

## 자동차 차체금형 가공용 공정계획 시스템(II) - 작업 계획과 NC 코드 후처리

신동목\*, 이창호\*\*, 최재진\*\*, 노상도\*\*, 이기우\*\*

### A Process Planning System for Machining of Dies for Auto-Body Production(II) - Operation Planning and NC Code Post-Processing

Dongmok Sheen\*, Chang Ho Lee\*\*, Jae Jin Choi\*\*, Sang Do Noh\*\*, and Kiwoo Lee\*\*

#### ABSTRACT

This paper presents a process and operation planning system with an NC code post-processor for effective machining of press dies for production of cars. Based on the machining features, major parts of press dies are categorized into 15 groups and a standard process plan is defined for each group. The standard process plan consists of a series of processes where a process is defined as a group of operations that can be done with one setup. Details such as cutting tools, cutting conditions, and tool paths are decided at the operation planning stage. At the final stage of process and operation planning, the NC code post-processor we developed adjusts feedrates along the tool path to reduce machining time. The adjustment rule is selected based on the metal removal rate estimated by virtually machining with virtual cutting tool.

**Key Words** : Press Die(프레스금형), IDEF model(아이데프 방법론), Standard Process Plan(표준 공정계획), Operation planning(작업계획), Virtual machining(가상 가공)

#### 1. 서론

자동차 차체 판넬 제작용 금형은 품종 당 한 세트만 생산되는 특징을 갖고있어, 금형 생산 절차 및 이에 수반되는 데이터들이 표준화 되어 있지 않다. 표준의 부재는 생산성 저해요인으로 작용하는데, 이를 금형 생산 단계별로 살펴보면 첫째, 제품설계로부터 가공 공정 및 가공기, 공정들 간의 순서, 공작물 셋업 방법 등을 결정하는 공정 계획이 명확히 수립되지 않은 상태로 작업 지시가 이루어져 가공누락 및 오가공 등에 의한 가공시간

손실이 있다. 둘째, 공구, 가공조건 등을 선정하고 NC 프로그램을 준비하는 작업계획 단계에서 가공 방법, 가공경로, 가공조건을 잘못 선정함에 따른 생산성의 저하 문제가 있다. 공정별 공구 및 가공조건 선정기준 부재는 CAM 작업자의 주관적 판단을 필요로 하며, 이는 데이터에 대한 신뢰성을 저하시켜 현장 작업자가 경험적으로 NC 제어기에서 이송율을 조정(override)하는 악순환을 계속하고 있다. 따라서, NC 코드 상의 가공조건이 실제 가공조건과 달라 가공조건 최적화에 필요한 축적된 데이터가 없는 것이 현실이다. 셋째로, 가공조건 표준을 따라 가공조건이 설정되었다 하

\* 울산대학교 수송시스템 공학부

\*\* 고등기술연구원 생산기술연구실

더라도 한 가공형상에 대하여 단일 이송율로 가공 조건을 선정하게 되면 최대 절삭부하를 기준으로 가공조건을 선정하게 되어 낮은 절삭율로 가공이 이루어 진다. 이들 문제들을 해결하기 위해서는 공정계획에서 가공에 이르는 전 과정에 대한 표준 업무 절차 및 표준 데이터가 설정되고, 각 단계별로 이에 따라 작업이 이루어져야 한다. 즉, 객관적이고 효율적인 공정계획을 기준으로 작업지시가 명시적으로 이루어져 현장 작업자가 임의의 가공을 하지않도록 하여야 하며, 세부 공정별로는 가공 방법, 가공경로, 가공조건에 대한 표준을 기준으로 오류 없는 최적의 NC 데이터가 작성되어 가공 시 임의로 가공 조건 변경을 하지 않도록 한다. 본 연구와 관련된 연구들로는 공정계획 자동화 연구<sup>(1)(2)</sup>와 하나의 가공형상에 대한 최적의 공구경로 생성<sup>(3)(4)</sup> 등에 관련된 연구가 주종을 이룬다. 그러나, 여러 개의 가공형상이 혼재된 금형 전체를 대상으로 황삭에서 사상에 이르는 일련의 작업을 고려한 CAM 자동화 연구는 많지 않으며, 한 공장에서 가공되는 다양한 부품 전체를 대상으로 - 특히, 자동차 금형 공장을 대상으로 - 공정계획에서 가공에 이르는 전 과정을 효율화하는 연구는 극히 드물다. 본 연구는 Fig.1 에 나타낸 바와 같이 공정계획에서 가공에 이르는 전 과정을 대상으로 데이터 준비 관점에서 금형생산을 효율화하는데 목적이 있다. 그 결과로서, 본 논문에서는 저자의 관련 연구논문<sup>(5)</sup>에서 제시한 자동차 차체 생산용 프레스 금형 가공을 위한 공정계획 시스템을 간략히 소개하고, 작업계획 시스템을 제시한 후 NC 프로그램으로부터 가공경로 상의 절삭율을 추정하여 이송율을 최적화하는 NC 코드 후처리기를 제시한다.

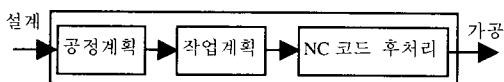


Fig. 1 Preparation of Data for Machining of Dies

## 2. 공정계획

### 2.1 공정계획을 위한 금형 부품 분류

자동차의 차체 패널(Panel)은 일반적으로 블랭킹(Blanking), 드로우(Draw), 트림(Trim), 플랜지

(Flange) 등의 프레스 공정을 거쳐 성형되며, 각 공정마다 블랭킹 다이(Blanking Die), 드로우 다이(Draw Die), 트림 다이(Trim Die), 플랜지 다이(Flange Die) 등의 금형 세트가 사용된다. 패널의 형상부를 일차 성형하는 드로우 공정은 프레스의 구조에 따라 펀치가 하부에 있는 Single Action (S/A) 드로우 공정과 펀치가 상부에 위치하는 Double Action (D/A) 드로우 공정으로 분류되며 그에 따라 금형의 구성부품도 달라진다. 금형 한 세트는 3~4 개의 대형 부품으로 구성되며, 동일한 프레스 공정에 쓰이는 금형세트는 동일한 종류의 부품으로 구성된다. 금형 부품에서 가공이 필요한 부위는 패널 형상부와 구조부로 나눌 수 있다. 패널 형상부는 차체용 패널 성형 부위로 패널 형상 및 프레스 공정에 따라 달라지며, 구조부는 지지, 슬라이딩, 가이드, 힘의 전달 등을 위한 부분으로 패널 형상과는 무관하고 프레스 공정별로 달라진다.

‘포켓’, ‘스텝’ 등으로 분류되는 일반적인 가공형상 분류와 달리 프레스 금형에서는 구조부의 경우 ‘키 홈’, ‘U 홈’, ‘웨어 플레이트 좌’ 등과 같이 각 기능 부위별로 공구와 가공방법이 정해져 있으므로 기능 형상을 기준으로 가공형상을 분류할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 가공형상 즉, 기능형상들의 유사성 관점에서 Table 1 과 같이 금형부품을 15 개의 부품군으로 분류하였다. 각 부품군 내에서는 차종 및 부위에 따라 금형의 크기와 성형 부위 형상 등이 달라져도 구조부 가공형상은 유사하다. 패널 형상부 가공의 경우 작업계획 단계에서 여러 개의 NC 가공 공정으로 세분된다.

### 2.2 표준 공정계획

공정계획을 위한 부품 분류가 완료되면 부품군 별 표준 공정계획을 정의한다. 공정은 공작물 셋업을 기준으로 중공정으로 분류한 후, 각 중공정을 구성하는 단위공정으로 구분하였다. 셋업은 보유한 가공장비의 스핀들 축 방향, 장비의 가공정밀도, 장비별 가공비 등의 요소를 고려하여 결정한다. 단위공정은 키홈, U 홈 등과 같은 구조부 가공형상별로 정의하였으며 기준면, 가이드면, 슬라이드면과 같이 황삭, 정삭으로 구별되고 장비간 이동이 필요한 경우는 별도의 단위공정으로 구별하여 총 170 개로 정의하였다. 표준 공정계획은 순

서를 가진 중공정 리스트와 각 중공정별 단위공정 리스트를 포함하고 있으며, 특정 부품에 대한 공정계획이 아니라 해당 부품군에 대표적으로 발생하는 공정들의 집합이라 할 수 있다. 따라서, 공정계획은 작업자는 부품의 특징을 고려하여 표준 공정계획에 나타난 공정 리스트에서 해당 공정만을 선택하는 방법으로 이루어 진다.

Table 1 Part List for Press Dies Grouped by Press Operations

프레스공정 분류	프레스 공정	부품 분류번호	부품구분
10	Draw (Single Action)	11	Lower BH
		12	Lower punch
		13	Upper die
20	Draw (Double Action)	21	Upper BH
		22	Lower die
		23	Upper punch
30	Trim 및 Pierce	31	Lower die
		32	Upper die
		33	Upper pad
40	기타 後공정	41	Lower die
		42	Upper die
		43	Upper pad
		44	Cam driver
		45	Cam slider
		46	Cam pad

### 2.3 공정계획 시스템 MP3D

본 연구에서 개발한 공정계획 시스템 MP3D (Machining Process Planner for Press Dies)는 표준 공정을 토대로 공정계획을 작성하는 시스템이며 주요 기능은 단위공정 단위까지 공정계획을 수립하고 작업지시서를 발행하는 공정계획 기능, 각 금형 부품군에 대한 표준 공정계획과 중공정 및 단위공정을 관리하는 표준 공정 관리 기능, 가공시간 관리 기능 등이 있다. MP3D 에서 출력하는 작업지시서는 공정 및 순서, 가공기를 제시하며 가공조건 등은 제시하지 않는다. 구조부에 대한 공구 및 가공조건은 현장 표준을 활용하고 있으며, 형상부위 가공에 대한 공구 및 가공조건은 작업계

획 단계에서 지정한다.

## 3. 작업계획 및 NC 코드 생성

### 3.1 다종의 CAM 환경에서의 자동 작업계획

단위공정별로 NC 프로그램들과 공구, 가공조건 등을 결정하는 작업계획은 공정계획이 작성된 후 이루어진다. 패널 형상부 가공의 경우 CAD surface 모델을 기반으로 CAM 작업과 동시에 작업계획이 이루어지며, 이 때 일련의 NC 프로그램을 생성하게 된다. 대부분의 업체에서는 여러 종류의 CAM 시스템을 보유하고 있는데, 이 경우 시스템별로 기능과 입력 데이터가 달라 CAM 업무는 다양한 절차에 따라 이루어지게 된다. 본 연구의 적용 대상인 D 자동차 금형공장의 경우도 CAM 시스템으로 CLIKS, Work NC, Zmaster 의 세가지를 사용하고 있다. 따라서, 각 CAM 시스템들의 기능을 최대한 이용하여 자동화된 방법으로 일관된 작업 결과를 얻기 위해서는 CAM 시스템들의 기능과 지원 인터페이스 등에 대한 이해를 근거로 CAM 업무를 표준화 및 자동화하고 이를 지원할 표준 CAM 데이터베이스를 구축하여야 한다. 즉, 유사 가공방법 및 순서를 갖는 금형을 그룹화하고 각 금형 그룹에 대한 가공방법, 가공순서, 공구 및 어태치먼트, 가공조건 등을 표준 작업계획 형태로 데이터베이스에 저장하고 있어야 한다.

본 연구에서는 CAM 작업을 IDEF0 모델<sup>6)</sup>을 이용하여 분석, 표준화하였으며, 이를 CAM 자동화 시스템 AutoCAM 으로 구현하였다. Fig. 2 는 AutoCAM 을 이용한 표준 CAM 작업절차를 IDEF0 모델로 나타낸 것이며, 각 activity 들은 AutoCAM 시스템의 모듈로 구현되었다. AutoCAM 에서는 표준 데이터 파일을 읽어("Database Load"), CAD 모델을 CAM 모델로 변환한 후 공정별로 CL 파일들을 생성한다("Model Translation"). 그림에서 Item, Operation, Part 는 각각 자동차 차체 패널 구분 코드, 프레스공정 구분 코드, 금형부품 구분 코드를 나타내며 이들은 금형 부품 그룹을 결정하여 표준 공정 리스트를 추출하는 키(key)가 된다. CL 파일은 공구간섭이 없도록 적합한 홀더와 공구길이를 기준으로 최대 3 개의 CL 파일들로 분할된다("Holder Check"). 홀더와 공구 길이가 결정되면 표준공정에 대한 표준 RPM 및 이송율에 적용을

을 곱하여 실제 NC 파일을 생성한다("NC Generation"). 적용율은 공구경과 공구길이, 피삭

재 재질, 사용하는 어태치먼트 종류 등을 기준으로 표준 CAM 데이터베이스로부터 검색한다.

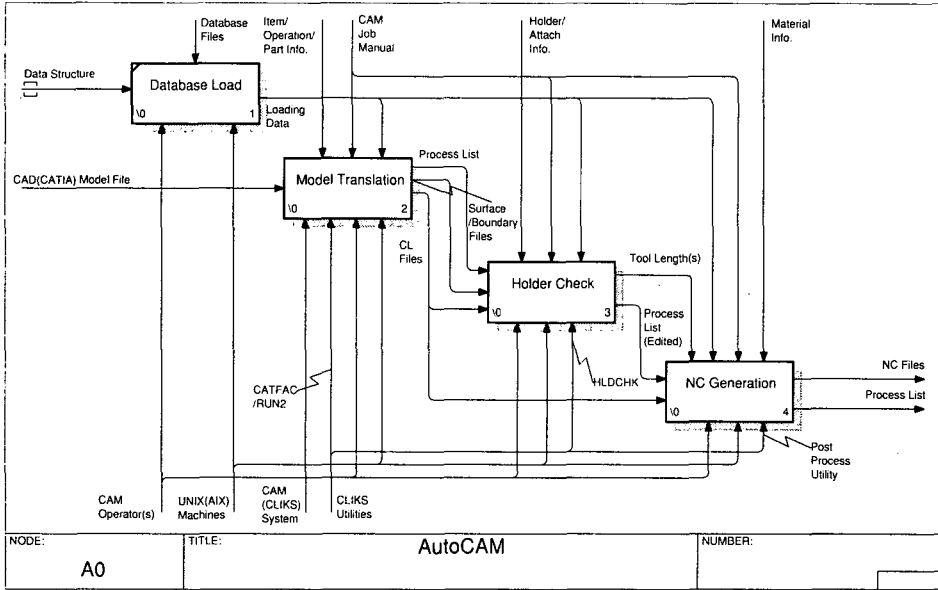


Fig. 2 IDEF0 Function Model for "CAM process using AutoCAM"

Fig. 3 은 Fig. 2 의 activity 중 "Holder Check"을 상세하게 도시한 그림이다. 먼저, 공구간섭 및 홀더 선정을 검증하기 위하여 최종 가공형상 모델을 생성한다("Reference Model Generation"). 표준 홀더가 선정되면 short, middle, long 의 공구길이 그룹별로, 표준 공구 돌출길이들을 표준 데이터 파일로부터 추출한다("Tool Division"). 통상적으로, 하나의 공구길이 그룹에는 3 ~ 4 개의 공구 돌출 길이가 표준으로 정의되어 있다. 본 연구에서는 가공 시 공구 떨림 및 공구 변형 최소화 관점에서 "최단의 공구길이를 최대의 영역 가공" 원칙을 적용하되, 하나의 단위 가공공정에 3 개 이하의 공구가 사용되도록 필요이상의 영역분할을 방지하였다. 정의된 공구길이들 중 short 공구 그룹에서부터 최대한 가공 가능한 가공영역을 찾아("Tool Length Check") CL 파일을 분할하고, 나머지 영역에 대하여 공구 그룹을 바꾸어가며 모든 영역을 가공할 수 있도록 CL 파일을 분할 생성한다. 이를 C 언어 형태의

알고리즘으로 나타내면 다음과 같다.

"Holder Check" 알고리즘

0. Retrieve(tool[p,q], feature\_x);  
 // CAM DB 로부터 feature\_x 가공에 관련된 모든  
 // 표준공구 추출.  
 // where, p: tool group, q:tool group 내 tool number  
 // (p=0:small, p=1:medium, and p=2:big tool groups)  
 // if p < p' => tool[p,\_].length < tool[p',\_].length  
 // where, \_: doesn't matter  
 // if q < q' => tool[p,q].length ≤ tool[p,q'].length
1. p = 0; // small tool group 부터 시작.
2. T = NumberOfTools(p) - 1; q = T;  
 // tool group p 의 가장 긴 공구
3. if (collision(tool[p,q]) // 공구 간섭 발생  
 if (q == T) // 현 tool group.내 최장공구인 경우  
 generate\_CL(tool[p,q]); // 가능영역 CL 생성  
 if (p == 2) //표준공구 중 최장공구인 경우

```

{error("there exists some area that cannot be
  cut by standard tool set!!!"); exit;}
else {p++; goto step 2;} //다음 tool group
else {generate_CL(tool[p,q+1]); exit;}
// tool[p,q+1]로 간섭없이 전 구간 가공 가능
    
```

```

else //no collision
  if (q == 0) // tool grou 내 가장 짧은 공구로
    // 간섭없이 전 구간 가공 가능
    {generate_CL(tool[p,q]); exit;}
  else {q--; repeat step 3;} //그룹내 다음 공구
    
```

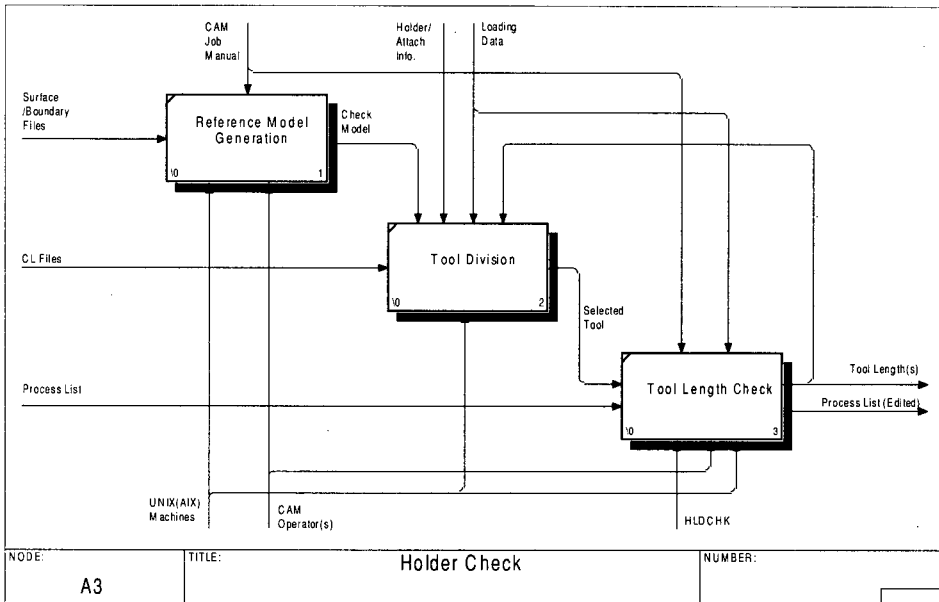


Fig. 3 IDEF0 Function Model for “Holder-Check using AutoCAM”

### 3.2 표준 작업계획 데이터베이스

작업계획을 위한 표준 CAM 데이터는 데이터베이스 관리 시스템으로 관리한다. 표준 CAM 데이터베이스는 server 에서 관리하되, PC 와 UNIX Workstation 이 혼재된 환경을 쉽게 지원할 수 있도록 파일 기반 시스템으로 구축하였다. 즉, 표준 데이터가 변경될 때마다 server 는 표준 데이터 파일을 DB 에서 추출하여 각 AutoCAM 시스템에 FTP(File Transfer Protocol)로 자동 전송하며, client 에 해당되는 AutoCAM 모듈들은 저장된 데이터 파일을 이용한다.

표준 CAM 데이터베이스는 IDEF1x<sup>(7)</sup> 기법을 이용하여 분석하였으며, Fig. 4 와 같이 금형을 분류하는 부분과 공구, 홀더, 고속/각도 어태치먼트 등의 공구 관련 형상정보 관리 부분, 그리고, 금형 분류별로 가공 순서와 가공 조건 등 공정정보를

관리하는 부분으로 구성된다. 표준 CAM 데이터베이스는 형상부 가공용이므로 Table 1 의 공정계획을 위한 금형 분류와 달리 패널형상도 고려된다. 즉, 자동차 차체를 구성하는 패널 분류용 ‘ITEM’ 테이블, 프레스 공정별 분류를 관리하는 ‘OPERATION’ 테이블, 금형을 구성하는 부품의 정보를 관리하는 ‘PART’ 테이블을 기준으로 금형들을 그룹화한다. 공구관련 형상 정보들은 공구 형상 정보를 관리하는 ‘Tool’ 테이블, 홀더 형상 정보를 관리하는 ‘Holder’ 테이블, 가공기에 장착 가능한 어태치먼트의 형상 정보 및 사양을 관리하는 ‘ATTACH’ 테이블과 공구, 홀더, 어태치먼트의 결합 정보를 관리하는 ‘Assemble’ 테이블에서 관리한다. 공구, 홀더, 어태치먼트의 형상 정보는 가공물 간섭을 검사하고 회피하기 위하여 사용된다. 패널형상부 가공을 위한 모든 가공 순서 및 기준

가공 조건들은 ‘Standard Operation’ 테이블에서 관리하며, 가공 순서는 황삭, 중삭, 정삭, 잔삭 등 가공 종류와 Pencil 가공, Zigzag 가공, 3D Drive 가공 등 가공 방법에 따라 결정된다. ‘IGROUP’ 테이블에 정의된 금형 그룹에 대한 가공 순서와 가공 조건은 ‘Condition’ 테이블에 정의되어 있으며, 각 가공조건에 대한 세부 내용은 ‘Standard Operation’

테이블의 해당 가공방법에 정의되어 있다. 그 외 표준 이송속도와 공구 RPM 에 대한 보정율을 관리하기 위하여 어태치먼트의 사양에 따른 ‘Attach Parameter’, 금형 재질에 따른 ‘Material Parameter’, 홀더로부터 돌출된 공구의 길이에 따른 ‘Length Parameter’가 있다.

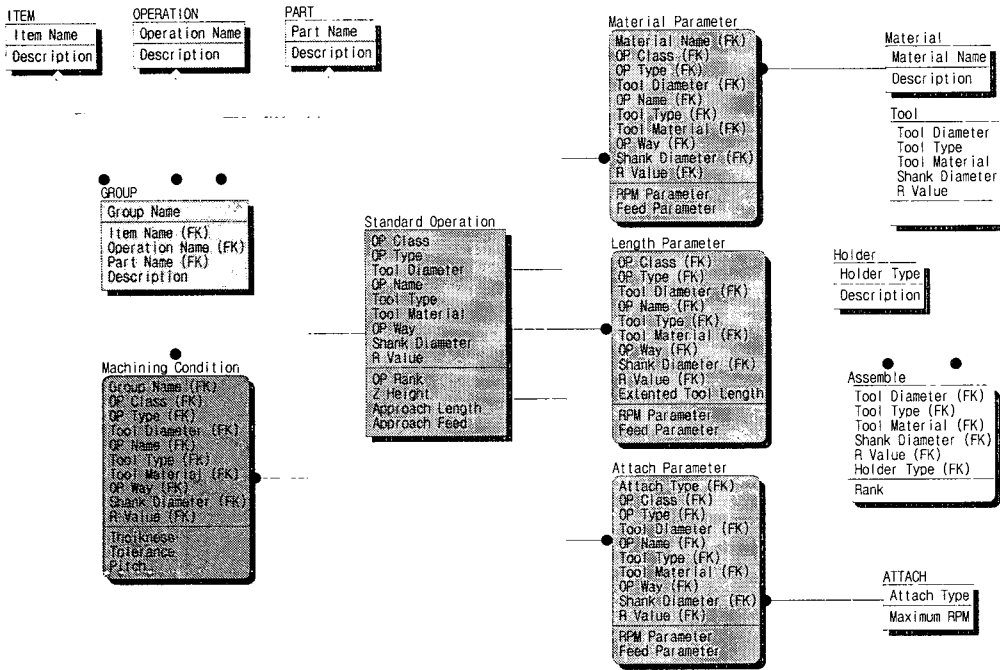


Fig. 4 Entities of Standard CAM Database

### 3.3 작업계획 시스템

#### 3.3.1 시스템 개요

패널 형상부 CAM 작업용 작업계획 시스템 AutoCAM 은 CAD 파일 변환에서 NC 파일 생성까지 표준 CAM 데이터베이스의 지원을 받으며, CAM 시스템의 종류와 무관하게 일관된 업무흐름과 결과를 유도한다. 본 연구에서는 CLIKS 용으로 AutoCAM for CLIKS (UNIX 환경)와 WorkNC 용으로 AutoCAM for WorkNC (Windows 환경)를 개발하였다. AutoCAM 에서는 CAM utility 관련 명령 스크립트를 자동으로 처리하여 CAM 작업 시간을 단축시킨다. 본 논문에서는 AutoCAM for CLIKS 를 위주로 기술한다.

#### 3.3.2 AutoCAM for CLIKS

AutoCAM for CLIKS 시스템은 크게 두 가지의 기능을 가지고 있다. 첫째는 CL 파일을 생성하는 “CLIKS Automation” 기능 부분이며, 둘째는 홀더 선정 및 NC 데이터 생성을 자동화한 “Holder Check Automation 및 Postprocessor” 기능 부분이다. 두 번째 기능은 다른 CAM 시스템에서 생성된 CL 파일에도 적용할 수 있도록 설계되었다.

Fig. 5 는 AutoCAM for CLIKS 화면 예를 보여준다. ITEM, OPERATION, PART 를 선택함으로써 하나의 표준 부품 그룹이 결정되면 CAM 표준 데이터 관리 시스템에서 FTP 로 전송한 표준 데이터

파일을 이용하여 Fig. 5 와 같이 가공유형(OP Type), 가공방법(OP Way), 공구유형(Tool Type), 어태치먼트 유형(Attach Type), 공구길이별 홀더유형(Holder Type), FENCE 파일 등 표준공정 정보를 불러온다. 소재(Raw Material), 패널 두께(Panel Thickness), 안

전 높이(Safety Height)는 전역값을 미리 사용자가 결정한다. 소재는 Feed, RPM 결정 시 재질에 따른 보정율을 결정하는 기준으로 활용되며, 패널 두께는 CL 파일 생성 시, 안전높이는 NC 파일 생성 시 각각 입력값으로 사용된다.

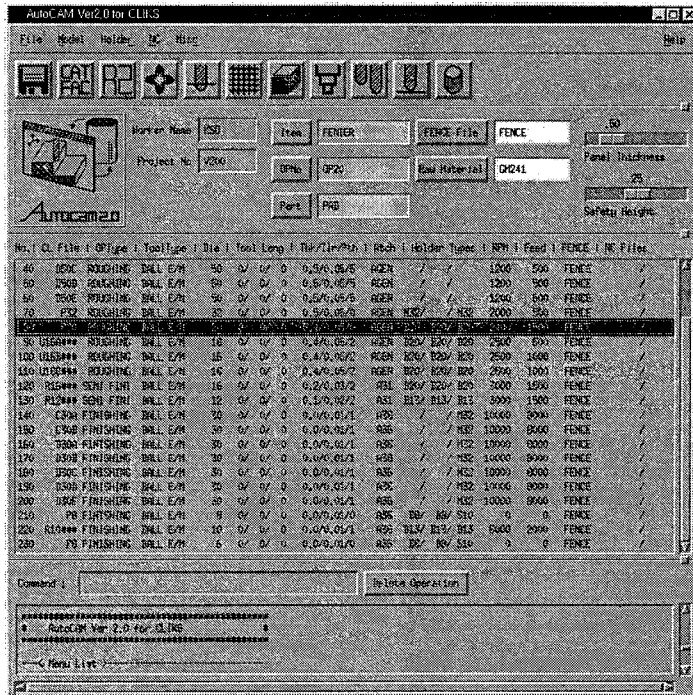


Fig. 5 Retrieval of standard operation plan

#### 4. 가상가공에 의한 NC 코드 최적화

##### 4.1 NC 코드 후처리기의 필요성

가공시간 및 가공면 품질을 좌우하는 절삭조건은 일반적으로 CAM 작업자가 주관적으로 지정하는데, 과삭에 의한 불량, 과부하에 따른 공구 파손 및 가공면 품질 저하 등을 우려하여 보수적으로 책정하는 경향이 있다. 또한, 잘못된 공구 및 홀더의 선정으로 가공불과의 간섭이 종종 발생하여 이에 따른 불량 수정 등으로 가공 시간과 비용의 손실이 큰 실정이다. 따라서, 가공생산성을 향상시키고 NC 코드 준비 시간을 줄이기 위해서는, 가공방법, 공구, 가공경로 생성 방법, 가공조건 등에 대한 가공 유형별 표준이 설정되어야 함은 물론

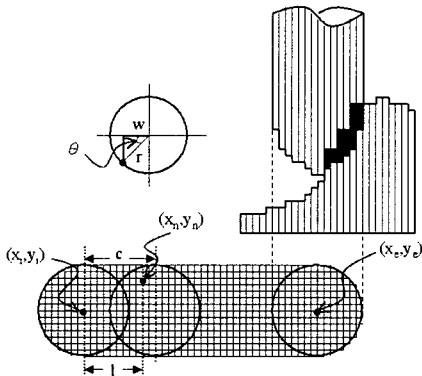
가공 공정과 결과를 예측하여 가시화하고, 관련된 정보들을 통합 관리할 수 있는 가상가공(Virtual Machining) 기법<sup>(8)(9)</sup>과 이를 활용한 NC 코드의 검증, 효율화 기능이 필요하다. 상업용 CAM 시스템의 경우 간섭 검증 및 이송속도 조정 등의 기능을 일부 보유한 것도 있으나, CAM 시스템의 추가 도입에는 많은 투자가 필요하며 모든 기능이 통합적으로 구현된 CAM 시스템은 드물다. 따라서, CAM 시스템과 무관하게 적용할 수 있는 NC 코드 후처리가 관심을 끌고있으나, 많은 경우 절삭부하와 무관하게 공구경로 시뮬레이션을 근거로 공구경로 변화각에 따라 이송속도를 조정하는 기능만을 갖추고 있다.

## 4.2 가상가공을 이용한 NC 코드 후처리기

본 연구에서는 NC 데이터를 분석하여 가공물 형상이나 절삭부하 등을 예측하는 가상가공 기능과 이를 이용하여 가공 과정과 최종 가공 결과를 검증하고, 가공부하에 따라 이송속도를 조정하는 기능을 갖춘 NC 코드 후처리기 CAMplus/AFC 시스템을 개발하였다. 이를 자동차 차체 프레스 금형 가공용 NC 데이터 준비 작업에 적용한 결과, 가공면 품질을 유지하면서 가공생산성을 향상시킬 수 있음을 보였다.

### 4.2.1 가상가공

CAMplus/AFC에서는 가공형상 모델과 가상가공 시 NC 코드를 따라 공구가 이동할 때마다 변화되는 가공면 형상을 Z-map 모델<sup>(10)(11)(12)(13)</sup>을 이용하여 계산한다. 공구 궤적면의 계산은 Fig. 6과 같이 최병규 등에 의한 기존 계산 모델을 사용하였다.<sup>(10)</sup> 본 모델에서는 공구 이동 시 공구궤적면을 구하고, 궤적면에 포함된 격자들에 대하여 가공 전 피삭면의 높이값과 비교하여 공구궤적면이 낮은 경우 가공이 이루어지는 것으로 계산한다.



$$\Delta x = x_e - x_i, \Delta y = y_e - y_i, \Delta z = z_e - z_i$$

$$d_p = (\Delta x^2 + \Delta y^2)^{\frac{1}{2}}, l = \frac{\{\Delta x \times (x_n - x_i) + \Delta y \times (y_n - y_i)\}}{d_p}$$

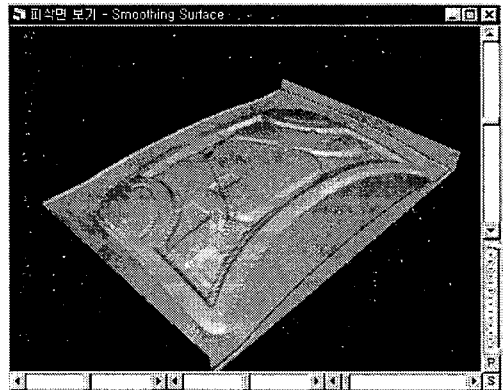
$$w = \frac{| \Delta x \times y_n - \Delta y \times x_n + x_i \times y_e - x_e \times y_i |}{d_n}$$

$$\phi = \tan^{-1} \left( \frac{\Delta z}{d_n} \right), \theta = \cos^{-1} \left( \frac{w}{r} \right), t = r \times \sin \theta$$

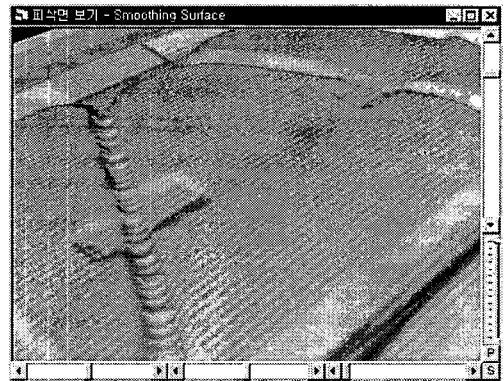
$$h = t \times \sin \phi, c = l - h, z_n = z_i + c \times \tan \phi - t \times \cos \phi$$

Fig. 6 Z-map model of machining process

Fig. 7은 Z-map 방법으로 모델링된 형상의 예이다. (b)의 확대 화면에서 알 수 있는 것과 같이 가공면의 품질을 예측할 수 있다.



(a) Virtually machined surface



(b) Virtually machined surface (magnified)

Fig. 7 Machined surface represented by Z-map

### 4.2.2 절삭부하의 정의 및 예측

가상가공을 통하여 예측된 절삭부하에 따라 이송속도 변환 규칙을 적용하게 되는데, 본 연구에서는 절삭부하를 아래와 같이 '이론적으로 최대 가공할 수 있는 소재 제거량에 대한 상대적인 소재 제거율'로 정의하였다.

#### ● Z 방향 절삭

$$\text{절삭부하} = \frac{\text{소재제거량}}{\pi \times (\text{공구반경})^2 \times \text{공구경로길이}} \times 100$$



● 그외의 경우

$$\text{절삭부하} = \frac{\text{소재제거량}}{\text{날길이} \times \text{공구직경} \times \text{공구경로길이}} \times 100$$

절삭부하를 이용하여 이송율 변환 규칙을 정의함으로써 절삭력이나 주축 전류 등 센서를 이용한 출력 값을 이용한 경우보다 작업자들이 쉽게 이해하여 경험 지식을 반영할 수 있다. 또한, 공구날과 공작물의 접촉면적을 정밀 계산하는 등의 다른 모델 기반 계산 방법들에 비하여 가공방법, 공구형상 등에 관계없이 계산 방법이 단순하다.

4.2.3 이송속도 변환

NC 코드 작성과정에서 최적의 이송속도를 선정하려면 가공벡터의 방향과 절삭부하 두 가지를 고려하여야 한다. 가공벡터에 따른 이송속도 최적화는 NC 프로그램으로부터 공구경로 상의 공구경로 변화각을 계산하여 가공기의 동적 특성 상 오차가 예상되는 경우 - 공구경로가 급격히 변화하는 부분이나 공구에 무리가 가기 쉬운 수직 가공 등 - 이송속도를 낮추는 기능을 하며, 상업적으로 구현된 전용 소프트웨어들이 있다. 반면에 절삭부하에 의한 이송율 조절은 공구경로 상의 절삭 부하를 예측하기 위하여 가공전의 가공면 surface 모델, 공구경로 및 공구형상 정보를 필요로 하여, 일부 CAM 시스템에서 초보적인 기능이 구현되어 있는 상태이다.

본 연구에서는 가상가공을 통하여 절삭부하를 예측하며, 예측된 절삭부하를 바탕으로 이송속도를 조정한다. 이송속도 변환규칙은 가공 전문가의 가공 know-how, 이론, 실험 등에 의거하여 작성되며, 데이터베이스에서 통합 관리된다. 후처리기에서는 기준 이송속도를 지정하고 총 20 단계로 절삭부하의 범위를 구분, 예측된 절삭부하에 따라 이송속도에 20 단계의 적용율을 곱하는 방법으로 이송속도를 조절한다. 이송속도 적용율은 금형의 종류와 가공방법, 공구 직경 등에 따라 분류하여 테이블의 형태로 관리되며 각종 표준 가공조건들과 이송속도 변환 규칙을 관리한다. Fig. 8 은 이송속도 변환 순서와 해당 화면을 보여준다.

5. 표준 절차에 의한 금형생산 공정

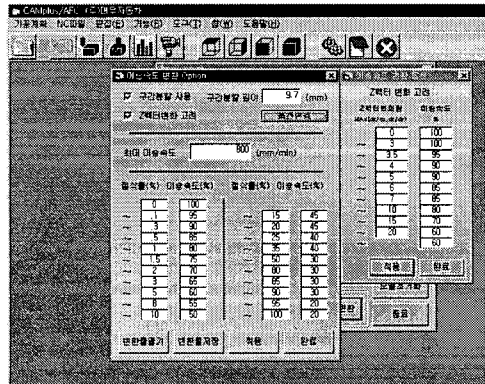
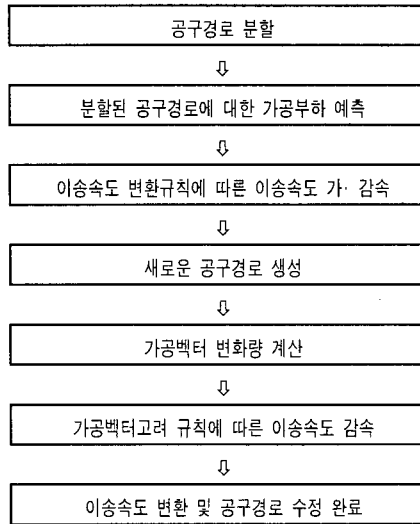


Fig. 8 A process for adjusting feed rate and the screen for setting the adjustment rules

본 연구에 따른 금형 생산절차는 Fig.9 와 같다. 금형이 설계되면, MP3D 를 이용하여 표준 공정계획이 작성되며, 이와 동시에 surface model 을 근거로 패널 형상부에 대한 CAM 작업이 이루어진다. AutoCAM 을 이용하여 NC 프로그램이 작성되고, CAMplus/AFC 에서 NC 코드가 효율화되면, NC 프로그램 리스트가 Fig. 10 과 같은 작업지시서 및 금형 도면과 함께 공장에 투입된다. 금형 도면에서 가공부위는 중공정 단위로 다른 색깔로 구분 채색되어 있으며, 작업자는 단위 공정 완료 시 작업지시서에 해당 공정 완료를 표시한다. 이러한

방법으로 통상적으로 수 시간에서 수 주에 이르는 자동차 금형 가공에서 단위공정 단위의 금형 생산 진도 관리와 작업자간 인수인계가 효율적으로 이루어 지게 된다.

비교하기 위하여 차체 좌,우 대칭인 펜더용 금형을 비교 가공한 결과, 약 15 ~ 30%의 가공시간 단축 효과가 있었다. 이는, 표준 설정에 따른 가공 생산성 향상 효과를 제외한 것으로 이를 포함하면 전체적으로 금형 생산 시간 단축 효과는 더욱 클 것이다.

### 6. 결론

본 연구에서는 자동차 금형가공 공장을 대상으로 금형 설계 이후부터 금형 가공 완료까지의 전 과정에 대한 업무 절차 및 필요 데이터를 분석하여 이를 표준화, 효율화, 그리고 자동화하여 이를 시스템으로 구현하였다. 즉, 표준 공정계획 및 표준 작업계획을 데이터베이스로 구축하여, 이를 토대로 가공방법 및 가공 순서를 지정하는 공정계획 시스템, 금형 형상면 가공에 필요한 일련의 NC 코드를 CAM 시스템을 이용하여 자동으로 생성시켜 주는 작업계획 시스템, 그리고 생성된 NC 코드의 이송을 및 가공경로를 수정함으로써 NC 코드를 효율화해주는 후처리기를 구현하였다.

작업계획 시스템에서는 여러 종류의 CAM 시스템을 사용하는 환경 하에서 사용할 수 있도록 CAM 작업을 분석하여 공통의 업무 절차를 정립하고, 금형 그룹별로 필요한 공정 리스트, 공구, 공구경로 생성방법, 가공조건 등에 관련된 데이터를 표준 CAM 데이터베이스로 구축하여 CAM 시스템에 무관하게 동일한 절차에 따라 NC 코드 생성이 이루어지도록 CAM 작업을 자동화 하였다. 세부 공정차원에서는 표준 가공조건을 기준 이송율로 설정하되, 단일 이송율 대신 예측된 절삭부하를 바탕으로 이송율이 변환되도록 하였다. 즉, 작업계획에서 작성된 일련의 NC 프로그램들로부터 가공경로 상의 절삭율을 추정하여 이송율을 최적화하는 NC 코드 후처리기도 제시하였다.

본 연구결과를 자동차 금형공장에 적용한 결과, 공정계획, CAM 작업 등에 소용되는 데이터 준비 시간과 가공 시간이 단축되었으며, 불량 감소, 품질 향상 등의 효과와 지식 기반 구축 등 미래의 개선효과 등이 기대된다. 본 연구는 금형의 3 차원 CAD 설계와 연계하여 분산된 생산자원을 실시간으로 고려한 동적 분산 공정계획 시스템으로 구현될 예정이다.

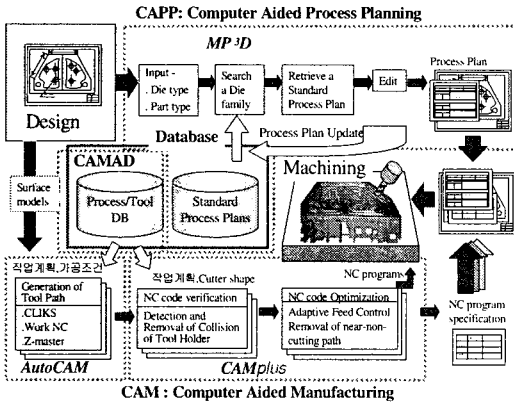


Fig. 9 Manufacturing of dies by the standard procedure

DWMC 프레스 금형 가공순서표		작업자 : 이준호		발행일 : 99-04-28	
발행번호 : MP1999-0007		ORDER No	RD8163	출성날기	99-09-11
		공작명	CANTRAIL OTR RR L/R(HIGH)		
		공작번호	30	부호명	UPPER PAD
		기준시간	8830 분	재검	PC30
가공시작일시					
NO	RD8163-3-10	공구명	1차가공 (LM01)	사용장비	COPY
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 치면 용삭</li> <li>- 반원복조공 가공</li> <li>- 스크류 스피어시공 가공(H75.0)</li> <li>- 커터돌 가공</li> <li>- 턴아웃면역도공 가공</li> <li>- 사이드로 검상부 가공</li> <li>- 공주연삭</li> <li>- 선풍거면면 가공</li> <li>- 커터 가공</li> </ul>					
비고 : 공주연삭 이수데이터는 다른공정에서 가져 오함					
가공종료일시		가공시간	2100 분	실가공시간	0 분
가공시작일시					
NO	RD8163-3-20	공구명	PAD 기준연삭기 (PC01)	사용장비	COPY
<ul style="list-style-type: none"> <li>- DDH 연삭</li> <li>- 공작대역의 조로</li> <li>- MHZ 연삭</li> </ul>					

Fig. 10 Operation Sheet

공정계획 시스템 적용에 따라 도면 해독 및 공정선택 등 의사결정 시간 단축, 오가공 및 가공 누락에 의한 재 가공 축소에 따른 가공 손실 시간 단축 등에서 약 54% 정도의 생산성 향상 효과가 있었으며, CAM 작업 자동화에 따라 30% 이상의 데이터 준비 시간 단축 효과가 있었다. NC 코드 후처리기를 적용한 경우와 적용하지 않은 경우를

## 참고문헌

1. Z. Gu, Y. F. Zhang; and A. Y. C. Nee, "Identification of Important Features for Machining Operations Sequence Generation," *International Journal of Production Research*, Vol. 35, No. 8, pp. 2285-2307, 1997.
2. Yong Se Kim and Eric Wang, "Recognition of Machining Features for the Domain of Cast Then Machined Parts," *한국정밀공학회 추계학술대회 논문집*, pp. 1075-1080, 1999.
3. D. Veeramani and Y.-S. Gau, "Models for tool-path plan optimization in patch-by-patch machining," *International Journal of Production Research*, Vol. 36, No. 6, pp. 1633-1651, 1998.
4. R.-S. Lin and Y. Koren, "Efficient Tool-Path Planning for Machining Free-Form Surfaces," *ASME Journal of Engineering for Industry*, Vol. 118, pp. 20-28, 1996.
5. 신동목, 이창호, 이기우, "자동차 차체금형 가공용 공정계획 시스템," *한국정밀공학회지*, Vol. 17, No. 5, 2000.
6. R. J. Mayer, "IDEF0 Function Modeling," *Knowledge Based Systems, Inc.*, 1994.
7. R. J. Mayer, "DEF1x Data Modeling," *Knowledge Based Systems, Inc.*, 1994.
8. P-L Hsu, W-T Yang, "Real-time 3D simulation of 3-axis milling using isometric projection," *Computer Aided Design*, Vol. 25, No. 4, pp. 215-224, 1993.
9. 정대혁, 서석환, "가상가공 CAM 시스템에서의 가공면 예측," *대한산업공학회 추계학술대회 논문집*, pp. 900-904, 1998.
10. 최병규, 정연찬, "Z-map 을 사용한 모의가공과 NC-code 의 검증," *산업공학*, Vol. 8, No. 3, pp. 155-169, 1995.
11. B. K. Choi, Y. C. Chung, J. W. Park and D. H. Kim, "Unified CAM-system Architecture for Die and Mould Manufacturing," *Computer-Aided Design*, Vol. 26, No. 3, pp. 235-243, 1994.
12. 송수용, 최석일, "Z-map 모델을 이용한 3 차원 CNC 가공계획 및 절삭시물레이션에 관한 연구," *한국정밀공학회 추계학술대회논문집*, pp. 683-688, 1995.
13. 김규만, 조필주, 김병희, 주종남, "Z-map 을 이용한 임의의 절삭영역에서 볼랜드밀의 절삭력 예측," *한국정밀공학회지*, Vol. 14, No. 3, pp. 57-65, 1997.