韓國精密工學會 2001年度 秋季學術大會論文集 pp.175~179 KSPE 01F052

# 사출금형 CAM 작업 지원용 공구 선정 시스템 개발

양학진*, 김성근*, 허영무**, 양진석**
* 호서대학교 기계설계전공
** 한국생산기술연구원

# Development of Tool Selection System Aiding CAM Works for Injection Mold

HacJin Yang*, SeoungKun Kim*, YoungMoo Heo**, JinSeok Yang**
* Hoseo University ** KITECH

**ABSTRACT**

As consumer's desire becomes various, agility of mold manufacturing is most important factor for competence of manufacturer. In common works to use commercial CAM system to generate tool path, some decision making process is required to produce optimal result of CAM systems. We propose tool selection procedures to aid the decision making process. The system provides available tool size for machining of design model part of injection mold die by analyzing sliced CAD model of die cavity and core. Also, the tool size information is used to calculate machining time. The system is developed with commercial CAM using API. This module will be used for optimization of tool selection and planning process.

**Key Words** : Tool Selection (공구 선택), Slicing Feature (분할 특징형상), Permission Tool Item (허용 공구 항목), Machining Time (가공 시간)

## 1. 서론

사출 금형 제작에서의 주 관심 사항은 금형 제작 시간의 단축과 가공 정밀도 향상이다. 소비자의 구매 욕구가 다양해지면서 제품을 생산하는 데 필요한 금형의 수요가 증가하므로, 제작 시간 단축이 업체의 경쟁력을 향상시키는 요인으로서 부각되고 있다. 금형 제작 시간은 금형의 크기와 복잡도에 따라 약간씩 다르지만[1], NC-code 생성 및 가공 시간에 대부분을 차지한다. 그리고, 상용 CAM 시스템 활용 측면에서는 지능적인 기능이 활용되고 있는 것이 아니라, 90% 이상을 공구 경로 생성을 위해서 사용되고 있다. 즉, 공구 경로 생성에 투자하는 시간을 줄이는 것이 금형 제작 시간을 단축시키는 데 직접적인 영향을 미친다고 볼 수 있다.

공구 경로 결정 및 옵셋거리(Offset-Distance) 등과 같이 공구 경로 결정에 기여하는 정보들은 전문가의 의사 결정이 필요한 요인들이기도 하지만, 이러한 정보들은 공구의 크기에 의존하는 요소이기도 하다. 따라서, 공구의 경로 결정에 앞서 공구의 최적 크기에 관한 결정이 선행되어야 하며, 결정된 공구 크기에 따라 공구 경로의 최적화가 수행되어야 한다[2,3,4].

본 연구에서는 주어진 형상부(Model)에 대한 허용 공구 항목(Permission Tool Item)을 선정하고, 이 공구 항목을 검증하기 위하여 상용 CAM 시스템을 통하여 NC-code를 생성한다. 그리고 가공 시간을 계산한 다음 CAM 작업자에게 추천하는 방식의 모듈을 개발하였다.

이 모듈의 흐름도를 간단하게 설명하면 다음과 같다. (1) 주어진 형상부의 제거 형상(Removal Model)을 얻는다. (2) 이 제거 형상에 대하여 형상부의 단면을 기준으로 하여, 절삭 깊이(Depth per Cut) 만큼씩 Z축 방향으로 평행한 가상 수직평면, 즉 절삭층(Cutting Layer)을 만들며 최소 공구 크기 및 최

대 공구 크기를 구할 때 필요한 값들을 얻는다. (3) 이 값들을 통하여 최소 공구 크기 및 최대 공구 크기를 구하고, 이에 따른 가용 공구 범위를 통하여 금형 업체에서 갖고 있는 공구 데이터베이스(Tool DataBase)와 비교를 하면서 허용 공구 항목을 구한다. (4) 이 허용 공구 항목별 상용 CAM 시스템으로 NC-code를 생성하며, 이 NC-code를 통하여 가공 시간을 계산한다. (5) 이 가공 시간까지 CAM 작업자에게 보여줌으로써, 허용 공구 항목을 추천하는 것이다.

위와 같은 모듈을 상용 CAM 시스템인 Unigraphics V16.0 - CAM 시스템의 응용프로그램 인터페이스(API)를 사용하여 개발하였다. 이 모듈은 가공시간의 최소화를 위한 최적화 모듈의 전 단계 모듈이며, 사출 금형 CAM 지원 결정 시스템으로 통합 개발하였다.

## 2. 공구 및 가공 시간 결정

### 2.1 허용 공구 항목

다음과 같은 알고리즘에 의하여 절삭층 및 형상부에 대한 공구 크기의 범위를 구할 수 있으며, 이러한 공구 크기의 범위는 금형 업체에서 갖고 있는 공구 데이터베이스와의 직접 연결에 의하여 가용 공구 크기의 범위에 제한을 주며, 이를 고려한 실제적인 허용 공구 항목을 구성할 수 있다.

#### 2.1.1 최소 공구 크기

형상에 의한 공구의 최소 크기는 윤곽선 내부에서, 윤곽선 따라 이동하면서 모든 영역에 접근할 수 있는 가용 가능한 최대 크기의 공구라고 할 수 있다. 즉, 폭이 좁은 간극이 존재하는 경우라도 가공 도중에 공구 후퇴(Tool Retraction)가 발생하는 것이 아니라, 공구가 지나갈 수 있어야 한다는 의미이다.

따라서 최소 공구 크기 결정에 관여하는 요소는 (1) 볼록 정점에서의 커브에 대한 라운드 반경과 오목 정점에서의 커브까지의 수선의 길이, (2) 한 오목 정점과 다른 오목 정점과의 직선 거리이다. 임의의 한 정점에서 위와 같은 결정 요소에 의한 허용 가능한 최대 길이를 모든 정점에 대해 구하고 이들 중에서 최소인 것을 최소 공구 크기( $TD_{small}$)로 결정하며, 다음과 같이 표현된다[5].

$$TD_{small} = \min( 2\, r_i , w_j ) \qquad (1)$$

*where,* $r_i$ : *round radius at convex vertex i*
$w_j$ : *strait width at concave vertex j*
$v_c$ : *number of convex vertics*
$v_v$ : *number of concave vertices*
$i$ : 1, 2, ···, $v_c$ $j$ : 1, 2, ···, $v_v$

#### 2.1.2 최대 공구 크기

가공을 위한 최대 공구 크기는 절삭층 및 형상부의 윤곽선을 대상으로, 윤곽선 내부로 옵셋한 커브를 형성한다고 할 수 있으며, 이 옵셋거리(OD)는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$OD = IT + PS + TD \qquad (2)$$

*where,* $IT$ : *In − Tolerance*
$PS$ : *PartStock*
$TD$ : *Tool − Dimension*

여기서, IT 및 PS는 현장 조사를 통한 값으로서 표(1)과 같은 값을 얻었다.

| | Intol | Outtol | PartStock |
|---|---|---|---|
| **Rough** | 0.03 | 0.12 | 1.00 |
| **Semi-Finish** | 0.03 | 0.03 | 0.30 |
| **Finish** | 0.03 | 0.03 | 0.00 |

Table 1. Value for Method-Filed

그리고 TD의 범위로서, 최소값으로는 최소 공구 크기에서 결정된 값으로부터 얻고, 최대값으로는 금형 업체에서 갖고 있는 공구 데이터베이스의 최대 공구 크기의 값으로부터 설정한다. 즉, TD의 값으로서는 최소값보다 큰 공구부터 하나씩 대입하면서 옵셋에 의한 커브가 생성되지 않는 값까지 구하고, 생성되지 않은 바로 전 단계의 옵셋값을 최대 옵셋값으로 설정한다. 그리고 이 값에서 설정한 TD값을 최대 공구 크기( $TD_{large}$)로 정한다.

#### 2.1.3 공구 크기 범위

앞에서 얘기한 최소 공구 크기 및 최대 공구 크기에 의하여 가공에 사용이 가능한 공구 크기의 범위는 식(3)과 같이 표현할 수 있다. 또한 식(2)의 TD 범위에서 최대 공구 크기로 정한 값보다 작거나 같은 공구 크기 범위로도 표현이 가능하다.

$$TD_{small} \le TD_{feasible} \le TD_{large} \qquad (3)$$

금형 업체에서 갖고 있는 공구 데이터베이스의 공구 크기 항목의 수를 $l$ 이라고 하며, 이 때의 공구 크기 집합( $Set(TD_{DB})$ )은 다음과 같이 표현된다.

$$Set(TD_{DB}) = \{ TD_1 , TD_2 , \cdots , TD_l \} \quad (4)$$
$$where, \ TD_i < TD_{i+1} \ \text{for} \ i = 1, 2, \cdots, l$$

그리고, 식(3)에서 만족하는 공구 크기의 수를 허용 공구의 수라고 하고, 이 때의 수를 m이라고 표현하면, 허용 공구 크기 집합( $Set(TD_{feasible})$ )은 식(5)와 같다.

$$Set(TD_{feasible}) = \{ TD_j , TD_{j+1} , \cdots , TD_m \} \quad (5)$$
$$where, \ TD_{small} < TD_j < TD_{large} \ \text{for} \ j = 1, 2, \cdots, m$$

여기서, $TD_1$은 허용 최소 공구 크기라고 하고, $TD_m$은 허용 최대 공구 크기라고 한다.

## 2.2 가공 시간

먼저, 절삭 깊이(Depth per Cut)는 보통 공구지름의 1.5~3배 가량 되며, 이들은 공구의 재료와 밀접한 관계를 가지고 있다[6]. 본 연구에서는 전체가공을 하는 동안 공구의 재질이 일정하다고 가정하며, 절삭 깊이와 공구크기간의 관계를 $DC = 1.5\ TD$로 정하였다. 그리고 상용 CAM 시스템을 사용하여 식(5)에 해당하는 공구별 NC-code를 생성한 다음 식(6)에 의한 가공 시간( $M_{time}$ )을 계산하였다.

$$M_{time} = \sum f( D, F ) \quad (6)$$
$$where, \ D : Distance$$
$$F : feedrate$$

여기서, NC-code의 한 Block에 대한 구성 요소는 준비기능(G코드), 좌표치, 이송기능, 주축기능, 공구 기능 그리고 보조기능으로 되어 있지만, 가공 시간을 계산하는 데 필요한 요소로서 준비 기능, 좌표치 그리고 이송기능만으로 제한하며, 이 중에서 준비기능 및 이송기능은 지령된 Block에서 우선 순위로 정하였고, 좌표치는 지령된 Block과 바로 전 Block을 우선 순위로 정하여, 해당하는 변수값을 읽어들였다. 그리고 우선 순위에서 읽을 수 없는 변수는 기존의 값으로 대신한다. 또한, $\sum f$ 함수는 위치 결정 및 직선 보간과 원호 보간으로 나누어서 가공 시간에 필요한 요소를 구하였다.

이렇게 하여 계산된 가공 시간은 CAM 작업자에게 보여주며, 최종 공구 선택은 작업자에 의하여 결정된다.

## 3. 적용 사례

허용공구 항목 및 가공시간 모듈을 검증하기 위하여 상용 프로그램인 Unigraphics V16.0 - CAM 시스템에 통합하였으며, 개발 프로그래밍 환경에 맞추어서 UGopen[7]과 Visual C++ 6.0을 사용하였다.

Figure 1.은 본 연구에서 개발한 모듈을 이용하여 CAM 시스템에서 구동되는 흐름 구조이다.

1-1 Step : 먼저 금형 업체에서 갖고 있는 공구 관리 시스템을 통하여, 식(4)와 같은 공구 크기 집합을 얻어들인다. 그리고 실제 모델에서 제거 형상을 추출해내며, 여러 개의 얇은 절삭층을 생성하기 위한 기준면으로서 바닥면을 설정해준다. Figure 2.은 본 연구에 적용시킨 솔리드 모델로서, 균일한 깊이를 가지고 하나의 아일랜드(Island)가 있는 포켓형상을 하고 있다.

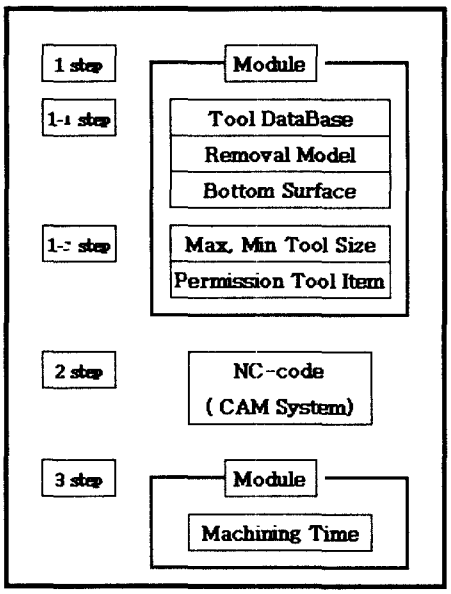


**Figure 1. Flowing Structure**

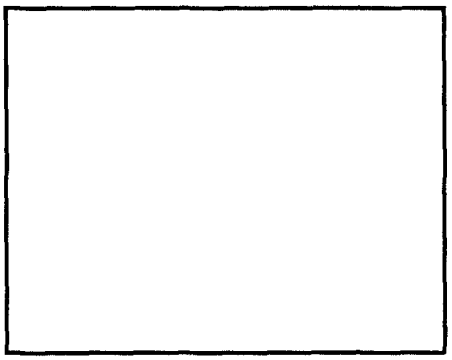

**Figure 2. Solid Model**

1-2 Step : 1-1 Step에서 얻은 정보를 이용하여 최소 공구 크기 및 최대 공구 크기를 비롯하여, 허용 공구 항목까지 계산한 다음에 작업자에게 보여주는 것이다. Figure 3.은 1-1 Step에서 선택한 바닥면을 기준으로 절삭 깊이만큼씩 여러 개의 절삭층을 나눠서 각각의 절삭층에서 윤곽선을 추출해내고, 이 윤곽선을 여러 개의 커브로 나누어서 그 커브에 대한 Normal Vector 방향으로 선을 생성하게 한다.

또한, 식(2)에서 보인 옵셋 거리를 이용하여 윤곽선에 대한 옵셋 커브를 생성한 모습이다. 이 때 절삭 깊이는 $Z_{axis} = constant$로서 공구 데이터베이스에서 읽어들인 최소 공구 크기의 1.5배한 상수값을 기본적으로 세팅하였다. 그리고 Figure 4.는 공구 데이터베이스에서 읽어들인 공구 집합, 각각의 절삭층에 대한 최소 공구 크기 및 최대 공구 크기, 이 공구 크기를 이용하여 설정한 가용 공구 크기 범위 그리고 가용 공구 크기 범위에 들어가는 허용 공구 항목을 Information창에 보여준 장면이다.

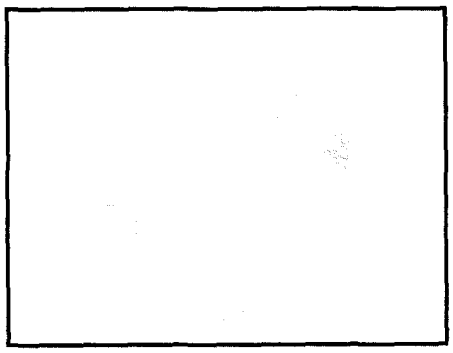

**Figure 3. Cutting Layer and Line for Tool Dimension**

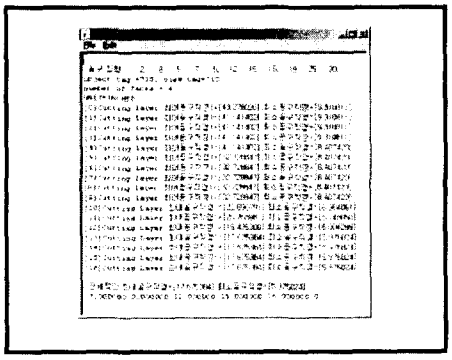

**Figure 4. Result of Tool Dimension List**

2 Step : 공구 데이터베이스에서 선별된 허용 공구 항목별 NC-code를 생성하는 부분으로서, 본 연구에서는 상용 CAM 시스템에서 지원하는 모듈에서 NC-code를 생성하였다. 이 때, NC-code를 생성하기 위한 parameter는 앞에서 얘기한 공구에 대한 정보, 절삭 깊이 그리고 이송속도를 제외하고는 Default값으로 설정된 수치를 그대로 적용하였으며, 절삭 깊이는 해당 공구 크기의 1.5배, 이송속도는 현장 조사를 통한 수치를 적용하였다.

3 Step : 허용 공구 항목별 NC-code를 읽어들인 다음, 식(6)을 통하여 가공 시간을 계산하여 작업자에게 보여줌으로서, 최종 공구 선택은 작업자의 의사에 의하여 결정된다. Figure 5.는 1-2 Step에서 구한 허용 공구 항목 중에서 최소 공구 크기인 TD7에 대한 NC-code 및 가공 시간을 Information창에 보여준 장면이며, Figure 6. 은 최대 공구 크기인 TD16에 대한 NC-code 및 가공 시간을 Information창에 보여준 것이다.

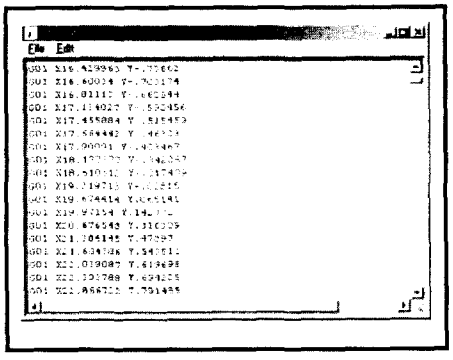

**Figure 5. TD7 Result of NC-code & Machining Time**

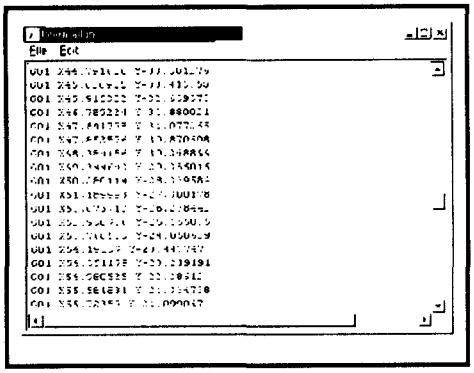

**Figure 6. TD16 Result of NC-code & Machining Time**

## 4. 결론

금형 CAM 작업에서의 공구 선택은 전문가의 의사 결정이 필요한 부분으로서, 형상부에 따른 최적 공구 선택은 시행착오가 많다. 이러한 점은 CAM 작업에 있어서 비효율적인 점이라고 할 수 있으며, 업체의 경쟁력을 악화시키는 요인으로 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 시행착오를 줄이는 방법으로서 형상부에 대한 허용 공구 항목 및 해당 공구별 가공시간을 보여줌으로서, 시행착오를 줄이는 방법을 모색하였다. 특히, 비전문가나 초보자가 결정하기 힘든 공구 크기의 값 설정에 도움을 줌으로서 CAM 작업 가이드 역할을 할 수 있었다. 앞으로 더 진행해야 할 사항들은 가공 시간 최소화를 위한 최적 공구 조합 및 이에 따른 공구 경로 생성 방법론에 대하여 개발하는 것이다.

## 후기

본 연구는 재영솔루텍을 통한 한국생산기술연구원의 첨단생산시스템 과제 지원에 의한 것입니다.

## 참고문헌

1. Altan, T et al, "Advanced techniques for die and mold manufacturing", Annals of the CIRP, Vol. 42, No.2, pp.707-716, 1993.
2. Lee, Y.S., Choi, B.K., and Chang, T.C., "Cut Distribution and Cutter Selection for Sculptured Surface Cavity Machining.", Int. J. Prod. Res., Vol.30, No.6, pp.1447-14470, 1992.
3. Bala, M., and Chang. T.C., "Automatic Cutter Selection and Optimal Cutter Path Generation for Prismatic Parts.", Int. J. Prod. Res., Vol.30, No.6, pp.2163-2176, 1991.
4. 김영진, 권순오, "절삭 공구 자동 선정 프로그램 개발", 제3권, 제3호, pp.177-182, 1998
5. 경영민, 조규갑, 전차수, "포켓형상가공을 위한 최적공구 선정방법", 한국정밀공학회지, 제14권, 제7호, pp.49-58, 1997.
6. "'91 Performance Cutting Tools", Sumitomo Electric.
7. EDS Unigraphics, "UGopen API Reference".