

적층과 절삭을 복합적으로 수행하는 새로운 개념의 판재 적층식 쾌속 시작 시스템의 개발 (II) - 공정계획 시스템 -

허정훈* · 이건우**
(1999년 11월 17일 접수)

Development of New Rapid Prototyping System Performing both Deposition and Machining (II) - Process Planning System -

Junghoon Hur and Kunwoo Lee

Key Words : Hybrid Rapid Prototyping System(하이브리드방식 쾌속시작시스템), Process Planning(공정계획), STEP(스텝), Machining Feature Segment(가공특징형상), Deposition Feature Segment(적층특징형상), Feature Recognition(특징형상인식), Shape Decomposition(형상분해)

Abstract

The necessity of using rapid prototyping(RP) for short-run manufacturing is continuously driving a development of a cost-effective technique that will produce completely-finished quality parts in a very short time. To meet these demands, the improvements in production speed, accuracy, materials, and cost are crucial. Thus, a new hybrid-RP system performing both deposition and machining in a station is proposed. For the new hybrid RP process to maintain the same degree of process automation as in currently available processes like SLA or FDM, a sophisticated process planning system is developed. In the process planner, CAD models(STEP AP203) are partitioned into 3D manufacturable volumes called "deposition feature segment"(DFS) after machining features called "machining feature segment"(MFS) are extracted from the initial CAD model. Once MFS and DFS are identified, the process planner arranges them into a chain of processes and automatically generates machining information for each DFS and MFS. The goal of this paper is to present a framework for a process planning system for hybrid RP processes and to outline the geometric algorithms involved in developing such an environment

1. 서론

1.1 연구배경

기존 쾌속시작시스템의 단점과 한계를 극복하여 차세대 설계 및 생산 시스템의 중요한 요소로서 광범위하게 활용될 수 있도록 서울대학교에서

는 ECLIPSE-RP 라는 적층과 절삭을 복합적으로 수행하는 새로운 개념의 하이브리드(hybrid) 방식 쾌속시작시스템을 새롭게 개발하였다. 이 방식은 기존의 시스템이 적층공정만으로 형상을 구현하는데 반해 적층과 절삭공정을 복합적으로 수행하여 3차원 형상을 완벽하게 구현한다.

새롭게 개발된 ECLIPSE-RP 공정의 효과적인 운영을 위해서는 기존의 공정계획 기법과는 완전히 다른 형태의 새로운 공정 계획 기법이 요구되며 또한 시스템의 원활한 활용을 위해서는 기존의 상용화된 시스템을 지원하는 소프트웨어 수준의

* 서울대학교 대학원

** 회원, 서울대학교 정밀기계설계공동연구소

E-mail : kunwoo@cad.snu.ac.kr

TEL : (02)880-7141 FAX : (02)883-8061

자동화된 작업이 가능하도록 다양한 형상 및 공정 관련 알고리즘의 개발이 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 새롭게 개발된 하이브리드 방식 폐쇄 시작 시스템을 지원하는 공정 계획 시스템의 기반 구조 및 공정계획 기법을 개발하고 이들을 구성하는 세부적인 형상 및 공정 관련 알고리즘을 개발하였다.

1.2 연구배경

개발한 복합공정은 크게 두 가지 종류의 공정으로 구분할 수 있다. 그 중 한 가지는 성형이 시작 될 때부터 끝날 때까지 주기적으로 계속되는 주 성형 사이클(main process cycle)이며, 나머지 한 가지는 주 성형 사이클과는 별도로 수시로 최적의 시점에서 수행되는 부 절삭공정(additional machining process)이다.

Fig. 1에는 본 연구에서 개발한 복합공정의 전체적인 구조를 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 주 성형사이클은 「후면절삭(황삭 / 정삭 / 가공특징형상 절삭) → 판재적층 → 전면황삭 → 윤곽절삭 → 전면정삭」의 다섯 단계로 나뉘어 지며 부 절삭공정은 드릴링 공정 및 밀링 공정으로 나뉘어 진다. 부 절삭공정을 도입함으로써 복잡하면서 비교적 작은 형상들을 가공하기 위하여 불필요하게 물체를 잘게 나누는 것을 방지하여 전체 성형시간을 효과적으로 단축할 수 있으며 이러한 가공특징형상들을 한 번에 가공함으로써 형상 정확도 또한 보존할 수 있다.

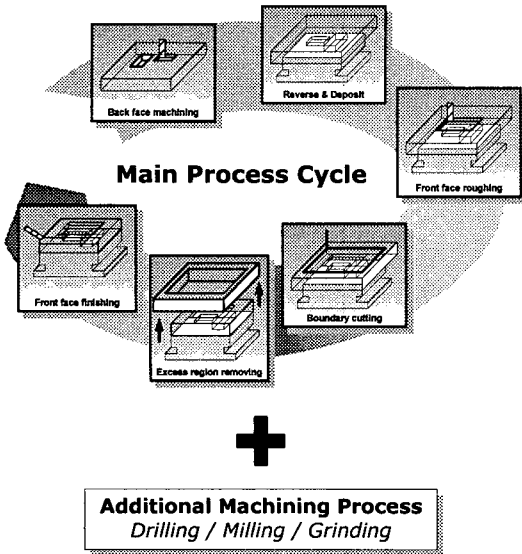


Fig. 1 Process of proposed hybrid system

2. 공정계획시스템의 구조

2.1 기반구조

Fig. 2에는 본 연구에서 개발한 공정계획시스템의 세부 구조와 작업 흐름을 나타내었다. Fig. 2에서 *Process Planning Phase*에 해당하는 작업이 모두 공정계획시스템 내에서 이루어지는 작업이며 내부적으로 성형방향을 결정하는 기능, 공정의 효율성을 높이기 위하여 도입된 가공특징형상(machining feature segment, MFS)을 추출하여 전체 형상을 단순화하는 가공특징형상 추출 기능, 단순화된 형상을 공구의 접근성을 고려하여 여러 개의 3 차원 형상의 층(3D layer)으로 분해하는 적층특징형상(deposition feature segment, DFS) 생성 기능, 생성된 가공특징형상과 적층특징형상을 가공하기 위한 공구 경로, 층 간의 접착을 위하여 사용하는 접착제를 주사하기 위한 노즐 경로, 최종적인 후처리를 수행하기 위한 연삭경로를 생성하는 기능, 완성된 경로를 실제로 ECLIPSE-RP에 전달하기에 앞서서 가상적으로 전체공정을 수행하여 검증하는 공정모사 기능 등이 제공되어야 한다.

본 논문에서는 이러한 일괄적인 공정계획 작업을 지원하는 공정 계획 시스템의 기반 구조 및 공정 계획 기법을 제안하고 이를 구성하는 세부 모듈 가운데 가공특징형상 추출 작업과 3 차원 형상 분해 작업의 기반이 되는 기하학적 알고리즘을 중심으로 설명하겠다.

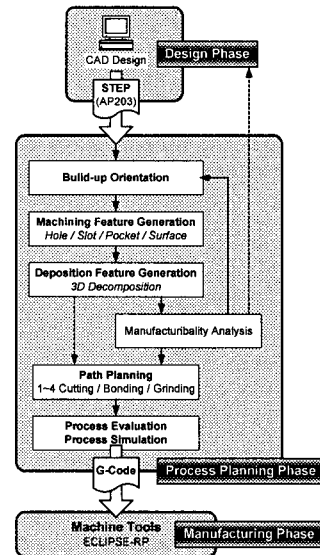


Fig. 2 Architecture of process planning system

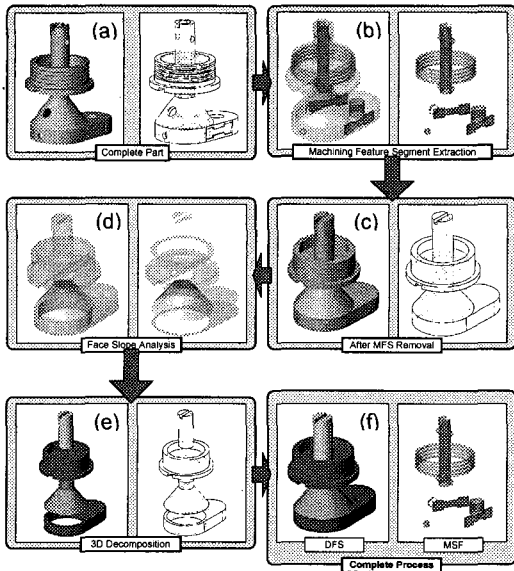


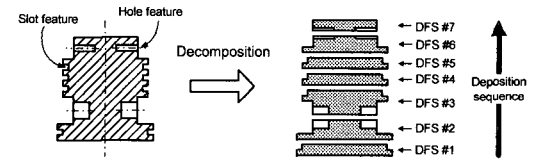
Fig. 3 Job sequence for process planning

2.2 공정계획시스템을 이용한 작업 순서

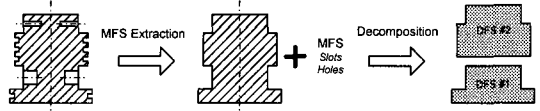
Fig. 3에는 본 연구에서 개발한 공정 계획 기법에 대한 이해를 돕기 위하여 예제모델을 이용하여 공정 계획 수립 작업을 순차적으로 도시하였다. 제품의 형상 설계가 완료되면 형상 설계자는 모델러에서 제공하는 STEP AP203 변환기를 이용하여 제작하고자 하는 3차원 솔리드 모델을 STEP의 물리적 파일로 변환한다. 공정계획 시스템은 형상정보를 입력 받은 후, 형상을 분석하여 필요한 정보를 저장, 관리한다. 이를 바탕으로 가장 먼저 Fig. 3 (b)와 같이 MFS를 추출하고 추출된 MFS는 원래의 솔리드 모델에서 제거되어 형상은 Fig. 3 (c)와 같이 단순한 형태로 변환된다. 이를 기반으로 모델을 구성하는 모든 면의 기하 정보를 분석하여 Fig. 3 (e)에 나타난 적층의 최소 단위인 DFS로 분해한다. 이렇게 생성된 MFS와 DFS는 각각이 모두 세부공정을 구성하게 되며 이러한 공정을 효과적으로 배치하고 각 공정에 해당하는 공정정보를 생성함으로써 공정계획을 완료하게 된다.

3. 가공특징형상의 추출

본 연구에서 개발한 공정 계획 기법에서는 적층과 절삭으로 구성된 복합공정의 장점을 최대한 활용하기 위하여 가공특징형상 기반의 공정 계획 기법을 도입하였다. 이러한 형상을 가공특징형상(MFS)이라고 정의하였으며 이를 통하여 기대할 수 있는 효과는 다음과 같다.



(a) Without MFS concept (7 DFS's)



(b) With MFS concept (2 DFS's)

Fig. 4 Machining Feature Segment, MFS

- ① DFS 개수의 감소로 총 성형시간 단축
- ② 접촉 부위 감소로 제품의 강도 증가
- ③ 가공특징형상을 보존하여 형상 정확도 향상
- ④ 특징형상 기반의 체계적인 공정 관리 및 평가

Fig. 4에는 MFS의 개념과 장점을 간략히 도식화하였다. 동일한 예제 모델에 대하여 MFS 개념을 사용하지 않은 Fig. 4(a)의 경우에는 총 7개의 DFS가 생성된 반면, MFS 개념을 도입한 Fig. 4(b)의 경우에는 형상을 분해하기에 앞서서 구멍(hole)과 슬롯(slot)을 모델로부터 생략함으로써 최종적으로 총 2개의 DFS가 생성된 것을 알 수 있다. 본 연구에서 개발한 주요 공정이 분해된 각각의 DFS를 기본 단위로 수행된다는 관점에서 고려해보면 결국 DFS의 개수가 적으면 적을수록 전체 공정에 소요되는 시간이 감소한다고 결론지을 수 있다.

또한 추출된 가공특징형상이 가지고 있는 기하학적 정확도를 보존하여 다른 부품과의 조립 가능성을 높일 수 있는 장점이 있다. 본 시스템은 기본적으로 적층공정을 기반으로 하고 있기 때문에 특징형상이 적층으로 인하여 여러 개의 조각으로 분리되어 적층될 경우에 이 부분의 아주 작은 적층 정밀도의 저하가 다른 부품과의 조립성과 기능성을 크게 저하시킬 우려가 있다. 따라서 이들을 한 번의 공정으로 가공함으로써 이러한 문제를 미연에 방지할 수 있다.

3.1 가공특징형상의 정의

본 공정계획 시스템에서 정의하는 MFS는 ECLISPE-RP에서 공구가 접근하여 가공 가능한 형상들로서 이들을 가공특징형상(machining feature segment, MFS)이라고 하였다. 본 연구에서 정의하는 MFS는 일반적인 절삭공정에서 정의하는 가공특징형상과 기본적인 개념은 동일하지만 뒤에서 설명될 적층특징형상과 상응하여 부가적인 의미를

함께 가지게 된다. 이와 같이 정의되는 MFS 는 각각에 대하여 어떠한 가공 공정이든 간에 한 번의 공정으로 이루어져야 하며 MFS 가공 공정은 모든 적층 공정이 완료된 후에 수행되어지는 것이 일반적이나 경우¹에 따라서는 적층 공정 중간에 삽입되어 수행되어 질 수 있다.

3.2 가공특징형상 추출 시스템의 구조

본 공정계획 시스템은 기본적인 기하학적 추론 엔진과 추가적인 사용자의 입력을 바탕으로 MFS 를 추출해 내며 1 차적으로 추출된 MFS 에 대하여 가공정보 데이터베이스를 기반으로 시스템이 가공가능성을 판단하고 이들을 가공하기 위한 가공정보를 구축하게 된다. 본 시스템에 적용한 기하추론 엔진과 사용자 입력을 동시에 기반으로 하는 하이브리드 방식 특징형상인식 기법은 정확성이나 실용성 측면에서 보다 효율적인 접근 방법이다⁽¹⁾.

Fig. 5에는 본 공정계획 시스템 내에 구현된 MFS 추출 시스템의 구조를 간략하게 도식화 하였다. 구조적으로 크게 세 부분으로 나누어 볼 수 있으며 그림에는 각각에 대하여 A, B, C 로 구분되어 있다. A 는 주어진 물체를 구성하는 모든 기하학적인 형상을 해석하여 원하는 형태의 특징형상을 선택적으로 추출하여 사용자에게 제안하는 기하추론 엔진, B 는 사용자가 시스템이 제공하는 인터페이스를 이용하여 원하는 특징형상을 선택하고 정보를 입력하는 사용자 입력 시스템, C 는 기하추론 엔진과 사용자 입력에 의하여 선택된 특징형상에 대하여 가공가능성 평가를 위한 기준 제공하고 최종적으로 결정된 MFS 에 대하여 가공정보를 제공하는 가공정보 데이터베이스이다.

본 연구에서는 기하추론 엔진 부분을 힌트기반 특징형상 인식(hint-based feature recognition) 기법을 기반으로 구현하였다. 힌트(hint)라는 것은 특정 특징형상의 존재 유무를 판단할 수 있는 최소한의 조건으로서 다른 특징형상과 여러 차례 교차가 발생하더라도 관심있는 특징형상이 실제로 물체 내에 존재한다면 그 특징형상을 표현하는 최소한 형상 상의 특징인 힌트는 사라지지 않는다는 것이 기본 개념이다.^(2,3) 힌트기반의 MFS 추출 시스템을 구축하기 위해서 추출하고자 하는 MFS 종류를 결정하였으며 각 MFS 에 대하여 해당 MFS 가 가지고 있는 최소한의 조건인 힌트를 생성하였다. 또한 최종적으로 얻어진 MFS 의 해당 힌트로부터 MFS 를 완전하게 정의하여 특징형상 개체(feature

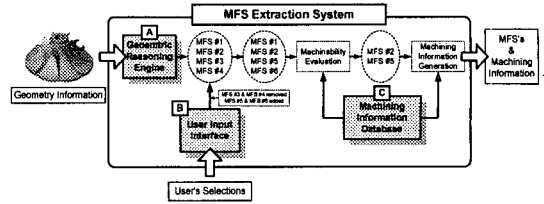


Fig. 5 Architecture of MFS extraction system

MFS type, M_{hole} : Hole
Hint for M_{holes} , $h_{M_{hole}}$: Cylindrical wall face

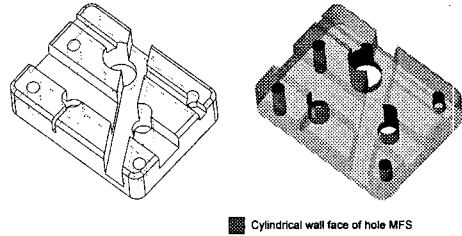


Fig. 6 Hint for hole recognition

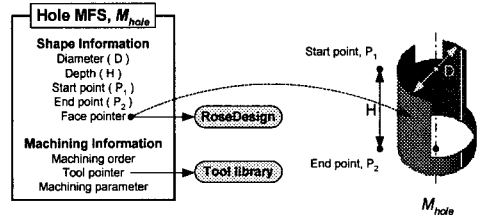


Fig. 7 Data structure of M_{hole} , hole MFS

instance)를 생성하는 기하추론 엔진을 구현하였다.

3.3 추출할 가공특징형상의 종류

본 연구에서는 드릴링 공정으로 가공 가능한 구멍(hole), 밀링 공정으로 가공 가능한 슬롯(slot), 포켓(pocket), 미소 가공 곡면(surfaces)을 추출 대상으로 결정하였다. 구멍, 포켓, 슬롯은 모두 일반적인 기계부품에 다수 존재하는 가공특징형상들이므로 이들을 제작하고자 하는 모델로부터 선택적으로 제거할 경우에 DFS 의 전체 개수가 급격히 줄어들어 총 성형시간의 상당한 단축을 기대할 수 있다.

3.3.1 MFS-I: Hole

구멍 MFS(M_{hole})에 대하여 “구멍”은 추출하기 위한 첫번째 MFS 타입이며 이를 위한 힌트($h_{M_{hole}}$)는 실린더 곡면으로 구성된 벽면이 된다. Fig. 6의 모델의 경우 M_{hole} 이 7 개 존재한다. 시스템이 추출했거나 사용자 입력에 의하여 선택된 후보 M_{hole} 의 정보는 시스템에 저장되어 이를 바탕으로 가공가능성 평가가 수행된다. M_{hole} 을 저장하는 형태는 Fig. 7에 나타나 있다. M_{hole} 을 저장하는 구조는 크

¹ 상부의 적층으로 인하여 공구가 접근할 수 없게 되는 경우에는 해당 적층 공정이 수행되기 이전에 MFS 의 가공 공정이 먼저 수행 된다.

MFS type, M_{slot} : Slot
 Hint for M_{slot} , $h_{M_{slot}}$: A pair of parallel opposing wall faces

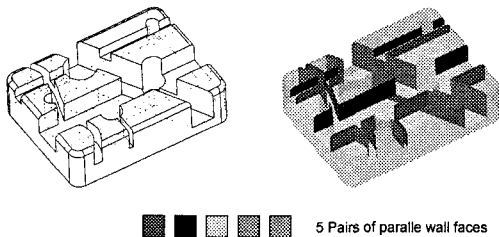


Fig. 8 Hint for slot recognition

계 형상정보를 다루는 부분과 가공정보를 다루는 부분으로 나누어 볼 수 있으나 이들 모두 최종적으로는 가공공정을 생성하기 위한 정보들로 사용된다.

3.3.2 MFS-II: Slot

슬롯 MFS(M_{slot})에 대하여 “슬롯”은 추출하기 위한 두번째 MFS 타입이며 이를 추출하기 위한 힌트($h_{M_{slot}}$)는 한 쌍의 마주보는 평행한 벽면이 된다. 이러한 평행한 한 쌍의 벽면을 기준으로 슬롯을 구성하는 나머지 요소인 바닥면을 찾게 되며 이러한 과정을 통해서 M_{slot} 의 정의에 필요한 변수들을 추출하여 각각의 M_{slot} 에 해당하는 인스턴스를 생성하게 된다. Fig. 8에 나타난 모델에는 총 5개의 M_{slot} 이 포함되어 있다. M_{slot} 을 저장하는 기본적인 구조는 M_{hole} 을 저장하는 구조와 유사하며 이들도 최종적으로는 가공공정을 생성하기 위한 정보들로 사용된다.

3.3.3 MFS - III: Pocket

포켓은 단면 형상과 동일한 바닥면과 이 바닥면이 수직인 방향으로 스유펙되면서 형성되는 포켓을 둘러싸는 벽면들의 집합으로 구성된다. 이러한 포켓은 단면의 형상이나 스유펙된 방향 등에 따라 전체 형상이 매우 다양하게 변화하기 때문에 자동으로 추출하기가 쉽지 않다. 일반적으로는 공구 접근 방향과 수직인 평면에 형성되는 단면 정보를 이용하여 추출하는 기법을 많이 사용하지만 본 시스템의 경우 공구의 접근 방향이 반구의 모든 지점에서 가능하기 때문에 이러한 방법을 기반으로 추출하는 것이 불가능하다.⁽⁴⁾ 따라서 보다 정확하고 효율적인 작업을 위하여 포켓의 추출은 모두 사용자 입력에 의존한다.

일반적으로 공정 설계자가 선택하게 되는 M_{pocket} 은 물체의 옆면에 존재하는 비교적 작은 크기의 포켓들이며 설계자는 추출하고자 하는 M_{pocket} 의 구성요소 중 한가지를 선택하게 되면 나머지

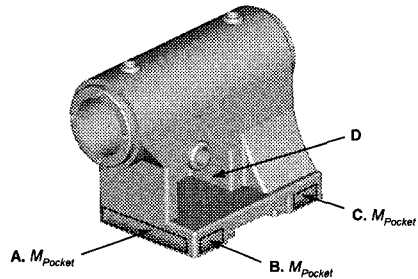


Fig. 9 Example of pocket MFS(M_{pocket})

요소를 구성하여 M_{pocket} 의 인스턴스를 생성하게 된다. Fig. 9는 본 공정계획 시스템을 이용하여 공정 설계자가 일반적으로 선택할 수 있는 M_{pocket} 의 예를 나타낸 것이다. 그림에서 A, B, C는 비교적 작은 크기의 포켓들로서 M_{pocket} 로 선택된 것이며 D는 형상은 포켓의 형상을 하고 있으나 따로 M_{pocket} 로 분리하지 않고 적층 공정 사이클 내에 포함되어 가공이 일어 나도록 한 예이다. M_{pocket} 을 저장하는 형태 또한 다른 MFS를 저장하는 구조와 유사하다.

3.4 가공특징형상의 생략

STEP AP203의 형태로 입력된 모델의 형상 정보에는 특징형상과 관련된 정보는 포함되어 있지 않기 때문에 MFS로 추출된 형상들을 원래의 모델로부터 정확히 제거하는 것은 불가능하다. 따라서 본 시스템에서는 추출된 MFS를 CAD 모델로부터 실제로 제거하는 방법을 취하지 않고 논리적으로 제외시키는 방법을 취하였다. 즉, 추출된 MFS를 정의하는 면들에 논리적인 인식표(tag)를 부착하여 MFS 추출 작업 이후에 수행되는 DFS 생성 작업 시에 해당 면들은 검색 대상에서 제외 시킴으로써 구현 가능하다. 추출된 MFS를 원래의 모델로부터 제거하는 목적은 DFS 생성 시에 모델 상에 존재하는 MFS들의 형상들로 인하여 불필요하게 DFS가 많이 생성되는 것을 방지하기 위함인데 MFS를 구성하는 면들을 DFS 생성 시에 논리적으로만 제외시키게 되면 실제로 생성된 DFS의 결과에는 영향을 끼치지 않는다.

3.5 가공특징형상의 가공 가능성 평가

MFS의 추출에서 중요한 것은 가공 가능성의 평가이다. 1차적으로 추출한 MFS에 대하여 실제로 가공 가능한 형상인지를 판단하여 최종적으로 선정된 특징형상만이 의미를 가지는 MFS이 되는 것이다.⁽⁵⁾ 본 공정 계획 시스템에서 후보 MFS들에 대하여 가공 가능성을 평가하는 기준은 아래와 같다.

- ① 보유하고 있는 공구로 가공 가능한 형상
- ② 적용하고자 하는 공정으로 가공 가능한 형상
- ③ 공구가 접근 가능한 곳에 위치한 형상

추출된 후보 MFS 들을 대상으로 위의 세 가지 조건에 대하여 가공 가능성을 평가하여 모든 조건을 만족하는 후보 MFS 들만을 최종적인 MFS 로 결정하게 된다. 첫번째 가공 가능성 평가 기준은 가장 기본적인 기준으로서 현재 보유하고 사용할 수 있는 공구로 대상 MFS 가 가공 가능한지를 판단하는 것이다. 본 공정 계획 시스템에서는 현재 보유하고 있는 공구들을 테이블의 형태로 저장하고 있다. 따라서 가공하고자 하는 MFS 의 정보와 테이블의 내용을 비교하여 후보 MFS 에 대하여 가공 가능성을 판단할 수 있다.

두번째 기준은 가공을 위한 공구의 접근 방향이 가능한 방향인지를 판단하는 조건이다. ECLIPSE 는 한 번의 셋업으로 5 면 동시 가공이 가능할 뿐더러 적층 공정 사이클 내에 판재를 뒤집는 공정이 포함되어 있기 때문에 공구의 접근 방향 관점에서는 이론상으로 모든 MFS 의 가공이 가능하다고 말할 수 있다. 단지 이 과정에서 각 MFS 에 대하여 어느 시점²에서 가공을 수행해야지만 공구가 접근 가능할 것인가를 결정하는 작업만이 요구된다.

최종적으로 수행하는 가공 가능성 평가는 물체의 형상 때문에 발생하는 가공 부적합성을 검사하는 과정으로서 절삭 공정 시 공구와 형상 간의 간섭을 검사하는 과정이다. 본 가공 가능성 평가 시에도 가공 가능성 검사와 동시에 가공 시점 변경이 이루어진다. 즉, 임의의 MFS 에 대하여 해당 MFS 를 가공하기 위한 공구도 보유하고 있고, 공구의 접근 방향도 정의가 되지만 주변의 형상 때문에 공구가 접근하지 못할 경우에 가공 시점을 공구가 접근 가능한 적층 이전의 단계로 조정하거나, 이러한 방법으로도 가공 불가능한 경우에는 후보 MFS 리스트에서 삭제하게 된다.

4. 적층특징형상의 추출

본 폐속 시작 시스템은 기본적으로 판재 적층 방식의 시스템이나 기존의 시스템과 다른 점은 상당히 두꺼운 판재를 적층한다는 점이다. 따라서 임의의 형상을 성형하고자 했을 때 매우 작은 두께(0.01 ~ 0.5 mm)로 일정하게 물체를 단면화하는 기존의 방법을 그대로 적용할 수 없다. Fig. 10에는

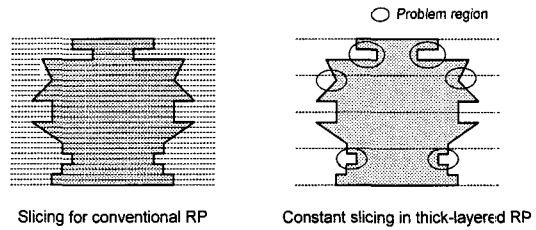


Fig. 10 Problems caused by constant thickness slicing in thick-layered manufacturing

적층 공정에서 두꺼운 판재를 사용할 경우에 발생하는 문제점을 그림으로 간략하게 도시하였다. Fig. 10의 오른쪽 그림에서 원형으로 표시된 부분은 한 개의 층 내에 위, 아래 어느 방향에서도 공구가 접근할 수 없는 가공이 불가능한 부분으로서 기존의 방법을 본 연구에 그대로 적용할 수 없음을 보여준다. 따라서 두꺼운 판재를 적층하여 원하는 형상을 제작하기 위해서는 반드시 물체의 형상정보를 바탕으로 이른바 적층특징형상(Deposition Feature Segment, DFS)라고 하는 기본 단위로 형상을 분해하여야 한다.

DFS 를 추출하는 작업은 MFS 추출 과정이 완료된 직후에 수행되며 이전 과정에서 MFS 로 추출되었던 형상 요소들은 DFS 생성을 위한 형상 정보 추출 대상으로부터 제외 된다. 또한 DFS 생성이 완료되면 MFS 들과 함께 전체 공정을 구성하게 되고 전체 공정의 평가를 통하여 일괄적인 가공 순서 계획 등이 완료되게 된다.

4.1 적층특징형상(DFS)의 조건

모든 DFS 가 반드시 만족해야 하는 조건은 다음과 같다.

- ① 많아야 두 번의 셋업으로 가공 가능한 형상
- ② 공급하는 판재의 최대 두께를 넘지 않는 높이

위의 조건 가운데 두 번의 셋업으로 가공 가능해야 한다는 의미는, 기하학적으로 한 개의 DFS 를 구성하는 모든 면(수직면 제외)들이 위 방향과 아래 방향 중 적어도 한 방향에서는 보여야(visible) 한다는 것이며 이는 본 시스템의 적층 공정 사이클 내에 포함된 판재를 뒤집어서 가공하는 공정으로부터 기인한 조건이다.

또한 DFS 를 생성할 때에는 먼저 물체의 형상 정보만을 바탕으로 형상을 분해한 후 실제로 본 폐속 시작 시스템에서 사용 가능한 판재의 최대 두께를 제한 조건으로 각 DFS 를 재구성하게 된

² 뒷면 가공 시 또는 뒷면 가공 시

다. 이상적으로는 DFS 가 생성된 대로 판재를 공급하여 적층 공정을 수행해야 하겠지만 실제로는 하드웨어 구성과 제공되는 판재 두께의 한계 관점에서 사용할 수 있는 최대 적층 두께가 한정되어 있다

4.2 적층특징형상 생성 알고리즘

DFS 를 생성하기 위하여 크게 4 단계의 과정을 거쳐게 되며 각각 면 분할, 공간 분할, DFS 구성, DFS 의 분할 및 병합 등의 과정 등으로 구성된다. 일단 형상정보와 MFS 정보를 입력 받게 되면 물체를 구성하는 모든 면에 대하여 실루엣곡선 (silhouette curve)과 이들을 연결하는 추가적인 곡선을 생성하여 전면 절삭과 후면 절삭에서 가공 가능한 면들을 구분하는 경계로 삼는다. 그리고 이들 곡선이 기존의 모서리 상에 있지 않을 경우 이들을 새로운 모서리로 생성하여 기존의 면들을 분할 한다. 분할된 각 면들의 법선벡터는 동일한 면 내에서 적층 방향에 대하여 동일한 부호를 가지게 되며 이들을 추적하면서 뒤에서 설명할 규칙에 의거하여 그룹화를 수행하여 1 차적인 pseudo-DFS 를 생성한다. 생성된 pseudo-DFS 에 대하여 높이가 공급할 수 있는 판재의 최대 높이보다 작은지를 검사하여 초과하는 DFS 에 대하여 분할 및 병합 작업을 수행한다. 최종적으로 완성된 pseudo-DFS 를 기반으로 pseudo-DFS 간에 모델링 기법을 이용하여 경계면을 생성하여 완전한 솔리드 형태의 최종적인 DFS 를 생성하고 가공 정보를 저장하여 작업을 완료한다.

4.2.1 면의 분리

본 공정 계획 시스템에서 공구가 접근하여 가공 가능한 면은 공구가 접근하는 방향에서 보이는 면(visible face)들로 제한하였다. 즉, DFS 를 구성하는 면들은 적층 방향을 정의하는 임의의 축이 판재를 관통한다고 가정했을 때 판재를 경계로 위쪽 축 상과 아래쪽 축 상에 눈을 위치시켰을 때에 모두 보여야 하는 것이다. Fig. 11에는 위에서 설명한 공구의 접근 방향과 가공 가능한 면들과의 관계를 그림으로 나타내었다.

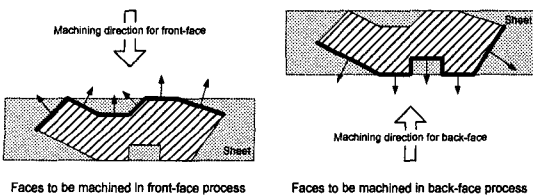


Fig. 11 Faces to be machined with respect to machining directions

이와 같은 조건으로 DFS 를 생성할 경우에, 결국 DFS 간의 경계가 되는 부분은 일정한 적층 방향을 기준으로 했을 때 면이 가지고 있는 형상정보 가운데 법선벡터의 적층 방향 축 성분의 부호가 양에서 음으로, 또는 음에서 양으로 변화하는 곳이며 기하학적으로 이를 정의하는 곡선을 실루엣 곡선이라고 한다.^(6,7) 실루엣 곡선은 수학적으로 다음과 같이 정의된다. 적층 방향을 정의하는 벡터를 \vec{d} 라고 하고 매개변수 u, v 로 표현된 임의의 곡면 상의 법선 벡터를 $\vec{N}(u,v)$ 라고 했을 때 식 (1) 를 만족하는 곡선을 실루엣곡선이라고 한다. 이후에 설명되는 모든 적층 방향은 +Z 축 방향으로 하기로 한다.

$$\vec{N}(u,v) \cdot \vec{d}(0, 0, 1) = 0 \tag{1}$$

위의 식을 만족하는 실루엣곡선을 성형하고자 하는 물체를 구성하는 모든 면에 대하여 구하고 이들을 연결하는 추가적인 곡선³ 또한 생성한 후에 이들을 기반으로 면을 분할한다. 이와 같이 실루엣곡선을 기준으로 면을 분할하는 이유는 분할된 각각의 면 내에서는 법선 벡터의 Z 좌표 성분의 부호가 동일하기 때문에 이들을 면 단위로 추적하여 그룹화를 수행함으로써 pseudo-DFS 를 효과적으로 구성할 수 있기 때문이다. 특히 추가적으로 생성되는 모서리들에 의하여 분할 되는 면들은 자신이 추가적인 곡선들에 의하여 분할된 면이라는 표식을 데이터 구조 내에 저장하고 있어 뒤에서 수행되는 pseudo-DFS 구성을 위한 전과 작업 시에 전과의 마지막 면임을 나타내게 된다.

4.2.2 Pseudo-DFS 의 구성

모든 면들이 분할되어 동일한 면 내에서는 법선벡터의 Z 좌표 성분이 동일한 부호를 가지게 되면 이들을 그룹화하여 pseudo-DFS 를 구성한다. 여기서 말하는 pseudo-DFS 라는 것은 완전히 닫혀진 형태의 솔리드가 아닌 DFS 를 생성할 면들로 구성된 면들의 집합으로서 물체로부터 잘려질 경계 부분에 새로운 면을 생성하게 되면 pseudo-DFS 가 비로서 완전히 닫혀진 솔리드 형태인 DFS 가 된다.

Pseudo-DFS 를 구성하기 위한 그룹화 작업은 다음과 같이 수행한다. 일단 모든 면들의 데이터 구조를 각각의 법선 벡터의 Z 좌표 부호, 실루엣곡선을 연결하기 위하여 추가된 곡선에 의하여 잘려

³ 서로 분리되어 나타나는 실루엣곡선을 연결하기 위하여 시스템에서 규정한 방법에 따라서 새롭게 생성하는 모서리

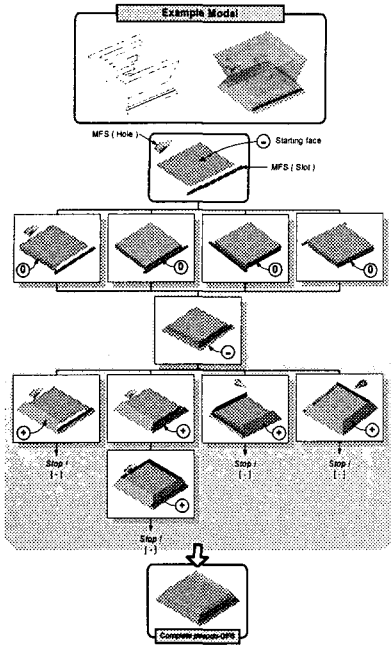
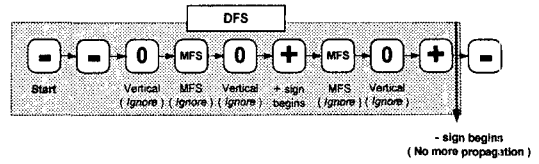


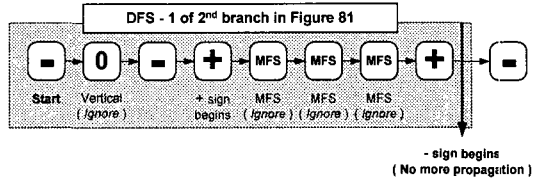
Fig. 12 Example of pseudo-DFS construction

진 면을 표시하는 기호, 그리고 자신이 속한 pseudo-DFS ID 등을 저장할 수 있도록 구성한다. 그리고 성형 방향이 결정된 상태에서 법선벡터의 부호가 [-]인 면들의 집합과 [+]인 면들의 집합이 각각 pseudo-DFS의 아래 부분과 위 부분을 구성할 수 있도록 그룹화를 수행한다. 이러한 형태의 pseudo-DFS 구성이 이루어지기 위해서는 법선벡터가 [-]인 서로 연결된 면들의 집합과 [+]인 서로 연결된 면들의 집합이 실루엣곡선 부위에서 결합되는 형태가 되어야 한다. 즉, 부호가 [-]인 임의 면에서 출발하여 연결된 면을 한 번씩만 방문하면서 추적한다고 가정했을 때 부호가 [-]인 면의 집합에서 [+]인 면의 집합으로 이동하는 회수를 한 번만 허용하도록 하면 pseudo-DFS의 구성이 가능하게 된다.

따라서 전파하는 면의 부호가 [-]인 면의 집합에서 [+]인 면의 집합으로 단 한 번만 이동하도록 면을 전파하게 되며 모든 전파 경로에 대하여 부호의 변화가 있는 후에 다시 부호가 변화하는 면을 만났을 때나 실루엣곡선을 연결하기 위하여 추가적으로 생성한 곡선에 의하여 분할된 면을 만났을 때에 비로서 한 개의 pseudo-DFS 구성을 완료한다. 물론 전파 과정 중에 수직면이나 MFS를 정의하는 면들을 만나게 되면 무시하고 바로 다음 면으로 전파 과정을 계속 수행한다.



(a) Rule for sign chain



(b) Sign chain example for 2nd branch in Fig. 12
Fig. 13 Face sign chain for propagation

위에 설명한 pseudo-DFS 구성 알고리즘을 적용한 예가 Fig. 12에 나타나 있다. 그림에 나타난 모델은 총 2개의 pseudo-DFS로 구성되는 형상을 가지고 있으며 MFS는 슬롯 1개와 구멍 1개가 추출된 상태이다. pseudo-DFS 구성을 위한 면의 전파 과정을 위의 규칙에 의하여 수행하며 전파 과정 중에 MFS를 정의하는 면을 만나게 되면 현재 구성하고 있는 DFS의 ID만을 저장하고 다음 면으로 전파를 계속 수행한다.

여기서 한 개의 pseudo-DFS를 구성하기 위하여 전파하는 면의 부호를 체인으로 연결했을 때의 형태를 살펴보면, [-] 부호로부터 출발하여 [-]의 체인이 계속되다가 일단 [+]로 체인이 끊어지게 되면 계속 [+] 부호의 체인이 계속될 수는 있으나 다시 [-] 부호가 나타나서는 안 된다. Fig. 13에서는 이러한 부호 체인의 예를 설명하였으며 특히, Fig. 13(b)에는 Fig. 12의 pseudo-DFS 구성 예 가운데 왼쪽에서 두번째 가지로부터 구성되는 부호 체인을 나타내었다.

이와 같은 과정을 통하여 구성된 pseudo-DFS는 Fig. 12의 마지막 그림처럼 pseudo-DFS 경계 간에 뚫려있는 형태이다. 따라서 생성된 DFS를 위한 가공 경로를 외부의 CAD 소프트웨어를 이용하여 생성하기 위하여 경계 부분을 새로운 면으로 막아서 완전한 솔리드의 형태로 만들어 주어야 한다. 이러한 공간 분할 작업을 완료하게 되면 pseudo-DFS가 비로서 DFS로 완성되게 된다.

4.2.3 공간의 분할

본 단계는 DFS의 형상을 구성하는 최종 단계로서 앞에서 생성한 pseudo-DFS 간의 경계를 기준으로 원래의 모델을 여러 개의 DFS의 집합으로 구성하는 과정이다. 공간의 분할을 수행할 때에는 앞에서 생성된 pseudo-DFS의 최상단에 나타나는

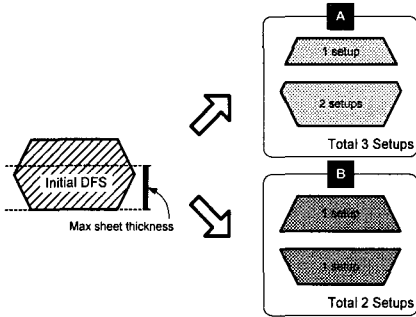


Fig. 14 Subdivision of DFS thicker than maximum sheet thickness

외곽 모서리들을 루프로 구성된 후, 이 루프 내부를 채우는 면을 생성하고 이를 기반으로 원래의 모델로부터 DFS를 분리시키게 된다. 주의해야 할 점은 공간의 분할 작업을 하게 되면 새로운 형상의 면이 DFS 경계에 생성되기 때문에 일단 한 개의 DFS 생성이 완료되면 다음 순서로 생성하는 DFS의 아래쪽 형상을 바로 전의 DFS가 원래의 형상에서 분리된 후의 바닥 형상으로부터 가져오게 된다.

이러한 일련의 작업은 본 공정 계획 시스템이 상용 솔리드 모델링 커널(Parasolid from Unigraphics Solutions, Inc.)을 기반으로 하고 있기 때문에 커널이 제공하는 다양한 모델링 기능을 이용하여 구현 가능하였다.

4.2.4 적층특징형상의 재분할 및 병합

생성된 DFS의 최대 높이가 본 시스템에서 공급 가능한 판재의 최대 두께보다 두꺼울 경우는 해당 DFS를 재분할하는 것이 불가피하며 경우에 따라서 재분할한 DFS를 병합하는 작업이 수행된다. 이러한 분할 및 병합 작업은 모든 DFS가 생성된 이후에 이루어진다.

본 시스템에서는 공급 가능한 판재의 최대 높이 위치에서 DFS를 자르는 것이 아니라 최대 높이 바로 아래 위치하는 실루엣곡선의 위치에서 DFS를 분할하게 된다. 이는 전체 공정의 효율을 높이기 위한 방법으로써 주 성형 사이클 내에 포함되어 있는 판재를 뒤집는 공정을 최소화하고자 하는 것이다. Fig. 14에는 DFS를 재분할하는 방법을 그림으로 나타내었으며 실루엣곡선에서 DFS를 나눔으로써 셋업의 회수가 감소함을 이해할 수 있다.

또한 이렇게 재분할된 DFS는 두 가지 경우에 대하여 바로 위의 DFS에 다시 병합될 수 있는데 첫번째 경우는 잘려진 DFS를 구성하는 면의 부

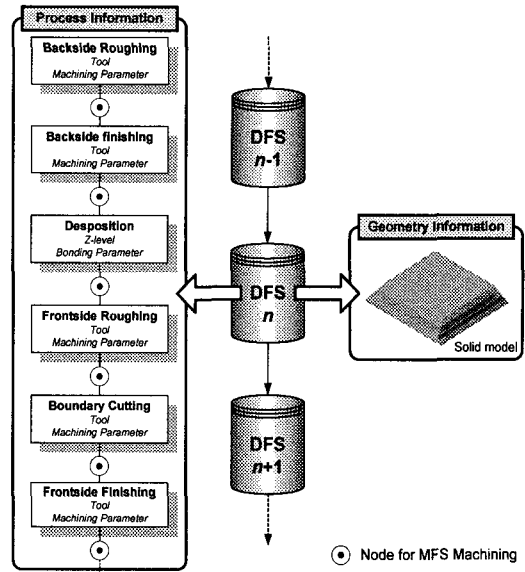


Fig. 15 Data structure for handling DFS

호가 모두 [+]인 경우에 바로 위에 적층될 DFS가 수직면으로만 구성되어 있는 경우에 상부 DFS의 하단이 분리되어 병합될 수 있고, 두번째 경우는 잘려진 DFS가 수직면으로만 구성되어 있는 경우에 상부의 어떠한 형태의 DFS와도 병합 가능하게 된다. 이러한 병합 과정 역시 단위 공정의 회수를 줄여서 전체 성형 시간을 줄이고자 하는데 목적이 있다.

4.2.5 적층특징형상 구성

앞에서 설명한 바와 같이 DFS는 형상정보 외에 단위 공정으로서도 의미를 가진다. 즉, 한 개의 DFS는 주 성형 사이클 공정 한 개를 포함하고 있다. 따라서 DFS의 구성을 완료하기 위해서는 앞에서 수행한 DFS의 형상정보 생성 외에 각 DFS에 해당하는 공정과 관련된 가공 정보를 공정 설계자가 지정해 주어야 한다. 이러한 정보는 이후에 수행되는 가공 경로 생성과 전체 공정의 평가 과정 등에서 사용된다. Fig. 15에는 DFS의 데이터 구조를 나타내었으며 데이터 구조 가운데 MFS를 위한 노드는 MFS의 가공 순서를 저장하기 위한 데이터 요소로서 MFS는 어떠한 시점에라도 가장 효율적인 가공이 가능한 시점에 수행될 수 있기 때문에 주 성형 사이클 내부에 특정 MFS의 가공 시점을 지정할 수 있는 장소를 준비해 놓은 것이다.

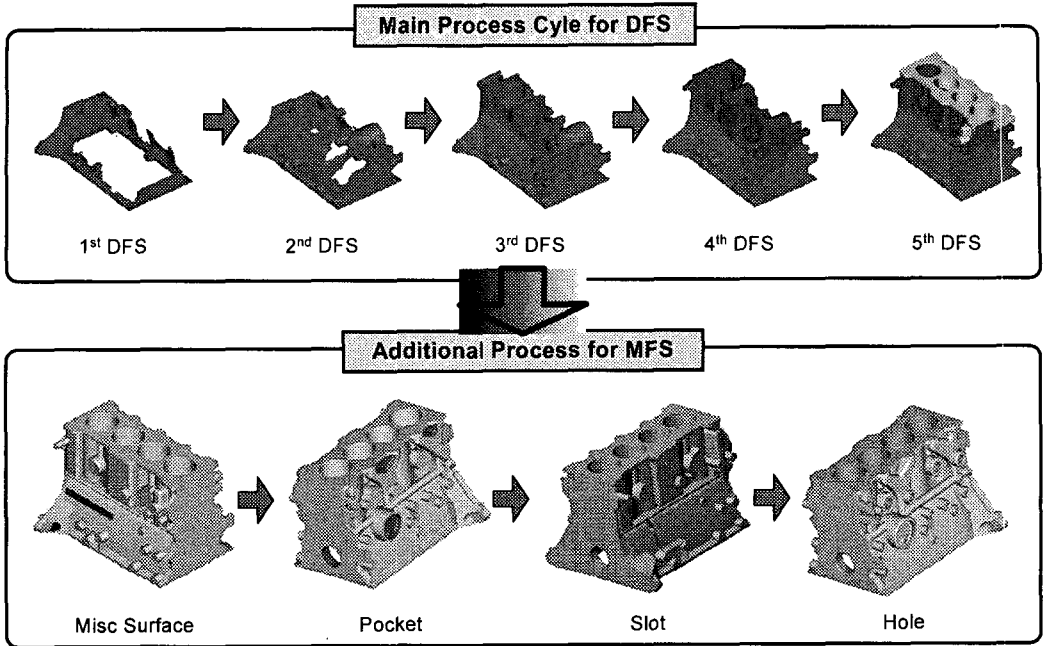


Fig. 16 Process planning for engine cylinder block

5. 적용 예

본 연구에서 개발한 공정 계획 기법의 효율성을 검증하기 위하여 현장에서 실제로 설계한 엔진 실린더 블록에 대하여 적용시켜 보았다. 총 5 개의 DFS가 생성되었으며 MFS는 구멍 43 개, 슬롯 15 개, 포켓 4 개, 미소 가공 곡면 3 개로 구성되었다. Fig. 16에는 엔진 실린더 블록에 대한 공정 계획의 결과를 나타내었다. 적용의 기본 단위가 기존의 패속시작시스템과는 완전히 다른 형태의 3차원 형상의 층을 지니고 있음을 알 수 있다. 또한 그림에 나타난 바와 같이 실제 생산 현장에서 사용되는 형상들은 매우 복잡한 형태를 갖추고 있어서 본 공정 계획의 특징인 MFS 개념을 적용하지 않을 경우에는 매우 많은 개수의 DFS가 생성되어 사실상 성형 불가능한 공정이 생성되게 된다.

6. 결론

본 연구에서는 서울대학교에서 개발한 적층과 절삭을 복합적으로 수행하는 하이브리드 방식 패속 시작 시스템을 효율적으로 운용하기 위한 공정 계획 시스템을 개발하였다. 형상 정보 입력 매체로서 STEP AP203을 이용하여 기존의 패속 시작 시스템의 단점인 STL 파일의 한계를 극복하였으

며 기존의 시스템과는 달리 전체 형상을 얇은 두께의 일정 간격 층으로 나누지 않고 완전한 3차원 형상의 조각들로 지능적으로 분해함으로써 전체 성형 시간의 혁신적인 감축과 공정 효율 향상을 도모하였다. 더불어 절삭 공정의 장점을 극대화하기 위하여 가공특징형상을 공정 계획 시스템에서 추출하여 이들을 적층 공정과는 독립적으로 관리함으로써 제품의 기능성과 공정 효율을 혁신적으로 향상 시켰다.

본 연구에서 개발한 공정 계획 시스템은 공정에 필요한 핵심적인 정보는 생성하지만 실제 가공을 위한 공구 경로나 접착을 위한 헤드 경로, 일괄 후처리를 위한 연삭 경로 등은 아직 외부 CAM 소프트웨어를 이용하여 수행되고 있다. 따라서 전용 시스템으로서 완전한 형태를 갖추기 위하여 이러한 공구 및 헤드 경로 생성 기능이 향후에 개발될 예정이다.

참고문헌

- (1) Shah, J., Mantyla, M., and Nau, D., 1994, "Introduction to Feature Based Manufacturing," *Advances in Feature Based Manufacturing, Manufacturing Research and Technology* 20, ELSEVIER, pp. 1~11.
- (2) Vandenbrande, J. H. and Requicha, A. A. G., 1994, "Geometry Computation for the Recognition of Spatially Interacting Machinable Features," *Advances*

- in *Feature Based Manufacturing, Manufacturing Research and Technology* 20, ELSEVIER, pp. 83~106.
- (3) Han, J., Regli, W. C., and Brooks, S., 1997, "Hint-based Reasoning for Feature Recognition: Status Report," *Proceeding of DETC'97, 97 - DETC:CIE - 4485, 1997 ASME Design Engineering Technical Conferences*, September 14~17, Sacramento, California
- (4) Little, G., Clark, D. E. R., Corney, J. R., and Tuttle, J. R., 1998, "Delta-volume Decomposition for Multi-sided Components," *Computer-Aided Design*, Vol. 30, No. 9, pp. 695~705.
- (5) Gupta, S. K., 1997, "Using Manufacturing Planning to Generate Manufacturability Feedback," *Journal of Mechanical Design*, Vol. 119, pp. 74~80.
- (6) Barnhill, R. E., Farin, G., Fayard, L., and Hagan, H., 1988, "Twist, Curvatures and Surface Interogation," *Computer-Aided Design*, Vol. 20, No. 6, pp. 341~346.
- (7) Ramaswami, K., Yamaguchi, Y., and Prinz, F. B., 1997, "Spatial Partitioning of Solids for Solid Freeform Fabrication," *Proceedings of Solid Modeling '97*, Atlanta, GA, USA, pp. 346~353.