

디자인 피처에 의존하지 않는 솔리드 모델의 수정

우 윤 환*

Modification of Solid Models Independent of Design Features

Yoonhwan Woo*

ABSTRACT

With the advancements of the Internet and CAD data translation techniques, more CAD models are transferred from a CAD system to another through the network and interoperability is getting a common word in the CAD industry. However, when a CAD model is translated for an incompatible system into a neutral format such as STEP or IGES, its precious feature information is lost. When this feature information is lost, the advantage of feature based modeling is not valid any longer, and modification for the model is purely dependent on geometric and topological manipulations. However, the capabilities of the existing methods to modify these feature-independent models are limited as the modification involves a topological change in the model. To address this issue, we present a volumetric method to modify the solid models in neutral format. First, this method selectively decomposes the solid model to separate the portion of interest called feature volume. Next, the designer modifies the feature volume without concerning a topological change. Finally, the feature volume is united with the original solid model to complete the modification process. The results of test cases are presented to attest the usefulness of the proposed method.

Key words : Volume decomposition, local modification, feature modification, CAD model translation

1. 서 론

인터넷의 확산과 CAD 모델 호환기술의 발전에 힘입어, 네트워크를 통한 CAD 데이터의 전송이 증가하고 있다. 하지만 STEP이나 IGES와 같은 CAD 모델의 호환 기술은 특징형상이나 생성 히스토리와 같은 정보는 생략한 채, 오직 형상만을 변환한다는 한계를 가지고 있다. 특징형상이나 생성 히스토리의 상실로 인한 가장 큰 문제점은 해당 모델의 수정이 어렵다는 점이다. 경우에 따라 수정에 많은 시간이 소요되며, 수정 자체도 특징형상의 단위가 아닌 면(face)이나 엣지(edge)와 같은 개별 형상의 수정만 가능한 경우가 대부분이다¹⁾. 이러한 단점을 극복하기 위해 최근 STEP과 관련된 ISO 위원회는 생성 히스토리 특징형상(construction history feature)이라는 개념을 도입한 2차 개정안을 마련하고 이를 통하여 CAD 모델 생성

과 관련된 디자인 정보를 수용할 수 있는 표준을 마련하였으나, 현재 이러한 생성 히스토리 특징형상을 다룰 수 있는 CAD 모델 전환시스템은 없는 상태이다¹⁾. 이와 더불어 특정 시스템의 생성 히스토리를 기록한 매크로를 다른 시스템의 매크로로 전환하는 방법도 제안되었으나, 방법의 특성상 성공률에 있어서 제한적이다^{2,3)}.

특징형상과 모델 생성 히스토리에 대한 정보가 상실되면, 더 이상 특징형상에 기반한 모델의 수정은 불가능해진다. 이에 따라 모델에 대한 수정은 면과 엣지와 같은 독립 개체의 형상(geometry)에 대한 직접적인 수정만 가능하게 된다. 이러한 형상 수정의 주요 방법 중의 하나로 트위킹(tweaking)이라는 방법이 있다⁴⁾. 트위킹은 면(face)에 부착된 곡면(surface)를 다른 곡면으로 바꾸어 주는 방법으로, 새롭게 바뀐 곡면과 이와 접한 면들의 곡면들과의 교차커브(intersection curve)를 계산하고 이를 이용하여 새로운 엣지를 생성하여 모델을 수정하는 방법이다. 이 방법은 수정에 관련된 면들의 위상(topology)이 변하지 않는다는 조건

*교신저자, 정회원, 한성대학교 기계시스템공학과
- 논문투고일: 2007. 04. 11
- 심사완료일: 2007. 12. 28

하에서만 가능하며, 그 적용이 극히 제한적이라는 단점을 가지고 있다.

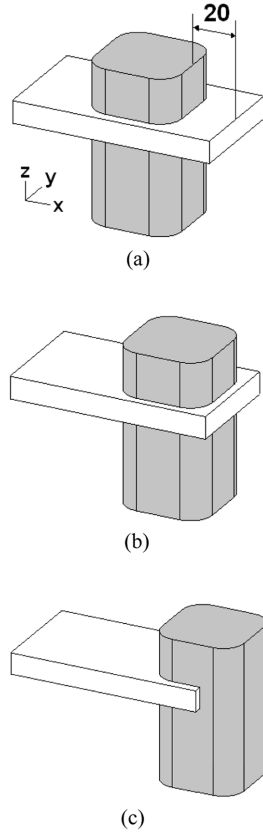


Fig. 1. Modification of neutral CAD model.

예를 들어, Fig. 1에 보여진 모델의 보스 특징형을 수정하는 경우를 보자. 만약 설계자가 보스 특징형을 x축 방향으로 15단위 만큼 이동하는 수정을 원하는 경우 트위킹 방법에 의해 Fig. 1(b)와 같이 성공적으로 작업을 수행할 수 있다. 이는 보스의 각 면을 이루고 있는 곡면의 방정식만 바뀌었을 뿐 위상(엣지 또는 꼭지점)의 변화는 없기 때문이다. 하지만 만약 설계자가 Fig. 1(c)와 같이 x축 방향으로 20단위 이상으로 수정할 의도로 모델을 변경을 시도할 경우, 이는 트위킹과 같은 기존의 방법으로는 불가능하다. 이는 수정으로 인한 변경이 곡면의 방정식뿐만 아니라, 위상의 변화까지 초래하기 때문이다. Fig. 1(c)와 같이 수정을 하려면, 관련된 엣지 및 면들의 분할 및 병합이 필요하나, 이러한 위상의 변화를 다룰 수 있는 일반적인 방법은 없기 때문이다. 예를 들어, ACIS 모델러에서는 트위킹을 이용하여 Fig. 1(c)와 같이 시도할 경우 시스템에러가 발생한다.

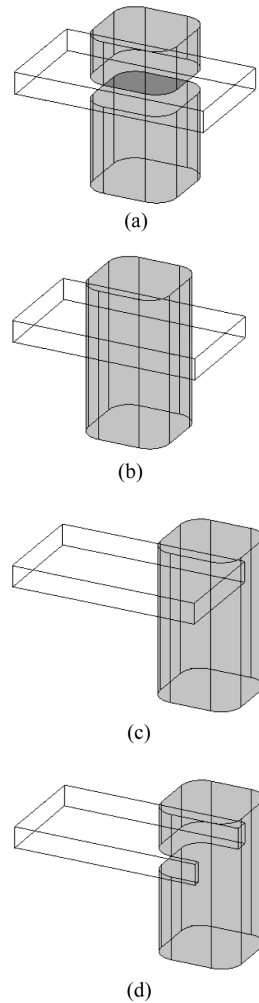


Fig. 2. Volumetric approach to modify neutral CAD model.

이러한 개별적인 형상개체의 수정의 한계를 극복하는 방법의 하나로 수정하고자 하는 부분의 볼륨 - 보통의 경우 대부분 디자인 특징형상 -을 전체 모델로부터 분리하고, 분리된 볼륨을 이용하여 원하는 수정작업을 실행하는 방법을 생각할 수 있다. 즉, Fig. 2에 나타난 것과 같이, 수정을 원하는 부분의 볼륨을 특정 방법을 이용하여 Fig. 2(a)에 보여진 보스부분을 Fig. 2(b)와 같이 분리하고, Fig. 2(c)와 같이 분리된 볼륨을 이동한 후 이를 Fig. 2(d)와 같이 불리안 합을 이용하여 하나의 모델로 합치는 방법이다.

이에 기반하여 본 논문에서는 볼륨분해를 이용하여 STEP과 같은 중립모델을 부분 수정할 수 있는 새로운 방법을 제시하고자 한다. 본 논문에서 제시하는 방법은 세 단계로 이루어져 있다. 선택적 볼륨분해를 이용한 특징형상의 분리, 분리된 특징형상의 수정, 수정

된 특징형상의 병합 등 세 단계이며, Fig. 3은 이들 각 단계의 관계를 보여주고 있다. 여기서 하나 언급할 내용은, 본 방법은 현재 돌출 특징형상(protrusive features)에 한 해 적용할 수 있으며, 또한 분리할 돌출 특징형상의 면들은 해석적 곡면(analytical surface)으로만 이루어져 있어야 한다는 점이다.

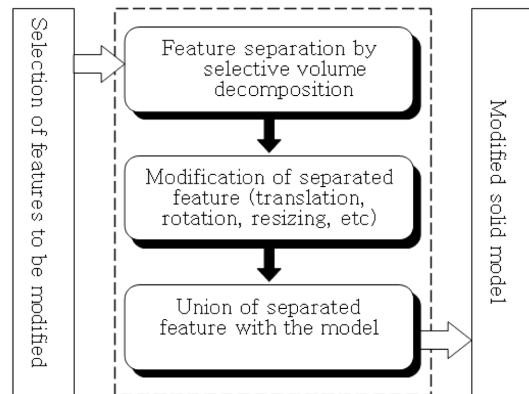


Fig. 3. Overview of the volumetric modification of feature-independent solid model.

2. 선택적 볼륨분해를 이용한 특징형상의 분리

복잡한 솔리드 모델을 여러 개의 단순한 볼륨으로 분해하는 방법에 관한 연구는 다양하게 진행되어 왔다¹⁵⁻¹⁸. 대부분의 이러한 연구는 절삭가공 특징형상인식 분야에서 많이 이루어 졌으며, 최근 특징형상인식 뿐만 아니라 다양한 공학적 분야에서도 활용되고 있다^{19,21}. 그 중 대표적인 방법으로는 Sakurai¹⁵가 제안한 맥시말 볼륨 분해방법(maximal volume decomposition, MVD)이 있다^{15,6}. 이 방법은 하나의 복잡한 솔리드 모델을 맥시말 볼륨(maximal volume)이라 불리는 여러 개의 단순한 볼륨으로 분해한다. 볼륨 V가 다음과 같은 조건을 만족하면, 볼륨 V는 솔리드 모델 S의 맥시말 볼륨으로 정의한다.

1. $V \subseteq S$.
2. V는 오목한 엣지(concave edge)를 가지지 않는다.
3. V의 헤프스페이스(halfspace)는 S의 헤프스페이스이다.
4. 위의 조건을 만족하는 볼륨 A에 대해, $V \not\subset A$.

MVD에 대하여 간략히 설명하면, 복잡한 솔리드 모델을 맥시말 볼륨으로 분해하기 위해, 먼저 솔리드 모델상의 모든 오목한 엣지를 검색한다. 오목한 엣지들

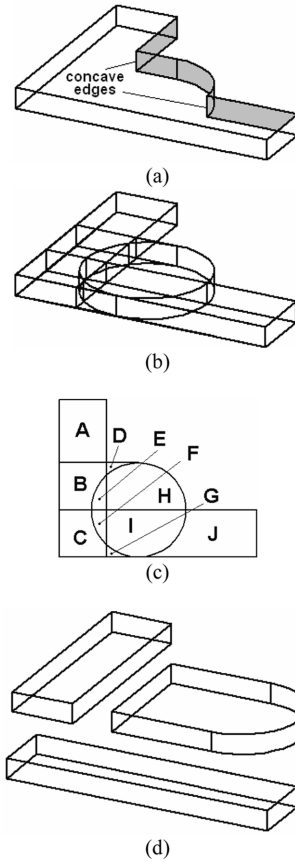


Fig. 4. Example of maximal volume decomposition.

이 검색되면, 이를 공유하고 있는 면들을 찾고, 이들 면들을 확장한 후, 확장된 면들을 원래의 솔리드 모델과 교차시켜 비다양체 모델로 변환한다. 이 비다양체 모델로부터 셀들을 생성하고, 생성된 셀들을 위의 맥시말 볼륨의 조건에 맞게 셀들을 병합하여 솔리드 모델을 분해한다. 여기서 핵심은 셀들의 합이 어떻게 오목한 엣지를 가지지 않도록 병합하여 맥시말 볼륨을 생성하는 것이며, 자세한 방법은 참고문헌^{15,6,12}을 참고하기 바란다.

Fig. 4는 MVD를 이용한 맥시말 볼륨 분해의 한 예를 보여준다. Fig. 4(a)에서 회색으로 표시된 면들은 오목한 엣지들을 공유하고 있는 면들이다. Fig. 4(b)와 Fig. 4(c)는 이들 면들을 확장한 후 원래의 솔리드 모델과 교차시켜 비다양체 모델을 만들고 이로부터 생성된 9개의 셀들을 보여주고 있다. 이렇게 생성된 셀들을 병합하여 3개의 맥시말 볼륨으로 생성한 것이 Fig. 4(d)에 나타난 볼륨들이다. Fig. 4(d)에서 좌측 상단의 맥시말 볼륨은 셀 A-B-C-E-F, 우측 상단의 맥시말 볼륨은 셀 B-C-D-E-F-G-H-I, 하단의 맥시말 볼륨

은 셀 C-F-G-I-J를 병합하여 생성되었음을 알 수 있다. 하지만 이 방법의 단점으로는 분해하고자 하는 솔리드 모델이 복잡해질수록 셀들의 숫자가 증가하며, 이로 인하여 셀 병합 시 많은 양의 계산으로 인한 분해 속도의 저하를 들 수 있다.

따라서 본 연구에서는 수정하고자 하는 특징형상을 분리하는데 있어, MVD의 기본 방법에 기반을 두되, 전체 솔리드 모델이 아닌 사용자가 수정하고자 하는 부분만 분리할 수 있는 선택적 볼륨분해(selective volume decomposition)의 방법을 제시하고 이를 특징형상의 분리에 이용하고자 한다. 선택적 볼륨분해 방법은 오목한 엣지를 가지고 있는 모든 면들을 확장하는 것이 아니라 수정하고자 하는 부분과 관련된 면들만 선택적으로 확장하여 셀을 생성함으로써, 셀의 개수를 최소화하고 이로 인해 원래의 볼륨분해 방법이 가지고 있는 성능의 문제를 해결하여, 수정하고자 하는 특징형상을 효과적으로 분리할 수 있다.

Fig. 5는 설계자가 회색으로 표시되어 있는 f1이 포함된 돌출부분을 분리하고자 하는 예이다. 이 경우, 설

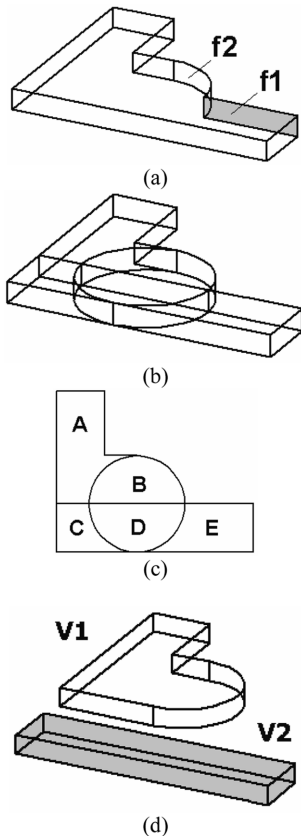


Fig. 5. Example of selective volume decomposition.

계자가 f1을 선택하면, 자동적으로 f1이 소유하고 있는 오목한 엣지를 검색하여 이 오목한 엣지를 공유하는 다른 면을 찾고(이 경우 f2), 이 두 면을 확장하여 셀을 생성하게 된다. Fig. 5(b)와 Fig. 5(c)에 나타난 것과 같이 5개의 셀만이 생성되며 이들을 병합하여 Fig. 5(d)에 나타난 것과 같이 2개의 볼륨으로 분해할 수 있다. V1은 셀 A-B-C-D를, V2는 셀 C-D-E를 각각 병합함으로써 생성됨을 볼 수 있다.

그림에서 볼 수 있듯이 이들 볼륨 중 V1은 오목한 엣지를 포함하고 있으므로 맥시말 볼륨이 아니다. 따라서 선택적 볼륨분해에 의해 생성된 볼륨을 단순히 서브볼륨(sub-volume)이라 명명한다. 선택적 볼륨분해 방법에 있어 셀을 병합하는 방법은 기술적으로는 MVD의 방법과 동일하나, V1의 경우에서 볼 수 있듯이, 병합된 셀들의 결과가 오목한 엣지를 포함할 수 있다는 차이가 있다. 따라서 셀을 생성할 때 사용되지 않은 오목한 엣지가 존재한다면, 이를 내부적으로 오목하지 않은 엣지로 간주하여 셀 병합을 실행한다는 차이가 있다. 선택적 볼륨 분해로 생성된 서브볼륨 중, 설계자가 분리하고자 했던, 즉 선택된 면을 포함하는 서브볼륨을 피쳐볼륨(feature volume), 그렇지 않은 서브볼륨을 베이스볼륨(base volume)으로 정의한다. 즉, Fig. 5(d)에서 V1은 베이스볼륨, V2는 피쳐볼륨이다.

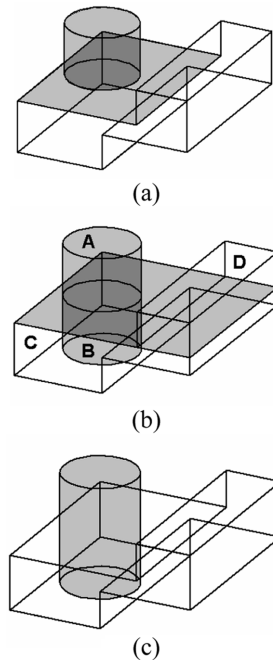


Fig. 6. Example of selective volume decomposition.

다른 예로 Fig. 6의 경우를 보자. 원통형 보스를 분리하기 위해 설계자가 원통면(회색으로 표시)을 선택한다. 본 방법으로 구현된 시스템은 이 면이 가지고 있는 오목한 엣지를 검색하고, 이를 공유하고 있는 평면(회색으로 표시)를 자동적으로 선택한다. 이제 이 두 면들이 확장되고 이를 통하여 셀들이 생성되며, 이들을 병합하여 두 개의 서브볼륨이 생성된다. 이 경우 원통형 서브볼륨은 셀 A-B를 병합하여 생성된 피쳐 볼륨이고 다른 서브볼륨은 셀 B-C-D를 병합하여 생성된 베이스볼륨이다.

3. 분리된 피쳐 볼륨의 수정

일단 선택적 볼륨분해에 의해 수정하고자 하는 부분의 피쳐볼륨이 분리되면, 설계자는 피처에 대한 수정이 용이하게 된다. 즉, 트위킹과 같이 다른 형상과의 교차로 발생하는 위상의 변화(topological change)를 고려할 필요 없이 피쳐볼륨에만 국한되게 수정작업을 실행할 수 있다.

이러한 점이 설계자로 하여금 다양한 수정 작업을 가능하게 하며, Fig. 7은 몇 개의 가능한 피쳐볼륨에 대한 수정작업을 보여주고 있다. 가장 대표적인 수정 작업으로 피쳐볼륨의 수평이동(Fig. 7(a)), 피쳐볼륨의 형상변환(Fig. 7(b)), 피쳐볼륨의 확장(Fig. 7(c)), 피쳐볼륨의 삭제(Fig. 7(d)) 등이 가능하다. 이 밖에도 피쳐볼륨의 회전 등, 일반적인 솔리드 모델링에 행하여지는 대부분의 수정이 가능하게 된다.

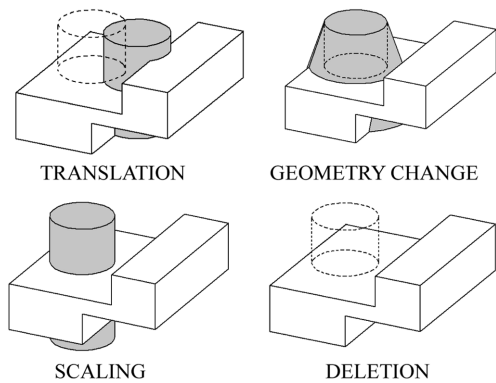


Fig. 7. Some possible examples of modifications of feature volume.

4. 수정된 피쳐 볼륨과 베이스 볼륨의 합

분리된 피쳐볼륨에 대한 수정이 완료되면, 다음 단

계로 이를 베이스 볼륨과 불리안 합으로 병합하게 다시 하나의 수정된 모델로 완성하게 된다. 대부분의 경우 Fig. 7에 나타난 수정 작업들처럼 단순히 피쳐볼륨과 베이스볼륨을 불리안 합을 적용하여 하나의 모델로 병합할 수 있다.

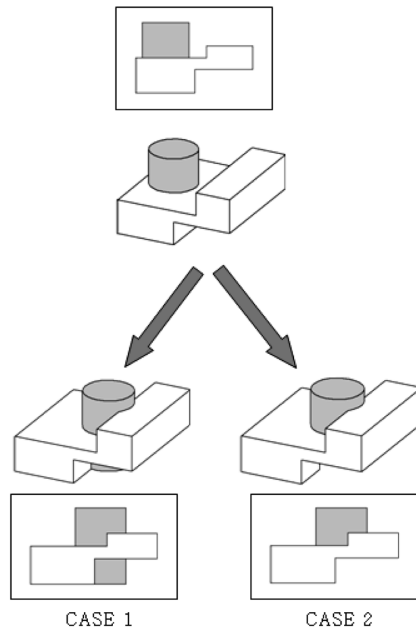


Fig. 8. Alternative result based on user's intention..

그러나 여기서 언급할 중요한 점은, 설계자의 의도에 따라 피쳐볼륨과 베이스볼륨을 단순히 불리안 합으로 병합할 수 없는 경우도 존재한다는 점이다. 즉 설계 변경의 상황에 따라 Fig. 8에 보여진 것처럼 두 가지 경우의 수정이 가능하다. CASE 1의 경우에는 선택적 볼륨분해에 의해 분리된 피쳐볼륨을 수정한 후 이를 단순히 합해 주면 되지만, CASE 2의 경우는 그렇지 않다. 본 논문에서 제시되는 방법은 볼륨분해의 특성상 피쳐 볼륨이 확장되는 특징을 가지고 있기 때문에 이 두 가지 경우가 모두 가능하다.

Fig. 8의 CASE 2와 같은 수정을 가능하기 위해서는 시스템 구현 시 설계자에게 Fig. 8과 같은 모든 가능한 경우를 제시하고 설계자가 원하는 수정을 선택할 수 있는 기능을 부여하여야 한다. 이를 위하여 Fig. 9에 제시된 방법을 고안하였다. 피쳐볼륨의 수정이 완료된 후, 피쳐볼륨과 베이스볼륨에 단순히 불리안 합을 적용하지 않고, 두 볼륨간 non-regular 불리안 합을 적용하여 중간모델인 비다양체 모델을 생성한다(Fig. 10(a)). 이 비다양체 모델로부터 셀들을 생

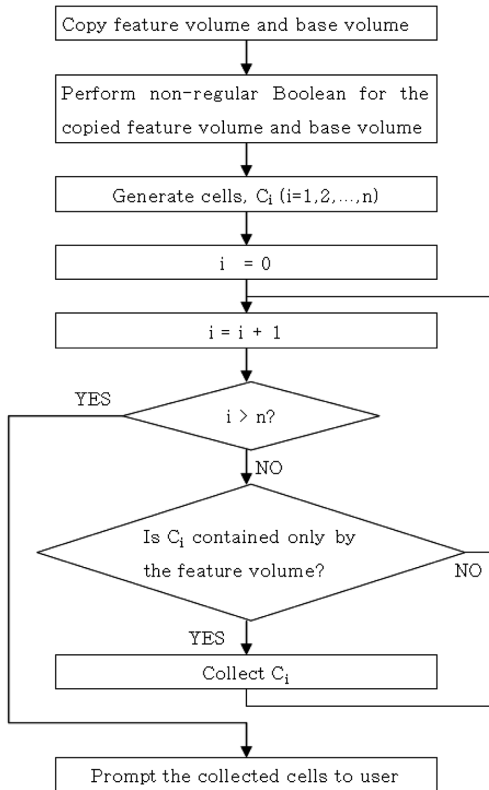


Fig. 9. Algorithm for providing alternative ways of feature modifications.

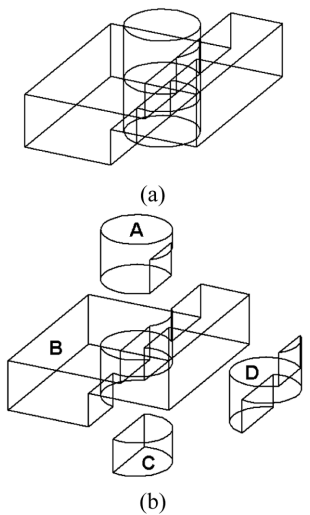


Fig. 10. Non-regular union for feature volume and base volume.

성하고(Fig. 10(b)), 생성된 셀들 중에 오직 피쳐볼륨에만 포함되는 셀들을 분류한다. 이 셀들이 최종적인 수정모델에 사용될 셀들로서 설계자에게 제시되고 설

계자는 자신의 의도에 맞는 셀들을 선택하게 된다. Fig. 8의 CASE1과 같은 경우는 Fig. 10(b)의 셀A와 C를, CASE2와 같은 경우는 셀 A만을 베이스볼륨에 병합하여 생성할 수 있다. 만약 피쳐 볼륨에게만 포함되는 셀이 하나일 경우에는 오직 하나의 선택만 가능하며, 이러한 경우는 설계자의 입력 없이 자동으로 베이스볼륨과 병합된다.

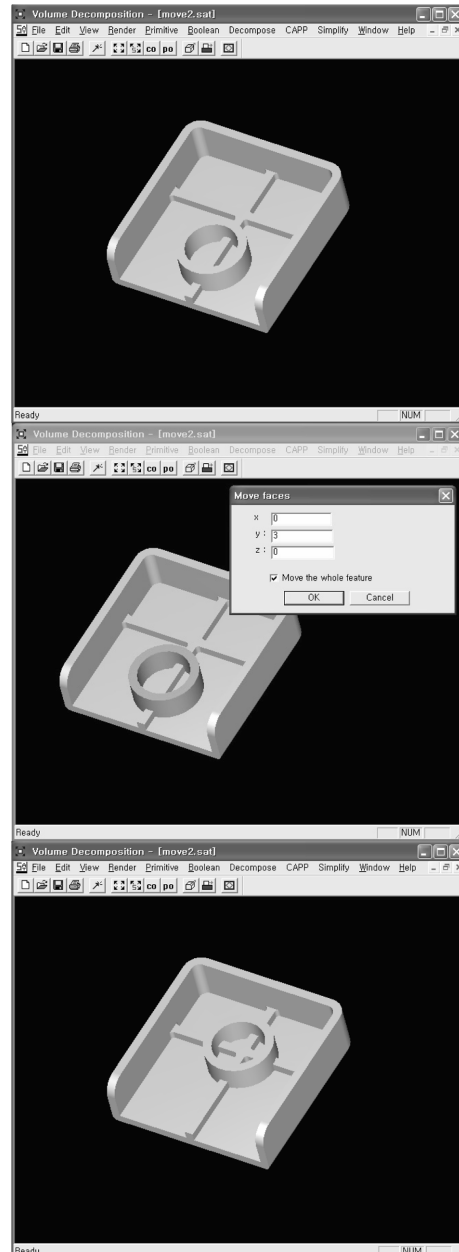


Fig. 11. Modification of hollow cylindrical boss.

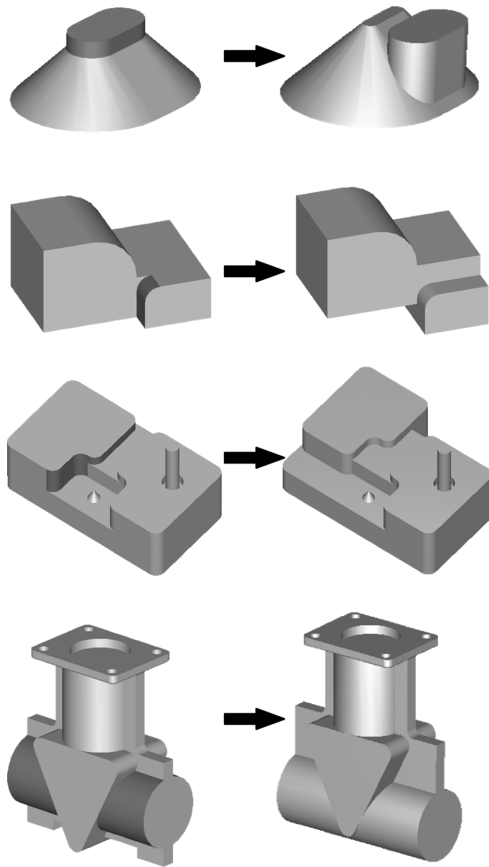


Fig. 12. Examples of solid model modification by selective volume decomposition.

5. 구현 및 예

본 논문에서 제시된 방법들을 Spatial사의 ACIS를 기반으로 C/C++를 이용하여 윈도우 PC플랫폼상에서 구현하였다. Fig. 11에 나타난 모델의 경우를 보면, 초록색으로 표시된 가운데의 속이 빈 원통형 보스(hollow cylindrical boss)를 y축 방향으로 3단위 만큼 이동하는 예로서, 보스의 이동으로 인하여 위상의 변화가 일어나지만, 본 논문에서 제시된 방법으로 성공적으로 수정을 할 수 있었다. 이는 기존의 트위킹 방법으로는 불가능한 수정 작업이다.

이 외에 여러 종류의 모델을 가지고 테스트를 진행하였으며, Fig. 12에 있는 모델들은 그 중의 일부이다. Fig. 12에서 좌측에 있는 모델의 빨간색으로 표시된 부분은 설계자가 직접 선택한 면들로서 이 면들을 이용하여 피처가 분리되고, 분리된 피처가 성공적으로 수정되었음을 볼 수 있다.

6. 결 론

본 논문에서는 STEP과 같은 디자인 특징형상에 의존하지 않는 중립 모델을 선택적 볼륨분해 방법을 이용하여 수정하는 방법을 제시하였다. 본 연구에서 제시된 방법은 트위킹과 같은 기존의 부분 수정 방법이 처리할 수 없었던 위상변화가 수반되는 수정을 가능하게 하였다. 또한 이를 기반으로 기존의 수정 방법과 함께 설계자에게 보다 자유로운 수정 시스템을 제공할 수 있으리라 판단한다. 또한 선택적 볼륨 분해 방법은 솔리드 모델의 부분수정을 위한 제한적인 방법이 아닌, 형상모델링 전반에 응용할 수 있는 일반적인 방법으로 향후 이를 이용한 연구도 진행할 계획이다.

다만, 오목한 엣지를 포함한 면을 확장하는 방법의 특성상 필렛(fillet)과 같이 엣지를 블렌딩으로 처리한 돌출형상에는 직접 적용할 수 없어, 사전 작업으로 필렛등을 제거하는 작업이 필요할 수 있으며, 이는 과거에 발표되었던 방법^{13,14)}등을 이용하여 처리할 수 있으리라 판단한다.

이와 더불어, 서론에서 언급했듯이 현재 본 연구는 돌출된 특징형상의 수정에만 국한하여 적용할 수 있다는 단점이 있으나, 현재 돌출 특징형상뿐만 아니라, 함몰 특징형상(depression features)에 대한 기본적인 방법에 대해 구상 중이며, 향후 이를 확장시켜, 모든 경우에 적용할 수 있는 구체적인 시스템을 구축할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 2008년도 한성대학교 교내연구비 지원과 제로 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Pratt, M. J. *et al.*, "Towards Standardized Exchange of Parameterized Feature-based CAD Models", *Computer Aided Design*, Vol. 37, No. 12, pp. 1251-1265, 2005.
2. 문두환, 한순홍, "매크로 파라메트릭 방법론을 이용한 CAD모델의 교환", *한국CAD/CAM학회 논문집*, 제6권, 제4호, pp.254-262, 2001.
3. 문두환, 김병철, 한순홍, "피처트리와 매크로파일을 이용하는하이브리드 파라메트릭 번역기", *한국 CAD/CAM학회 논문집*, 제7권, 제4호, pp.240-247, 2002.
4. ACIS[®] 3D Modeling Kernel Online Help, Spatial Corp, <http://www.spatial.com>.
5. Sakuri, H. and Dave, P., "Volume Decomposition

- and Feature Recognition, Part II: Curved Objects”, *Computer Aided Design*, Vol. 28, No. 6/7, pp. 519-537, 1996.
6. Woo, Y. and Sakurai, H., “Recognition of Maximal Features by Volume Decomposition”, *Computer Aided Design*, Vol. 34, No. 3, pp. 195-207, 2002.
 7. Shah, J., Shen, Y. and Shirur, A., “Determination of Machining Volumes from Extensible Sets of Design Features”, In: Shah, J., Mantyla, M., Nau, D., editors. *Advances in Feature based Manufacturing*. Amsterdam:Elsevier; pp. 129-157, 1994.
 8. Wang, E. and Kim, Y., “Form Feature Recognition Using Convex Decomposition: Results Presented at the 1997 ASME CIE Feature Panel Session”, *Computer Aided Design*, Vol. 30, No. 13, pp. 983-989, 1998.
 9. Lu, Y., Gadh, R. and Tautges, T., “Feature based Hex Meshing Methodology: Feature Recognition and Volume Decomposition”, *Computer Aided Design*, Vol. 33, No. 3, pp. 221-232, 2001.
 10. Kailash, S., Zhang, Y. and Fuh, J., “A Volume Decomposition Approach to Machining Feature Extraction of Casting and Forging Component”, *Computer Aided Design*, Vol. 33, No. 8, pp. 605-617, 2001.
 11. Litte, G., Clark, D., Corney, J. and Tuttle, J., “Delta-Volume Decomposition for Multi-sided Components”, *Computer Aided Design*, Vol. 30, No. 9, pp. 695-705, 1998.
 12. Woo, Y., “Fast Cell-based Decomposition and Applications to Solid Modeling”, *Computer Aided Design*, Vol. 35, No. 11, pp. 969-977, 2003.
 13. Venkataraman, S. and Sohoni, M., “Blend Recognition Algorithm and Applications”, *Proceedings of ACM Solid Modeling Conference*, Ann Arbor, MI, USA, pp. 99-108, 2001.
 14. Zhu, H. and Meng, C. H., “B-Rep Model Simplification by Automatic Fillet/Round Suppressing for Efficient Automatic Feature Recognition”, *Computer Aided Design*, Vol. 34, No. 2, pp. 109-123, 2002.

우 윤 환



1993년 한양대학교 정밀기계공학과 학사
 1995년 Illinois Institute of Technology
 기계공학과 석사
 1999년 Colorado State University 기계
 공학과 박사
 1999년~2002년 미국 Spatial Corp/
 Dassault Systems ACIS 개발
 팀 소프트웨어 엔지니어

2002년~2004년 국민대학교 자동차공학전문대학원 연구교수
 2004년~2005년 성균관대학교 기계기술연구소 연구교수
 2006년~현재 한성대학교 기계시스템공학과 조교수
 관심분야: 3D geometric modeling, Feature recognition, CAPP
