

모울드 금형의 무인가공을 위한 자동공정계획 및 지능형 NC 데이터 생성*

- Automated process plan and an intelligent NC data generation for unmanned machining of mould die -

유우식 **
Yoo, Woo Sik
김대현 ***
Kim, Dae Hyun

Abstract

Presented in this paper are a CAPP(Computer Automated Process Planning) scheme and a generating method of intelligent NC data for unmanned machining of mold die. Mold die surfaces usually have free-formed geometry of complex shapes. So it is easy to overcut the die surface and to overload the cutting tools. It takes tens of hours to prepare process plans and to generate NC data for each processes.

Therefore a classification of unit machining operation(UMO) for mold die manufacture, a backward recursive capp algorithm and a generating method of intelligent NC data are presented in this paper in order to provide a unmanned machining architecture of mold die

1. 서 론

일반적으로 자동차, 항공기 그리고 가전제품등에는 곡면형상의 부품이 많은데 이를 부품들은 다이 케스팅(Die Casting), 사출(Injection Molding), 단조(Forging) 등의 성형가공을 통하여 얻어지는 경우가 많다. 최근에는 특히 소재기술의 발달에 힘입어 성형가공의 중요성이 더욱 커지고 있는데 본 논문에서는 이러한 성형가공의 가장 중요한 요소인 모울드금형의 생산성 향상을 위하여 공정계획을 자동화하고 이송속도가 조절된 지능화된 NC데이터를 생성하는 연구를 수행하였다. 본 논문은 사출금형을 중심으로 연구하였는데 사출금형은 가전이나 자동차, 항공기 등 모든 산업분야에서 널리 사용되고 있는 플라스틱 부품을 가장 경제적으로 대량 생산할수 있는 기본적인 도구이다.

사출금형은 신제품 개발 기간중에 발주되는데 전체 신제품 개발기간중 금형제작에 소요되는 비중이 상당히 크다는 특징을 가지고 있다. 한 예로 국내 한 가전회사의 TV제품 개발기간 중 금형제작이 차지하는 비율이 [그림 1]에서와 같이 22%로 조사되었는데 이는 금형제작기간의 단축이 전체 제품 개발기간의 단축에 크게 기여할수 있다는 것을 의미한다.

* 이 논문은 1995년도 학술진흥재단의 자유공모과제 연구비의 일부지원으로 연구되었음

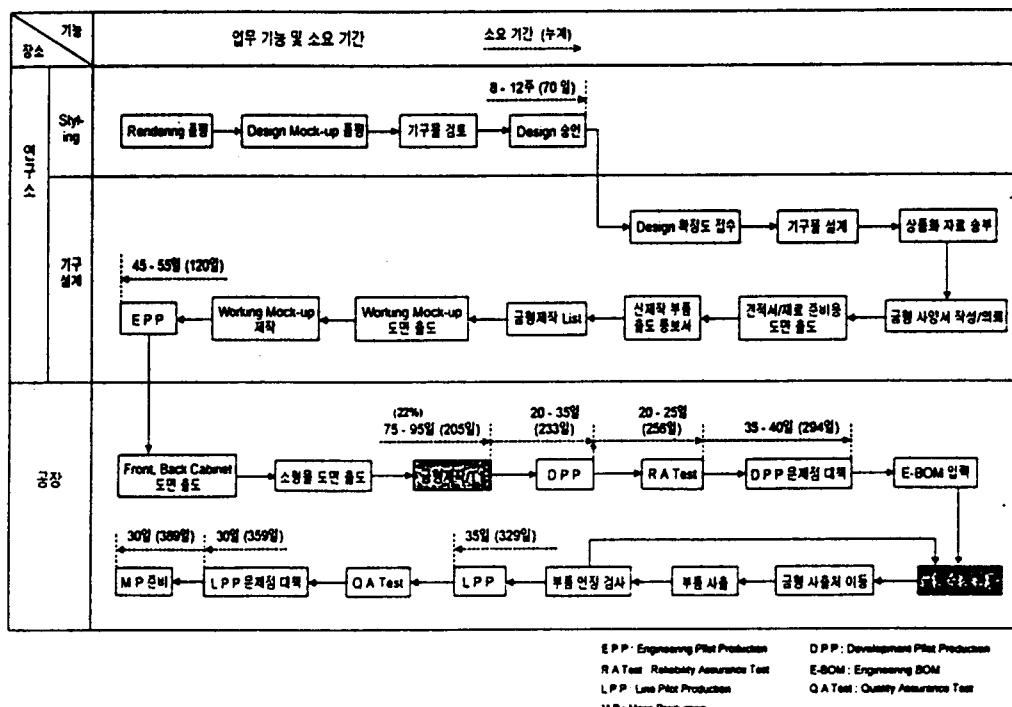
** 인천대학교 산업공학과 조교수

*** 과학기술원 산업공학과 박사과정

따라서 금형 발주부서에서는 제품 개발기간의 단축을 위하여 극도의 금형납기 단축을 요구한다. 그러나 현실적으로는 금형제작에 관련된 기술인력 확보가 어려운 실정으로 국내 금형산업에서 기술인력의 부족율이 1995년에는 15%에 달하며 2000년에는 20%정도로 예상되고 있다(금형저널 1995.6). 또한 1993년 미국 금형산업을 기준으로 조사한 자료에 의하면 전체 금형제작공수 중에서 NC데이터 생성시간이 포함된 가공작업시간의 비중이 대략 60%를 차지한 것으로 조사되어 특히 금형가공 공정이 생산성에 중요한 요인이 되고 있다[1]. 그러나 실제 가공효율이 결정되는 공정계획이나 절삭조건을 설정하는 작업은 전통적인 가공방식에 대한 경험을 가진 현장 작업자에 의존하고 있는 형편이다. 따라서 사출금형의 자동공정계획 연구를 수행하게 되었는데 지금까지의 자동공정계획에 관한 연구는 주로 구멍가공이나 선삭가공 혹은 Prismatic 부품의 가공에 집중되었다. 이는 자유곡면에서는 가공형상의 인식이 어려웠고 공정선정과 공구경로 선택의 조합이 많았기 때문이다. 그러나 사출금형의 형상은 대부분이 자유곡면 형상이므로 본 연구에서는 자유곡면의 자동공정계획 체계를 구축하려 한다.

사출금형의 가공에서는 최근에 CAM시스템의 발달에 힘입어 형상오류로 인한 가공오류는 꾸준히 줄어들고 있으나 가공조건 불량으로 인한 오류는 여전하여 대부분의 사출 금형공장에서는 현장작업자가 이송속도를 눈으로 보아가며 손으로 조정하는 실정이다. 이러한 현실이 금형공장의 무인화를 방해하는 가장 큰 요소이다. 이를 해결하기 위해서는 가공현장에서 작업자가 지켜보지 않더라도 NC가공 사고가 발생하지 말아야 하는데, 결국 무오류의 최적화된 이송속도를 갖는 지능화된 NC데이터를 생성해야 한다. 지능화된 NC데이터를 생성하기 위해서는 전공정의 영향으로 남아있는 피삭재 형상을 파악해야 하므로 결국 공정계획부터 일관된 하나의 시스템에서 금형가공을 위한 공정계획과 지능화된 NC데이터의 생성이 이루어져야 한다.

따라서 본 논문에서는 자유곡면을 갖는 사출금형 형상을 입력받아 초기의 소재로부터 원하는 최종 금형형상이 되기위해 수행되어야 할 각 공정을 결정하는 체계를 구축하고 각공정의 NC데이터에 직전 공정의 영향과 절삭량을 고려하여 지능화된 이송속도를 부여하려 한다.



[그림 1] TV 제품개발 사이클 (21"-33" 모델 기준)

2. 자동공정계획 체계구축

일반적으로 사출금형 한벌은 크게 캐비티와 코어 두쪽으로 이루어진다. 그리고 금형가공에 있어서는 두가지 형태의 가공방식이 적용되는데 자유곡면으로 구성된 금형의 성형부를 가공하는 방식과 금형의 구조부분을 가공하는 방식(Prismatic type machining)이 그것이다. 본 논문에서 대상으로 하는 가공방식은 기존에 많이 연구되지 못한 자유곡면 가공방식이다. 먼저 지금까지 자유곡면 금형가공의 자동공정계획을 어렵게 하는 이유를 살펴보면 다음과 같다.

- 1) 금형가공 공정은 여러 자료[2-4]에서 기술하고 있지만 자유곡면 금형가공 공정을 표현하는 통일된 틀이나 모델이 없고 가공가능한 형상의 인식이 어렵다.
- 2) 복잡한 형상의 자유곡면 정보를 자유자재로 다룰 수 있고 공정계획시 원하는 정보를 위상학적 문제없이 쉽게 얻을 수 있는 형태로 저장할 수 있는 알맞은 자료구조를 찾기 힘들다.
- 3) 자유곡면 가공 공구경로 생성시 인접곡면을 침범하는 공구간섭 문제를 해결하기 힘들었다.

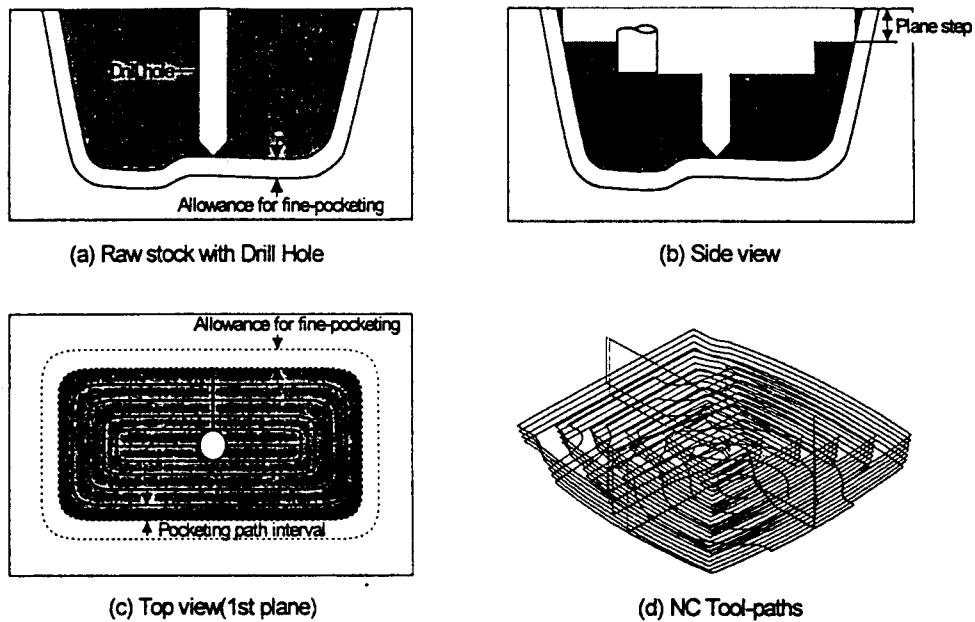
본 논문에서는 이러한 문제들을 해결하는 자동 공정계획 알고리즘을 제시하려 한다. 절삭가공에 있어서 공정계획은 초기의 소재 블럭으로부터 원하는 최종형상의 제품을 얻기 위하여 수행해야 될 가공공정의 순서를 결정하는 일인데 따라서 형상의 초기 state는 가공해야될 소재 블럭이 되고 최종 state는 완성제품의 형상이라고 말할수 있다. 그러나 자동공정계획을 위해서는 완성제품 형상을 초기 state로 출발하여 역순으로 공정을 결정하며 소재 블럭형상의 최종 state에 이르는 후방순환법(Backward recursive approach)을 적용하는 것이 편리하다.[5] 이때 현재의 state가 최종 State인 소재형상이 되기 위해서는 여러 공정을 거쳐야 할 필요가 있는데, 따라서 한 공정을 결정한 후에는 State를 변화시켜 전단계의 알고리즘을 그대로 적용할수 있는 순환(recursive) 형태의 공정계획이 효율적이다. 이때 변화된 State를 가공전 형상(Preform)이라고 하는데 혼단계에서 선택한 공정의 가공량만큼 살을 덧붙인 형상이 된다.

본 논문에서 자유곡면 금형을 가공할때 사용되는 공구로는 다양한 직경의 볼엔드 밀, 플랫 엔드밀, 필렛 엔드밀, 드릴 그리고 EDM 전극을 고려하였다. 자유곡면 가공에서 가장 많이 사용되는 볼 앤드밀은 정삭(Finishing)과 중삭(semi-Fnishing),잔삭(Clean-up machining)에 쓰이고 필렛 엔드밀은 중삭과 황삭(rough machining)에 그리고 플랫 엔드밀은 황삭에 주로 쓰인다. 드릴(Drill)은 센터컷(Centercut)이 없는 중절삭용 플랫 엔드밀 의 진입구멍 가공에 쓰이는데 센터컷이란 하향절삭이 가능하게 공구의 밑면 중심에도 공구날이 있는것을 말한다. EDM(electro discharged machining)은 엔드밀로 생성할수 없는 각진 코너부근의 가공을 담당한다.

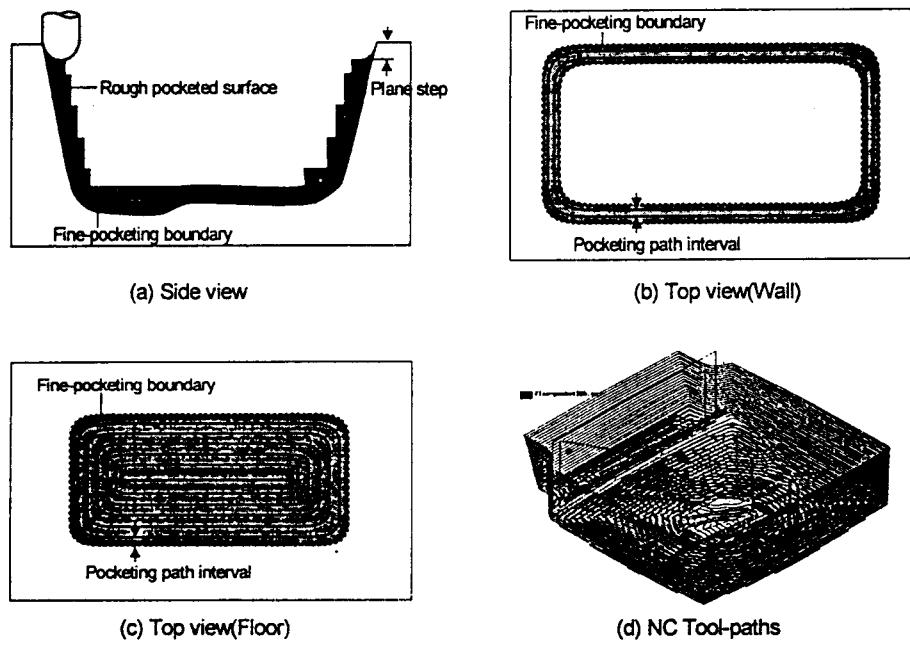
본 논문에서는 자유곡면 가공공정을 [표 1]에서와 같이 황삭(Roughing),중삭(Semi-Finishing),정삭(Finishing),잔삭(Clean-up),EDM 의 5단계로 구분하였다. 다른 형태의 분류로는 황삭,중삭,정삭 [2,3]으로 분류하는 경우가 가장 일반적이고 황삭,중삭,정삭,EDM단계로 구분하는 것[4]과 러프 포켓팅,파인 포켓팅,중삭,정삭 단계로 구분하는 것[6]; 황삭, 정삭단계만으로 구분하는 것[7]; 드릴링,러프 포켓팅, 정삭단계로 나누는 형태등이 있다[8]. 그러나 본 논문에서는 사출금형의 실제 가공상황에서 일반적으로 적용하고 있는 5단계로 구분하였다.

[표 1]에서 단위 절삭공정은 하나의 공구를 사용하여 특정한 형태의 공구경로 패턴으로 이루어지는 금형가공 공정이다. 본 논문에서 단위 절삭공정의 개념은 가공특징 형상에 따라 자동으로 공정을 결정하는 가장 중요한 개념이다. 이는 또한 금형 가공공정의 표준화에도 도움을 줄 수 있을 것이다. 본 논문에서 정의한 17가지 단위 절삭공정을 설명하면 다음과 같다.

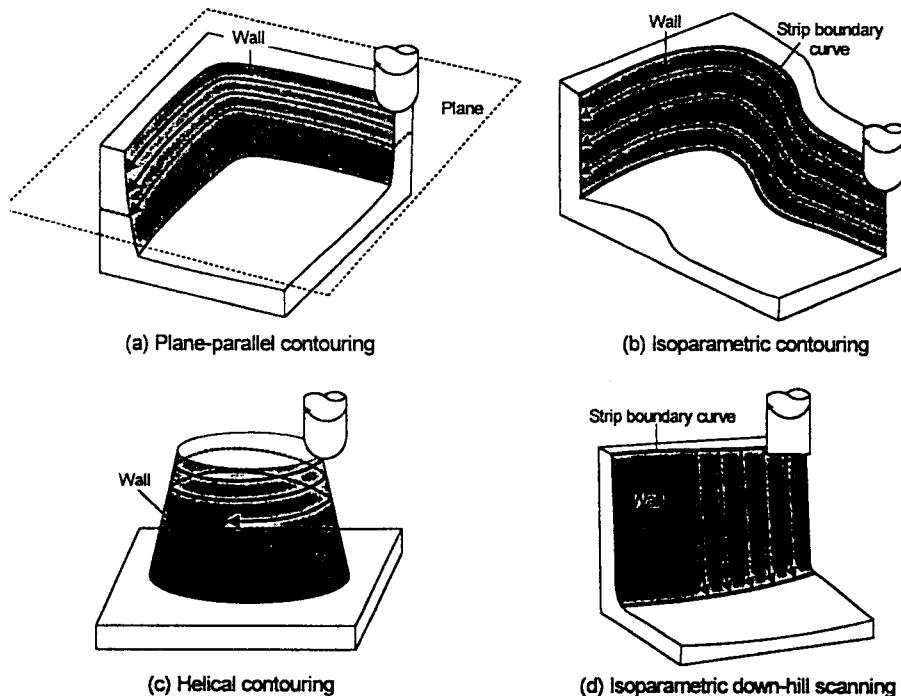
황삭단계의 단위 절삭공정으로 드릴링,러프 포켓팅,파인 포켓팅이 있는데 이는 볼륨 타입 가공 특징형상에 대한 단위 절삭 공정이다. [그림 2]에서와 같이 드릴링은 러프포켓팅 가공에서 평엔드 밀이 접근할 수 있는 구멍을 가공하기 위해 금형 캐비티 바닥면까지 가공하는 공정이고 러프 포켓팅은 황삭용 평엔드밀을 사용하여 캐비티 볼륨을 가능한 빠른 속도로 가공하는 단위절삭 공정이다.



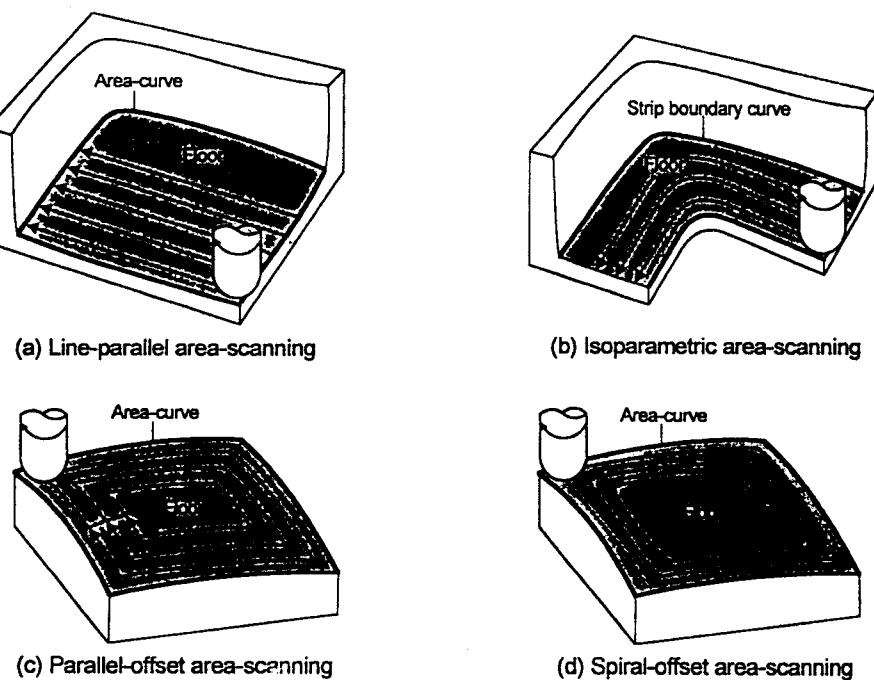
[그림 2] 러프 포켓팅



[그림 3] 파인 포켓팅



[그림 4] 벽면타입 단위 절삭공정



[그림 5] 바닥면 타입 단위 절삭공정

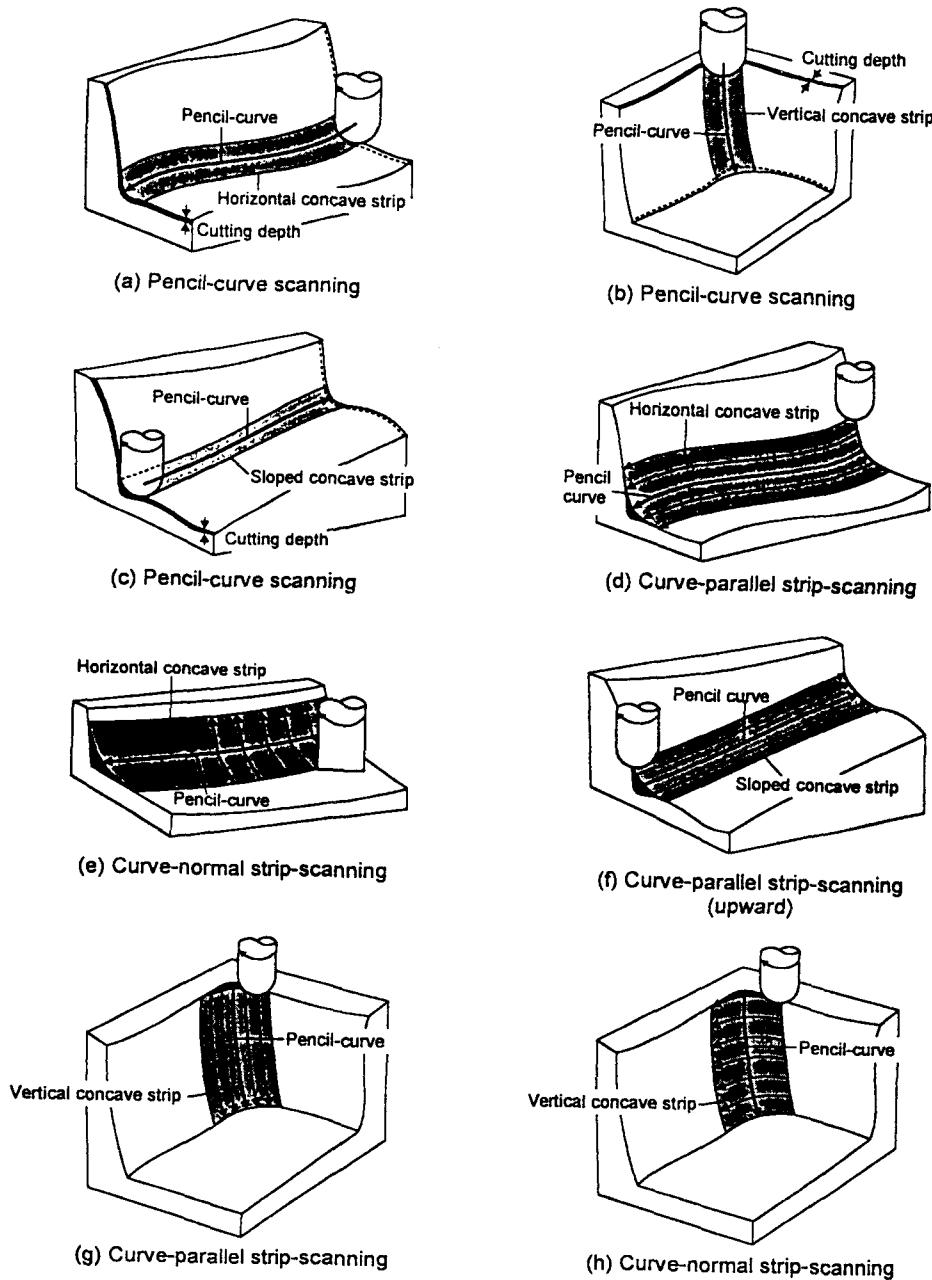
[표 1] 각 가공단계에서의 단위 절삭공정

| 가공단계 (Machining Stage) | 단위 절삭공정(Unit Machining Operation) |
|------------------------------------|---|
| 1. 황삭단계 : 가공볼륨(Volume)을 제거하는 단계 | 드릴링(Drilling) 러프 포켓팅(Rough-pocketing) 파인 포켓팅(Fine-pocketing) |
| 2. 중삭단계 : 정삭단계의 가공전 형상을 생성 | 평면평행 컨투어링 (Plane-parallel contouring) 등매개변수 컨투어링 나선 컨투어링 등매개변수 다운힐 스캐닝 (Isoparametric down-hill scanning) 직선 평행 스캐닝 |
| 3. 정삭단계: 최종 금형곡면을 생성 | 등매개변수 스캐닝 평행옵셀 스캐닝 스파이럴 옵셀 스캐닝 펜슬 가공 곡선 수직 스트립 가공 (Curve-normal strip-scanning) |
| 4. 잔삭가공: 남겨진 미가공량을 가공 | 펜슬가공 곡선 평행 스트립 가공 곡선 수직 스트립 가공 |
| 5. EDM 단계 | 형상공구 가공(Form-Cutting) EDM |

파인 포켓팅은 [그림 3]과 같이 러프 포켓팅된 피삭재나 주물 여유량을 가공하여 중삭 단계의 가공전 형상을 생성하는 단위 절삭 공정이다.

중/정삭 단계의 단위 절삭공정중 [그림4]에 벽면 특징형상을 가공하는 4가지 공정이 설명되어 있다. 평면 평행 컨투어링 공정은 (a)와 같이 벽면을 일정한 높이 간격을 갖는 수평면과의 교점곡선을 기준으로 공구경로를 생성하고 등매개변수 컨투어링(Isoparametric Contouring)은 (b)와 같이 곡면의 경계곡선을 따라가는 등매개변수 공구경로를 생성한다. 그림 (c)의 나선 컨투어링은 닫혀진 벽면에 대하여 나선형태의 공구경로를 생성하는 단위 절삭공정이다. 특히 이 공정은 고속가공 방식에서 추천하는 가공패턴이다. 등매개변수 다운힐 가공은 그림(d)와 같이 벽면을 타고 내려오는 (down hill) 방향으로 공구경로를 생성하는데 벽면을 타고 올라가는 가공방식은 공구의 생크가 벽면의 가공두께와 간섭을 이르킬 염려가 있어 실제 가공에서는 사용하지 않고 본 단위 절삭공정이면 충분하다.

[그림 5]는 바닥면 특징형상을 갖는 곡면을 가공하는 4가지 단위 절삭공정이다. 직선평행 스캐닝은 경계곡선으로 닫혀진 바닥면을 XY평면상의 한 직선과 평행한 공구경로로 가공하는 단위 절삭 공정이다. 그림(b)는 등매개변수 곡선으로 공구경로를 생성하는 모습이고 평행옵셀 스캐닝과 스파이럴 스캐닝은 경계곡선을 순차적으로 옵설하여 공구경로를 생성하는 단위 절삭공정인데 고속가공에서 요구되는 스파이럴 스캐닝은 공구경로 연결자국을 피하기 위하여 스파이럴 형태의 공구경로를 생성한다.



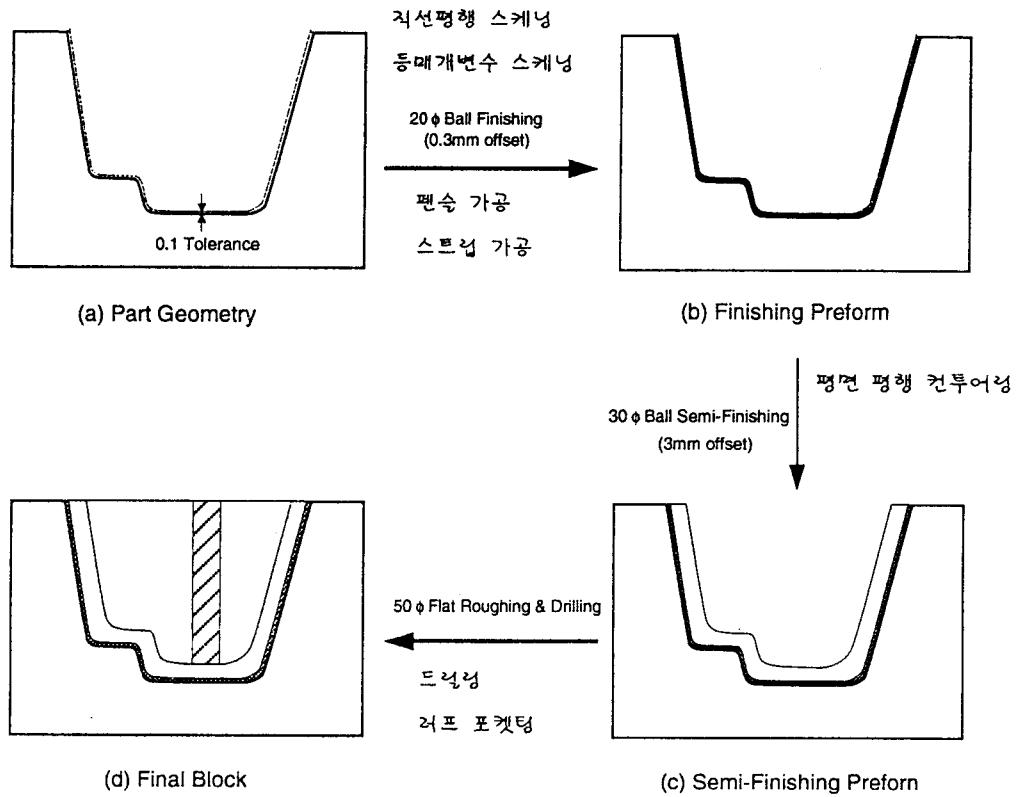
[그림 6] 오목스트립 타입 단위 절삭공정

주로 잔작단계의 가공공정으로 결정되는 펜슬가공과 스트립 가공은 [그림 6]과 같은데 펜슬곡선이란 [그림 6a,b,c]에서와 같이 볼엔드밀의 중심점이 오목스트립의 가공 특징형상을 따라서 이동할때의 궤적을 의미한다. [그림 6a,b,c]는 펜슬가공을 나타내고 [그림 6d,f,g]는 펜슬곡선에 평행한 공구경로를 생성하는 곡선평행 스트립가공을 [그림 6e,h]는 펜슬곡선에 수직한 공구경로를 생성하는 곡선수직 스트립가공을 설명하고 있다. EDM 단계의 단위 절삭공정으로는 형상공구 가공방식과 날카로운 에지를 가지는 오목 스트립 구간을 가공하는 EDM 방전가공 공정이 있다.

본 논문에서는 설명한 바와 같이 자유곡면 사출금형의 공정을 가공단계와 단위 절삭공정의 개념으로 체계화하여 곡면가공의 자동 공정계획이 가능하게 되었다. 다음으로 걸림돌이 되었던 형상모델은 Z-map이라는 모델[9]을 채택하여 해결하는데 기존의 Surface 모델러의 곡면 형상정보를 이용하여 Z-map 모델을 만들고자 하면 XY평면에 곡면을 투영한 후 사각형 격자를 규칙적으로 형성하고 각 격자점 좌표에 해당되는 곡면의 Z값을 저장한다. 이는 곡면의 Z값 지도를 가지는 것과 같으므로 Z-map이라 부른다. Z-map 자료구조로 형상이 저장되면 다른 형태의 곡면모델과 비교하여 많은 장점을 갖는데 그중에서 특히 여러 조각곡면들의 조합으로 전체곡면이 구성되었을 때 위상학적 문제를 해결할수 있다는 점과 데이터 조작의 견고성(Robustness), 자료구조의 Closeness 등이 Z-map모델을 기본 형상모델로 채택하게 된 이유이다. 왜냐하면 자동공정계획을 위해서는 형상모델 데이터의 조작과 변환이 매우 많은데 이들에 대해서 견고성(Robustness)과 Closeness가 보장되어야 하기 때문이다.

앞에서 사출금형의 자동공정계획에 장애가 되었던 문제점을 해결하는 방법을 설명하였는데 지금부터는 사출금형 공정계획의 자동화 알고리즘을 제안한다.

1) 임의의 가공단계에서 제품형상을 생성해 낼수있는 단위 절삭공정과 공구를 선택하는 문제는 각 공정별로 공구 포락곡면을 생성함으로서 가능하다. 공구 포락면은 원하는 제품 형상의 표면을



[그림 7] 후방순환법을 이용한 자동공정계획 개념도

주어진 공구의 형상으로 스캐닝(Scanning)할때에 공구가 최대로 들어갈수 있는 형상으로 그 공구로 원하는 형상에 가장 가깝게 생성할수 있는 형상이다. 이는 곡면을 주어진 공구로 상향 옵셀시킨후 다시 하향 옵셀시켜 구하는데 공구포락면은 원곡면의 필렛곡면이 된다. 만약 어떤공구의 포락면이 원하는 state 곡면과 허용오차(Tolerance) 내에서 차이가 난다면 그 공구는 state 생성 가능 곡면이 된다. 이때 잔삭가공의 경우 가능한 공정을 지정해 주어야 한다.

2) 제품형상 생성이 가능한 여러 공구중에서 가장 효율적인 공구는 절삭효율이 크고 유효한 공구이다. 절삭효율이 크다는것은 직경이 크고 견고한 공구(길이/직경 이 작은 공구)를 말하며 유효하다는 것은 하향 절삭만 가능한 공구는 드릴이 있는경우를 그리고 필요 공구길이조건을 만족하는 경우를 말한다.

3) 공구가 결정된후 바람직한 다음 State(preform)를 만들기 위해서는 현 State의 절삭깊이 만큼 상향 옵셀시키면 된다. 즉 선택된 공구로 가공될 살만큼을 현 State에 덧붙이는 것이다.

4) 초기 State 의 형상모델이 다음 State의 모델로 개선될때 즉 가공전 형상(preform)을 만들때에도 초기의 자료구조는 변하지 않고 항상 같은 구조를 유지한다. 이는 Z-map 자료구조가 옵셀에 대하여 단혀있기 때문이다. 이를 자료구조의 Closeness 가 보장된다고 한다.

제시된 4가지 기능과 공구 및 절삭조건 데이터 베이스를 활용하면 공정을 역순으로 결정할수 있는 후방순환 방식의 자동공정계획 알고리즘을 얻을수 있는데 [그림 7]에 그 개념이 설명되어 있다. 입력 정보는 초기 State가 되는 제품형상과 원하는 정밀도를 의미하는 허용오차(Tolerance), 그리고 소재형상인 최종 State와 공구 데이터베이스이며 마지막 State인 소재형상에 이를때 까지 단위 절삭공정과 다음 State로의 변화(preform 생성)를 반복해서 수행한다.

Recursive CAPP 알고리즘 :

- 1) 제품의 현 State를 생성할수 있는 가능한 단위 절삭공정 생성
- 2) 선택된 단위 절삭공정 고려하여 다음 State로 형상을 변환하고 허용오차 완화
- 3) 현 State가 최종 State에 이르면 정지

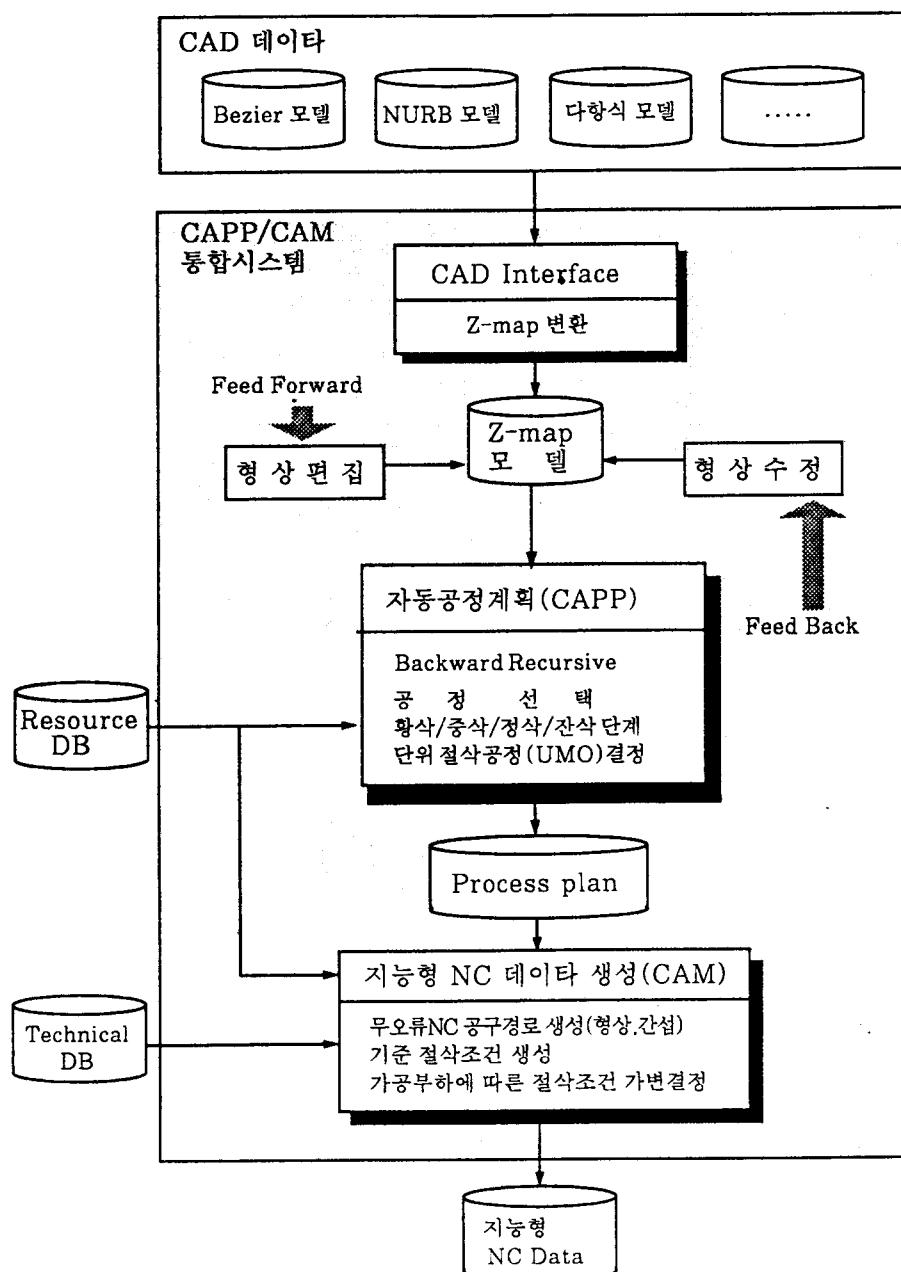
아니면 단계 1)로 간다.

제안하는 CAPP 알고리즘에 따라 공정이 선택되는 과정을 도식적으로 나타낸 [그림 7] 를 살펴보면 초기 State가 Z-map 형태로 변환된 정보와 가공된 곡면이 원 곡면과 다를때 허용되는 값을 의미하는 Tolerance가 주어져 있다. 첫번째 단계(그림 4a)에서 팬슬 가공공정과 스트립 가공공정을 미리 결정한 후 정삭공정으로 직선평행 스캐닝과 등매개변수 스캐닝을 선정한다. 각 공정의 가공깊이만큼 상향옵셀하여 정삭 Preform을 구하여 얻은 State를 생성하는 중삭공정으로 평면평행 컨투어링을 선정하고 최종적으로 황삭으로 러프 포케팅과 드릴링을 선택하였다.

3. 지능형 NC 데이터 생성

지능형 NC데이터란 무인가공이 가능한 NC데이터를 의미하는데 크게 3가지 조건을 만족시키는 NC데이터를 의미한다. 첫째 형상오류가 없는 NC데이터를 의미한다. 이는 최근 CAM시스템의 발달에 힘입어 대부분의 CAM시스템에서 만족할 만한 수준의 NC데이터를 생성해 준다. 둘째 공구간섭이 없는 NC 데이터를 의미한다. 본 연구에서 제시하는 Z-map을 이용한 단위 절삭공정 공구경로 생성방식의 가장 큰 장점은 법선 벡터를 이용한 기존의 방식과 비교하여 공구간섭에 따른 곡면 과적삭 문제가 원천적으로 배제된 방식이라는 점이다. 이는 본 방식이 Copy-milling과 유사하게 Z-map의 옵셀을 이용하여 공구경로를 생성하기 때문에 가능하다. 그리고 마지막으로 최적 절삭조건을 갖는 NC데이터를 의미한다. 최적 절삭조건을 부여하는 문제는 가장 어려운 문제로 절삭성 데이터베이스의 구축이 선행되어야 한다. 그러나 현실적으로 대부분의 금형공장에서는 CAM실에서 NC프로그래밍할 때 주어지는 절삭조건은 활용되지 못하고 기계가공을 담당하는 작업자가 현장의 상황을 확인하고 다시 결정하여 실 가공으로 들어가는 것이 일반적이다.

본 논문에서는 [그림 8]과 같이 사출금형 가공을 위한 통합 시스템을 구축하였는데 먼저 다양한 모델러에서 모델링된 CAD 형상정보를 본논문에서 채택한 Z-map 구조로 변환한다. Z-map 모델을 앞에서 제안한 후방순환 공정계획 알고리즘을 적용하여 각 가공단계별 단위 절삭공정(UMO)을 결정한 후 결정된 공정에 따라 단위 절삭공정의 NC공구경로를 생성하는데 형상오류와 공구간섭이 없는 NC 데이터를 생성해야 한다. 이때 Z-map 자료구조의 장점에 의해 형상오류와 공구간섭이 배제된 NC데이터를 생성할수 있다[9]. 생성된 NC데이터에 지능을 부여하기 위하여 절삭조건을 최적화 하는 단계가 남는데 먼저 절삭성 기술자료를 이용하여 단위 절삭 공정별로 기준 절삭조건을



[그림 8] 사출금형 가공 통합시스템 구조도

선정한다[10]. 단위 절삭공정별로 고정된 기준 절삭조건을 결정하게 되면 가장 악조건의 상황을 고려하여 안전한 절삭조건으로 결정된다. 따라서 효율적인 가공을 위해서는 각 공정에서 가변적으로 절삭조건을 출수 있어야 한다. 이를 위하여 지금까지는 현장 작업자가 NC기계의 조작판에서 가공상황을 보아가며 절삭조건을 변화시키는 역할을 수행하였다. NC 무인가공을 위해서는 이러한 현장 작업자의 역할을 CAM기능에서 보완해 주어야 한다.

부적절한 절삭조건으로 인한 가공오차를 유발시키는 공구의 흡은 과도한 절삭력으로부터 오는데 이러한 절삭력(F_c)은 아래식과 같은 근사식으로부터 계산된다[11].

$$F_c = \frac{HP_s \times MRR \times 33000}{V}$$

V 는 절삭속도를 뜻하며 HP_s 는 분당 소재를 입방인치만큼 절삭하는데 소요되는 마력을 뜻하는데 소재의 물성과 공구의 형태 및 절삭상황에 영향을 받는 값이다. NC 데이터가 주어지고 공구와 소재가 결정된 상태에서 가공오차를 원하는 수준내에 들도록 하기 위해서는 일반적으로 절삭속도를 고정시키고 공구이송속도를 조절하여 MRR을 제어하는 방법을 많이 이용한다. 이때 절삭력 모델을 이용하거나 공구의 흡 모델을 이용하여 공구이송속도를 조절한다.

기존의 연구에서는 실절삭시 추정되는 절삭력을 일정하게 유지하도록 공구이송속도를 조절하는 절삭력 모델을 많이 이용하였다. Wang[12]은 공구경로의 각 블럭에서 소재절삭량을 구하여 평균 절삭력을 계산하고 이를 일정하게 유지하도록 공구이송속도를 정해주는 방법을 채택하였는데 HP_s 를 절삭상황을 고려하지 않고 일정하게 계산하여 같은 MRR에서도 공구가 접촉하는 날부위의 차이에 따라서 절삭력의 차이가 생긴다는 사실을 무시하였다. Takata[13]의 방법은 공구를 미소날로 세분하여 각 미소날에 대한 절삭력을 계산하고 이를 합산하여 절삭력을 구한 후 이송속도를 조절하는 방법인데 역시 미소절삭날의 계산에 많은 노력이 드는 단점이 있다.

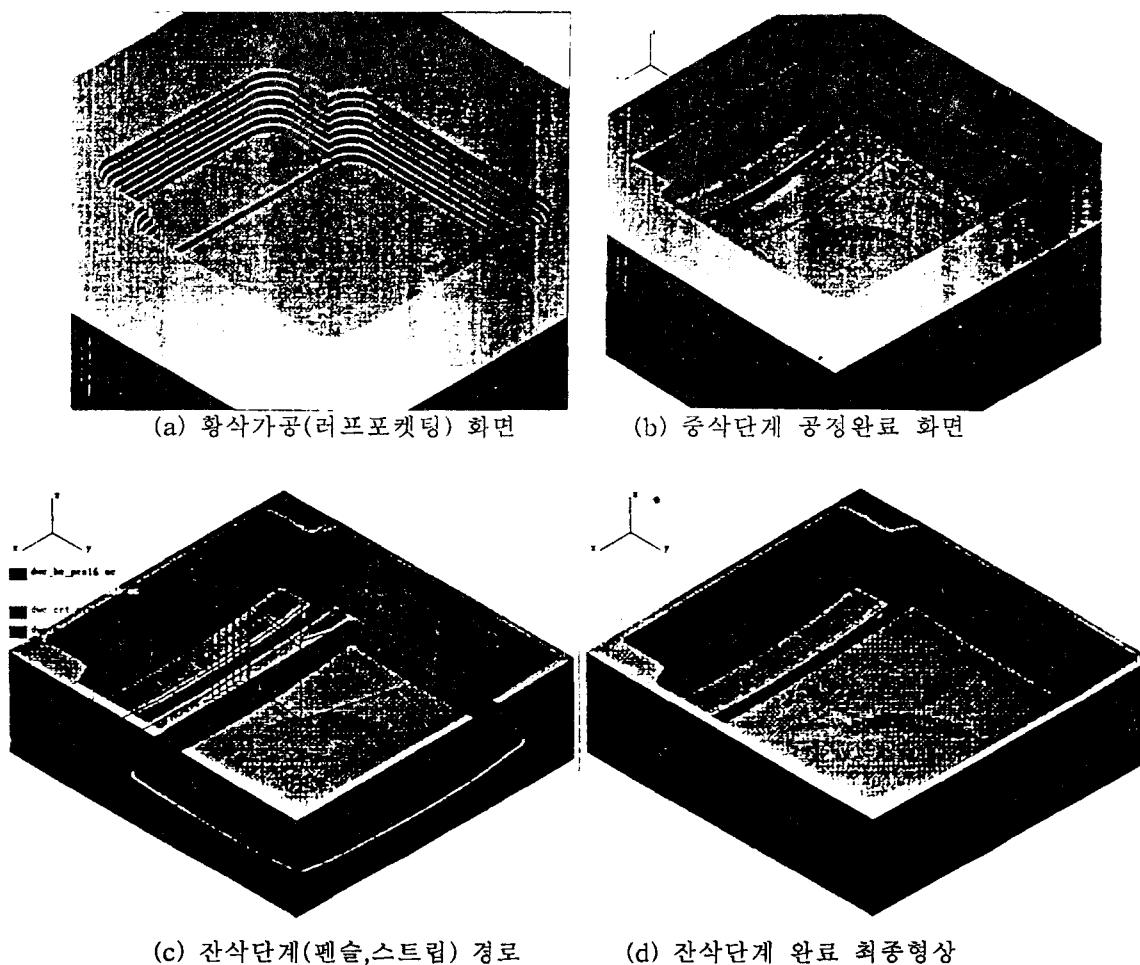
Z-map 자료구조를 이용하면 각 공구이송시 소재절삭량을 계산하는 것이 용이하고 절삭시 가공되는 공구날 부위의 파악이 가능하다[9]. 따라서 본 논문에서는 Wang의 방법을 개선하여 공구이송시 소재 절삭량을 계산할 때 공구 접촉부위별로 가중치를 두어 소재절삭량을 계산 함으로써 같은 MRR에서도 공구가 접촉하는 날부위에 따라서 절삭력에 차이가 있다는 사실을 보정하였다.

4. 결론 및 수행 예

제안된 자동 공정계획 알고리즘 및 지능형 NC데이터 생성방법은 간단한 예들에 대해서 효율적이며 검증되었다. 즉 전체곡면을 고려하여 공정과 공구경로를 선택하고 위상학적 문제가 해결된 가공데이터를 생성할 수 있었다. [그림 9]는 21인치 TV 프론트 케비넷 사출금형을 사각블록 형상의 모울드베이스 소재로부터 가공할 때 제안한 공정계획방법에 따라 선택된 황삭, 중삭, 잔삭 단계의 공정가공을 마친 금형모델이다. 각 가공단계에서 선택된 공정은 [그림 7]에서 나타나는 바와 같이 황삭가공에서 드릴링과 러프포켓팅, 중삭단계에서 직선 평행 스캐닝과 등 매개변수 스캐닝이다. 끝으로 펜슬가공과 스트립가공 단위 절삭공정이 잔삭단계의 공정이다.

[그림 9a]는 황삭단계의 러프 포켓팅 공구경로 NC 데이터(그림 2d)로 가공중인 피삭재의 모습이며 [그림 9b]는 [그림 3d]와 같은 경로의 평면 평행 컨투어링 공정을 가공한 후의 작업물 형상이다. [그림 9c]는 잔삭공구경로와 가공중인 피삭재 작업물의 모습이고 (d)는 최종 완성 형상이다.

선택된 공정의 공구경로를 생성하면서 [그림 9]와 같이 가공 시뮬레이션을 통해 피삭재의 가공량을 계산하여 절삭조건을 가변적으로 계산하여 준다. 본 논문에서는 제안하는 방법론의 타당성을 검토하기 위하여 TV 금형 하나에 대해서 결과를 얻어 그림으로 보여 보았으나 이를 완벽하게 구현하는 통합시스템이 개발되면 숙련된 작업자 없이 자동공정계획이 수립되고 각 공정의 NC



[그림 9] 자동 공정 계획 수행 예

데이터로부터 각 공정에 소요되는 표준시간을 정확하게 계산할 수 있으며 자동 공정계획 시점에서 형상을 파악하고 있으므로 Moldbase 발주시 황삭 가공정보를 제공하여 가능한 최종형상에 가까운 소재를 얻는등 그 효과가 매우 클 것이다. 또한 전단계 공정을 고려하며 공구 절삭량을 이용한 최적 이송속도를 NC데이터에 부여하여 각 공정 NC데이터를 자동화할 수 있을것이다. 이러한 활용방안을 통하여 공정계획이 자동화 되고 NC데이터가 자동화 된다면 모울드금형의 무인가공이 가능하게 될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] T.Altan, et al,"Advanced techniques for die and mold manufacturing",Annal of the CIRP, Vol 42 No 2, 1993.
- [2] P.Fallbohmer, et al,"Survey of U.S. Die and Mold Manufacturing Industry, ERC/NSM-D-95-41,ERC for net shape manufacturing, The Ohio University,U.S.A,1995.
- [3] P.Fallbohmer,H.K.Tonshoff and T.Altan,"High speed milling of die and mold", State of art report, ERC NSM-D-95-17,ERC for net shape manufacturing, The Ohio University, U.S.A, 1995.
- [4] K.Yamasaki,et al,"Autonomous process planning with real-time machining for productive sculptured surface manufacturing based on automatic recognition of geometric feature", Annal of CIRP,Vol 44 No 1, 1995.
- [5] B.K.Chi, et al, "STTOP: An approach to CAD/CAM integration", Computer Aided Design, Vol17 No 4, 1985.
- [6] N.Nishino,"CAD/CAM System technologies for die", Machine and Tool,1996(in Japanese).
- [7] F.Mason,"Die and Mold Finishing:how fast?",Manufacturing Engineering,Sep.,1995.
- [8] M.Yamashita and H.Kondo,"Automatic Technologies for Die Design and Manufacturing", JSPE, July,1993.
- [9] Y.C.Jung and B.K.Chi,"Non-Parametric Modelling of Cutter Swept Surfaces for Cutting Simulation",Tech.Report CADM-95-5, CAD/CAM Consosium KAIST, 1995.
- [10] 유우식,“최적 절삭조건 생성체계 구축에 관한 연구”, LG전자 위탁연구 보고서, 금오공과대학교, 1996.
- [11] Degarmo,Black and Kosher, Materials and Processes in manufacturing, Collier Macmillan, 1988.
- [12] W.P.Wang, Application of solid modeling to automate machining parameters for complex parts,Proc.19th CIRP Int'l Seminar on Manufacturing System,Penn State,USA.1987.
- [13] S.Takata,etc, A Cutting Simulation System for Machinability Evaluation Using a Workpiece Model,Annals of the CIRP, Vol.38/1/1989.
- [14] D.H.Kim and B.K.Chi,"Structured Modeling of Die Machining Processes",Tech.Report CADM-96-1, CAD/CAM Consosium KAIST, 1996.
- [15] W.S.Yoo and B.K.Chi,"CAPP for Die Cavity Machining", IFIP Transaction B-3, 1992.