

고품질의 사출금형 NC 가공 데이터 선정을 위한 의사결정지원시스템 개발

허은영¹, 김보현², 김동원¹, 조민호¹

¹전북대학교 산업정보시스템공학과 / ²한국생산기술연구원 생산정보팀

Development of a decision support system for high quality NC data selection in mold manufacturing

Eun-Young Heo¹, Bo-Hyun Kim², Min-Ho Cho¹, Dong-Won Kim¹

¹Department of Industrial and Information Systems Engineering, Chonbuk National
University, Jeonju, 561-756

²Digital manufacturing system center, Korea Institute of Industrial Technology, Chonan,
330-825

Abstract

Mold industry has the difficulty to employ young people as the successors of the skilled workers, because it has been regarded as a 3D-jobs(dirty, difficult, and dangerous). To overcome this situation, thus, manufacturing technologies maintained in the factory should be systemized, and engineering systems should support unskilled workers to do their jobs without any difficulty. As a research of developing the supporting system, 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.

Keyword : CAM operation, NC-data, mold machining

1. 서론

NC가공에 있어서 공정계획이란 부품의 가공영역, 지그와 툴, 가공순서, 그리고 공구의 이송률이나 공구회전속도와 같은 가공조건을 결정하는 것이라 할 수 있다. 일반적으로 이런 조건들은 CAM가공에 대한 풍부한 경험과 지식을 갖춘 숙련공에 의해서 결정되어지고 금형가공을 위한 데이터들은 상용 CAM시스템을 이용하여 생산되고 검증되어 진다. 이렇게 생성된 정보들은 선후 가공 단계에 있어서 상호 연관성을 갖게 되고 선행공정의 잘못된 NC 가

공데이터는 후행공정에 영향을 끼쳐 추가적인 공수를 유발한다.

금형 가공단계의 분류에 대해서는 많은 문헌으로 발표되어 있지만, 본 연구에서는 CIM (1996)과 Kim(1997)에서 구분하고 있는 5 단계가공-황삭, 중삭, 정삭, 잔삭, 특징형상 및 방전가공-을 가정한다. 이러한 5단계 구분 방법은 자동차 패널류의 프레스 금형 및 가전제품 외관 등 사출금형 가공에서 가장 많이 적용되고 있고, 한 개의 공구로 정의된 가공영역 내부를 특정한 패턴으로 가공하는 것을 단위가공 공정 (UMO : unit machining operation)이라 한다.

<Figure 1>에서 보는 바와 같이 금형 가공공정은 원소재를 입력받아 원하는 최종 형상을 만들어 내는 과정이라 할 수 있고, 각 가공단계는 다시 가공영역에 및 가공방법에 따라서 많은 단위가공공정으로 구성되어 진다.

원소재를 최종 형상으로 NC 가공을 하기 위해서 공정계획을 얼마나 효율적으로 수행하

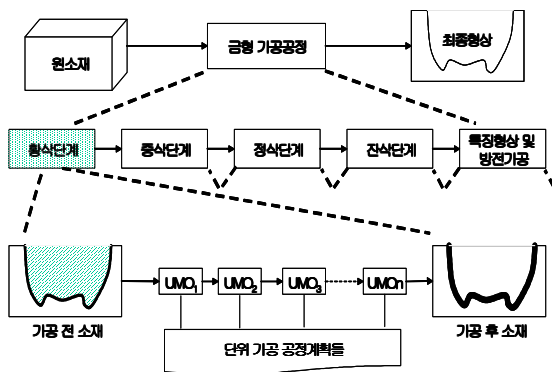


Figure 1. 금형제작 가공단계

는가에 따라서 NC 가공의 이점을 살릴 수 있으며, 공정계획의 결과로서 NC 가공데이터가 생성된다. 현재까지 NC 가공데이터 품질측정에 관한 연구는 없었지만 가공데이터의 품질과 가공성을 향상시키기 위한 연구는 꾸준히 이루어져왔다. 일반적으로 NC 가공에 영향을 미치는 요소들은 많이 있지만, 공구 이송속도는 생산성 및 가공성에 중대한 영향을 끼친다[4]. 기존연구의 대부분은 절삭력 모델을 수립하고 가공 시 발생하는 절삭력이 주어진 범위를 넘지 않도록 공구의 이송속도를 조절하는 방법을 채택하고 있다[5]. 기존의 절삭력 예측 모델은 가공 중 가공부하를 예측하여 적절하게 공구 이송속도를 조절하기 위하여 연구되었으며, 부하가 많이 걸릴 것으로 예

상되는 부위를 사전에 가공하는 릴리프 가공과 가공 중에 부하를 예측하여 공구 이송속도를 조절하는 이송율자동조절(automatic Feedrate adjustment)과 관련한 연구가 진행되었다[6,7].

그러나 NC 코드로부터 가공 성능을 평가할 수 있는 매개변수를 모두 추출하고 절삭조건과 절삭력을 예측하면, 실제 절삭공정을 매우 정확하게 예측할 수 있다. 이를 통하여 공구와 공작물간의 간섭을 예방하고, 절삭조건 및 가공시간을 최적화하면 생산비용의 절감과 제품개발 기간의 단축 및 제품 품질의 향상을 동시에 이룰 수 있다. 이를 위해서 NC 코드로부터 실제 가공시 발생하는 가공조건을 쉽고 정확하게 해석할 수 있는 알고리즘들이 개발되나, 본 연구에서는 NC 데이터 품질 정량화 및 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 비숙련가도 고품질의 NC데이터를 쉽게 생성하고 생산성을 높일 수 있는 의사결정지원시스템을 제안한다.

2. 고품질 NC데이터

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 다르겠지만 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.

Table 1. 가공 단계별 측정지표의 특징 및 평가방법

가공단계	측정지표	가공상의 특징 및 평가방법
황삭	정밀도	• 대구경의 공구를 사용하므로 과삭 영역이 있는지 여부
	가공시간	• 가감속의 영향이 거의 없음 • G00 이동 회수의 최소화
	가공부하의 균일도	• 공구경로가 꺾이는 부위에서의 갑작스런 가공부하의 증가고려 (AFA 적용)
	가공여유의 균일도	• 불균일할 경우 후행 중삭가공에서 부하의 불 균일 및 가공시간 증대 초래
중·정삭	정밀도	• 정삭의 경우 가공품질과 직접적인 영향이 있음
	가공시간	• 공구경로 패턴 및 공구경로의 특성에 따라 가공시간의 차이가 있음. • 컨트롤러의 가감속의 영향고려
	가공부하 균일도	• 직각부위, 코너부위에서 릴리프 및 펜슬가공 적용 • 공구경로 순서결정 및 AFA 등의 적용.
	가공여유의 균일도	• 중삭의 경우 정삭을 위한 가공여유가 필요함

본 연구에서는 고품질 NC 가공데이터 정의와 속성으로부터 NC 가공데이터를 평가할 수 있는 측정지표를 가공 정밀도, 가공부하, 가공시간, 가공여유로 추출하였고, 추출된 측정지표를 통하여 NC 가공데이터를 평가하고자 한다.

2.1 지표 개발 시 고려사항

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

즉, 황삭 가공단계의 목적은 소재형상으로부터 중간 가공단계의 가공 전 형상을 가능한 빨리 생성하기 위한 것으로 불필요한 소재 불륨을 제거하는 단계이다. 따라서 가공시간에 대한 가중치가 높다. 일정한 두께의 가공 여유량을 갖는 정삭가공의 가공 전 형상을 생성하는 것을 목적으로 하는 중삭 가공단계에서는 가공부하와 가공여유의 균일도에 높은 가중치를 부여하여야 한다. 정삭 가공단계의 경우, 요구되는 정밀도를 만족하는 최종 금형곡면을 생성하며, 가공시간 단축을 위해서 비교적 큰 볼 엔드밀이 사용된다. 이러한 목적의 정삭에서의 고품질 NC 데이터는 정밀

가공시간이 짧아야 한다. 이상과 같은 가공단계별 정량화 지표의 특징은 <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 측정지표들의 가중치를 달리 적용하여야 하는 바, NC 가공데이터의 정량화 측정값은 각 측정지표별 정량화 수치에 가중치를 부여하여 계산한다(식 1). 일반적으로 가공영역에 대한 가공단계별 NC 가공데이터는 다수개가 존재하고 일정한 영역을 가공하기 위한 후보 NC 가공데이터들을 NC 데이터 세트(set)라 한다. 데이터 세트에서 *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)*는 *i*번째 NC 가공데이터의 정량화 값이고, {*W_p*, *W_T*, *W_L*, *W_A*}는 정밀도 가중치, 가공시간 가중치, 가공부하 균일도 가중치, 가공여유 균

도와 가공여유의 균일도가 만족되어야 한다. 또한

일도 가중치이며, V_p, V_T, V_L, V_A 는 i 번째 NC 데이터의 정밀도, 가공시간, 가공부하 균일도, 가공여유 균일도 정량화 측정값이다.

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

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

정삭 및 잔삭 가공단계의 경우 가공여유는 가공정밀도에 묻히고, 가공정도가 이상한 경우에는 재작업이 필수적이기 때문에 정밀도는 제일 중요하다 할 수 있다. 또한, 갑작스런 가공부하의 증가는 가공면 품질 저하를 수반하고 공구가 손상되는 현상이 발생한다. 따라서 측정지표별 가중치는 $\{W_p, W_V, W_L, W_A\} = \{0.5, 0.3, 0.2, 0.0\}$ 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.

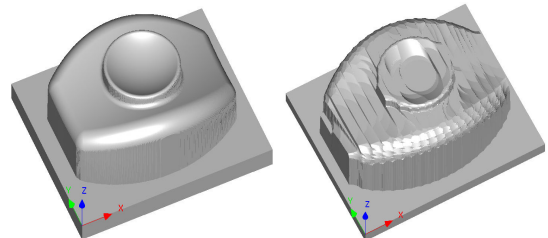
2.3 가상 시뮬레이션을 이용한 정량화

가공 정밀도 및 가공여유 균일도의 정량화는 절삭 가공 시뮬레이션을 통하여 가공 후 남게 되는 과삭 또는 미삭 영역의 대하여 일정한 간격의 Z-map을 구성하였을 때, Z축 값의 높이와 설계된 곡면의 Z축 값을 비교한다.

<Figure 2>에서 보는 바와 같이 가공 후 형상은 가공단계별 설계 형상과 가공오차를 수반한다. 이 두 형상에 대하여 불리언(boolean) 오퍼레이션을 수행하면 <Figure 3>과 같은 형상을 얻을 수 있다. 이러한 과정을 xy평면상에 일정한 간격으로 격자를 만들고, 각 격자점에서의 Z축 값의 차이를 저장한 것을 Z-map difference라 한다. 본 연구에서는 이와 같이 일정한 간격으로 Z-map을 구성하였을 때 각 격자점에서의 Z축 값을 비교하여 가공오차를 넘어 과삭된 영역이 존재하는지 여부에 따라서 (식 2)와 같이 가공정밀도의 측정값을 0과 100으로 정밀도 측정값을 구한다.

i 번째 NC 데이터의 정밀도 점수 = $V_p(i)$

$$V_p(i) = 100 \quad \text{if tolerance is satisfied} \\ = 0 \quad \text{otherwise} \quad (2)$$



(a) 설계 형상 (b) 가공 후 형상
Figure 2. 설계형상과 황삭 가공 후 형상

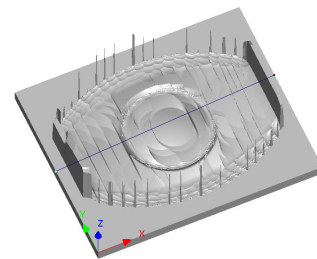


Figure 3. 불리언 오퍼레이션 결과

NC 데이터 세트에서 i 번째 가공데이터의 가공여유 균일도, $V_A(i)$ 는 (식 3)과 같이 세트 중 제일 작은 값($L_{A, \min}$)을 100으로 산정하여, 상대 평가를 한다.

$$V_A(i) = (L_{A, \min} / L_A(i)) \times 100 \quad (3)$$

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 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-MASTER를 사용하였으며, 연구를 위하여 절삭 시뮬레이션 중에 제거되는 소재 볼륨을 텍스트 파일로 출력할 수

있게 하였다.

NC 가공데이터 세트에서 i 번째 NC 가공데이터의 가공부하 균일도 값, $V_L(i)$ 는 가공데이터 세트에서 제일 작은 가공부하 값($V_{L, \min}$)을 기준으로 (식 4)와 같이 상대평가를 이용하여 계산한다.

$$V_L(i) = (V_{L, \min} / V_L(i)) \times 100 \quad (4)$$

2.4 가공시간의 평가

NC 가공데이터의 가공시간은 실제 가공을 통하여 측정하기에는 소재의 낭비나 기계사용으로 인한 시간과 자원의 낭비를 초래한다. 따라서 가공시간을 예측할 수 있는 모델이 필요한 바, 가공시간은 NC-code 생성 전략에 따라서 달라질 뿐 아니라, NC 컨트롤러의 기계적인 특성에 따라서도 달라진다. NC 가공시간에 영향을 주는 기계적인 특성으로는 가감속 상수, 급송이송 속도, 이송속도 타입 등이 있으며, 이중에서 이송속도 타입은 벨 타입(bell type)과 사변형 타입(trapezoidal type)이 있고, 현재 사용되는 대부분의 NC 기계는 두가지 종류의 이송속도 모델을 지원하고 있다.

가공시간은 NC 컨트롤러의 기계적 특성을 실험적으로 분석하여 NC-code에 따른 가공시간 예측모델을 수립할 수 있으며, 예측모델을 통하여 계산된 값을 NC 데이터 가공시간의 측정값으로 한다.

본 연구에서는 허은영 등(2003)이 제안한 가공시간 예측 알고리즘을 이용하여 가공시간의 측정값을 계산한다. 가공시간에 대한 상대적 측정값은 (식 5)과 같이 제일 작은 가공시간($V_{T, \min}$)을 100으로 산정하여 NC 가공 데이터의 가공시간 측정값을 구한다.

$$V_T(i) = (V_{T, \min} / V_T(i)) \times 100 \quad (5)$$

3. 시스템 구현 및 검증

본 연구는 기존의 상업용 CAM 시스템을 최대한 사용하고 숙련되지 않은 CAM 엔지니어도 좋은 NC 가공데이터를 선정할 수 있는 의사결정지원시스템(DQNC : Decision support system for Qualified NC data)을 구현하였다. 가공데이터 선정 절차에 따라서 사용자와 시스템의 상호작용은 다음과 같다

- 1) 사용자의 가공전략 입력에 따라서 DQNC는 NC 가공데이터 생성전략을 생성하여야 한다.
- 2) 생성전략에 따라서 사용자가 기존의 CAM 시스템을 이용하여 NC 데이터를 생성하게 되고, 시스템에서는 생성된 NC 가공데이터에 대하여 가공단계별, 가공영역별 NC 데이터 세트를 생성한다.
- 3) 생성된 NC 데이터 세트에 대하여 사용자는 가공단계별(가공영역별) NC 가공데이터 선정을 위한 측정지표를 선정하고, 현장 경험을 반영한 측정지표별 가중치를 입력한다.

- 4) 선정된 측정지표와 가중치를 통하여 시스템에서는 각 측정지표별 정량화 값을 계산하고, 측정지표별 정량화 값의 가중합을 계산하여 NC 가공데이터 평가를 위한 정량화 값을 출력한다.
- 5) 출력된 NC 가공데이터별 정량화 값에 대하여 사용자가 최적의 NC 데이터를 가공단계별로 선정하면 시스템은 선정된 NC 가공데이터에 대하여 실제 작업이 이뤄질 수 있도록 작업지시서를 출력한다.

지금까지 기술된 DQNC의 시스템 흐름도는 <Figure 7>에 나타나 있다.

본 연구에서 개발한 DQNC는 Delphi 5.0을 이용하여 구현하였으며, 데이터베이스로는 MS사의 Access를 사용 하였다. NC 가공데이터 생성을 위해서는 CATIA Ver 5.8를 사용하였고, 가공 시물레이션을 위해서는 Z-MASTER를 사용하였다.

본 연구에서 개발한 DQNC의 프로토타입을 검증하기 위하여 카메라 외형을 가공하기 위한 코어와 캐비티 형상을 준비하였다. 카메라 코어와 캐비티의 형상은 <Figure 8>, <Figure 9>와 같고, <Figure 10>은 가공 파트와 가공단계선정 및 단위공정을 입력하는 사용자 화면을 보여주고 있다. NC 가공데이터 생성 전략은 <Table 2>과 같고 <Table 3>는 가공단계별 측정지표의 정량화 값 중에서 카메라 캐비티 황삭 가공단계의 정량화 측정지표 값을 보여주고 있다.

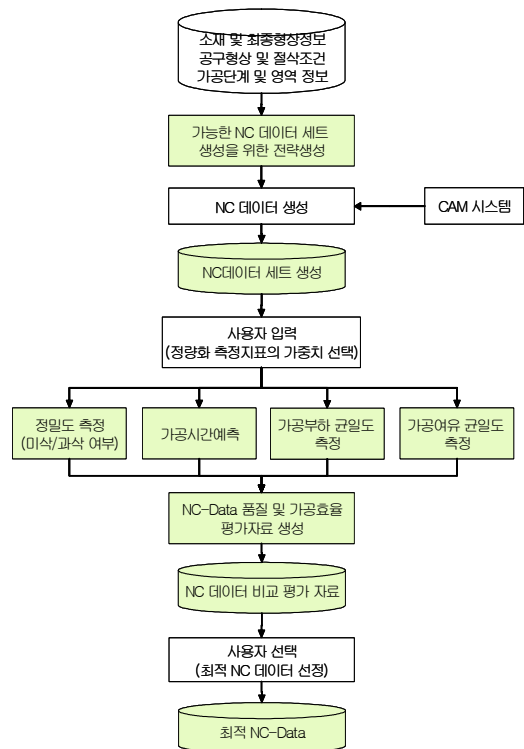


Figure 7. DQNC 흐름도

NC 가공데이터의 정량적 평가를 위해서는 정밀

Table 2. 카메라 캐비티 NC 데이터 생성전략

가공 단계	가공 오차	허용 오차	구분	공구		가공영역	공구경로	Feed (mm/min)/RPM	Depth /Interval
				형상	직경				
황삭	0.2	0.5	Cavity	FEM	16 ϕ	전체	one-way, contour	500/2000	2mm/30%
중삭	0.1	0.2	Cavity	BEM	12 ϕ	전체	one-way, contour	1000/2500	1mm/1mm
정삭	0.01	0.0	Cavity	BEM	10 ϕ	Camera몸체	one-way, contour radial type	2000/3000	0.5mm/0.5mm
					4 ϕ	Lens 안쪽	One-way, contour	1000/2500	
					4 ϕ	Lens와 몸체 사이	One-way, contour	500/1500	

Table 3. 카메라 캐비티 황삭 가공단계의 정량화 측정지표 값

순서	NC 데이터	가공 균일도		가공부하			정밀도		가공예측시간 (분)
		평균	분산	평균	분산	가중평균	가중 평균	과삭 영역수	
1	Oneway	0.755708	1.10393	27.421	10.799	1.654	0.0378	0	93.094
2	Contour	0.755708	1.10393	14.812	7.54	1.377	0.0378	0	45.439
3	Zoffset	0.443862	0.785075	15.852	16.289	2.7	0.0222	0	53.918
4	Zplane	0.437687	0.779411	27.533	36.727	5.421	0.0219	0	53.989

도, 가공시간, 가공부하의 균일도, 가공여부의 균일도를 사용하였으며, 본 연구에서 개발한 DQNC를 사용한 카메라 코어와 캐비티의 가공단계별 NC 가공데이터 선정과정은 다음과 같다.

- 단계 1. 가공 파트와 가공단계별 단위공정 입력.
- 단계 2. 기존 CAM 시스템을 이용하여 NC 가공데이터 생성.
- 단계 3. NC 가공데이터 세트 생성.
- 단계 4. 가공단계별 평가 측정지표 및 가중치를 선택.
- 단계 5. 측정지표별 측정값 계산.
- 단계 6. 가공단계별 NC 가공데이터 선정.
- 단계 7. 작업지시서 출력.

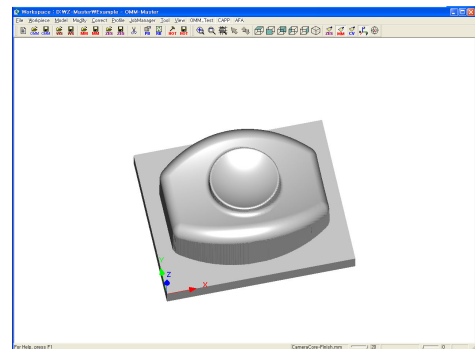


Figure 8. 카메라 코어 형상

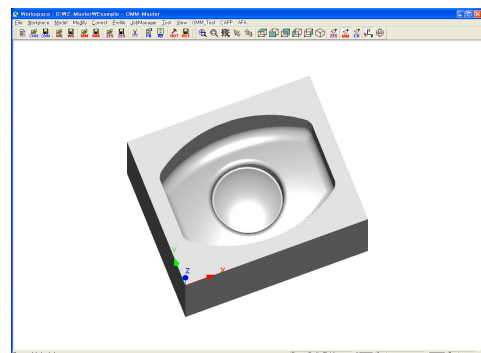


Figure 9. 카메라 캐비티 형상

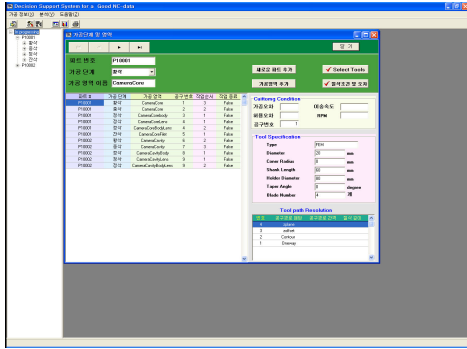


Figure 10. 가공영역 입력화면

4. 결론

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

본 연구에서는 NC 가공데이터 평가를 위한 측정 지표 값을 지표별로 정량화 할 수 있는 방법을 제시하였다. 측정지표 중 정밀도와 가공여유의 정량화 방법으로는 절삭 가공 시뮬레이션을 통하여 가공 후 남게 되는 과삭 또는 미삭 영역의 대하여 일정한 간격의 Z-map을 구성하였을 때, Z축 값의 높이와 설계된 곡면의 Z축 값을 비교하여 측정값을 계산할 수 있는 방법을 제시하였으며 가공시간의 정량화는 NC 컨트롤러의 가감속 상수, 급송이송 속도, 이송속도 타입 등의 기계적인 특성을 분석하여 실험을 통한 가공시간 예측모델을 개발하였으며 이를 통하여 가공시간을 측정하였다. 추후 연구로는 웹 기반의 시스템 구축이나 다른 금형 분야로의 연구도 필요하다.

참고문헌

[1] CIM Center, 금형가공 공정체계 모델 개발, KAIST CIM Center, Technical Report CADM-9601(1996).
 [2] Dae H. Kim, 사출금형 제작 CIM 구축을 위한 부하관리 체계 및 CAPP 개발에 관한 연구, KAIST 박사학위논문(1997).
 [3] 허은영, “자유곡면 NC 절삭가공시간 예측”, [한

국카드캠학회지], 제8권, 제2호(2003). pp.254-261.
 [4] Zeki Yazar and et al., "Feed rate Optimization based on Cutting Force Calculation in 3-Axis Milling of Dies and Molds with Sculptured Surfaces", International Journal Mach. Tools Manufacture, Vol.34, No.3(1994), pp.365-447.
 [5] H. D. Cho and M. Y. Yang, "Cornering and Feed-Rate Determination for Constant Max. Resultant Cutting Force with Ball-End Mill", KSME, Vol.15, No.5(1991), pp. 1572-1586.
 [6] Seok H. Bae, Keyhoon Ko, Bo H. Kim, and Byoung K. Choi, "Automatic Feederate Adjustment for Pocket Machining", Computer-Aided Design, Vol.35, No.4(2003), pp.495-500.
 [7] Byoung K. Choi and Bo H. Kim, "Die-cavity pocketing via cutting simulation", Computer-Aided Design, Vol.29(1997), pp. 837-846.

Acknowledgement

본 연구는 산업자원부 주관의 국제 IMS 프로그램(과제명:무인가공 기반의 지능형 금형 공장 구축) 지원으로 수행되었습니다.