

특징형상 접근방법에 의한 가공특징형상 추출*

이재열*, 김광수**

Feature-Based Extraction of Machining Features

Jae Yeol Lee* and Kwangsoo Kim**

ABSTRACT

This paper presents a feature-based approach to extracting machining features from a feature-based design model. In the approach, a design feature to machining feature conversion process incrementally converts each added design feature into a machining feature or a set of machining features. The proposed approach can efficiently handle protrusion features and interacting features since it takes advantage of design feature information, design intent, and functional requirements during feature extraction. Protrusion features cannot be directly mapped into machining features so that the removal volumes surrounding protrusion features are extracted and converted into machining features. Moreover, interacting features are handled by interacting feature handling operators. By utilizing feature information as well as geometry information during feature extraction, the proposed approach can easily overcome inherent problems relating to feature recognition such as feature interactions and loss of design intent. In addition, a feature extraction process can be simplified, and a large set of complex parts can be handled with ease.

Key words : Feature-based design, Feature recognition, Feature extraction, Feature conversion

1. 서 론

최근 CAD와 CAM을 통합하여 통합된 CAD/CAM 시스템을 구축하려는 노력이 매우 활발히 추진되고 있다. 이러한 통합의 가교적인 역할을 하는 것이 제조와 관련된 특징형상이다. 통합된 시스템 개발에는 특징형상 모델링과 특징형상의 자동인식이 필수적인 요소들이다. 일반적으로 특징형상이란 설계, 해석, 가공, 검사, 조립 등 각 생산의 요소기술 분야별로 이의 수행에 필요한 기본형상을 말한다. 생산의 각 분야는 광범위한 전문지식과 의사결정을 필요로 하는 작업이지만 특징형상을 이용하게 되면 그 수행작업 파악이 수월해지며 시스템 통합화를 쉽

게 진행시킬 수 있다^[1]. 특징형상을 가공분야에 응용하기 위해서는 설계 데이터로부터 가공형상을 자동적으로 추출할 수 있는 방법론의 개발이 필수적이다. 각 분야에서 사용되는 특징형상은 다른 분야에서는 다르게 정의되어 있기 때문에 서로 다른 분야들간의 통합을 이루기 위해서는 특징형상들간의 변환과정이 필요하다. 이러한 변환과정에는 크게 두 가지 접근방법이 있다: 1) 기하학적 접근방법(geometry-based approach) 2) 특징형상 접근방법(feature-based approach). 기하학적 접근방법에서는 B-rep과 같은 기하 및 위상 정보로부터 특징형상을 자동적으로 추출하는 방법이다. 이 방법의 주된 장점은 기존의 CAD 시스템을 사용할 수 있으며 인식방법이 각 응용분야에 맞도록 설계될 경우 그 분야의 포스트 프로세서로 잘 활용될 수 있다. 주된 연구방법으로는^[2] 1) 그래프 패턴 매칭^[3,4,5], 2) Convex Hull Decomposition^[6,7], 3) Cell-based Decomposition^[8,9], 4) 힌트 기반 접근방법(hint-based approach)^[10-14] 등이 있다. 비록 위의 접근방법들

본 연구는 한국학술진흥재단 (대학부설연구소 지원사업)의 연구비 지원으로 수행되었음.

*전자통신연구원 컴퓨터소프트웨어기술연구소

**포항공과대학교 산업공학과

이 가공형상을 인식하는데 많은 가능성을 입증하였지만 여전히 개선될 여지가 남아있다. 특히 특징형상들간의 간섭문제 처리가 큰 관건으로 남아있다. 뿐만 아니라 설계과정에서 사용된 중요한 정보들(여유공차, 치수, 속성 등)을 잃어버리는 단점이 있다. 반면에, 특징형상 접근방법은 설계특징형상을 가공특징형상으로 변환시키는 방법론이다. 설계특징형상은 응용분야에 맞도록 미리 라이브러리에 정의되어 있으므로 이로부터 여러 속성값이 부여되어 초기 설계단계에서 이용된다^{115,20)}. 설계된 설계특징형상 모델은 가공특징형상 변환과정을 통해서 가공특징형상 모델로 변환된다. 그러나, 변환과정이 단순하지는 않다. 예를 들면, 가공분야에 사용될 경우 돌출형상(protrusion)과 같은 설계특징형상이 반드시 가공특징형상과 일치하지는 않는다. 따라서, 돌출형상의 주위 볼륨을 계산하여 가공형상으로 변환시킬 수 있는 적절한 변환과정 개발이 필요하다. 하지만 특징형상 접근방법은 설계특징형상에 저장된 형상정보뿐만 아니라 비형상정보를 효율적으로 특징형상 변환과정에 이용할 수 있어서 가공형상 추출을 단순화시킬 수 있고 다양한 형상들을 처리할 수 있다. 본 논문은 특징형상 모델링 시스템에서 설계된 형상모델로부터 가공특징형상 모델(machining feature model)을 점진적으로(incrementally)

추출하는 새로운 방법론을 제시한다. 제시된 특징형상 접근방법에 의한 가공특징형상 추출과정은 다음의 세 단계로 구성되어 있다(Fig. 1참조): 1) 설계특징형상 전처리(preprocessing of design features), 2) 가공특징형상 변환(conversion of design features to machining features), 3) 가공특징형상 분석(analysis of extracted machining features). 전처리 과정에서는 새롭게 추가된 설계특징형상과 이전 설계 과정에서 추출된 가공특징형상과의 간섭유무를 확인한다. 변환과정에서는 추가된 설계특징형상을 간섭유무, 기하학적 정보 및 비기하학적 정보에 따라서 하나 또는 다수의 가공특징형상으로 변환시킨다. 이 과정에서 돌출형상(protrusion)은 직접적으로 가공형상으로 변환되지 않기 때문에 돌출형상의 주위 볼륨을 추출하여 그 볼륨을 가공형상으로 변환시킨다. 뿐만 아니라 간섭 특징형상은 간섭 제거 과정을 통해서 새로운 가공특징형상으로 변환된다. 분석 과정에서는 추출된 가공특징형상에 대해 접근가능성(accessibility), 치수 및 여유공차 적합성(dimension & tolerance compatibility) 등을 분석하여 유효성을 확인한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 설계 및 가공특징형상을 정의하고, 3절에서는 가공특징형상 추출 방법을 설명하고, 4절에서는 결론 및 후후 연구과제에 대하여 언급한다.

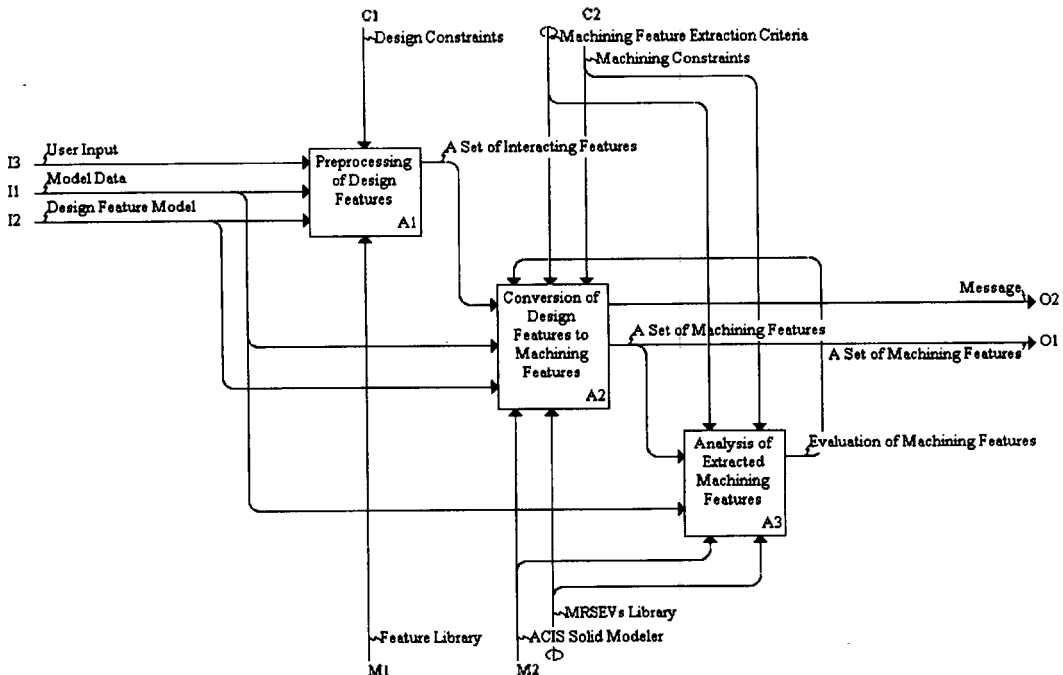


Fig. 1. Feature-based feature extraction process: an IDEF0 model.

2. 특징형상

2.1 설계특징형상

본 논문에서 사용되는 설계특징형상은 크게 두 가지로 나뉜다: 1) 시스템 정의 특징형상(pre-defined design features)과 2) 사용자 정의 특징형상(user-defined design features). 시스템 정의 특징형상에는 포켓, 슬롯, 홈, 라운딩 및 챔퍼링 등이 있다. 이들은 가공특징형상과 일대일 대응이 가능한 설계특징형상들이다. 반면에 사용자 정의 가능한 특징형상은 단면(planar profile)을 스윙핑하여 생성되는 형상이다: 1) extrusions (translational 스윙핑), 2) revolutions (rotational 스윙핑). 단면은 기하학적 형상으로 구성된다. Extrusion은 단면을 스케칭면에 수직으로 translational 스윙핑 과정을 거쳐서 형성되며, revolution은 회전축을 중심으로 단면을 회전시켜서 형성된다. 이들 형상들은 사용자 의도에 따라 첨차형상이나 돌출형상이 된다. 특징형상을 이용한 사용자 정의 특징형상 설계과정은 1)스케칭, 2) 제약조건 해결, 3) 스윙핑, 4) 특징형상들간의 블리언 오퍼레이션에 따라 진행된다^[23,24,26]. 우선 사용자는 특징형상 단면을 개략적으로 스케치하여 특징형상의 단면을 정의한다. 스케치 과정에서 시스템은 형상요소들간의 기하 및 위상학적인 관계들 제약조건 형태로 찾아낸다. 또한 사용자는 거리 및 각도 등의 제약조건을 추가로 부여한다. 시스템은 이를 바탕으로 제약조건을 풀어서 디자인 히스토리를 생성한다. 사용된 제약조건 해결방법은 그래프 표현법을 이용한 지식접근방식을 따른다^[23,26]. 우선 설계 모델을 제약그래프(constraint graph)로 표현한다. 각 노드는 형상요소를 나타내며, 각 에지는 형상요소들간의 제약조건을 나타낸다. 추론과정은 이렇게 표현된 제약조건 그래프를

바탕으로 규칙기반에서 적절한 규칙(rule)을 찾아서 새로운 사실(facts)를 생성시킴으로써 설계형상의 모든 기하학적 요소들을 확정시켜 나가는 과정이다. 제약조건 해결과정에 관한 자세한 내용은 참고문헌 23과 28에 자세히 소개되어 있다. 파라메트릭 특징형상단면이 완성되면 스윙핑되어 B-rep 모델로 정의된다. 생성된 B-rep 모델은 이전단계에서 정의된 파트의 B-rep과 블리언과정을 거쳐서 새로운 파트로 생성된다. 새로운 특징형상의 추가는 Fig. 2에서 볼 수 있듯이 위의 과정을 반복 수행함으로써 이루어진다. Fig. 2(e)는 치수 변경에 따른 수정된 형상을 도사하고 있다. 특징형상 모델링과정에서는 특징형상 변환을 위해서 특징형상 정보 및 특징형상들간의 관계 유지가 중요하다. 기하 및 입체정보는 B-rep 모델에 저장되며 특징형상간의 관계정보는 특징형상 표현모델에 저장된다. 특징형상 관계는 FAG(Feature Adjacency Graph)에 의해서 이루어진다. FAG는 트리로 구성되어 있으며 각 노드는 특징형상을 표현하고 각 에지는 PCR(parent-child relation)이나 FIR(feature interaction relation)을 나타낸다(Fig. 3). 실선 에지와 점선 에지는 각각 PCR과 FIR를 나타낸다. 새로운 특징형상 D_i 가 D_j 면위에 설계되면 PCR이 생성된다. FIR은 아래의 두 경우에 발생한다.

- 1) $D_i \cap *D_j \neq \emptyset$
- 2) $D_i \cap *D_j \neq \emptyset \ \& \ \partial D_i \cap \partial D_j \neq \emptyset$

위의 식에서 ∂D_i 는 D_i 의 경계집합(boundary set)이며, \cap^* 와 \cap 는 각각 regularized와 non-regularized Boolean intersection을 의미한다. 특히, 본 논문에서 사용되는 모든 수식의 *는 regularized Boolean operation을 의미한다.

위의 첫번째 식은 D_i 와 D_j 간에 volumetric 간섭을 의미하며, 두번째 식은 두 특징형상 사이에 volu-

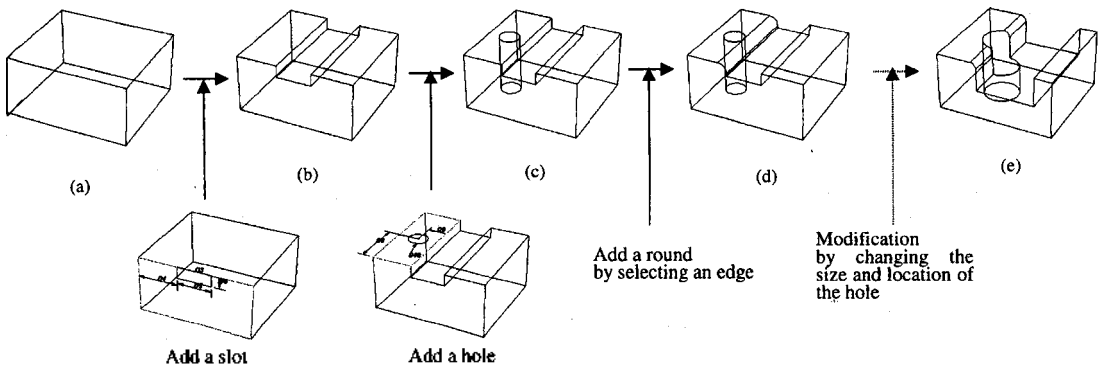


Fig. 2. Feature-based parametric modeling.

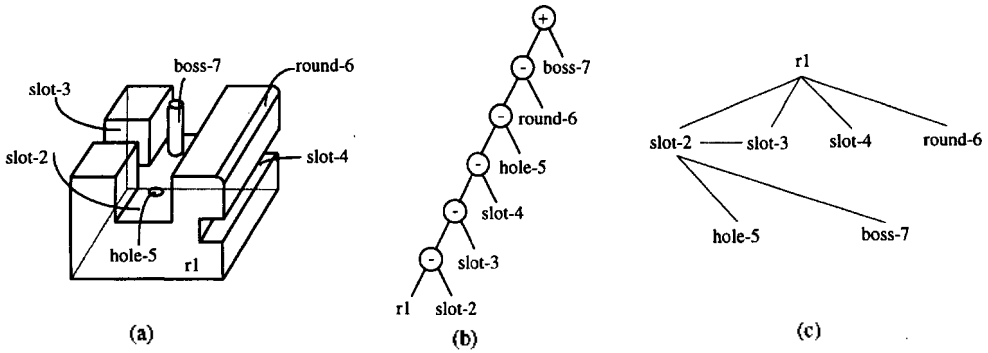


Fig. 3. Information on features: (a) a part, (b) CSG tree, and (c) adjacency graph

metric 간섭은 존재하지 않지만, 서로 근접하는 *adjacent* 간섭을 의미한다^[25]. Volumetric 및 adjacent 간섭 모두 FIR을 의미한다.

위의 두 관계는 설계 및 가공과정에서 유용하게 이용된다. 특히, FIR은 가공에 있어서 특징형상들간의 합병 및 분할에 이용된다. 합병은 다수의 특징형상을 새로운 하나의 복잡한 형상으로 변환하며, 분할은 하나의 형상을 둘 이상의 새로운 형상으로 변환하는 것을 의미한다. 합병과 분할의 주된 목적은 가공공정을 최적화하는데 있다. 예를 들면, Fig. 3(a)에서, *slot-2*와 *slot-3*은 FIR을 가지고 있으며, 아래면(bottom face)이 합병되어 있다. 이러한 경우에 만약 한번의 가공이

각각을 달리 가공하는 것보다 경제적이면 둘은 하나의 포켓으로 새롭게 정의될 수 있다. 특징형상 간섭에 관해서는 2.3절에서 자세히 설명한다.

2.2 가공특징형상

본 논문에서 사용되는 가공특징형상은 MRSEVs^[21,22]로 불리는 3축 가공형상이다. 본 논문에서 사용되는 가공특징형상은 Fig. 4에서 볼 수 있듯이 *linear swept features* 즉, 포켓, 홀, 챔퍼, 라운드로 국한한다.

초기 공작물 *S*로부터 설계된 형상 *P*를 가공하기 위해서는 델타 볼륨($\Delta=S * P$)을 가공특징형상 모델 ($M=\{M_1, M_2, \dots, M_n\}$)로 변환해야 한다. 만약 추출된

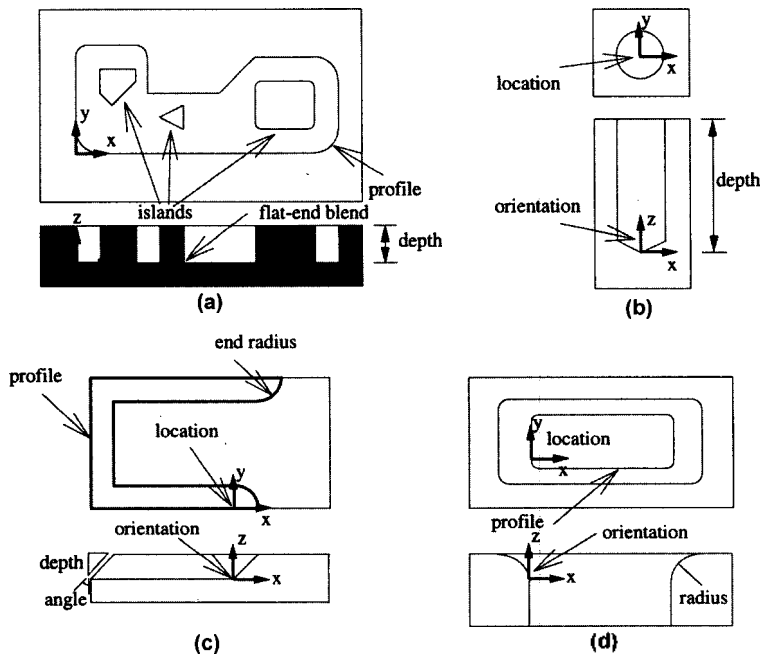


Fig. 4. Machining features: (a) pocket, (b) hole, (c) chamfer, and (d) round

가공특징형상 모델이 아래의 조건을 만족시키면 유효한 모델로 정의한다:

- 완전성(completeness): 추출된 모든 가공특징형상 M_i 의 합(union)은 델타 볼륨 Δ 을 포함해야한다. 즉, $\Delta \subseteq \bigcup_{M_i \in M} M_i$ where $\Delta = S * P$ [10].
- 비침입성(nonintrusion): $M_i \cap *P = \emptyset$ for each M_i .
- 존재성 (presence): 각각의 가공특징형상 M_i 는 적어도 파트 P 의 한 면과는 접해야 한다. 즉, $\bigcup_{M_i \in M - \{M_j\}} M_i * \Delta \neq \emptyset$ and $M_i \cap P \neq \emptyset$.
- 접근성 (accessibility): 가공특징형상을 가공하기 위해서는 공구가 간섭없이 접근할 수 있어야 한다.

2.3 특징형상 간섭

특징형상 간섭은 특징형상 인식과 공정계획 수립에 많은 문제점을 야기시킨다. 특히 간섭이 발생할 경우 특징형상을 표현하는 면들간에 합병(merging) 및 분할(splitting)이 일어나서 특징형상을 인식하는데 많은 어려움을 야기시킨다^[25]. Fig. 5(a)에서 볼 수 있듯이 만약 슬롯 특징형상 F_1 을 설계한 후 또 다른 슬롯 F_2 를 추가하였을 경우 F_1 을 구성하고 있는 면들 f_1, f_2, f_3 은 각각 두 개의 새로운 면들로 분할된다. 유사

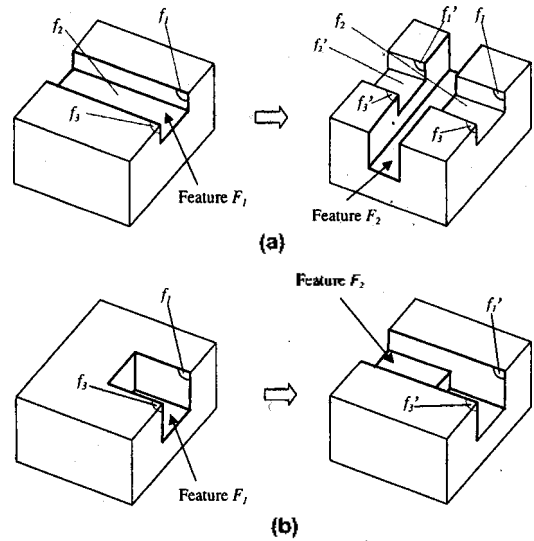
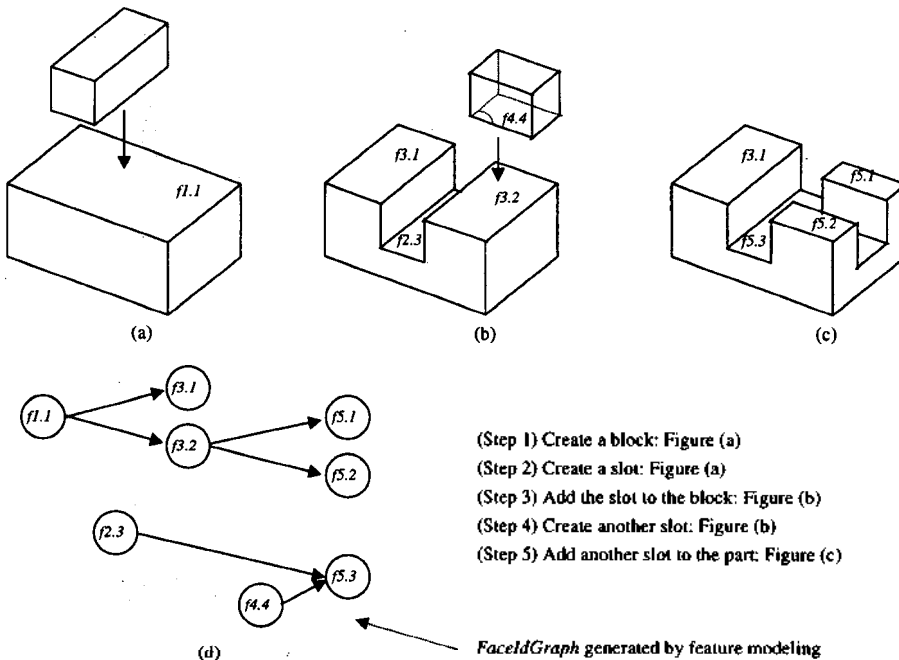


Fig. 5. Splitting and merging faces according to feature editing.

하게 Fig. 5(b)에서는 F_1 의 f_1, f_2 가 F_2 의 면과 병합되는 경우를 보여주고 있다. 이러한 분할 및 합병에 의한 간섭현상은 단순히 기하 및 위상학적인 관계를 분석하는 것으로는 올바르게 처리하기 힘들며, 이를 효과



- (Step 1) Create a block: Figure (a)
- (Step 2) Create a slot: Figure (a)
- (Step 3) Add the slot to the block: Figure (b)
- (Step 4) Create another slot: Figure (b)
- (Step 5) Add another slot to the part: Figure (c)

FacetGraph generated by feature modeling

Note: In this example we use notation $f_{m,n}$ denoting a face created during Step m and with index n at the step m .

Fig. 6. FacetGraph generated by feature-based modeling.

적으로 관리할 수 있는 방법론 개발이 필요하다.

본 논문에서는 특징형상 간섭에 의해서 야기되는 합병과 분할에 따른 위상학적 변화를 효과적으로 처리하기 위해서 고유 명명법(generic naming)을 이용한다^[26]. 고유 명명법은 특징형상의 면들이 어떻게 생성되었는지, 어떻게 분할되었는지, 어떻게 합병되었는지, 또는 삭제 되었는지에 관한 모든 정보를 관리한다. 관리는 *FacetdNodes*로 구성되어 있는 *FacetdGraph*에 의해서 이루어진다. *FacetdGraph*는 방향성 비순환 그래프(directed acyclic graph)이며, 입력 에지는 주어진 면의 조상에 관한 정보를 출력 에지는 어떠한 위상학적인 변화가 일어났는지에 관한 정보를 나타낸다. Fig. 6은 특징형상 모델링 과정에서 발

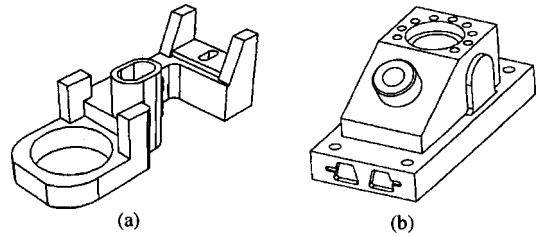


Fig. 7. Example parts.

생되는 면들의 변화과정을 관리하는 *FacetdGraph*를 보여주고 있다. 고유 명명법은 특징형상 모델링과정에서 다음의 두 가지 중요한 기능을 수행한다: 1) 파라메트릭 모델링에서 형상수정에 의해 야기되는 합

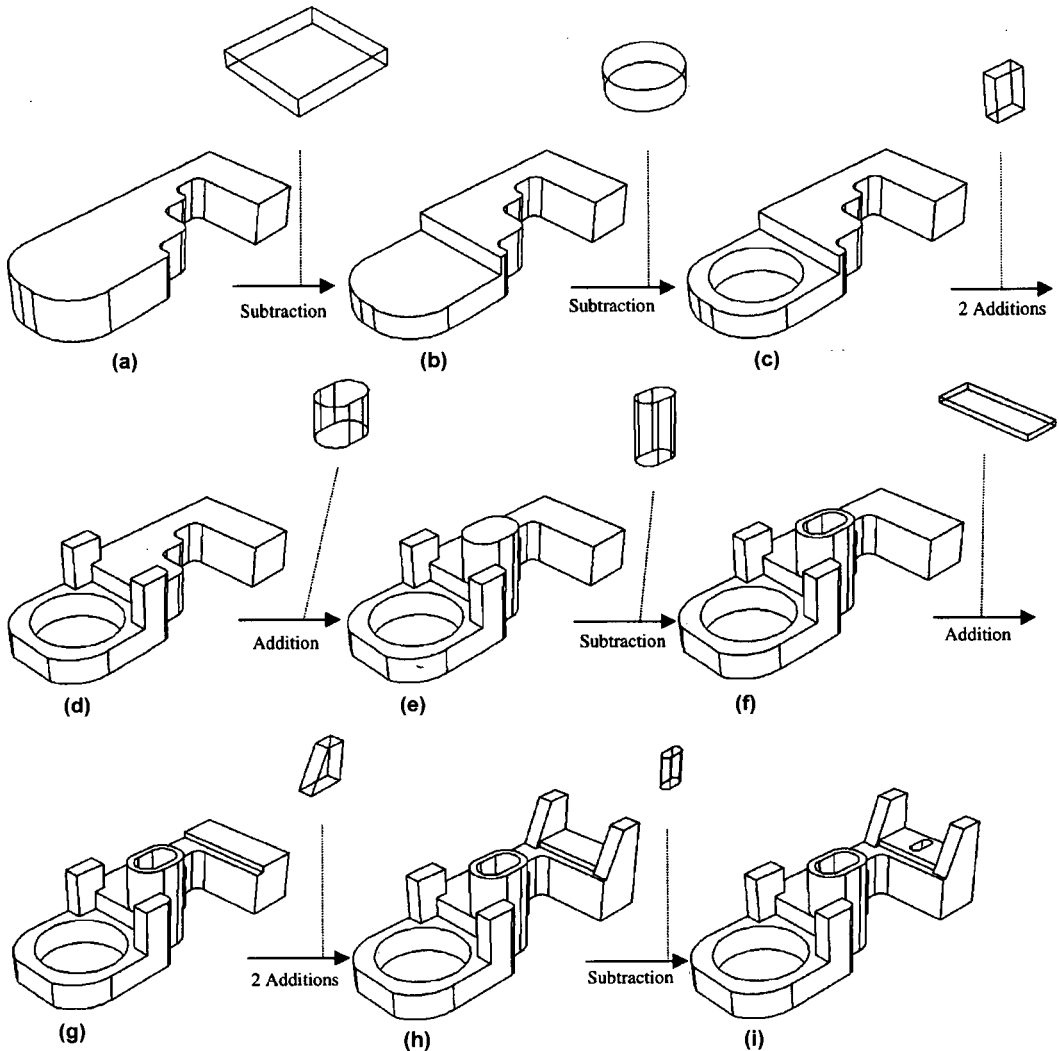


Fig. 8. Incremental design procedure.

병 및 분할에 상관없이 항상 올바른 위상학적 형상요소 찾기 그리고 2) 특징형상 간섭에 의해 야기되는 가공특징형상의 유효성 확인. 본 논문에서는 두 번째 기능에 대해서만 다루기로 한다.

3. 가공특징형상 추출

제시된 가공특징형상 추출 방법은 특징형상을 이용하여 파트를 설계하는 도중 점진적으로 가공특징형상을 추출하는 방법이다. 설계특징형상의 기하 정보, 특징형상 간섭, 비기하학적 정보 등을 이용함으로써 추출과정을 단순화시키고 다양하고 복잡한 형상을 처리할 수 있다(Fig. 7). Fig. 8은 돌출 및 침하형상 들로 구성된 Fig. 7(a)의 설계 과정을 단계별로 보여주고 있다. 가공특징형상 추출과정은 다음의 세 단계를 거친다: 1) 설계특징형상 전처리(preprocessing of design features), 2) 설계특징형상의 가공특징형상 변환(conversion of design features to machining features), 3) 가공특징형상 분석(analysis of extracted machining features). 우선 다음과 같은 가정을 한다. 파트 P 를 설계하기 위해서 설계특징형상 모델 $D=\{D_1, D_2, \dots, D_n\}$ 이 사용되었으며, 이로부터 가공특징형상 모델 $M=\{M_1, M_2, \dots, M_m\}$ 이 추출되었으며, 새로운 설계특징형상 D_{n+1} 이 추가되었다고 가정한다.

3.1 설계특징형상 전처리

새로운 설계특징형상 D_{n+1} 이 추가되었을 때 간섭을 일으키는 특징형상을 찾는 과정이다. 즉, 바로 전 단계인 D_n 이 추가되었을 때 추출된 가공특징형상 중에서 D_{n+1} 과 간섭을 일으키는 가공특징형상 $I=\{M_1, \dots, M_k\}$ 을 찾는 단계다. 제 2.3에서 정의된 *FaceldGraph*를 확인하여 간섭을 일으키는 가공특징형상을 찾을 수 있다. 즉, 간섭형상은 D_{n+1} 의 *FaceldNode*와 합병 및 분할된 다른 *FaceldNode*에 속한 특징형상들이다. Fig. 6에서 볼 수 있듯이(Step 4)에서 두번째 슬롯이 추가되었을 때, $f4.4$ 는 $f2.3$ 과 합병되어 $f5.3$ 이 되었다는 사실을 알 수 있다. 이 사실로부터 *FaceldGraph*를 역으로 추적할 경우 $f2.3$ 은(Step 2)의 첫번째 슬롯의 면이다. 따라서, 두번째 슬롯이 추가되었을 때 이 단계에서 찾은 간섭특징형상은 첫번째 슬롯이다.

3.2 설계특징형상의 가공특징형상 변환

가공특징형상 변환 과정은 설계특징형상 D_{n+1} 의

형태에 따라서 아래의 4가지 과정으로 세분화되어 있다:

- 1) 기본형상 변환(conversion of a base feature)
- 2) 침하형상 변환(conversion of a depression feature)
- 3) 전이형상 변환(conversion of a transition feature)
- 4) 돌출형상 변환(conversion of a protrusion feature)

3.2.1 기본형상 변환

기본형상 D_1 의 가공특징형상으로서의 변환과정은 초기 공작물 S 로부터 D_1 을 뺀 나머지 볼륨을 가공형상으로 변환시킨다. 초기 공작물은 블록형태나 임의의 형태가 될 수 있지만, 본 연구에서는 블록형태만을 가정한다. 기본형상 변환과정은 아래와 같다:

1) D_1 의 단면(cross-section)을 둘러싸는 최소 사각형을 D_1 의 법선벡터 방향으로 D_1 의 두께만큼 스윕하여 생성된 볼륨을 S 라고 하자.

2) $M=S \cdot D_1$ 을 가공특징형상으로 변환시킨다.

Fig. 9은 Fig. 8(a)의 기본형상으로부터 가공특징형상을 추출하는 예를 보여주고 있다. D_1 으로부터 M_1, M_2, M_3 의 가공특징형상이 추출되었다.

3.2.2 침하형상 변환

침하형상은 가공특징형상과 일치하기 때문에 변환은 쉽게 이루어진다. 하지만, 간섭특징형상이 존재할 경우에는 다음의 간섭처리과정을 거친다:

1) 합병(merging): D_{n+1} 이 간섭특징형상 M_i 와 합병되어 다른 가공특징형상으로 변환될 수 있는지를 확인한다(Fig. 10(a)). 예를 들면, D_{n+1} 과 M_i 는 다음의 조건을 만족시키면 새로운 포켓 M'_i 으로 합병될 수 있다: 1) D_{n+1} 과 M_i 는 각각 포켓이며, 2) 둘 다 같은

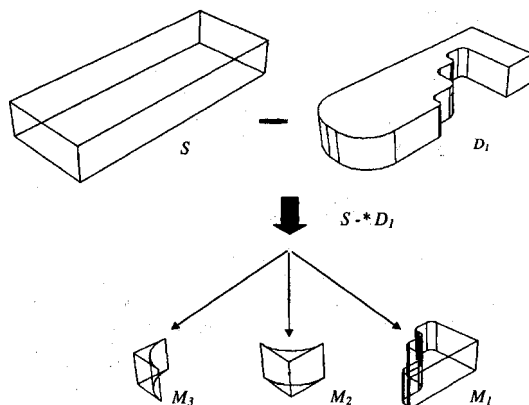


Fig. 9. Base feature conversion.

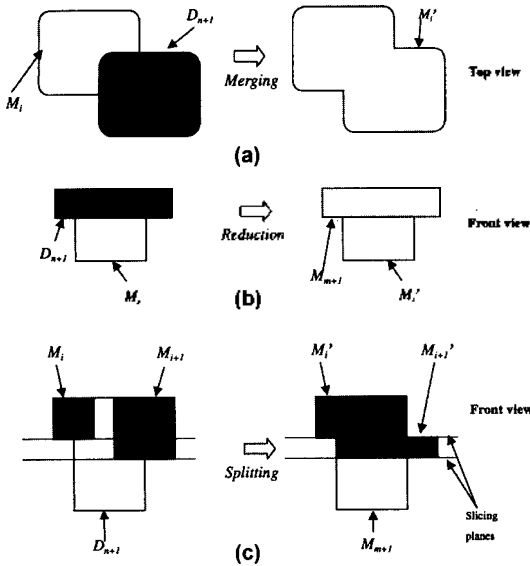


Fig. 10. Interaction handling operations: (a) merging, (b) reducing, and (c) slicing

접근방향(accessibility direction)을 가지고 있으며, 3) 둘의 바다면이 하나로 합병될 수 있으며, 4) 합병이 치수 및 공차 적합성을 어기지 않는다.

2) 축소(reducing): M_{n+1} 로 변환될 수 있는 D_{n+1} 이 간섭특징형상 M_i 를 다음의 식을 만족하도록 최소 가공형상 M_i' 로 변환시킬 수 있는 자를 확인한다. 또한 역도 마찬가지다.

$$\Delta * M_i' * \cup_{M_j \in M - (M_i)} M_j = \Delta * M_i * \cup_{M_j \in M - (M_i)} M_j$$

위의 식은 M_{n+1} 과 간섭을 일으키는 M_i 이 다른 특징형상과 간섭을 최소화 하기 위해서 만족해야 할 조건이며, 또한 M_i 의 모든 특성을 지니고 간섭 영역을 최소화 시킨 것 M_i' 로 정의된다. 단순한 예를 들면, Fig. 10(b)에서 M_i' 은 $M_i' = M_i * M_{n+1}$ 로 얻어질 수 있다.

3) 분할(slicing): D_{n+1} 과 간섭특징형상들을 하나의 가공물품으로 합친다. 그런 다음, 합쳐진 가공물품을 Fig. 10(c)에서 볼 수 있듯이 공통된 접근방향의 수직 방향으로 분할하여 가공특징형상으로 변환한다.

Fig. 11은 침하형상 D_2 가 이미 추출된 가공특징형상 M_2, M_3 와 간섭이 생기는 경우 축소방법에 따라 간섭현상을 처리하는 예를 보여준다(Fig. 8의 (b) 단계). D_2 와 간섭이 제거된 M_2' 과 M_3' 은 각각 M_2 와 M_3 보다 축소된 물품을 지닌다.

3.2.3 전이형상 변환

전이형상 변환 과정에는 전이형상을 나타내는 프

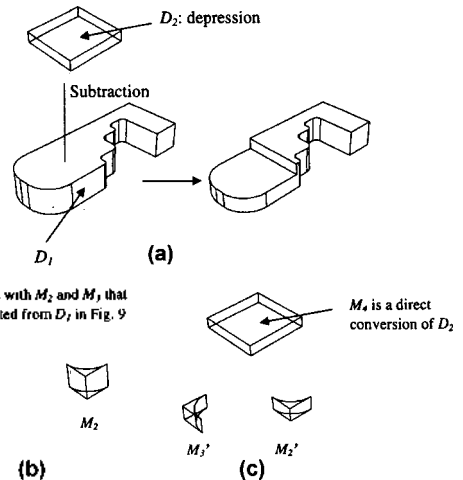


Fig. 11. Depression feature conversion by the reduction operation.

로파일의 형태에 따라 두 가지 종류가 있다: 1) 볼록형(convex)과 2) 오목형(concave). 볼록형 프로파일 전이형상은 가공특징형상으로 직접 변환된다. 반면에 오목형 프로파일 전이형상은 가공형상이 아니다. 단지 기존의 가공형상의 특성을 변환시키는 역할을 한다. 이는 공구선택에 도움을 준다(예, fillet-ended mill). Fig. 12은 볼록형 및 오목형 프로파일 전이형상 변환과정을 보여준다. 하지만, 전이형상 변환과정

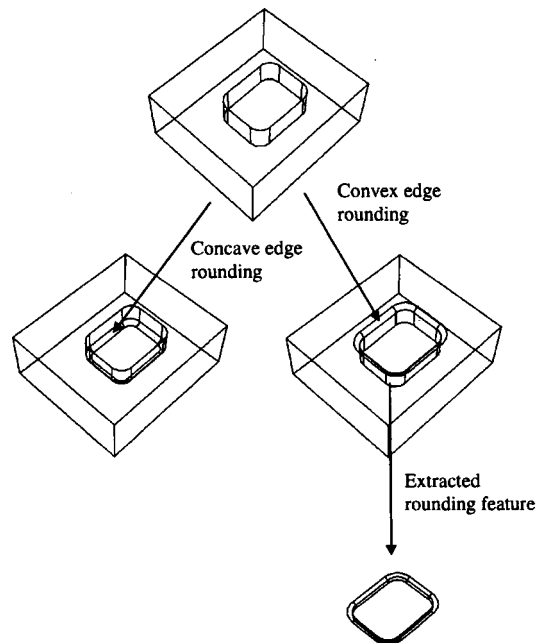


Fig. 12. Transition feature conversion.

을 기존의 기하학적 접근방법으로 해결하기에는 많은 어려움이 따른다.

3.2.4 돌출형상 변환

돌출형상은 가공형상으로 직접적으로 변환되지 않는다. 따라서 주위 볼륨을 계산하여 하나 또는 다수의 가공특징형상으로 변환시켜야 한다. 또한 돌출형상과 간섭을 일으키는 가공특징형상이 존재할 경우에는 간섭특징형상도 수정이 요구된다. 우선 돌출형상 D_{n+1} 은 D_{in} 과 D_{out} 으로 분리된다: $D_{in}=D_{n+1} \cap S$ & $D_{out}=D_{n+1} \setminus S$. D_{in} 은 원자재 S 의 내부에 존재하는 볼륨이고 D_{out} 은 S 의 외부에 존재하는 볼륨이다(D_{in} 과 D_{out} 의 보다 구체적인 의미는 Fig. 14(a)와 Fig. 15에 잘 나타나 있다). 만약 D_{in} 과 간섭을 일으키는 가공형상이 존재하면 이는 수정되고, D_{out} 이 존재하면 변환과정은 초기공작물 S 가 D_{out} 을 포함하도록 S 를 확장시키고 확장된 볼륨은 가공특징형상으로 변환시킨다.

간섭특징형상 및 확장 볼륨의 효과적인 처리가 돌출형상 변환과정에서 가장 중요한 부분이다. 이를 위해 돌출형상 D_{n+1} 은 세가지 종류로 분류된다. 분류 기준은 간섭특징형상의 접근방향(accessibility direction)이나 확장볼륨의 확장방향(growing direction)과 D_{n+1} 의 스위핑 방향과의 관계다(Fig. 13과 Fig. 14):

1) 타입 1은 간섭특징형상의 접근방향이나 확장볼륨의 확장방향과 같거나 반대의 스위핑 방향을 지닌다.

2) 타입 2는 간섭특징형상의 접근방향이나 확장볼

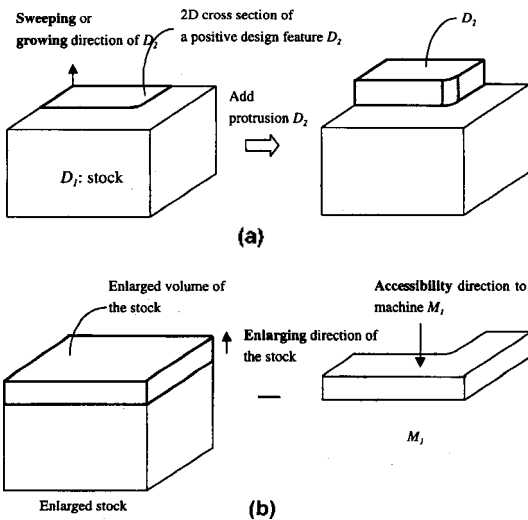
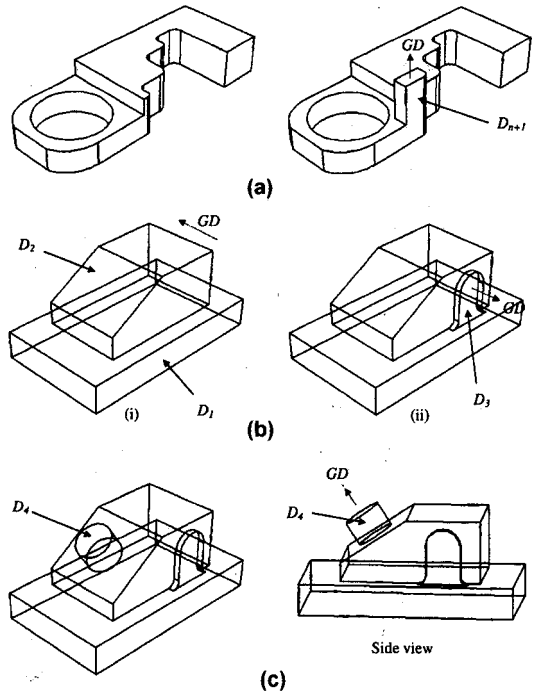


Fig. 13. Growing, enlarging, and accessibility directions: (a) design process, (b) feature extraction process



GD: Growing Direction
D_i: Design Feature

Fig. 14. Protrusion feature types: (a) type1, (b) type2, and (c) type3

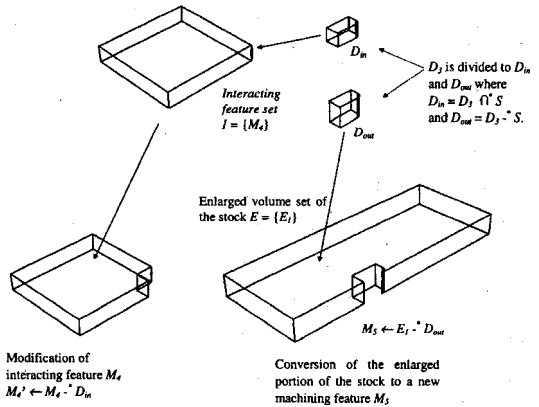


Fig. 15. Type1 protrusion feature handling.

름의 확장방향과 수정된 스위핑 방향을 지닌다.

3) 타입 3은 경사진 면에 설계된 돌출형상이다.

타입 1 돌출형상 처리 과정

1) 간섭특징형상 M_i 를 다음과 같이 수정하고 새롭게 정의한다: $M_i' = M_i \cup D_{in}$.

2) D_{out} 이 존재하면 D_{out} 을 포함하도록 초기 공작물

S를 확장시킨다. 확장된 볼륨 집합을 E라고 하자.

3) E에 속한 각 E_i 에 대해서 새로운 가공특징형상 M_{m+i} 를 다음과 같이 생성시킨다: $M_{m+i} = E_i \cdot D_{out}$

Fig. 15은 Fig. 14(a)에 타입 1 돌출형상 D_3 이 추가 되었을 때 이의 처리과정을 보여주고 있다. 주어진 정보는 $I = \{M_4\}$ 와 $E = \{E_1\}$ 이며 가공형상 M_4 는 $M_4 = M_4 \cdot D_m$ 으로 수정되고 새로운 가공특징형상 M_5 은 $M_5 = E_1 \cdot D_{out}$ 으로 추출된다.

타입 2 돌출형상 처리 과정

• 만약 D_{out} 이 존재하고($D_{out} \neq \emptyset$), D_{n+1} 의 스위핑 방향이 Fig. 14(b)(i)와 Fig. 16(a)에서 볼 수 있듯이 공작물의 확장볼륨의 확장방향과 수직관계에 있으면:

1) 공작물 S를 확장시킨다. 확장된 볼륨 집합을 E라고 하자.

2) D_{n+1} 을 공작물에 프로젝션시킨 후 이를 둘러싸는 최소 단면을 찾는다.

3) 찾아진 단면이 D_{out} 을 포함하도록 확장방향으로 스위핑 시켜 V를 생성시킨다.

4) 각 E_i 에 대해서 M_{m+i} 를 다음과 같이 생성시킨다: $M_{m+i} = E_i \cdot V$ (Fig. 16(a)(i)). 그리고 M_{m+i+1} 을 다음과 같이 정의한다: $M_{m+i+1} = V \cdot D_{n+1}$ (Fig. 16(a)(ii)).

• 만약 D_{in} 이 존재하고 D_{n+1} 의 스위핑 방향이 간섭특징형상의 접근방향과 수직이면(Fig. 14(b)(ii):

1) D_{n+1} 이 스위핑 방향에 따라 접근 가능한 지를 확인한다.

2) 접근 가능하면 D_{n+1} 의 주위 볼륨을 가공특징형상으로 변환시킨다(Fig. 16(b)(i)의 M_3). 그리고 각각의 간섭특징형상 M_i 를 $M_i' = M_i \cdot D_{n+1} \cdot M_{m+1}$ 로 수정한다(Fig. 16(b)(ii)).

타입 3 돌출형상 처리 과정

1) 모든 간섭특징형상의 합을 I_U 라고 하고 모든 확장볼륨의 합을 E_U 이라고 하자(Fig. 17). 2) E_U 와 접하는 I_U 의 면들의 집합을 f라고 하자. 각각의 면 $f_i \in f$ 는 E_U 을 포함할 수 있도록 법선벡터 방향으로 lifting시킨다. 이때 생성된 볼륨을 I_U' 이라고 하자. 그리고, I_U' 를 다음과 같이 수정한다: $I_U'' = I_U' \cdot D_{n+1}$.

3) I_U'' 로부터 최소볼륨의 가공특징형상을 추출하기 위해서 D_{n+1} 의 스위핑 방향으로 I_U'' 을 분할한다. 이때 추출된 가공특징형상 집합을 M_D 이라고 하자.

4) $I_U'' \cup M_D$ 을 I_{m+1} 라고 하자. I_{m+1} 는 2.2 절에서

설명한 유효한 가공특징형상 조건 중 최소한 한 면은 파트에 접해야 한다는 조건에 위배되어 유효하지

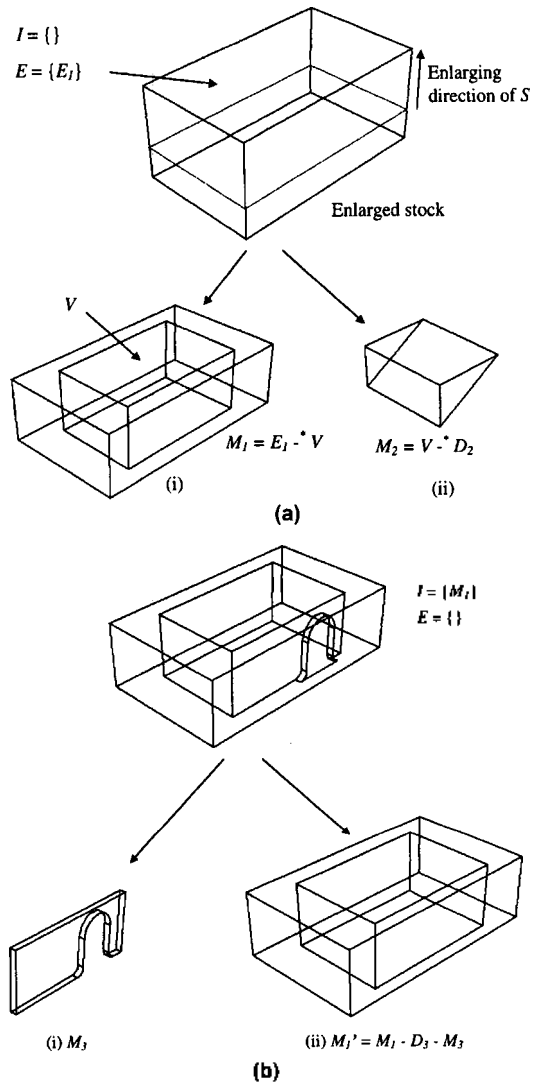


Fig. 16. Type2 protrusion feature handling.

못한 가공특징형상이다. 하지만 I_{m+1} 는 파트 P의 에지에 접해있기 때문에 I_{m+1} 에 근접한 가공특징형상(예, Fig. 17의 M_5)이 I_{m+1} 보다 우선적으로 가공되면 I_{m+1} 는 자동적으로 가공이 가능하다. 따라서, I_{m+1} 가 존재하면 I_{m+1} 는 근접한 가공특징형상의 자식형상(child feature)으로 간주하고 M에는 저장하지 않는다.

5) E_U 를 다음과 같이 수정한다: $E_U' = E_U \cdot I_U'$. E_U'' 도 분할하여 가공특징형상으로 변환한다.

Fig. 17에 도시된 예를 보면 주어진 정보는 $I = \{M_2\}$ 와 $E = \{E_1\}$ 이며 이를 바탕으로 타입 3 돌출형상 변환 방법은 M_2 를 제거하고 M_4, M_5, M_6 를 생성시켰다. Fig. 14(c)의 형상을 가공하기 위한 모든 추출된 가공

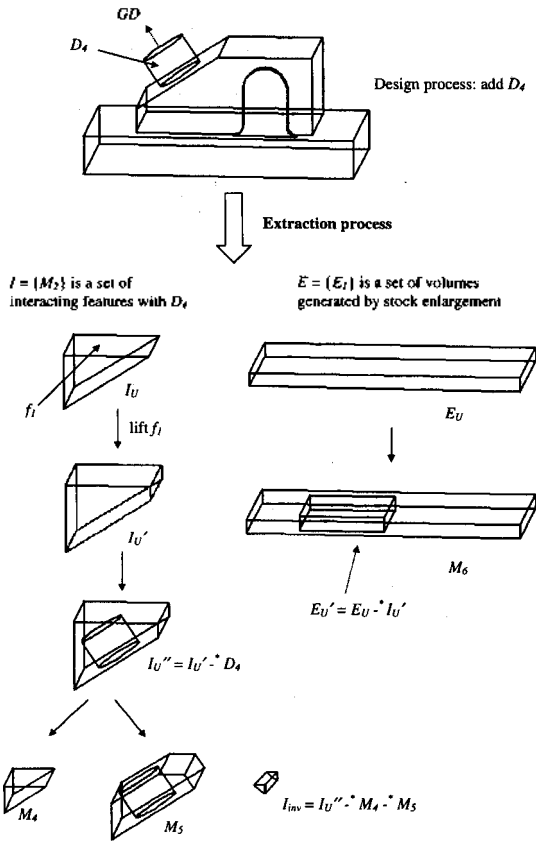


Fig. 17. Type3 protrusion feature handling.

특징형상 집합은 $M = \{M_1, M_3, M_4, M_5, M_6\}$ 이다.

3.2.5 최대 및 선택 볼륨

추출된 가공특징형상은 가공순서에 따라 실제 제거 볼륨(actual removal volume)을 나타낼 수도 있고 그렇지 않을 수도 있다¹⁰⁾. 예를 들면, Fig. 18(b)에서 볼 수 있듯이 합쳐진 볼륨은 두개의 가공특징형상으로 분리될 수 있다. 하지만, 경사진 볼륨이 홀보다 우선적으로 가공이 되면 홀을 가공하는 중 공구가 미끄러질 가능성이 크다. 따라서 Fig. 18(c)에서처럼 홀을 우선적으로 가공하는 것이 바람직하며 이 경우 홀의 제거 볼륨은 완전한 실린더 모양이 된다. 이 모양(Fig. 18(c)의 M_1)을 홀의 최대 볼륨(maximal volume)이라 칭한다. 최대 볼륨은 파트 P와 간섭이 없이 S로부터 제거할 수 있는 최대의 제거 볼륨이다. 최대 볼륨 중 실제 제거 볼륨 이외의 볼륨을 선택 볼륨(optional volume)이라 한다¹¹⁾.

최대 및 선택 볼륨은 다음의 두 가지 목적으로 사용될 수 있다: 1) 가공특징형상의 다중해석(alternative interpretation)과 2) 설계 과정 중 유효하지 못한

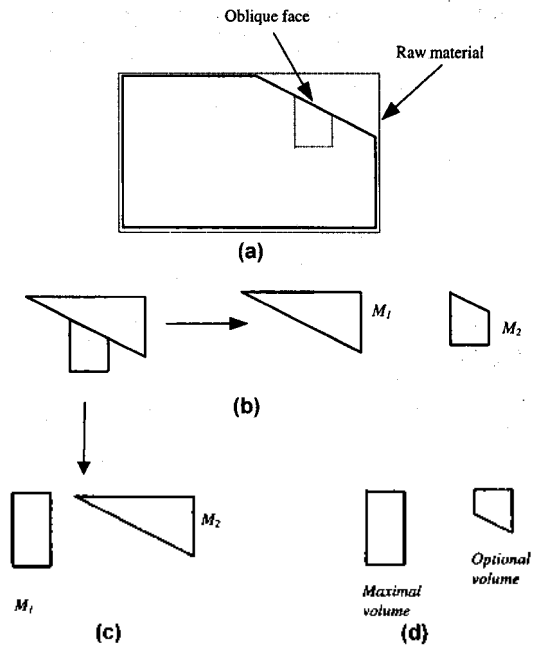


Fig. 18. Maximal and optional volumes.

설계특징형상 확인. 다중해석은 특징형상인식 및 공정계획 과정에서 아주 중요한 역할을 담당한다. Fig. 18(b)와(c)는 다중해석의 한 예를 보여준다. 하지만, 상세한 설명은 본 논문의 범위 밖이다. 유효하지 못한 설계특징형상 확인은 설계과정에서 중요하다. 만약 새롭게 추가된 돌출형상이 이미 추출된 가공특징형상의 실제 제거 볼륨과는 간섭이 없더라도 선택 볼륨과 간섭을 일으키면 그로 말미암아 이미 추출된 특징형상의 가공을 위한 접근이 불가능하기 때문에 추가된 돌출형상은 유효하지 못하다.

3.3 가공특징형상 분석

추출된 가공특징형상 분석과정은 아래와 같이 유효하지 못한 가공형상을 찾는 과정이다: 1) 접근가능성(accessibility): 만약 가공특징형상의 접근볼륨(accessibility volume)이 파트 P와 간섭을 일으키면 그것은 유효하지 못한 형상이다. 접근볼륨은 특징형상을 가공할 때 공구의 비절삭부분이 스유펜되어 생성되는 볼륨이다. 하지만 접근볼륨을 계산하는 것이 쉽지 않기 때문에 본 연구에서는 특징형상의 단면을 스유펜하여 생성되는 볼륨을 접근볼륨으로 간주한다.

2) 위치선정(positionability): 특징형상을 가공할 경우 공구를 올바르게 위치시킬 수 없으면 이는 유효하지 못한 형상이다. 예를 들면, 홀의 입구가 수평 평면이 아니면 공구가 미끄러질 가능성이 있기 때문

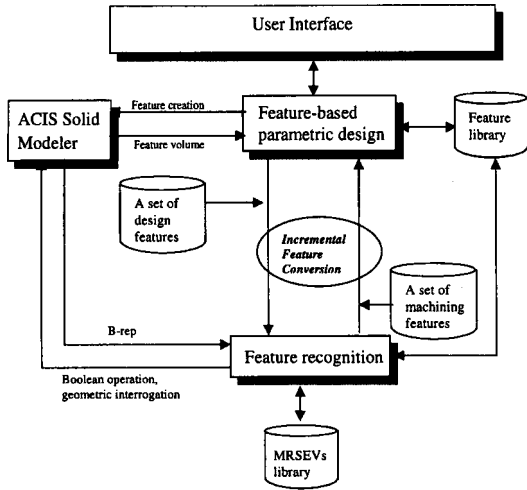


Fig. 19. System architecture.

에 유효하지 못한 경우이다.

3) 중복성(redundancy): 만약 $\bigcup_{M_i \in M - \{M_i\}} M_i \cdot \Delta = \phi$ 이면 가공특징형상 M_i 는 중복이며 유효하지 못하다.

4) 공차 적합성(tolerance compatibility): 각각의 가공공정은 명목 형상(nominal geometry)에 비해서 변형된 면을 생성시킨다. 이러한 이유 때문에, 설계자는 명목 형상에 공차를 부여한다^[27]. 특히 설계 시 각 면마다 하나의 공차가 부여되어야 한다. 만약 다른 특징형상의 면들이 합병되었을 경우 각각의 면에 부여된 공차가 다르다면 합병은 유효하지 못하다. 고유 명명법이 합병된 면의 조상들을 추적하여 공차 적합성 여부를 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 논문은 설계특징형상 모델에서 점진적으로 가공특징형상 모델을 변환하는 방법을 제시했다. 제시된 방법은 기하학적 정보 뿐만 아니라 여러 가지 특징형상 정보도 이용함으로써 간섭형상이나 돌출형상을 포함하는 다양한 형상을 처리할 수 있다. 특히, 간섭특징형상 간의 합병 및 분할에 관한 정보를 고유 명명법에 의해서 관리할 수 있어서 특징형상간의 간섭문제를 효율적으로 처리할 수 있다. 본 논문은

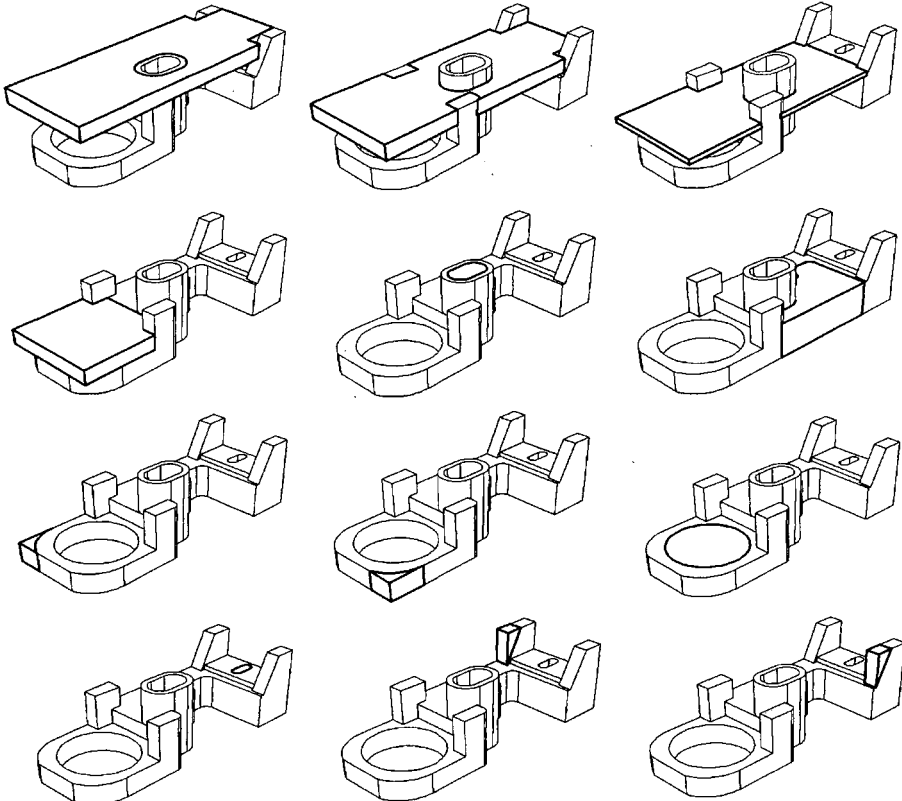


Fig. 20. Extracted features to machine the example part in Fig. 7(a).

하나의 프레임에서 특징형상 모델링과 특징형상 인식 과정을 동시에 수행함으로써 CAD/CAM 통합에 효과적인 방법을 제시한다.

제시된 방법은 파라메트릭 특징형상 모델링의 서브 모듈로 개발되었다^[23,24]. 이 모듈은 IRIS Indigo2 워크스테이션 상에서 C++로 구현되었다. Fig. 19는 개발된 시스템 구조를 보여주고 있다. 개발 시스템은 크게 3개 모듈로 구성되어 있다: 1) 파라메트릭 특징형상설계(Feature-based parametric design), 2) 특징형상인식(Feature recognition), 3) ACIS 솔리드 모델러. 사용자는 사용자 인터페이스를 통해서 이미 저장된 설계특징형상이나 사용자가 직접 설계특징형상을 정의하여 원하는 형상을 만들며, 특징형상이 추가되면 특징형상 인식모듈에서는 추가된 설계특징형상으로부터 유도될 수 있는 가공특징형상을 추출한다. 이때 사용되는 가공특징형상 모델은 MRSEVs이며, 그 추출된 결과는 다시 설계시스템에 파드백 된다. 설계 및 추출과정 모두 ACIS 솔리드 모델러의 여러가지 *geometric interrogation*을 이용한다. 특히, 제시된 접근방법은 형상설계가 완성된 후가 아니라 점진적인 설계과정 중에 특징형상 인식과정을 수행하게 되는데, 이렇게 하게 되면 초기 설계 과정에서 많이 일어날 수 있는 오류를 찾기 쉬우며, 오류 수정과정도 단순하며 쉬워지는 장점이 있다. Fig. 20은 개발된 시스템상에서 Fig. 7(a)에 도시된 형상을 가공하기 위해서 추출된 실제 가공특징형상을 보여주고 있다.

하지만, 아래의 추후연구가 지속적으로 필요하다:

- 1) 가공특징형상 추출과정 중 설계 규칙(design rules)과 기하학적 제약조건의 보다 효율적인 적용
- 2) 설계특징형상을 4 또는 5축 가공특징형상으로의 변환
- 3) 다중해석 생성방법 연구

참고문헌

1. Shah, J.J. and Mäntylä, M., *Parametric and feature-based CAD/CAM: concepts, techniques and applications*, John Wiley & Sons, New York, 1995.
2. Han, J., "3D geometric reasoning algorithms for feature recognition", *Ph.D. Thesis*, University of Southern California, 1996.
3. Joshi, S. and Chang, T.C., "Graph-based heuristics for recognition of machined features from a 3D solid model", *Computer Aided Design*, Vol. 20, No. 2, pp. 58-66, 1988.
4. Chuang, S.H. and Henderson, M.R., "Three-dimensional shape pattern recognition using vertex classification and the vertex-edge graph", *Computer Aided Design*, Vol. 22, No. 6, pp. 377-387, 1990.
5. Gavankar, P. and Henderson, M.R., "Graph-based extraction of protrusions and depressions from boundary representations", *Computer Aided Design*, Vol. 22, No. 7, pp. 442-450, 1990.
6. Woo, T.C., "Feature extraction by volume decomposition", *Proc. Conf. CAD/CAM Technology in Mechanical Engineering*, pp. 76-94, 1982.
7. Kim, Y.S., "Recognition of form features using convex decomposition", *Computer Aided Design*, Vol. 24, No. 9, pp. 461-476, 1992.
8. Tseng, Y. and Joshi, S.B., "Recognizing multiple interpretations of interacting machining features", *Computer-Aided Design*, Vol. 26, No. 9, pp. 667-688, 1994.
9. Sakurai, H. and Chin, C., "Definition and recognition of volume features for process planning", *Advances in Feature Based Manufacturing*, Elsevier, pp. 65-80, 1994.
10. Vandenbrande, J.H. and Requicha, A.A.G., "Spatial reasoning for the automatic recognition of machinable features in solid models", *IEEE Trans. Pattern Analysis & Machine Intelligence*, Vol. 15, No. 12, pp. 1269-1285, 1993.
11. Regli, W.C. and Nau, D.S., "Building a general approach to feature recognition of material removal shape element volumes(MRSEVs)", *Proc. 2nd Symposium Solid Modeling Foundations & CAD/CAM Applications*, ACM Press, pp. 293-302, 1993.
12. Regli, W.C., Gupta, S.K. and Nau, D.S., "Extracting alternative machining features: an algorithmic approach", *Technical Report TR94-95*, University of Maryland, 1994.
13. Han, J. and Requicha, A.A.G., "Incremental Recognition of Machining Features", *Proc. ASME Computers in Engineering Conf.*, pp. 143-149, 1994.
14. Regli, W.C., "Geometric algorithms for recognition of features from solid models", *Ph.D. Thesis*, University of Maryland, 1995.
15. Chang, T.C., *Expert process planning for manufacturing*, Addison-Wesley, 1990.
16. Shah, J.J. and Rogers, M.T., "Expert form feature modeling shell", *Computer Aided Design*, Vol. 20, No. 9, pp. 515-524, 1988.
17. Chamberlain, M.A., Joneja, A. and Chang, T.C., "Protrusion-feature handling in design and manufacturing planning", *Computer Aided Design*, Vol. 25, No. 1, pp. 19-28, 1993.
18. Laakko, T. and Mäntylä, M., "Feature modeling by incremental feature recognition", *Computer Aided Design*, Vol. 25, No. 8, pp. 479-492, 1993.

19. Fields, M.C. and Anderson, D.C., "Hybrid feature extraction for machining applications", *ASME Advances in Design Automation*, pp. 263-271, 1993.

20. Lee, Y.S. and Daftari, D., "Handling protrusion features with virtual pockets for automated process planning", *Proc. ASME Computers in Engineering Conf.*, pp. 599-617, 1995.

21. Kramer, T.R., "A library of material removal shape element volumes (MRSEVs)", *NISTIR 4809*, NIST, 1992.

22. Kramer, T.R., "Issues concerning material removal shape element volumes (MRSEVs)", *I.J. Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 7, No. 3, pp. 139-151, 1994.

23. Lee, J.Y. and Kim, K., "Geometric reasoning for knowledge-based parametric design using graph representation", *Computer Aided Design*, Vol. 28, No. 10, pp. 831-841, 1996.

24. Lee, J.Y., "A knowledge-based approach to feature-based parametric modeling", *Ph.D. Thesis*, POSTECH, Korea, 1998.

25. Regli, W.C. and Pratt, M.J., "What are feature interactions", *Proc. ASME Design Engineering Technical Conferences*, Irvine, California, pp. DFM-1285, 1996.

26. Kripac, J., "A mechanism for persistently naming topological entities in history-based parametric solid models", *Proc. 3rd Symposium on Solid Modeling Foundations & CAD/CAM Applications*, Salt Lake City, Utah, pp. 21-30, 1995.

27. Gupta, S.K., "Automated manufacturability analysis of machined parts", *Ph.D. Thesis*, University of Maryland, 1994.

28. 이재열, 김광수, "파라메트릭 접근방법에 의한 특징 형상을 이용한 모델링", *한국CAD/CAM학회 논문집*, 1권, 3호, pp. 242-256, 1996.



이 재 열

1992년 포항공과대학교 산업공학과 학사
 1994년 포항공과대학교 산업공학과 석사
 1998년 포항공과대학교 산업공학과 박사
 1998년 ~ 현재 전자통신연구원(ETRI) 컴퓨터 소프트웨어 기술연구소 동시공학팀 시스템통합연구부 선임연구원

관심분야 : parametric design, feature-based modeling and geometric reasoning in intelligent CAD, Web enabled CAD, and computer supported collaborative work



김 광 수

1977년 서울대학교 산업공학과 학사
 1979년 서울대학교 산업공학과 석사
 1985년 U. of Central Florida 박사
 1985년 ~ 1988년 Rochester 공과대학교 조교수
 1988년 ~ 현재 포항공과대학교 산업공학과 조교수/부교수

관심분야 : feature-based parametric modeling, feature-based NC machining, 2D & 3D geometric constraint solving, design process automation, and virtual product modeling