의사결정지원시스템은 NC 데이터 생성전략을 생성하여야 한다. 2)생성전략에 따라서 사용자가 기존의 CAM 시스템을 이용하여 NC 데이터를 생성하게 되고, 시스템에서는 생성된 NC 데이터에 대하여 가공단계별, 가공영역별 NC 데이터 세트를 생성한다. 3)생성된 NC 데이터 세트에 대하여 사용자는 가공단계별(가공영역별) NC 데이터 선정을 위한 측정지표를 선정하고, 현장 경험을 반영한 측정지표별 가중치를 입력한다. 선정된 측정지표와 가중치를 통하여 시스템에서는 각 측정지표별 정량화 값을 계산하고, 측정지표별 정량화 값의 가중합을 계산하여 NC 데이터 평가를 위한 정량화 값을 출력한다. 4)출력된 NC 데이터별 정량화 값에 대하여 사용자가 최적의 NC 데이터를 가공단계별로 선정하면 시스템은 선정된 NC 데이터에 대하여 실제 작업이 이뤄질 수 있도록 작업지시서를 출력한다. 지금까지 기술된 고품질 선정을 위한 의사결정지원시스템의 흐름도는 Fig. 6 에 나타나 있다.

본 연구에서 개발한 시스템은 Delphi 5.0 을 이용하여 구현하였으며, 데이터베이스로는 관계형 데이터베이스인 MS 사의 Access 를 사용 하였다. NC 데이터 생성을 위해서는 CATIA Ver 5.8 을 사용하였고, 가공 시뮬레이션을 위해서는 Z-MASTER 를 사용하였다.

본 연구에서 개발한 시스템을 사용한 가공단계별 NC 데이터 선정과정은 다음과 같다<Fig. 6>.

- 단계 1. 가공파트와 가공단계별 단위공정 입력.
- 단계 2. 기존 CAM 스템을 이용한 NC 데이터 생성.
- 단계 3. NC 데이터 세트를 생성.
- 단계 4. 정량화 측정지표 및 가중치를 선택.
- 단계 5. 정량화 측정지표별 측정값을 계산.
- 단계 6. 가공 단계별 NC 데이터 선정을 선정.
- 단계 7. 작업지시서를 출력.

본 연구에서 개발한 시스템의 프로토타입을 검증하기 위하여 카메라 외형을 가공하기 위한 코

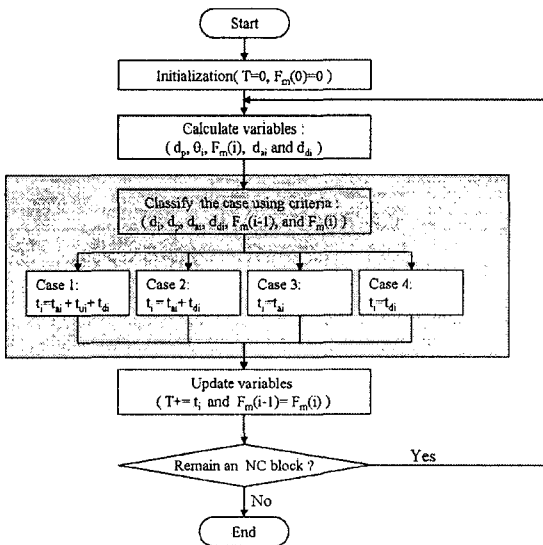


Fig. 5 Recursive logic for estimating the machining time

세 번째 단계에서는 정의된 기준에 의해 이송 속도 형태를 구분하고, 해당 Case 에서 블록의 가공시간(t_i)을 계산한다. 다음 단계에서는 다음 블록의 가공시간 계산을 위해서 총 가공시간과 최소 이송속도를 갱신한다. 마지막 단계에서는 종료조건을 확인하는 것으로 계산할 블록이 없으면 전체 알고리즘을 종료하게 된다.

어와 캐비티 형상을 준비하였다. 카메라 코어와 캐비티의 형상은 Fig. 7, Fig. 8 과 같고, Fig. 9 는 가공 파트와 가공단계별 단위공정을 입력과정에서 가공 영역을 입력하는 사용자 화면을 보여주고 있다.

NC 데이터 생성 전략은 가공단계별로 공구경로 패턴만을 변화시켰을 때 Table 2 와 같고 Table 3 은 가공단계별 측정지표의 정량화 값 중에서 카메라 캐비티 황삭 가공단계의 정량화 측정지표 값을 보여주고 있다. Table 3 에서 NC 데이터의 정량적 평가를 위해서 정밀도, 가공시간, 가공부하의 균일도, 가공여부의 균일도, 가공시간을 측정지표로 선정하였고, 각 측정지표별 가중치는 $\{W_p, W_T, W_L, W_A\} = \{0.1, 0.4, 0.3, 0.2\}$ 이다.

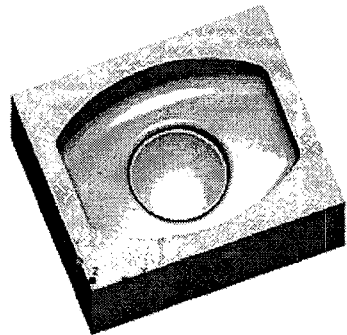


Fig. 8 Shape of camera cavity

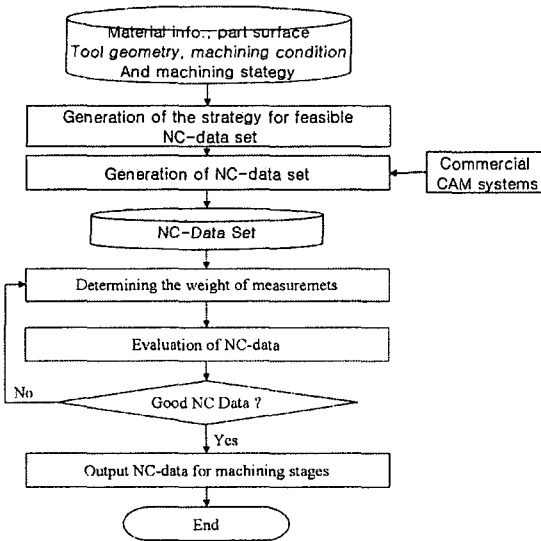


Fig. 6 Functional flow of the support system

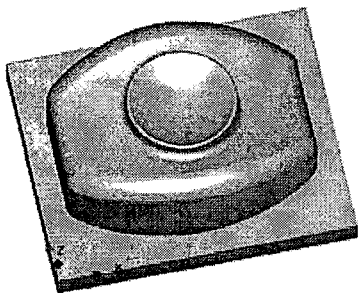


Fig. 7 Shape of camera core

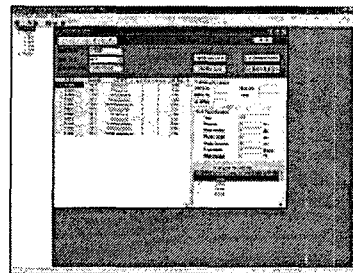


Fig. 9 Input screen for machining areas

각 측정지표별 가중치는 $\{W_p, W_T, W_L, W_A\} = \{0.1, 0.4, 0.3, 0.2\}$ 이다. 각 측정지표별 정량화 수치의 가중합은 Table 3 에서 보는 바와 같이 zoffet 방법이 가장 좋음을 보여 주고 있다.

5. 결론

본 연구에서는 숙련되지 않은 CAM 엔지니어도 좋은 NC 데이터를 선정할 수 있도록 지원하는 시스템 개발과 생산성 향상 측면에서 가능한 NC 데이터를 비교 분석함으로써 현장의 상황을 반영한 최적의 NC 데이터를 선정하는 시스템을 개발하였다.

NC 데이터 평가를 위하여 고품질 NC 데이터를 정의하고, 정의로부터 NC 데이터 평가 측정지표를 가공 정밀도, 가공여유 균일도, 가공부하 균일도, 가공시간을 선정하였다. 또한 측정지표별로 정량화 할 수 있는 방법을 제시하였다. 정량화 측정지표 중에서 가공정밀도, 가공여유, 가공균일도는 상용 CAD/CAM 소프트웨어인 Z-master 를 사용

Table 2 Generation strategy of NC-data for cavity mold of a camera

Machining Stage	Machining precision	Machining allowance	Cutter		Machining area	Tool path topology	Feed rate (mm/min)	RPM	Depth/Interval
			Geo.	Dia.					
Roughing	0.2	0.5	FEM	16Ø	All region	one-way, contour	500	2,000	2mm/5mm
Semi-finishing	0.1	0.2	BEM	12Ø	All region	one-way, contour	1,000	2,500	1mm/1mm
Finishing	0.01	0.0	BEM	10Ø	Camera body	one-way, contour radial type	2,000	3,000	0.5mm/0.5mm
				4Ø	Inside lens	One-way, contour	1,000	2,500	
				4Ø	Between lens and body	One-way, contour	500	1,500	

Table 3 Measurements of NC-data for cavity mold of a camera in roughing stage

No.	NC-data	Machining precision		Machining time (min)	Cutting load			Machining allowance	
		Weighted average	# of gouges		Average	Variance	Weighted average	Average	Variance
1	Oneway	0.0378	0	93.094	27.421	10.80	1.654	0.755708	1.10393
2	Contour	0.0378	0	45.439	14.812	7.54	1.377	0.755708	1.10393
3	Zoffset	0.0222	0	53.918	15.852	16.29	2.700	0.443862	0.78506
4	Zplane	0.0219	0	53.989	27.533	36.73	5.421	0.437687	0.77941

하여 가공 시뮬레이션한 결과를 정량화 하였으며, 가공시간의 정량화는 NC 컨트롤러의 가. 감속 상수, 급송이송 속도, 이송속도 타입 등의 기계적인 특성을 반영한 가공시간 예측모델을 사용하여 예측하였다.

본 연구에서 제안한 시스템의 검증을 위해서 카메라 캐비티 형상을 이용하여 좋은 NC 데이터를 선정할 수 있음을 보였으며, 본 연구의 응용으로는 프레스 금형의 NC 데이터 선정에 적용할 수 있다. 추후 연구사항으로 상용 CAM 시스템의 효율적 사용을 위하여 본 연구에서 개발한 시스템과의 호환성을 위한 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 인력양성사업의 연구 결과로 수행되었음.

참고문헌

1. Choi, B. K. and Park, S. C., "A pair-wise offset algorithm for 2D point-sequence curve," Computer-

Aided Design, Vol. 31, pp. 735-745, 1999.

2. Choy, H. S. and Chan, K. W., "A Corner-looping based tool path for pocket milling," Computer-Aided Design, Vol. 35, pp. 155-166, 2003.

3. Kim, B. H. and Chok, B. K., "Machining efficiency comparison direction-parallel tool path with contour-parallel tool path," Computer-Aided Design, Vol. 34, pp. 89-95, 2002.

4. Ko, Jeong Hoon, Yun, Won Soo and Cho, Dong-Woo, "Off-line feed rate scheduling using virtual CNC based on an evaluation of cutting performance," Computer-Aided Design, Vol. 35, pp. 383-393, 2003.

5. Lee, E., "Contour offset approach to spiral toolpath generation with constant scallop height," Computer-Aided Design, Vol. 35, pp. 511-518, 2003.

6. Choi, B. K. and Jerard, Robert B., "Sculptured Surface Machining, Elsevier," pp. 94-146, 1999.

7. Yazar, Z., Koch, K. F., Merrick, T. and Altan, T., "Feed rate Optimization based on Cutting Force Calculation in 3-Axis Milling of Dies and Molds with Sculptured Surfaces," International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 34, No. 3, pp.

- 365-377, 1994.
8. Bae, Seok H. and Ko, Key Hoon, Kim, Bo H. and Choi, B. K., "Automatic Feedrate Adjustment for Pocket Machining," *Computer-Aided Design*, Vol. 35, No. 4, pp. 495-500, 2003.
 9. Cho, D. and Yang, M. Y., "Cornering and Feed-Rate Determination for Constant Max. Resultant Cutting Force with Ball-End Mill," *KSME*, Vol. 15, No. 5, pp. 1572-1586, 1991.
 10. Fuh, K. H. and Hwang, R. M., "A Predicted Milling Force Model for High-Speed End Milling Operation," *Int. J. Mech. Tools Manufact.*, Vol. 37, No. 7, pp. 969-979, 1997.
 11. Bae, S. H., Ko, K. H. and Choi, B. K., "Two-dimensional Chip-load Analysis for Automatic Feedrate Adjustment," *Transactions of the society of CAD/CAM Engineers*, Vol. 5, No. 2, pp. 155-167, 2000.
 12. Erkorkmaz, Kaan and Altintas, Yusuf, "High speed CNC system design. Part I: jerk limited trajectory generation and quintic spline interpolation," *International journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 41, pp. 1323-1345, 2001.
 13. Heo, Eun Young, Kim, Bo Hyun and Kim, Dong Won, "Estimation of Sculptured Surface NC Machining Time," *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, Vol. 8, No. 4, pp. 254-261, 2003.
 14. Montreal, Manuel and Rodriguez, Ciro A., "Influence of tool path strategy on the cycle time of high-speed milling," *Computer-Aided Design*, Vol. 35, pp. 395-401, 2003.
 15. Maropoulos, P. G., Baker, R. P. and Paramor, K. Y. G., "Integration of tool selection with design Part 2: Aggregate machining time estimation," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 107, pp. 135-142, 2000.
 16. Yan, X., Shirase, K., Hirao, M. and Yasui, T., "NC program evaluator for higher machining productivity," *International journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 39, pp. 1563-1573, 1999.