

기준 특징형상에 기반한 셀 분해 및 특징형상 인식에 관한 연구

김재현*, 박정환**

Reference Feature Based Cell Decomposition and Form Feature Recognition

Jae Hyun Kim* and Jung Whan Park**

ABSTRACT

This research proposed feature extraction algorithms as an input of STEP AP214 data, and feature parameterization process to simplify further design change and maintenance. The procedure starts with suppression of blend faces of an input solid model to generate its simplified model, where both constant and variable-radius blends are considered. Most existing cell decomposition algorithms utilize concave edges, and they usually require complex procedures and computing time in recomposing the cells. The proposed algorithm using reference features, however, was found to be more efficient through testing with a few sample cases. In addition, the algorithm is able to recognize depression features, which is another strong point compared to the existing cell decomposition approaches. The proposed algorithm was implemented on a commercial CAD system and tested with selected industrial product models, along with parameterization of recognized features for further design change.

Key words : Feature recognition, cell decomposition, reference feature, feature-based solid model, STEP AP214

1. 서 론

CAD 데이터베이스로부터 최적의 가공, 측정조건을 도출하기 위한 CAD/CAM/CAI 통합 기술에 관한 연구가 활발히 이루어져 왔다. 이를 위해서는 모델의 CAD 데이터를 입력으로 받아 제조할 수 있는 가공 명령을 출력해 내는 자동 공정 계획(Computer Aided Process Planning)과 가공 상태를 확인하기 위한 자동 검사 계획(Computer Aided Inspection Planning)을 수립할 필요가 있다^[1].

CAD/CAM 기술은 컴퓨터의 발달로 발전하고 있으나 CAD/CAM 통합에 관한 연구성과는 아직 미흡하다. 그 이유는 설계와 생산이라는 각기 다른 두 영역에서 사용하는 정보의 형태가 본질적으로 서로 달라 상호간의 정보교환에 어려움이 있기 때문이다. 따라서, 생산 자동화에 필요한 기하학/비기하학적 정보를 기존의 CAD 데이터와 함께 총괄하여 처리하기 위한

수단으로서 특징형상 개념이 요구되었다^[2].

일반적으로 특징형상(feature)이란 설계, 해석, 가공, 검사, 조립 등 각 생산의 요소기술 분야별로 수행에 필요한 기본형상을 말한다. 각 분야에서 사용되는 특징형상은 다른 분야에 대해 일대일 대응이 되지 않는 경우가 있기 때문에 통합을 이루기 위해서는 특징형상을 인식하고 이들 간의 변환과정이 필요하다^[3].

특징형상을 인식하기 위한 방법 중 기하학적 접근 방법(geometry-based approach)은 B-rep과 같은 기하 및 위상 정보로부터 특징형상을 자동적으로 추출하는 방법이다. 이 방법의 주된 장점은 기존의 CAD 시스템을 사용할 수 있으며 인식 방법이 각 응용분야에 맞도록 설계될 경우 그 분야의 포스트 프로세서로 잘 활용될 수 있다^[4].

주된 연구방법으로는 모델의 경계 표현과 개별 특징형상의 주요위상요소들을 각각의 그래프로 표현하고 부품 그래프의 부그래프(subgraph)가 특정한 그래프와 일치되는지 패턴 매칭^[5], 모델을 포함하는 최소 convex hull을 이용하여 delta volume(초기 피삭재 모델에서 특징형상 모델을 서로 subtract하였을 때

*학생회원, (주)DS 임플란트 기술연구소
**교신저자, 종신회원, 영남대학교 기계공학부
- 논문투고일: 2007. 04. 11
- 심사완료일: 2007. 06. 20

생성되는 볼륨)을 제거해 나가는 방법인 convex hull decomposition^{8,9)}, delta volume을 다양한 형태의 cell로 분해한 뒤 이들의 부분집합을 특징기준에 의해 재결합시키고 최종적으로 패턴 매칭을 통해 특징형상을 분류하는 cell-based decomposition^{10,11)}, 각 특징형상의 완전한 패턴을 찾는 대신 교차 이후에도 존재하는 각 특징형상의 최소의 '흔적(예: cylindrical face of hole feature)'으로부터 기하추론 과정을 거쳐 특징형상을 복원하는 힌트기반 접근방법(hint-based approach)^{12,13)} 등이 있다.

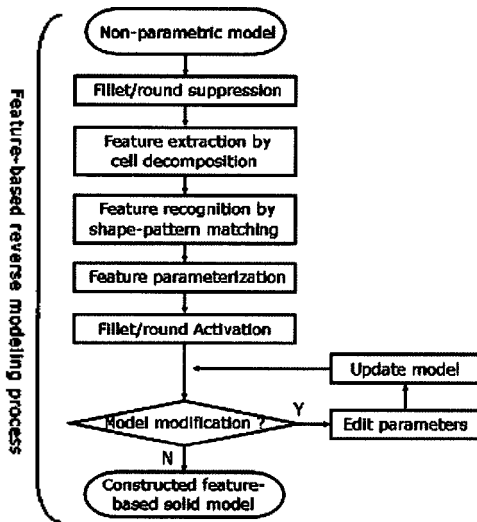


Fig. 1. Feature-based reverse modeling concept.

기존 연구에서와 같이 CAD/CAM 통합을 위한 특징형상의 자동추출 알고리즘에 관한 많은 연구가 이루어 졌으나 일반적인 해를 제공하는 알고리즘은 아직 출현하지 않았다.

특히, 셀 분해 기법은 delta volume으로 부터 가공특징형상을 인식하기 위해 제안된 알고리즘으로 오목한 모서리를 이용한 셀 분해, 셀 결합(조합) 과정을 거쳐 특징형상으로 분류하는 과정을 거친다. 그러나 오목한 모서리를 이용한 셀 분해 과정에서 셀의 개수가 기하급수적으로 증가함에 따라 셀 결합에 필요한 시간이 지수적으로 증가한다는 단점이 있으며, 셀 결합 방법과 특징형상으로 대응시키기 위한 알고리즘에 따라 인식된 특징형상이 서로 다를 수 있다는 단점이 있다¹⁴⁾.

Fig. 1은 특징형상 정보와 설계 이력이 존재하지 않는 입력모델에 대해 특징형상을 인식하고 파라미터를 부여한 특징형상 기반 솔리드 모델을 구축하여 추후

사용자에 의한 설계 변경이 가능하도록 하는 특징형상 기반 역모델링 방법을 나타낸다.

Fig. 2는 본 연구의 구현 범위를 나타낸다. 먼저 상용CAD시스템으로부터 변환된 STEP AP214가 입력 되면 STEP 해석기를 통해 B-rep 모델로 변환된다. 본 연구에서의 입력모델은 비다양체 모델(non-manifold model)이 아니라고 가정하고 입력 B-rep 모델을 탐색하여 솔리드 바디, 페이스, 모서리, 꼭지점 정보를 획득하고 특징형상 인식을 위한 기초정보로 이용한다.

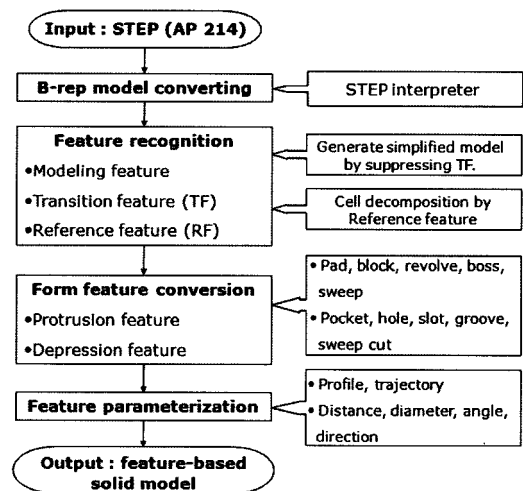


Fig. 2. Research scope.

다음 단계는 특징형상 인식과정을 통해 각각의 특징형상을 추출하는 과정이다. 우선 연결곡면을 탐색하고 이를 억제하여 단순화된 모델(simplified model)로 변환한 후 모델의 오목한 모서리를 탐색하여 기준 특징형상을 추출하였다. 본 연구에서의 기준 특징형상(reference feature)은 일반적으로 설계작업 시 특징형상을 생성하기 위한 기준 평면으로 간주하였으며 이를 기준으로 특징형상을 구분할 수 있다고 보았다.

마지막 과정은 인식된 특징형상을 분류하고 파라미터화(parameterization)하는 것으로 형상의 패턴을 검색하여 본 연구에서 정의하는 form feature를 탐색해내고 치수 파라미터를 부여하여 특징형상 기반 솔리드 모델을 구축하는 것이다. 이와 함께 이전 단계에서 억제된 연결곡면을 다시 활성화하여 원래의 형상으로 복원하는 과정을 거치게 된다.

본 연구에서는 역모델링 방법을 적용함에 있어 기준 특징형상을 이용한 셀 분해 알고리즘에 대해 기술

하였으며 기존 셀 분해 방법의 단점을 보완하고자 하였다. 그 내용은 아래와 같다.

- 블렌드 특징형상을 탐색하여 억제하기 때문에 단순화된 각주형 형상으로 변환할 수 있다.
- 오목한 모서리들을 포함하는 하나의 평면을 기준 특징형상으로 정의하고 셀 분해를 수행하기 때문에 셀의 개수를 줄일 수 있다.
- 특징형상 인식의 과정에서 돌출 및 제거 특징형상을 탐색할 수 있도록 하여 특징형상 간섭문제를 해결하고자 하였다.
- 특징형상 기반 솔리드 모델을 생성할 수 있어 특징형상의 유지 및 타당성 검토가 쉽다.

2. 입력모델의 단순화

필렛과 라운드 형상은 솔리드 모델의 인접하는 다른 면들 사이에 전이 형상을 만들어내며 실제 기계부품 모델에 있어 혼란 이차 특징형상이지만 모델을 복잡하게 하여 특징형상 인식에 어려움을 준다¹⁷⁾. 따라서, 특징형상을 인식하기에 앞서 필렛, 라운드, 챔퍼와 같은 2차 특징형상을 우선적으로 탐색하고 이를 억제하여 단순화된 모델로 변환할 필요가 있다.

본 연구에서는 블렌드 특징형상이 포함된 입력모델에 대해 단순화 모델을 생성하기 위한 방법으로 Zhu¹⁷⁾의 연구를 활용하였다. Zhu는 모델에 대한 homomorphic equivalence를 고려하여 블렌드 면을 탐색하고 incremental surface knitting process를 통해 면의 정보를 조작하여 블렌드 특징형상을 억제함으로써 일차 특징형상을 재생성 하였다.

본 연구에서는 블렌드 특징형상과 챔퍼를 포함하는 이차 특징형상을 transition feature로 정의하고 아래와 같이 분류하였다.

- Transition feature classification
 - Classification: fillet, round, chamfer
 - Shape: edge/corner type
 - Parameter: constant/variable type

Fig. 3은 블렌드 면을 억제하여 단순화된 모델을 생성하는 알고리즘을 나타낸 것으로 Zhu가 제안한 방법을 이용하여 블렌드 면을 제거하고 인접곡면을 수정하는 과정을 나타낸다.

Zhu의 연구는 transition feature가 독립적으로 존재할 경우만 고려하여 블렌드 곡면에 boss와 hole과 같은 다른 특징형상이 존재하는 경우 이를 억제할 수 없다는 한계점이 있다. 이러한 경우를 특징형상간의 교

차로 볼 수 있으며 이를 해결하기 위해 Fig. 4와 같은 방법을 이용하였다.

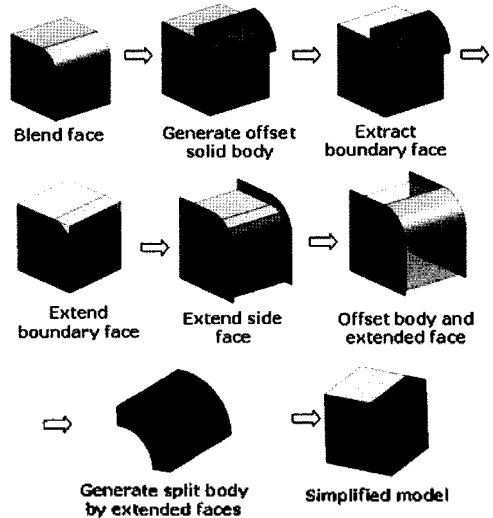


Fig. 3. Procedure for suppressing blend feature.

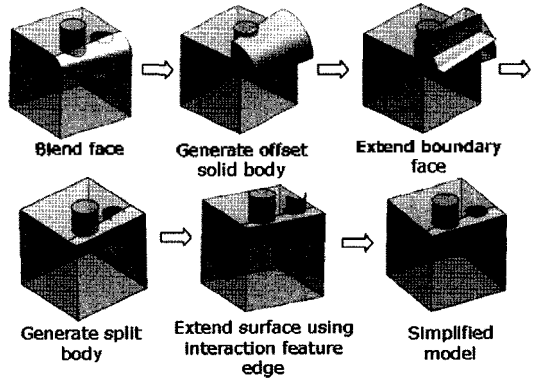


Fig. 4. Procedure for suppressing blend face in feature interaction example.

이는 앞서 제시한 incremental knitting process와 유사하지만 특징형상의 간섭으로 인해 생성되는 모서리를 고려하여 boss와 hole 형상이 존재하지 않았다면 생성될 수 있는 블렌드 곡면을 생성하고 경계모서리를 확장한 후 offset solid model에 대해 split 과정을 수행하였다. 그 후 특징형상 교차가 발생하는 intersection curve에 대해 확장곡면을 생성하고 split 과정을 수행하여 단순화된 모델을 생성하였다.

3. 기존 특징형상을 이용한 셀 분해 기법

본 연구에서는 특징형상 인식에 관한 기존의 알고

리즘 중에서 셀 분해기법을 이용하였다. 셀 분해 기법은 복잡한 솔리드 모델을 좀 더 단순한 볼륨으로 나누는 방법으로, 모델을 생성하기 위해 사용되는 primitive로 분해하는 과정이며 주로 가공 특징형상을 인식하는 분야에서 사용되어 왔다^[6].

셀 분해 기법은 Fig. 5와 같이 오목한 모서리를 이용한 셀 분해 및 maximal volume의 조건에 맞는 셀을 탐색하고 결합하는 과정으로 나누어 진다. 이는 다른 알고리즘에 비해 사용데이터가 비교적 간단하고 일반적으로 적용할 수 있으며 특징형상의 간섭에 대한 적용가능성이 비교적 높다는 장점이 있다.

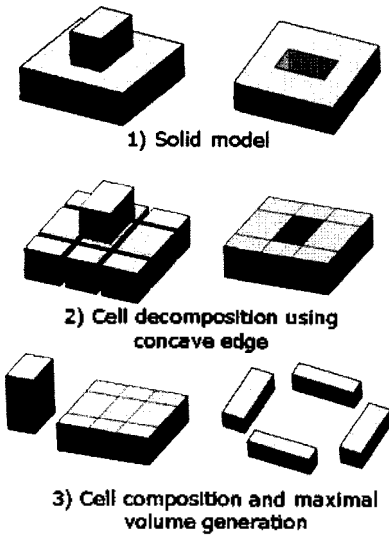


Fig. 5. Procedure of cell decomposition method.

그러나 여전히 이차 특징형상이 존재하지 않는 각 주형 모델에 대해서만 연구되었고 자유곡면이 포함된 특징형상에 대해서는 개선의 여지가 남아 있다. 또한 셀 분해 과정과는 별도로 인식과정이 필요하며 특징형상의 인식과 추출을 동시에 수행 할 수 없다는 단점이 있다.

본 연구에서는 기준 특징형상을 이용하여 셀을 효율적으로 분해할 수 있도록 하였으며 특징형상 간섭에 대해서도 적용할 수 있도록 하였다. 또한 인식된 특징형상에 매개변수를 부여하여 설계 변경에 대해 유연하게 대처할 수 있는 특징형상 기반 솔리드 모델을 생성할 수 있도록 하였다.

3.1 기준 특징형상의 정의 및 필요성

설계자가 솔리드 모델을 생성하기 위해서는 일반적으로 솔리드 모델에 포함된 특징형상들을 인지하고

각각의 형상 프로파일 곡선을 스케치한다. 이러한 과정을 반복하여 특징형상을 생성하고 불리언 조작을 통해 완성된 파트 모델을 만들어 낸다.

상용 CAD시스템을 이용한 설계 과정에서는 특징형상의 형상정보 외에 특징형상의 위치 및 방향을 나타내는 모델 좌표계와 프로파일이 정의된 기준 평면이 특징형상의 정보에 저장된다. 일반적으로 기준 평면을 datum plane 혹은 sketch plane이라고 하며 본 연구에서 제시한 기준 특징형상과 같다고 정의하였다. 기준 특징형상의 특징을 다음과 같이 기술하였다.

- 형상 특징형상(form feature)을 생성하기 위한 단면 프로파일 곡선이 정의된 평면이다.
- 기준 특징형상은 오목한 모서리를 포함하는 면이어야 한다.
- 오목한 모서리들이 평면 위에 존재하지만 기준 특징형상으로 정의할 솔리드 면이 존재하지 않더라도 그 평면을 기준 특징형상으로 정의할 수 있다.

파라메트릭 모델링 방법론에서 기준 특징형상은 모델에 대한 설계이력(history)을 나타내며 Fig. 6과 같이 form feature간의 모자 관계(parent-child relationship) 뿐만 아니라 개략적인 디자인 의도를 유추 할 수 있는 중요한 정보를 제공한다.

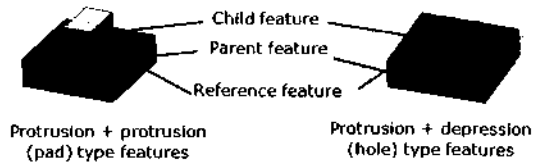


Fig. 6. Feature relationship to reference feature.

3.2 기준 특징형상에 의한 셀 분해

하나의 특징형상에 다른 특징형상이 결합되거나 제거될 경우 오목한 모서리가 생성된다. 셀 분해 기법과 혼적추적 기법은 이러한 오목한 모서리와 이를 포함하는 곡면의 정보를 이용하여 특징형상을 분리하였다. 본 연구에서는 서론에서 언급한 바와 같이 탐색하고자 하는 입력모델이 비다양체 모델이 아닐 경우로 제한하고 2장에서 설명한 단순화된 모델에 포함된 오목한 모서리를 탐색하였다.

오목한 모서리를 탐색하는 과정은 펜슬곡선 탐색을 위한 기존의 연구^[8,19]를 이용하였으며 솔리드 모델의 모서리에 대해 인접한 두 개의 면을 읍섯한 후, 교차곡선을 탐색하여 오목한 또는 볼록한 모서리로 구별하였다.

펜슬곡선 탐색 방법은 복잡한 자유곡면에 대해서도 정확한 결과를 보여주지만 곡면 윤셋과 교차곡선을 탐색하는데 있어 계산시간이 비교적 많이 걸린다는 단점이 있다. 만약 두 개의 인접한 면의 정보가 단순한 평면과 원통형 면일 경우에는 펜슬곡선의 탐색이 비 효율적일 수 있으므로 Fig. 7과 같이 곡면의 normal vector와 모서리의 tangent vector를 계산하여 인접곡면 사이의 각도를 구하고 오목, 볼록 여부를 판별하였다.

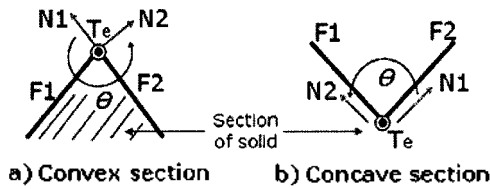


Fig. 7. Concave and convex edge evaluation.

모델의 전체 모서리에 대해 탐색을 마치면 Fig. 8과 같이 loop type concave edge를 탐색하고 기준 특징형상을 검색한다. 만약 loop type concave edge가 평면상에 존재할 경우 loop concave edge를 포함하는 솔리드 면이 기준 특징형상이 되고 이를 기준으로 셀 분해를 수행한다. 이 과정에서 생성된 셀 중에서 loop type concave edge의 bounding area을 벗어난 셀에 대해서는 셀 결합을 수행한 후, 기준 특징형상을 포함하는 셀에 대해서는 부모 특징형상이라는 속성을 부여하였다.

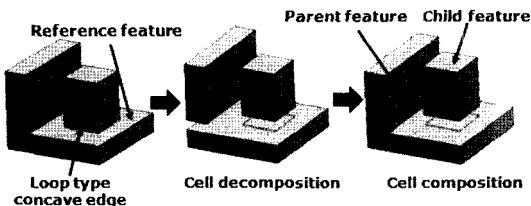


Fig. 8. Cell decomposition via reference feature.

Loop type concave edge에 대해 한번의 셀 분해를 수행하게 되면 솔리드 모델의 기하학적 정보가 바뀌게 되므로 각 셀에 대해 오목한 모서리 탐색을 반복적으로 수행하였다.

위의 단계가 끝나게 되면 분해된 셀에는 더 이상 loop type concave edge가 존재하지 않고 연결되거나 또는 하나의 오목한 모서리들만 존재하게 된다. 이를 connect type 또는 disconnect type concave edge라고 정의하고 Fig. 9와 같은 패턴으로 분류하였다.

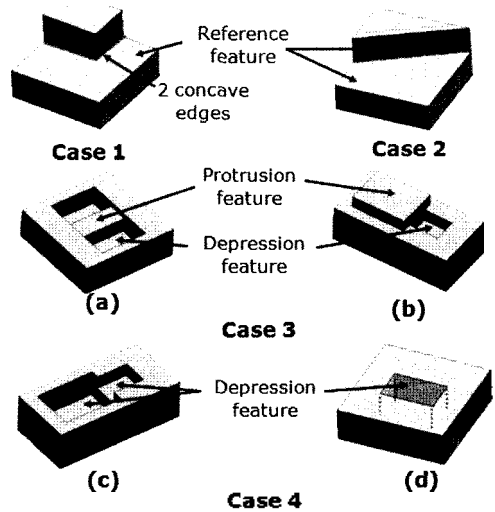


Fig. 9. Cell classification without loop concave edge.

Case 1은 하나의 면에 2개 혹은 그 이상의 오목한 모서리가 존재하는 경우이며, 그 면이 평면일 경우 기준 특징형상으로 가정하고 셀 분해를 수행한다.

Case 2는 오목한 모서리가 단지 하나일 경우이며 기준 특징형상을 정의하는데 있어 정보가 부족하므로 사용자의 개입이나 기본 형상(block, cylinder, sphere 등)을 고려하여 셀을 분해한다.

Case 3은 다수의 면에 connect type concave edge가 존재하는 경우이며 서로 다른 종류의 특징형상(들출, 제거 특징형상)들에 의해 간섭이 발생됨을 알 수 있다.

Case 4는 다수의 면에 disconnect type concave edge가 존재하는 경우이며 같은 종류의 특징형상(제거 특징형상)이 서로 간섭을 일으키는 경우도 있다.

본 연구에서는 특징형상 간섭에 있어 두 가지만 고려하였으며, Fig. 9(a)와 같이 특징형상 간에 교차하는 공간이 존재하는 경우를 volume clearance type, Fig. 9(b), 9(c)와 같이 공통의 면을 공유할 경우 topologic interaction type으로 구분하였다^[20]. 특히 Fig. 9(d)와 같이 오목한 모서리가 서로 단절되어 있으며 오목한 모서리를 포함하는 면들이 서로 연결되어 있는 경우에는 포켓과 같은 제거 특징형상이 존재함을 알 수 있다.

Fig. 10은 volume clearance type에 대한 셀 분해 과정을 나타낸다. 이 경우에는 Fig. 9(a)에 해당함을 알 수 있으며 들출 및 제거 특징형상을 추론할 수 있었다.

Fig. 10(a) 과정에서는 loop type concave edge를

검색하여 기준 특징형상을 추출하고 셀 분해과정을 거쳐 돌출 특징형상을 추출하였다. (b)과정에서는 Fig. 9의 case 1과 같이 3개의 오목한 모서리를 이용하여 기준 특징형상을 추출한 뒤 돌출 특징형상을 추출하였다. 마지막 과정은 Fig. 9(d)와 같은 경우로 돌출 특징형상과 제거 특징형상을 추출할 수 있다.

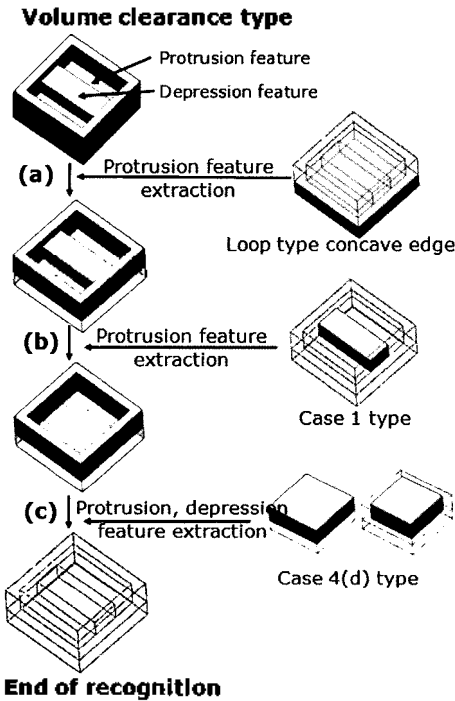


Fig. 10. Feature extraction for volume clearance type.

Fig. 11은 topologic interaction에 대한 셀 분해 과정을 나타낸다. Fig. 11(a), (b) 과정은 앞서 설명한 Fig. 10의 (a), (b)과정과 동일하고 (c)과정에서는 Fig. 9(d)와 같이 변환하기 위해 가상의 연결 면을 생성하여 두 개의 제거 특징형상을 추출하였다.

Fig. 12는 앞서 기술한 기준 특징형상을 이용한 셀 분해 과정을 나타낸다. 본 연구에서 제안된 기준 특징형상을 이용하여 셀을 분해할 경우에는 한 번의 셀 분해 과정마다 하나의 새로운 셀이 생성되므로 cell number = process number + 1 관계를 유추할 수 있으며 기존의 셀 분해 알고리즘보다 셀의 개수를 줄일 수 있어 셀 결함을 위한 시간 단축을 기대할 수 있다. 또한 기존 셀 분해 기법들은 돌출 특징형상만 인식할 수 있으나 본 연구를 통해 제거 특징형상도 인식할 수 있다.

그러나 Fig. 9의 case 2와 같이 1개의 오목한 모서

Topologic interaction type

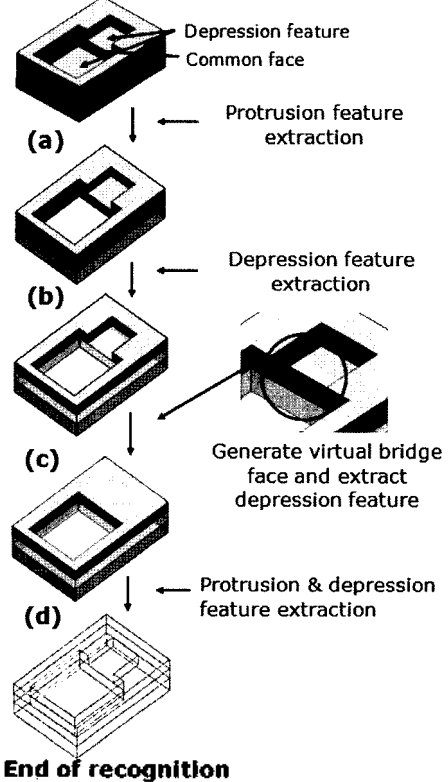


Fig. 11. Feature extraction for topologic interaction.

리를 가지는 경우와, 원통면 위에 존재하는 보스형상과 같은 인식하지 못하는 특징형상이 존재하는 경우에는 사용자가 직접 기준 특징형상을 정의하고 셀을 분해하도록 하였다.

3.3 특징형상의 매개변수화

분해된 셀은 돌출 혹은 제거 특징형상이며 이는 특징형상의 구체적인 타입을 인식하는 과정이 아니라 추출하는 과정에 해당하므로 특징형상에 파라미터를 부여 할 필요가 있다. 이 과정을 거쳐 입력 모델을 특징형상 기반 솔리드 모델로 변환할 수 있으며 설계변경이나 특징형상의 추가가 용이하다.

본 연구에서 인식하고자 하는 특징형상은 다음과 같으며 크게 3가지로 분류하였다.

■ **Form feature**

▶ **Protrusion feature**

- Extrude type
 - Constant direction (linear): pad, block, boss
 - Variable direction (non-linear): sweep
 - Rotational type: revolve

이용하여 셀 분해과정을 수행한 것이다. 모델의 정보는 다음과 같다.

- Transition feature number: 55
- Hole feature number: 10
- Concave edge number: 148
- Total cell number: 485

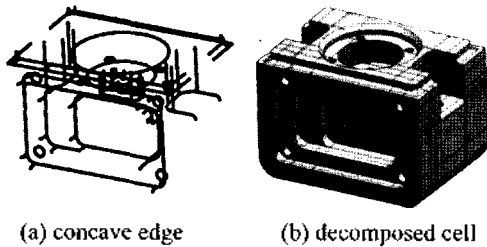


Fig. 15. Generate decomposed cell via original method.

Fig. 16은 인식된 transition feature를 억제하여 모델을 단순화시킨 것이며 오목한 모서리를 이용하여 셀을 분해한 그림이다. 이 때 오목한 모서리의 개수는 69개, 분해된 셀의 개수는 141개였으며 transition feature를 억제하였을 경우 셀의 개수가 감소하는 것을 알 수 있었다.

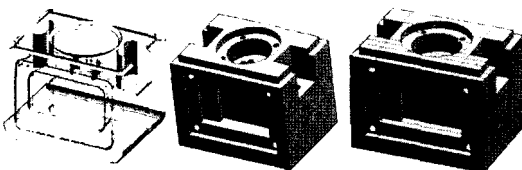


Fig. 16. Suppressing transition feature and cell decomposition.

4.2 특징형상 인식

본 연구에서 제안한 기준 특징형상을 이용하여 셀 분해를 수행하였다. 또한 추출된 특징형상에 파라미터를 부여하여 특징형상 기반 솔리드 모델을 생성하였다.

4.2.1 적용 예제1 (mechanical part)

Fig. 17은 특징형상 인식에 자주 사용되는 mechanical part 예제이며 면의 개수는 87개, 전체 모서리의 개수는 177개, 오목한 모서리의 개수는 84개였다. 전통적인 셀 분해 기법을 이용하였을 경우에는 셀의 개수가 1000개 이상으로 나타났으며 이는 전면부의 포켓 형상에 대한 오목한 모서리 때문이다.

본 연구에서 제안한 기준 특징형상을 이용하여 셀

분해를 수행하였을 경우 Fig. 18과 같이 특징형상을 인식하였다.

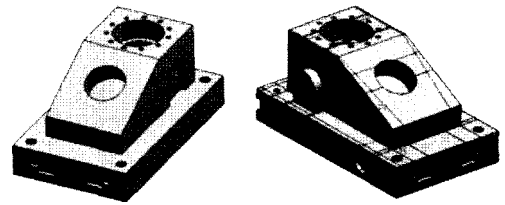


Fig. 17. Mechanical part example.

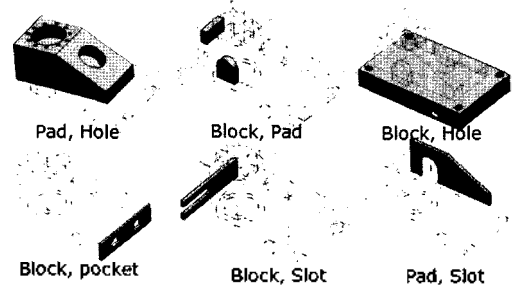


Fig. 18. Recognized form features.

4.2.1 적용 예제2 (Cylinder block model)

Fig. 19와 같이 각주형 형상이 아닌 복잡한 곡면을 포함하는 실제모델에 대해 적용해 보았다. 또한 인식할 수 없는 특징형상에 대해서는 사용자 개입을 통해 인식할 수 있는 특징형상으로 변환하였다.

전체 면의 개수는 1072개였으며 평면은 274개, 원통형 면은 522개, B-surface는 176개였다. 전체 모서리의 개수는 2949개였으며 오목한 모서리는 1443개였다.

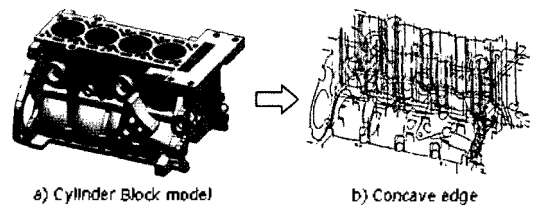


Fig. 19. Cylinder block model example.

Fig. 20은 셀 분해 과정을 거친 후 인식할 수 있는 특징형상과 인식할 수 없는 특징형상을 나타내고 Fig. 21은 인식된 특징형상을 나타낸다. 인식할 수 없는 특징형상에 대해서는 사용자가 임의로 셀을 분해하도록 하였고 다시 셀을 결합하여 인식 가능한 특징형상으로 변환하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 표준파일인 STEP(AP214)을 이용하여 특징형상을 인식하고 특징형상 기반 솔리드 모델을 구축하기 위한 알고리즘을 제안하였다. 특징형상을 인식하기 앞서 transition feature를 억제하여 모델을 단순화하였으며 기준 특징형상을 탐색하여 셀 분해를 수행하였다.

기준 특징형상을 고려할 경우 분해되는 셀의 개수를 줄일 수 있으며 돌출, 제거 특징형상을 검색할 수 있어 기존의 셀 분해 기법보다 효율적인 특징형상 인식이 가능하였다. 또한 특징형상 간섭문제를 크게 volume clearance와 topologic interaction으로 구분하고 이를 탐색할 수 있도록 하였다. 기준 특징형상을 기반으로 하는 셀 분해 기법을 적용할 때 특징형상을 인식하지 못하는 셀에 대해서는 사용자 개입을 통해 임의의 셀로 분해할 수 있도록 하였고 셀 결합 과정을 통해 인식 가능한 특징형상으로 변환할 수 있도록 하였다.

특징형상 추출과정이 끝나면 특징형상을 인식하는 과정을 통해 특징형상을 구체화하였고 파라미터를 부여하여 사용자로 하여금 모델의 수정을 쉽게 할 수 있도록 하였다.

본 연구에서는 기준 특징형상을 평면이라 정의하여 원통형 곡면이나 자유곡면 위에 기준 특징형상을 적용할 수 없는 단점이 있어 이를 보완하는 알고리즘의 개발이 필요하다. 또한 1개의 모퉁한 모서리로 이루어진 형상에 대한 특징형상 인식에 관한 연구가 추가되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 홍상훈, 서효원, 이상조, "경계표현법을 기본으로 한 특징형상 모델러의 개발", 대한기계학회 논문집, 제 17권, 제10호, pp. 2446-2456, 1993.
2. 정석우, 윤길상, 조명우, "특징형상기반의 측정계획 시스템 개발에 관한 연구", 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, pp. 654-658, 2002.
3. 이재열, 김광수, "특징형상 접근방법에 의한 가공특징형상 추출", 한국 CAD/CAM 학회 논문집, 제4권, 제2호, pp. 139-152, 1999.
4. Han, J., 3D Geometric Reasoning Algorithm for Feature Recognition, PH.D. Thesis, University of Southern California, 1996.
5. 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.

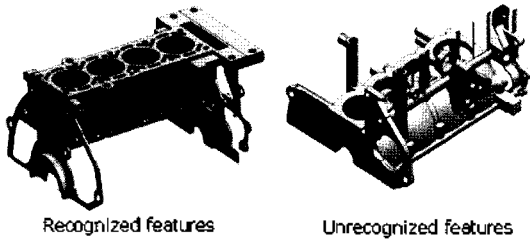


Fig. 20. Feature attribute after cell decomposition.

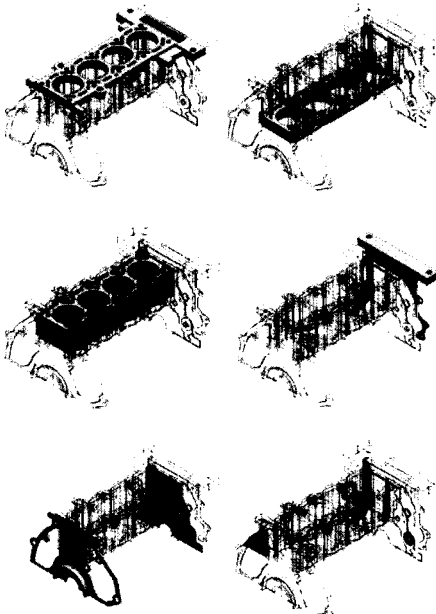


Fig. 21. Recognized form features.

4.3 설계변경 및 특징형상의 유지

Fig. 22는 인식된 특징형상의 파라미터를 수정하여 모델을 수정하는 과정을 나타낸다.

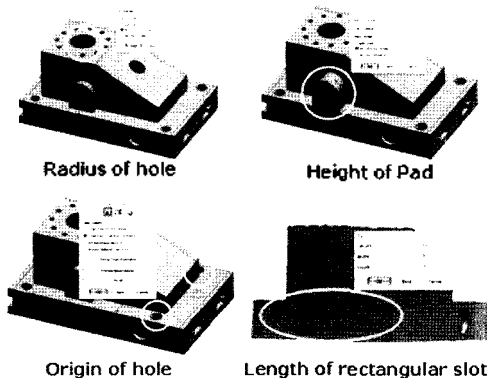


Fig. 22. Feature modification by editing parameters.

6. 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.
7. 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
8. Woo, T. C., "Feature Extraction by Volume Decomposition", *Proc. Conf. CAD/CAM Technology in Mechanical Engineering*, pp. 76-94, 1982.
9. Kim, Y. S., "Recognition of form Features Using Convex Decomposition", *Computer Aided Design*, Vol. 24, No. 9, pp. 461-476, 1992.
10. Tseng, Y. and Joshi, S. B., "Recognizing Multiple Interpretations of Interacting Machining Features", *Computer-Aided Design*, Vol. 26, No. 9, pp. 667-688, 1994.
11. Sakurai, H. and Chin, C., "Definition and Recognition of Volume Features for Process Planning, Advances in Feature Based Manufacturing", Elsevier, pp. 65-80, 1994.
12. Vadenbrande, H. 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.
13. Regli, W. C., Gupat, S. K. and Nau, D. S., Extracting Alternative Machining Features: An Algorithmic Approach, Technical Report TR94-95, University of Maryland, 1994.
14. Han, J. and Requicha, A. A. G., "Incremental Recognition of Machining Features", *Proc. ASME Computers in Engineering Conf.*, pp. 143-149, 1994.
15. Regli, W. C., Geometric Algorithms for Recognition of Features from Solid Models, Ph.D. Thesis, University of Maryland, 1995
16. JungHyun Han, Mike Pratt and William C. Regli, "Manufacturing Feature Recognition from Solid Models: A Status Report", *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, Vol. 16, No. 6, Dec, 2000.
17. Zhu, H. and Menq, C. H., "B-rep Model Simplification by Automatic Fillet/Round Suppressing for Efficient Automatic Feature Recognition", *Computer-Aided Design*, Vol. 34, pp. 109-123, 2002.
18. Sang C. Park, "Pencil Curve Detection from Visibility Data", *Computer-Aided Design*, Vol. 37, pp. 1492-1498, 2005.
19. 김재현, 신양호, 박정환, 고태조, 유우식, "역공학에서 Z-map을 이용한 특징형상 탐색 및 영역화", 한국정밀공학회, Vol. 20, No. 2, pp. 176-183, 2003.
20. Rafael Emiliano, Validity Maintenance in Semantic Feature Modeling, Ph.D Thesis, Coimbra university.
21. Shah, J. J. and Mäntylä, M., Parametric and Feature-based CAD/CAM: Concepts, Techniques and Applications, John Wiley & Sons, New York, pp. 143-186, 1995.



김재현

2000년 영남대학교 기계공학과 학사
 2002년 영남대학교 대학원 기계공학과 석사
 2007년 영남대학교 대학원 기계공학과 박사
 2007년~현재 (주)DS 임플란트 기술연구소 연구소장
 관심분야: Virtual Manufacturing, UG Open API, Reverse Engineering



박정환

1987년 서울대학교 물리학과 학사
 1991년 한국과학기술원 산업공학과 석사
 1995년 한국과학기술원 산업공학과 박사
 1999년~1997년 Chrysler Technology Center 연구원
 1997년~현재 영남대학교 기계공학부 부교수
 관심분야: Virtual manufacturing, Five-axis machining, Reverse Engineering