

최대볼륨분해 방법을 이용한 중립면 모델의 자동생성

우윤환*, 주창업**

Automatic Generation of Mid-Surfaces of Solid Models by Maximal Volume Decomposition

Yoonhwan Woo* and Changupp Choo**

ABSTRACT

Automatic generation of the mid-surfaces of a CAD model is becoming a useful function in that it can help increase the efficiency of engineering analysis as far as it does not affect the result seriously. Several methods had been proposed previously to automatically generate the mid-surfaces, but they often failed to generate the mid-surfaces of complex CAD models. Due to the inherent difficulty of this mid-surface generation problem, it may not be possible to come up with a complete and general method to solve this problem. Since a method that can handle a specific case may not work for different cases, it seems that developing case-specific methods ends up with solving only a fraction of the problem. In this paper, therefore, we propose a method to generate mid-surfaces based on a divide-and-conquer paradigm. This method first decomposes a complex CAD model into simple volumes. The mid-surfaces of the simple volumes are automatically generated by the existing methods, and then they are converted into the mid-surfaces of the original CAD model.

Key words : Mid-surface, Geometric modeling, Solid model, decomposition, Dimension reduction

1. 서 론

3차원 CAD시스템을 이용한 제품의 설계가 보편화 되면서, 이를 이용한 다양한 응용이 가능해지고 있으며, 그 분야도 점차 확대되고 있다. CAD모델을 이용한 여러 응용분야로서는 모델의 시각화, 용력 해석, 공정 생성 및 시뮬레이션, 디지털 복업(DMU)등을 들 수 있다. 그 중에서도 가장 대표적인 응용분야로서는 유한요소법(FEM)을 이용한 해석분야라 할 수 있다. 그러나 유한요소법을 이용한 해석을 수행하는데 있어서, 모델의 단순화나 메쉬 생성등의 해석 전처리 작업에 소요되는 시간이 전체 해석 시간의 상당비율을 차지하고 있다^[1]. 특히 복잡한 CAD 모델의 경우 지나치게 많은 메쉬가 생성되거나 또는 생성된 메쉬의 품질이 좋지 않아 해석에 소요되는 시간이 너무 많이 증가

하거나 해석결과와 신뢰도에 직접적인 영향을 주게 된다.

일반적으로 공학에 있어 모델의 이상화(idealization)란 공학 문제를 해결하는 데 있어서 결과의 신뢰도를 훼손하지 않는 범위 내에서 해당 문제를 최대한 단순화하여 문제의 해결가능성을 높이고 또한 문제를 해결하는 시간을 단축시키는 데 있다. 이와 마찬가지로, CAD모델을 이용한 해석 분야에서도, 복잡한 솔리드 모델로부터 바로 메쉬를 생성하는 것이 아니라, 주어진 CAD모델의 물리적, 기계적 거동을 훼손하지 않는 범위 내에서 모델을 단순화하여 해석의 효율성 및 신뢰성을 향상시키는 CAD 모델의 이상화에 대한 연구도 다양하게 진행되었다.

CAD모델의 이상화에 대한 연구는 크게 두 가지로 분류할 수 있는데, 이는 솔리드 모델로부터 복잡한 형상 또는 피처를 제거하는 모델의 단순화(solid model simplification)에 대한 연구^[2-6]와, 3차원 솔리드 모델을 두께가 없는 면 모델(surface model) 또는 와이어 모델(wire model) 또는 이의 복합모델로 변환하는 차원감소(dimension reduction)에 대한 연구^[10-17]이다.

*교신저자, 성희원, 한성대학교 기계시스템공학과

**비회원, 한성대학교 기계시스템공학과

- 논문부고일: 2009. 02. 20

- 논문수정일: 2009. 07. 08

- 심사완료일: 2009. 07. 21

차원 감소를 이용한 와이어모델의 생성에 있어서 가장 대표적인 방법으로 MAT(Medial Axis Transform)에 기반한 방법^[10]들이 있다. 이 MAT방법을 3차원으로 확장한 개념이 medial surface이며, 경계면들로부터 동일한 거리에 위치하는 점들의 집합으로 구성된 면 또는 솔리드 모델의 안쪽에 내접하는 최대 구의 궤적으로 정의된다. 이 방법은 개념이 수학적으로는 잘 정의되어 있지만, 구현을 위한 일반적인 방법이 존재하지 않아 강건성(robustness)과 완전성(completeness)의 한계와 함께, 해석에 불필요한 브랜치(branch)를 가지고 있다는 단점이 있다.

Medial surface와는 다르게 mid-surface라는 개념도 도입되었는데, medial surface와 mid-surface는 우리말 번역에 있어, 모두 ‘중립면’이라 번역되어 혼용되고 있는 실정이다. Medial surface와 mid-surface의 보다 자세한 설명은 Fig. 1에 나타나 있으며, Fig. 2는 솔리드 모델과 이의 mid-surface의 예를 보여주고 있다. 이하 본 논문에서 사용하는 ‘중립면’은 mid-surface를 의미한다.



Medial surface	Mid-surface
A surface at the equal distance from two or more boundary surfaces	An approximate surface created from a surface at the equal distance from a pair of two faces
	

Fig. 1. The definitions of medial surface and mid-surface.

중립면을 생성하는 하나의 방법으로 Rezayat^[11]는 연결된 면들의 관계를 나타내는 그래프를 생성하고 이로부터 일정한 두께 이하의 두 면의 쌍(face-pair)를 찾아낸 후 이로부터 중립면을 생성하는 방법을 제시하였다. 이 방법은 중립면을 생성하는 데 기초가 되는 몇 가지 face-pair의 기본적인 검색 조건을 처음 제시하였다. 하지만, 복잡한 모델에 있어 face-pair를 찾는 데 어려움이 있다는 단점이 있어, Ramanathan 등^[12,13]은 MAT방법을 이용하여 face-pair를 찾는 방법을 제안하였으나, 이 역시 평면에만 국한된다는 단점을 가지고 있다.

Rezayat의 단점을 보완하는 또 다른 방법으로 이하빈 등^[14]은 먼저 두께면을 찾고 이 두께면으로부터 edge-pair리스트를 생성한 후, 이로부터 하나의 face-

pair를 찾아낸 후 이를 기본으로 반복적으로 다음 face-pair를 탐색하는 방법을 제시하였다. 하지만, 이 방법도 두께면의 형상이 복잡해지고 face-pair들이 순차적으로 연결되어 있지 않아 분기하는 경우가 발생할 경우 face-pair의 탐색이 모호하다는 단점이 있다. Sheen 등^[15]도 Razayat의 방법과 유사한 방법으로 face-pair를 탐색한 후 이를 이용하여 중립면을 생성하였으며 사출부품의 경우를 위한 뼈기구배가 있는 모델의 face-pair를 탐색하는 방법을 제시하였다.

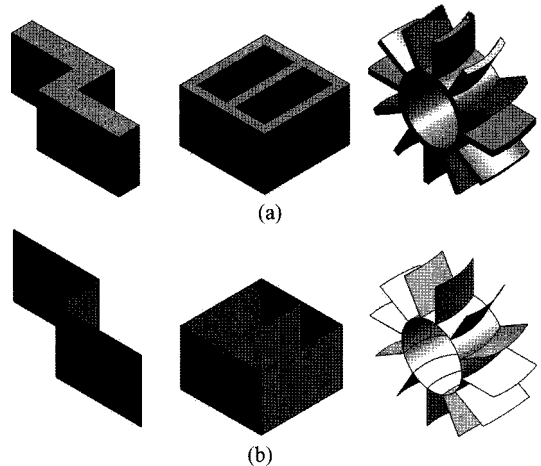


Fig. 2. Dimension reductions of solid models by mid-surfaces; (a) solid models, (b) mid-surfaces of the solid models in (a) generated by Unigraphics NX.

한편 상용 CAD시스템들도 중립면 생성 기능을 지원하고 있다. Siemens사의 Unigraphics NX의 경우, ‘Midsurface’라는 독립된 메뉴를 제공하고 있다. 이 메뉴는 사용자가 직접 face-pair를 지정하여 입력하는 방법과, 시스템이 스스로 face-pair를 탐색하여 이로부터 중립면을 자동적으로 생성하는 방법을 지원한다. 하지만 자동생성의 경우, CAD모델이 복잡해 질수록 face-pair의 탐색이 실패하는 경우와 함께, 생성된 중립면 조각을 연결하는데 있어 실패하는 경우가 자주 발생한다. Fig. 3은 이러한 실패한 예를 보여주고 있다. 상용 프로그램의 특성상 중립면을 생성하는 방법은 공개되어 있지 않지만, face-pair의 검색등에 있어 앞서 언급된 방법들과 매우 유사한 방법을 사용하고 있다고 판단된다.

본 논문에서는 기존의 방법들이 가지고 있는 중립면 생성의 문제점을 보완하는 방법으로서 복잡한 모델을 여러 개의 단순한 모델로 분해한 후 이들의 중립면을 생성하고, 이를 이용하여 원래 모델의 중립면을

생성하는 새로운 방법을 제안한다.

2장에서는 먼저 기존 방법들의 문제점을 보다 자세히 설명하고, 3장에서는 이를 보완하는 방법으로 솔리드 분해를 이용한 중립면 생성방법에 대해 설명한다.

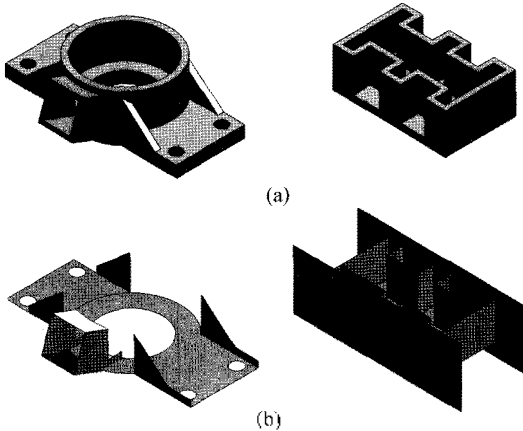


Fig. 3. Failure of mid-surface generation in the Unigraphics NX; (a) solid model, (b) incomplete generation of mid-surfaces.

2. 기존 중립면 생성방법의 문제점

중립면의 자동생성에 있어 핵심 기술은 정확한 face-pair를 효과적으로 검색하는 방법과, 검색된 face-pair로부터 올바른 중립면을 생성하는 방법 두 가지라 할 수 있다.

먼저 지금까지 제안된 중립면 생성 방법들의 face-pair검색법을 보면, 각 방법마다 완성도와 효율성을 높이기 위한 특정 테크닉을 사용하고 있지만 기본적으로 두 개의 면이 face-pair가 되기 위한 조건으로 다음과 같은 두 조건을 공통적으로 사용하고 있다.

1. 두께 조건(thickness condition):

사용자가 지정한 두 면간의 최소거리를 d_{min} 한 번의 길이를 L , 높이를 H , 두 면간의 최단거리를 t 라 하면

$$t \leq d_{min} \tag{1}$$

$$\min(L, H)/t > X, 1.2 \leq X < 1.5 \tag{2}$$

2. 교차 조건(overlap condition)

한 면을 그 면의 법선 방향으로 다른 면으로 투영했을 때 서로 교차하여야 한다.

두께 조건에서 식 (2)는 두 면 사이의 최단거리가 지정한 최소거리보다 작다 하더라도 상대적으로 더 얇은 쪽에 중립면을 생성하기 위한 조건이다. 예를 들어 $t_{min} = 2$ 라 하면, Fig. 4에 나타난 모델의 경우 식 (1)에 의해 두 경우 모두 face-pair로 인식된다. 하지만, 일반적으로 중립면은 가장 얇은 두 면 사이에 생성하는 것이 기본 전제이므로, Fig. 4의 첫 번째 경우가 중립면이 되어야 한다. 이렇게 더 얇은 쪽에 중립면을 생성할 수 있도록 face-pair를 인식할 수 있게 한 조건이 바로 식 (2)이다.

즉, Fig. 4의 첫 번째 경우 face-pair의 두 면 모두 길이(L)는 8, 높이(H)는 2이고, 두 면간의 최소거리(t)는 1이므로, $\min(8, 2)/1 = 2$ 이다. 두 번째 경우, face-pair의 두 면 모두 길이(L)는 8, 높이(H)는 1이고, 두 면간의 최소거리(t)는 2이므로, $\min(8, 1)/2 = 0.5$ 이다. 상황에 따라 다르겠지만, X 의 값은 항상 1보다 큰 수로 일반적으로 1.2~1.5범위 내에서 설정한다. 따라서, 이 범위내의 X 값을 사용하면, 두 번째 경우는 face-pair로 인식되지 않는다.

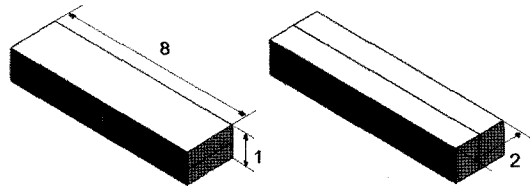


Fig. 4. An example of thickness condition.

두 번째, 교차조건은 Fig. 5와 같은 경우를 제외하기 위하여 사용되는 조건이다. 만약 교차조건이 없다면, Fig. 5에서 C와 F 두 면이 face-pair로 인식되어, 그림에서 나타난 바와 같이 바람직하지 않은 중립면이 생성될 것이다.

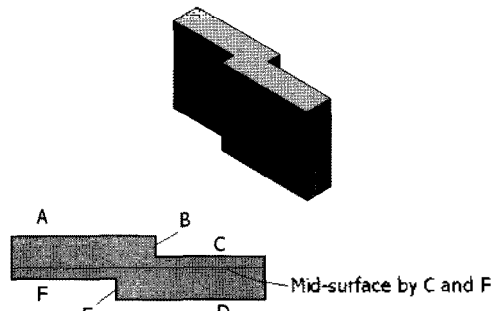


Fig. 5. Identification of improper face-pair.

이러한 Fig. 4와 Fig. 5와 같은 두 경우를 face-pair검색에서 제외하기 위해서 앞서 소개되었던 기존의 중립면 생성방법들은 모두 두께조건과 교차조건을 사용하고 있다. 하지만, 모델이 복잡해짐에 따라, 이 두 조건으로 인하여 인식되어야 할 face-pair가 배제되는 경우가 발생하고, 이로 인해 결국 중립면의 자동생성이 실패하는 원인이 되기도 한다.

예를 들어 Fig. 6은 두께 조건으로 인해 중립면 생성이 실패한 경우를 보여준다. 이 경우, Face A와 Face B로 구성된 face-pair후보는 $\min(L, H)/t = 1$ 이 되어 face-pair에서 제외되었고, 그 결과 Fig. 6(b)와 같이 틀린 결과를 초래하였다. 올바른 중립면의 결과는 Fig. 6(c)와 같이 생성되어야 한다.

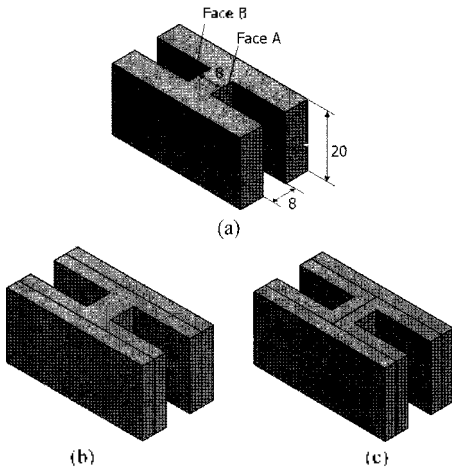


Fig. 6. Faces A and B failed to be identified as a face-pair due to $\min(L, H)/t = 1$ ($L = 8, H = 20, t = 8$): (a) solid model, (b) the incorrect result of mid-surfaces due to the thickness condition, (c) the expected correct result of mid-surfaces.

또 다른 예로 Fig. 7(a)의 모델은 E면과 F면이 두께조건을 만족하지만, 교차조건을 만족하지 않아 face-pair로 인식되지 못한 경우이다. 그 결과 A-B, C-D face-pair로만 중립면이 생성되어 Fig. 7(b)와 같은 틀린 결과가 나타난다. 올바른 중립면의 생성은 Fig. 7(c)와 같이 되어야 한다.

Face-pair가 올바르게 검색되었다 하더라도 이를 이용하여 이후에 중립면을 생성하는 단계에서 실패하는 경우도 자주 발생한다. 앞서 언급된 방법들은 face-pair로부터 중립면 패치를 생성하고 이들 패치를 확장하거나 잘라내어 최종 중립면을 생성한다.

예를 들어, 이한민^[13]의 방법은 Fig. 8(a)에서 4개

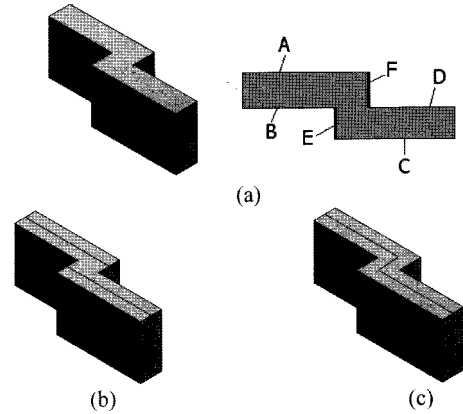


Fig. 7. A failure due to the overlap condition; (a) solid model, (b) the incorrect result of mid-surfaces, (c) the expected correct result of mid-surfaces.

의 face-pair(A-B, C-E, D-E, F-G)로부터 각각 S1, S2, S3, S4 4개의 중립면 패치를 생성한다. 중립면 패치를 생성할 때 FAPG(face adjacency & pair graph)를 이용하여 PMMG(pair-face & mid-surface mapping graph)를 생성하고, 이를 이용하여 어떠한 중립면 패치가 연결될 것인지를 파악한 후, Fig. 8(b)와 같이 패치를 확장하였다. Sheen^[13]은 In-Pland, T-joint, L-joint 등으로 확장을 미리 분류한 후 각 분류에 맞는 확장을 수행하였으며, 불필요한 패치가 발생하는 경우 트림을 이용하여 이를 삭제하는 방법을 사용하였다.

하지만 두 방법 모두 간단한 모델의 적용에 한정되어, 모델이 복잡해지고 패치의 수가 증가할 경우 어떠한 패치들을 어떻게 확장하고 연결할 것인가에 대한 완전한 방법은 제시하지 못하고 있다.

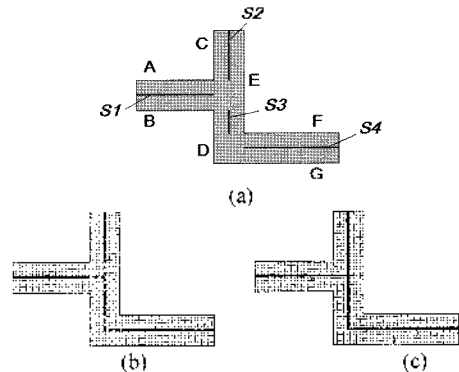


Fig. 8. Conventional method to generate mid-surfaces; (a) mid-surface patches, (b) the extended patches, (c) the final mid-surfaces by stitching and merging.

3. Divide-and-conquer기반 중립면 생성

기존에 제안되었던 방법을 이용하여 복잡한 솔리드 모델의 중립면을 자동으로 생성하는 데에는 본질적으로 어려움이 있다고 판단된다. 이는 기존의 제안되었던 방법들의 기술적인 오류가 아니라, 중립면 자동 생성이라는 문제 자체가 하나의 일반적인 방법으로 해결할 수 없기 때문이다. 예를 들어, face-pair를 검색하는 데 있어 어떤 모델에서는 두께조건이나 교차조건 등이 완벽하게 실행이 가능한 반면, 다른 모델에서는 이 조건으로 인하여 전혀 틀린 결과를 초래하기 때문이다. 이렇듯 중립면 자동생성은 본질적으로 상당히 어려운 문제이며, 특정한 경우를 건너뛰는 방법을 계속 개발하는 것은 단지 전체 문제의 일부를 해결하는 것으로 큰 효과가 없으리라 본다.

따라서 본 논문에서는 발생 가능한 각각의 경우를 고려하고 이를 해결할 수 있는 새로운 방법을 제안하는 것이 아니라, 복잡한 모델을 여러 개의 단순한 모델로 분해한 후 이들로부터 원 모델의 중립면을 생성하는 divide-and-conquer방법을 제안한다. 이 방법은 단순하게 분해된 모델을 이용하여 중립면을 생성하기 때문에 face-pair의 검색이 용이하고, 중립면 폐지들을 연결하기 위한 확장도 필요하지 않다는 장점이 있다.

Fig. 9는 본 연구에서 제시하는 divide-and-conquer 방법의 기본 개념을 보여주고 있으며, 각 단계별 세부 사항을 다음 절에서 설명한다.

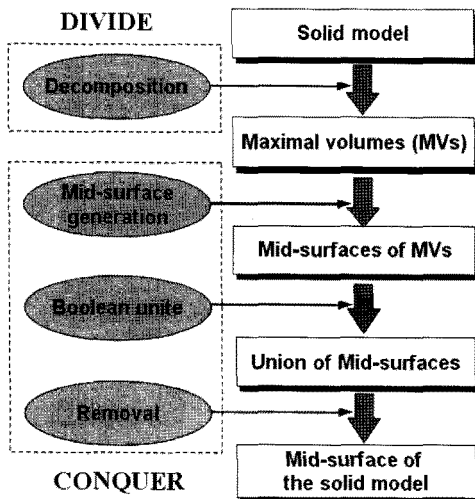


Fig. 9. Divide-and-conquer based mid-surface generation.

3.1 솔리드 모델의 분해

복잡한 솔리드 모델을 여러 개의 단순한 볼륨으로 분해하는 방법에 관한 연구는 다양하게 진행되어 왔다. 대부분의 이러한 연구는 절삭가공 특징형상인식 분야에서 많이 이루어졌으며, 최근 특징형상인식뿐만 아니라 다양한 공학식 분야에서도 활용되고 있다. 그 중 대표적인 방법중의 하나로 Sakurai^[18]가 제안한 맥시말 볼륨 분해방법(maximal volume decomposition, MVD)이 있다^[18,19]. 이 방법은 하나의 복잡한 솔리드 모델을 맥시말 볼륨(maximal volume, MV)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, $V \not\subseteq A$.

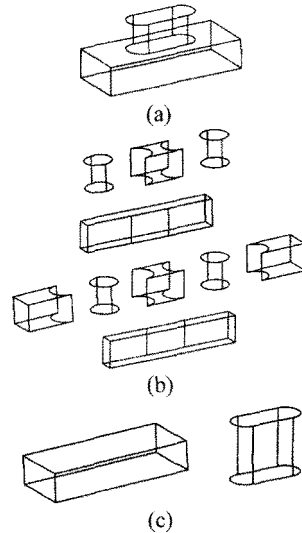


Fig. 10. Generation of maximal volumes; (a) model, (b) cells by intersecting the extended faces, (c) maximal volumes.

맥시말 볼륨 분해방법을 간략히 설명하면(Fig. 10 참조), 먼저 분해하고자 하는 솔리드 모델상의 모든 오목한 엣지를 검색한다. 오목한 엣지들이 검색되면, 이들을 공유하고 있는 면들을 찾고, 이들 면들을 확장한다. 이렇게 확장된 면들을 원래의 솔리드 모델과 교차시키면 비다양체 모델이 생성되고, 이 비다양체 모

델로부터 셀들을 생성한다. 생성된 셀들을 위의 맥시 말 볼륨의 조건에 맞게 셀들을 병합하여 맥시 말 볼륨을 생성하게 된다. 보다 자세한 방법은 참고문헌^[18-20]을 참조하기 바란다.

본 연구에서는 중립면 생성을 위한 복잡한 솔리드 모델의 분해방법으로 맥시 말 볼륨 분해를 사용한다. Fig. 11은 몇 맥시 말 볼륨분해의 몇 가지 예를 보여주고 있다.

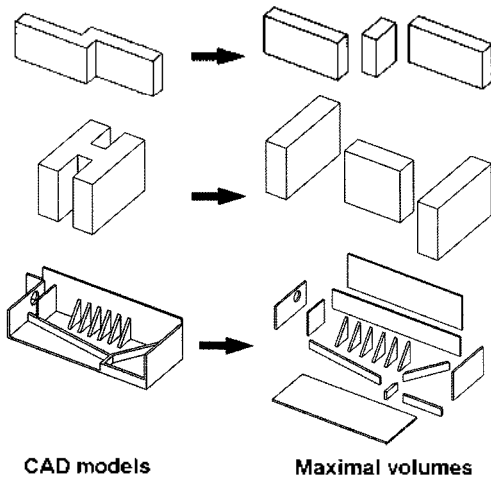


Fig. 11. Examples of maximal volume decompositions.

3.2 분해 모델의 중립면 생성 및 결합

일단 솔리드 모델이 여러 개의 단순한 맥시 말 볼륨으로 분해가 되면, 다음 단계로 각 맥시 말 볼륨에 대한 중립면 생성이 수행된다. 여기서 맥시 말 볼륨에 대한 중립면 생성은 기존에 제안되었던 방법들^[10,14-16]을 이용한다. 예를 들어, Fig. 12(a)의 모델은 Fig. 12(b)에 나타난 것과 같이 3개의 맥시 말 볼륨 MV1, MV2, MV3로 분해된다. 기존의 중립면 생성 방법을 이용하여 MV1, MV2, MV3의 중립면으로서 F1, F2, F3가 각각 생성되며, 각 맥시 말 볼륨과 중립면과의 관계가 속성으로 기록된다. 즉, MV1은 F1의 부모 맥시 말 볼륨(parent MV)로 기록된다.

각 맥시 말 볼륨에 대한 중립면이 생성되면, 이들에게 불리안 합 작업을 적용하여 하나의 body로 만든다. 이 불리안 합 작업에 의해 각각의 중립면들이 여러 개의 면으로 나뉘어지며 이를 중립면 패치라 명명한다. 중립면 패치로 나뉘어 지더라도 parent 속성은 계속 유지, 전달된다. 예를 들어, Fig. 12(b)에서 MV1의 중립면인 F1은 Fig. 12(c)에 나타난 것처럼 F1a와 F1b의 두 중립면 패치로 나뉘게 된다.

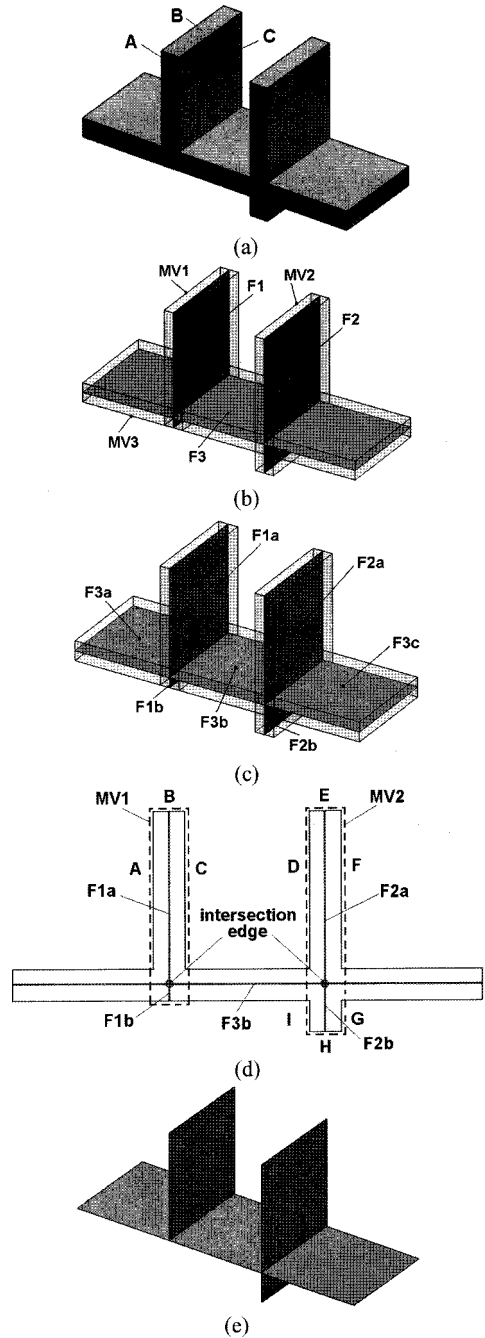


Fig. 12. (a) a solid model, (b) maximal volumes of the solid models and their mid-surfaces, (c) union of the mid-surfaces, (d) identification of unnecessary mid-surface patches, (d) the final model.

3.3 불필요한 패치의 제거에 의한 최종 중립면 생성
최종 중립면 생성을 위한 마지막 단계로, 앞 단계에서 불리안 합에 의해 생성된 중립면 패치들 중 불필요

한 패치들을 제거하는 단계이다. 여기서 불필요한 패치란, 원래 모델로부터 중립면을 생성했을 때 생성되지 않는 변으로 Fig. 12(c)의 F1b와 같은 중립면 패치이다.

이런 패치가 불필요한 패치인가 판단하는 데 있어 단순히 패치들의 위상적인 특징만을 가지고는 불가능하다. 예를 들어, Fig. 12(c)에서 F3b를 제외한 모든 패치들은 위상적으로 동일하지만, 제거해야 할 패치는 F1b뿐이기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 어떤 패치가 제거되어야 할 것인가를 판단하기 위해서, 단순히 중립면 패치들의 위상만이 아니라, 이들의 부모 MV와 분해되기 전의 원 모델과의 면의 포함관계(face containment)를 고려하였다. 여기서 부모 MV의 한 면이 원 모델의 한 면을 포함한다는 것은 두 면의 곡면(surface)형상이 일치하고 부모 MV의 면의 경계가 원 모델의 면의 경계를 포함하거나 같은 경우를 의미한다. 불필요한 패치를 인식하고 이를 제거하는 방법은 Fig. 13과 같다.

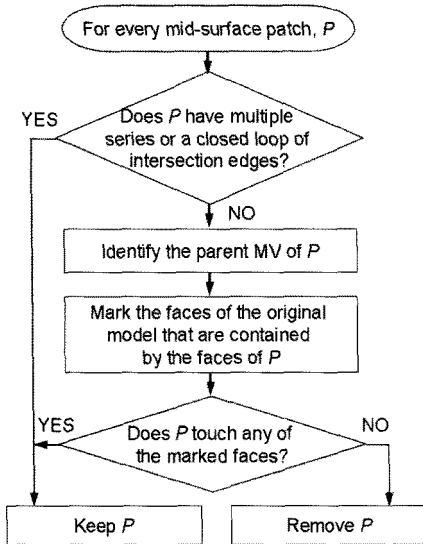


Fig. 13. Identification and removal of unnecessary mid-surface patches.

먼저, 중립면 패치중에 교차엣지(intersection edge)가 닫힌 루프를 형성하거나, 복수개의 연결된 그룹을 형성하는 경우는 필요한 패치로 인식된다. 여기서 교차엣지란 맥시말 불공의 중립면들이 교차하여 생긴 엣지를 말한다. 이러한 경우가 아닌 중립면 패치들은 부모 MV와 원 모델의 면의 포함관계에 의해 불필요한 패치인지 판단된다.

예를 들어, Fig. 12(d)에서 중립면 패치 F1b의 부모

MV는 MV1이다. MV1의 면들에 포함되는 원 모델의 면은 A, B, C이며 그 밖의 다른 면들은 MV1의 면에 포함되지 않는다. 하지만, F1b는 면 A, B, C중 어떠한 면도 접촉하고 있지 않기 때문에 불필요한 면으로 인식되고 제거된다. F2b의 경우는 MV2가 부모 MV이며, MV2의 면들에 의해 포함되는 원 모델의 면은 D, E, F, G, H, I이다. F2b는 면H를 접촉하고 있으므로 필요한 패치로 인식되며 제거되지 않는다. 이러한 방법을 적용하여 생성된 최종 중립면 모델이 Fig. 12(e)에 나타나 있다.

4. 구현 및 적용사례

본 논문에서 제시된 방법들은 Spatial사의 ACIS를 기반으로 C/C++를 이용하여 윈도우 PC 플랫폼 상에서 구현되었으며, 다양한 모델들을 이용하여 테스트 하였다. 현재 시스템은 평면으로만 구성된 모델의 경우만 가능하며, Fig. 2에 나타난 모델과 같이 오프셋을 이용하여 생성된 곡면의 블레이드의 경우도 기술적으로는 중립면 생성이 가능하나 아직 구현이 되지 않은 상황임을 밝혀 둔다.

Fig. 14(a)에 나타난 모델의 경우, Unigraphics NX

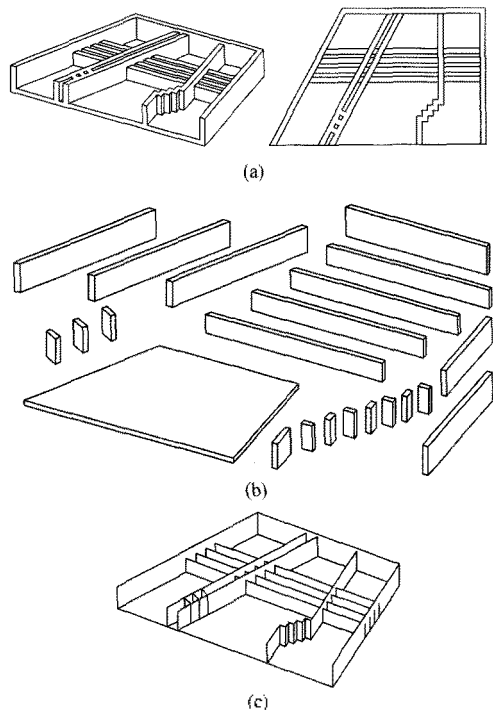


Fig. 14. (a) CAD model, (b) maximal volumes of the CAD model, (c) mid-surface model of the CAD model.

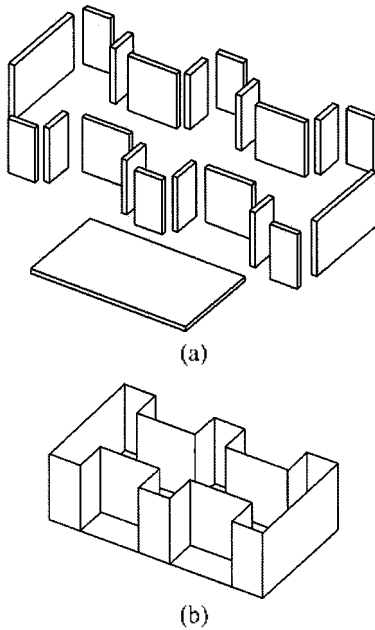


Fig. 15. (a) maximal volumes of the CAD model in Fig. 3(a), (b) mid-surface model of the CAD model.

에서 중립면의 자동생성이 실패한 모델이다. 이 모델의 경우는 face-pair를 사용자가 직접 지정하여 중립면 생성을 시도하는 경우도 실패하였다. 즉, face-pair의 검색과 이를 이용한 중립면 생성이 모두 실패한 모델이다. 이 모델의 경우, 본 논문에서 제시된 방법을 이용하여, 이를 여러 개의 맥시말 볼륨으로 분해하여 중립면을 성공적으로 생성할 수 있었다. Fig. 15도 Fig. 3에 나타난 Unigraphics에서 실패한 경우의 모델로, 맥시말 모델로 분해된 후 이를 이용하여 중립면을 생성한 결과를 보여주고 있다.

5. 고찰 및 결론

본 논문에서는 복잡한 모델을 여러 개의 단순한 모델로 분해한 후 이들로부터 원 모델의 중립면을 생성하는 divide-and-conquer 방법을 제안하였다. 맥시말 볼륨 분해방법을 이용하여 복잡한 모델을 단순한 여러 개의 모델로 분해한 후, 이들로부터 중립면을 생성하고, 생성된 중립면들을 합친 후 불필요한 패치들을 제거하여 원 모델의 중립면을 생성하였다. 분해된 모델에 대한 중립면 생성 자체는 기존에 제시되었던 방법을 이용하였으며, 단순하게 분해된 모델을 이용하여 중립면을 생성하기 때문에 face-pair의 검색이 용이하고, 중립면 패치들을 연결하기 위한 확장도 필요하

지 않다는 장점이 있다.

하지만 본 방법이 중립면 생성 분야에서 그 동안 제기 되었던 궁극적인 문제들을 모두 완벽하게 해결하기에는 제한적임을 밝혀둔다. 먼저, 맥시말 볼륨 분해의 특성상 오복한 엣지가 존재하지 않는 모델의 경우, 이를 단순한 볼륨으로 분해할 수 없다는 단점이 있다. 즉, 엣지들이 필렛(fillet) 등을 이용하여 블렌드 처리되었을 때에는 적용이 불가능하며, 이를 제거하는 전처리 단계가 필요하다. 두 번째로, 두께가 다른 T형 볼체나 두께가 다른 부분이 중간에 비스듬한 평면으로 연결된 경우와 같이 Sheen^[21]의 논문에서 제기 되었던 중립면 생성의 모호성 문제는 본 방법 역시 향후 보완해야 될 문제이다.

향후 연구방향으로 이러한 문제점들을 개선하고, 더 많은 다양한 테스트 모델을 통하여, 발생 가능한 기술적 오류를 찾고 보완하여 보다 강력한 시스템으로 구축할 계획이며, 오프셋을 이용하여 생성된 꼭면의 face-pair도 중립면을 생성을 할 수 있도록 시스템을 확장할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 2009년도 한성대학교 교내연구비 지원과 제로 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Armstrong, C. G., "Modelling Requirements for Finite-Element Analysis", *Computer-Aided Design*, Vol. 26, No. 7, pp. 573-578, 1994.
2. 이상현, 이규열, "특징형상기반 다중해상도 모델링에 관한 연구 - Part I: 특징형상의 유효영역", *한국 CAD/CAM 학회 논문집*, 제10권, 제6호 pp. 432-443, 2005.
3. 이상현, 이규열, "특징형상기반 다중해상도 모델링에 관한 연구 - Part II: 시스템 구현 및 상세수준 판단기준", *한국 CAD/CAM 학회 논문집*, 제10권, 제6호 pp. 444-454, 2005.
4. 김민철, 이진우, 김성찬, "다중해상도 알고리즘을 이용한 자동 해석모델 생성", *한국CAD/CAM 학회 논문집*, 제11권, 제3호, pp. 172-182, 2006.
5. Koo, S. and Lee, K., "Wrap-around Operation to Make Multi-resolution Model of Part and Assembly", *Computers & Graphics*, Vol. 26, pp. 687-700, 2002.
6. 김성찬, 이진우, 홍태석, 김민철, 정분기, 송영재, "B-rep의 다중해상도볼 구현하는 통합시스템 개발", *한국 CAD/CAM 학회 논문집*, 제11권, 제4호 pp. 289-302, 2006.
7. 최동혁, 김태원, 이진우, "특징형상 변환을 이용한

- B-rep모델의 다중해상도 구현”, 한국 CAD/CAM 학회 논문집, 제7권, 제2호, pp. 121-130, 2002.
8. 이재열, 이주행, 김현, 김형선, “셀룰러 토폴로지를 이용한 프로그래밍 솔리드 모델 생성 및 선충”, 한국 CAD/CAM학회 논문집, 제9권, 제2호 pp. 122-132, 2004.
 9. 우윤환, “불류분해를 이용한 절삭가공부품 솔리드 모델의 단순화”, 한국 CAD/CAM학회 논문집, 제12권, 제2호, pp. 101-108, 2007.
 10. Blum, H., “A Transformation for Extracting New Descriptors of Shape”, Models for the Perception of Speech and Visual Forms, MIT Press, Cambridge, MA, pp. 362-380, 1967.
 11. Rezayat, M., “Midsurface Abstraction from 3D Solid Models: General Theory and Applications”, *Computer-Aided Design*, Vol. 28, No. 11, pp. 905-915, 1998.
 12. Ramanathan, M. and Gurumoorthy, B., “Constructing Medial Axis Transform of Planar Domains with Curved Boundaries”, *Computer-Aided Design*, Vol. 35, pp. 619-632, 2002.
 13. Ramanathan, M. and Gurumoorthy, B., “Generating the Mid-Surface of a Solid using 2D MAT of Its Faces”, *Computer-Aided Design and Applications*, Vol. 1, pp. 665-674, 2004.
 14. 이한민, 남용운, 이종원, 박성환, 김은기, 구진영, “유한요소해석을 위한 중립면 자동 추출”, 2006 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, pp. 176-181, 2006.
 15. Sheen, D., Son, T., Ryu, C., Lee, S. H. and Lee, K., “Dimension Reduction of Solid Models by Mid-surface Generation”, *International Journal of CAD/CAM*, Vol. 7, No. 1, pp. 71-80, 2007.
 16. 이한민, 남용운, 이종원, 박성환, 김은기, 구진영, “유한요소해석을 위한 중립면 자동 추출”, 2006 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, pp. 176-181, 2006.
 17. Chong, C. S., Kumar, A. S. and Lee, K. H., “Automatic Solid Decomposition and Reduction for Non-Manifold Geometric Model Generation”, *Computer-Aided Design*, Vol. 36, pp. 1357-1369, 2004.
 18. 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.
 19. Woo, Y. and Sakurai, H. “Recognition of Maximal Features by Volume Decomposition”, *Computer Aided Design*, Vol. 34, No. 3, pp. 195-207, 2002.
 20. Woo, Y., “Fast Cell-based Decomposition and Applications to Solid Modeling”, *Computer Aided Design*, Vol. 35, No. 11, pp. 969-977, 2003.
 21. Sheen, D., Son, T., Myung, D., Ryu, C., Lee, S. H., Lee, K. and Yeo, T. J., “Solid Deflation Approach to Transform Solid into Mid-Surface”, Proceedings of the TMCE 2008, pp. 133-148, Izmir, Turkey, 2008.



우 윤 환

1993년 한양대학교 성민기계공학과 학사
 1995년 Illinois Institute of Technology 기계공학과 석사
 1999년 Colorado State University 기계공학과 박사
 1999년~2002년 미국 Spatial Corp/Dassault Systems ACIS 개발팀 소프트웨어 엔지니어
 2002년~2004년 국민대학교 자동차공학 전문대학원 연구교수
 2004년~2005년 성균관대학교 기계기술 연구소 연구교수
 2006년~현재 한성대학교 기계시스템공학과 조교수
 관심분야: 3D geometric modeling, Feature recognition, CAPP



주 창 업

1981년 서울대학교 화학공학과 학사
 1983년 KAIST 화학공학과 석사
 1993년 Syracuse University 화학공학과 박사
 1983년~1987년 삼성석유화학 건설본부 대리
 1993년~1997년 삼성엔지니어링 기술연구소 수석연구원
 1997년~현재 한성대학교 기계시스템공학과 교수
 관심분야: filtration, 수질환경, 수치해석