

# CAD 형상 데이터를 이용한 물체 표면 삼각형 격자의 자동 생성 기법

이 봉 주,<sup>1</sup> 김 병 수<sup>2\*</sup>

## AUTOMATED TRIANGULAR SURFACE GRID GENERATION ON CAD SURFACE DATA

B.J. Lee<sup>1</sup> and B.S. Kim<sup>2\*</sup>

*Computational Fluid Dynamics (CFD in short) approach is now playing an important role in the engineering process recently. Generating proper grid system for the region of interest in time is prerequisite for the efficient numerical calculation of flow physics using CFD approach. Grid generation is, however, usually considered as a major obstacle for a routine and successful application of numerical approaches in the engineering process. CFD approach based on the unstructured grid system is gaining popularity due to its simplicity and efficiency for generating grid system compared to the structured grid approaches.*

*In this paper an automated triangular surface grid generation using CAD surface data is proposed. According to the present method, the CAD surface data imported in the STL format is processed to identify feature edges defining the topology and geometry of the surface shape first. When the feature edges are identified, node points along the edges are distributed. The initial fronts which connect those feature edge nodes are constructed and then they are advanced along the CAD surface data inward until the surface is fully covered by triangular surface grid cells using Advancing Front Method. It is found that this approach can be implemented in an automated way successfully saving man-hours and reducing human-errors in generating triangular surface grid system.*

**Key Words** : Triangular surface mesh, CAD surface data, Advancing Front Method, STL Data, Automated Surface Grid Generation

### 1. 서 론

전산유체역학이 풍동 실험을 포함한 실험 유체 기법과 더불어 유동 현상 분석의 중요한 방법론으로서 그 활용도가 점점 증가하고 있다. 전산유체역학에서 사용되는 수치적 접근법은 크게 유한 차분법, 유한 체적법, 그리고 유한 요소법 등으로 분류할 수 있다. 각 수치적 접근법들은 물리 현상에 대한 지배방정식인 편미분 방정식의 이산화 및 근사화 과정에서 서로 다른 수학적 전개 과정을 거치게 된다. 그러나 각 수치 기법들은 최종적으로는 연립된 대수 방정식들을 풀게 되고, 이 과정에서 해석 대상인 공간을 작은 셀이나 요소로 나누어 주어야 한다. 이러한 공간의 이산화가 수치 기법에 의한 편미분 방정식의 해의 정확도나 수렴성 등에 큰 영향을 미친다는

것은 잘 알려진 사실이고, 일반적으로 격자 생성 작업이라고 불리는 이 작업은 엔지니어링 사이클에서 수치 기법에 의한 공학 해석의 원활한 적용에 종종 장애로 작용한다.

일반적으로 사용되는 격자계는 크게 정렬 격자계와 비정렬 격자계로 구분할 수 있는데, 정렬 격자계의 경우 격자점의 규칙성으로 인하여 복잡한 공간이나 물체에 대한 격자 생성이 어려운 경우가 종종 있는 반면에, 비정렬 격자계는 복잡한 공간에 대해서도 유연하게 격자 생성이 가능하다. 따라서 점점 복잡하고 실제적인 형상에 대한 유동해석 요구가 많아지면서 격자 생성이 상대적으로 용이한 비정렬 격자계에 근거한 전산유체역학 기법의 활용도가 점점 증가하고 있다.

비정렬 격자계의 생성이 상대적으로 쉽다고는 하더라도 해석 대상 물체의 형상이 복잡해질수록 물체 표면 격자계의 생성은 여전히 쉽지 않은 문제이다. 더구나 복잡한 물체의 경우 CAD 시스템을 이용하여 모델링되는 경우 많으므로 CAD 형상 데이터를 이용하여 표면 격자계를 용이하게 생성하는 기법의 개발은 비정렬 격자계의 활용도를 더욱 높이는데 있어

1 학생회원, 충남대학교 대학원 항공우주공학과

2 종신회원, 충남대학교 항공우주공학과

\* Corresponding author, E-mail: kbskbs@cnu.ac.kr

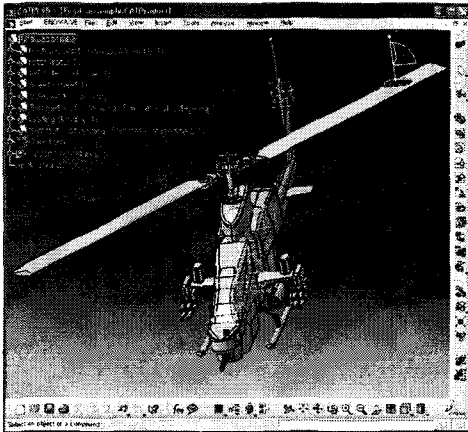


Fig. 1 Helicopter modeling (CATIA)

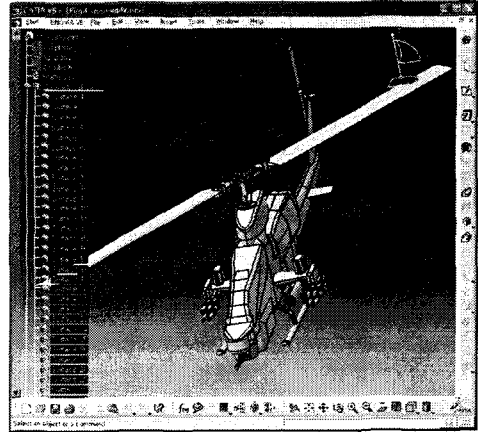


Fig. 2 IGES data (CATIA)

서 중요한 선결 조건이라 하겠다.

따라서, 본 논문에서는 CAD 시스템에서 모델링된 3차원 물체 표면상에 비정렬 삼각형 격자계를 자동 생성하는 기법을 제안한다.

## 2. CAD 형상 데이터

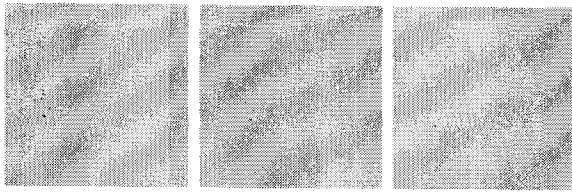
구나 실린더처럼 단순한 형상 주위에 대하여 유동장 해석을 하는 경우에는 대상 물체의 형상 정보를 해석적인 수학적 식으로 쉽게 표현할 수 있으므로 형상의 정의와 표면 격자계의 생성을 포함하는 격자 생성 작업이 해석적인 방법으로도 쉽게 수행될 수 있다. 그러나 대부분의 공학적인 유동해석은 해석적인 수학적 식으로 표현하기 힘든 복잡한 형상의 물체에 대하여 이루어지게 된다. 이처럼 일반적으로 복잡한 3차원 물체의 모델링은 3차원 CAD 시스템을 이용하여 수행하게 되고, 모델링된 대상 물체의 형상 데이터가 격자 생성 시스템으로 전달되면 본격적인 격자 생성 작업이 이루어지게 된다. Fig. 1은 대표적인 3차원 CAD 시스템인 CATIA를 이용하여 모델링된 회전익기 형상의 예를 보여주고 있다.

이와 같이 모델링된 형상 데이터의 정확한 전달을 위해서는 각각의 CAD 시스템마다 사용하는 고유 형상 표현 방법과 데이터 구조를 이용하는 것이 가장 손실없이 형상 데이터를 전달할 수 있는 방법이다. 이러한 데이터 전달 방식을 직접 변환 방식이라고 하는데 이 방식은 데이터 전달을 위해서 개별적인 CAD 시스템에 대한 데이터 변환기를 개발해야 하므로 복잡하고도 보편성이 떨어지는 문제점이 있다. 만약 n개의 서로 다른 CAD 시스템이 있다면 이들 사이의 데이터 전달을 위해서는  $n \times (n-1)$ 개의 데이터 변환기가 필요하게 된다 [1].

한편, 중립 파일(neutral file)이라 부르는 중간 데이터베이스

구조를 도입함으로써 데이터 교환을 효과적으로 달성할 수 있다. 이러한 중립 파일은 기존의 CAD 시스템이나 앞으로 나올 시스템에 독립적인 표준으로서 IGES, STEP, DXF 등이 대표적인 예이다. 그 중 IGES(Initial Graphics Exchange Specification) 파일은 중립 파일의 한 표준으로서 80년대 초에 미 표준국에 의해 표준으로 채택된 후 현재까지는 가장 널리 사용되고 있는 CAD 데이터 교환을 위한 중립 데이터 형식이다[1,2]. Fig. 2에 앞에서 모델링한 회전익기 형상을 IGES 형식의 데이터로 저장한 후 다시 CATIA 프로그램에서 IGES 데이터를 읽어 들인 결과를 보여주고 있다.

이처럼 IGES 파일 형식은 복잡한 물체의 형상 데이터 전달에 많이 활용되고 있으나 전산유체역학 분야에서 격자 생성을 위한 형상 데이터로 활용함에 있어서 몇 가지 문제가 있을 수 있다. 격자 생성 작업과 관련하여 IGES 형식에 의한 형상 데이터 전달에서 큰 문제점 중 하나로는 패치들 간의 중첩이나 괴리 현상을 들 수 있다. 즉, 3차원 CAD 시스템에 의한 형상 모델링시 각 CAD 시스템 고유의 솔리드 모델링 기법에 따라 3차원 모델링 연산 기법에 의하여 물체를 구성하므로 해당 CAD 시스템의 고유 형식 데이터에서는 큰 문제가 없으나 이를 IGES 형식으로 변환하는 과정에서 대상 물체는 여러 가지 엔티티로 구성된 패치들로 대체된다. IGES 데이터의 패치들 간에는 원래 데이터에는 없던 틈새나 중첩 현상이 종종 나타나게 되는데, 단지 시각적인 형상 확인 등에서는 큰 문제가 되지 않는 틈새나 중첩 부분이 격자 생성이나 유동 해석 단계에서는 매우 큰 문제로 작용할 수 있다. 즉, 틈새나 중첩 부분이 있는 IGES 데이터를 이용하여 생성되는 격자계의 질을 저하시키거나 경우에 따라서는 격자 생성 코드가 격자 생성 작업을 진행시키지 못하는 원인이 되기도 한다. 이러한 문제 때문에 대부분의 상용 격자 생성 코드들은 IGES 파일을 읽어 들인 후 형상 데이터 수정 작업, 즉 패치



(a) Coarse (b) Fine (c) Finer

Fig. 3 STL files with different resolutions

들 간의 틈새를 인위적으로 매우거나 봉합하는 작업을 하도록 하고 있다.

본 연구의 주요 목표는 CAD 시스템에 의해서 모델링된 형상 데이터를 가능한 한 수작업을 배제하고 자동으로 삼각형 표면 격자계를 생성할 수 있도록 하는 것이다. 물론 궁극적으로는 IGES 형식 등 원래의 형상을 가능한 한 정확히 표현하는 중립 파일을 이용하여 격자 생성이 자동화되어야 하겠지만, 현 시점에서는 격자 생성의 자동화에 주안점을 두어서 또 다른 형식의 중립 파일인 STL 형식의 데이터를 이용하기로 한다.

STL 데이터는 모델링된 물체의 외형만을 삼각형 조각들로 대체하여 전달하는 방식으로서, 솔리드 모델링 결과인 물체 내부 정보, 즉 질량 정보 등은 전달하지 못하지만 유동 해석을 위한 표면 격자 생성의 관점에서 보면 오히려 내부 질량 정보는 불필요하므로 오히려 활용도가 높다고 할 수 있다. 특히 STL 데이터는 물체의 외부 형상을 지정된 해상도의 작은 삼각형 조각들로 대체를 하므로 IGES 파일이 갖고 있는 틈새나 중첩 등의 문제가 없다는 것이 STL 데이터 구조의 간결성과 더불어 표면 격자 생성의 자동화 관점에서는 큰 장점이 될 수 있다.

한편, 일단 CAD 시스템에서 물체의 형상을 STL 형식으로 대체하고 나면 CAD 시스템 내에서는 물체의 형상 정의에 사용되었던 해석식에 대한 정의는 더 이상 반영되지 않고, 물체 형상을 대체한 삼각형 조각들의 최소 크기보다 더 세밀한 정보는 사라진다는 단점이 있다. 이러한 단점에도 불구하고 STL 파일을 생성하는 단계에서 적절한 옵션 선택을 통하여 격자 생성 프로그램에서 사용할 표면 격자계의 해상도를 고려하여 충분한 해상도의 STL 파일로 생성한다면 그러한 문제점을 극복할 수 있을 것이다. Fig. 3에서는 CATIA에서 모델링된 동일한 1/8조각 구형 물체를 3가지의 서로 다른 해상도의 삼각형 조각으로 저장한 STL 데이터를 비교하여 보여주고 있다.

표면 격자 생성을 위한 대상 물체의 외형을 STL 형식의 CAD 형상 데이터로 하여 해당 물체 표면에 삼각형 비정렬 격자계를 자동 생성하기 위하여 본 연구에서 제안하는 기법에 대해서 다음 장에서 설명하였다.

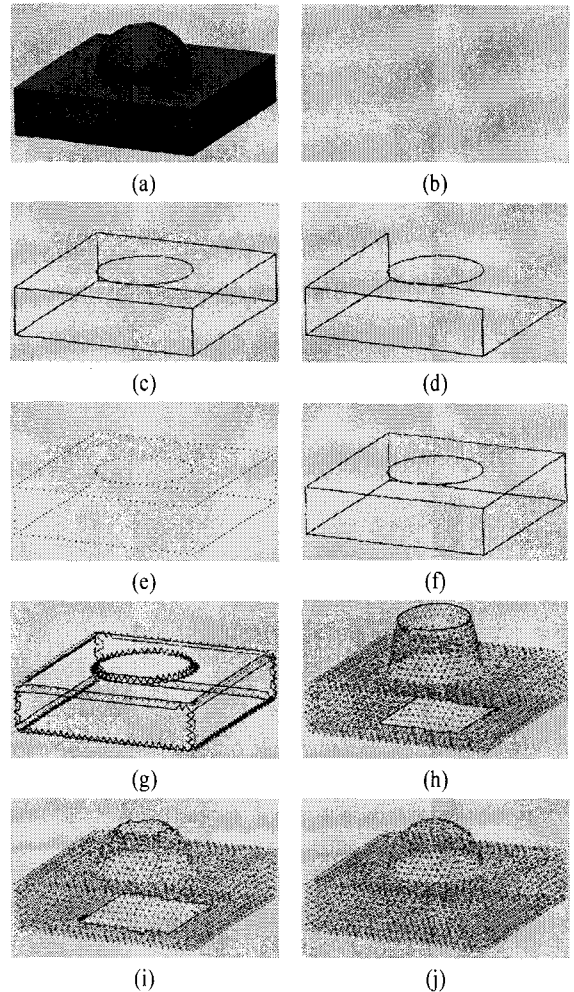


Fig. 4 Algorithm procedure

### 3. 삼각형 표면 격자의 자동 생성

앞에서 설명한 바와 같이 STL 형식의 데이터는 물체의 외형 정보를 삼각형 셀들로 대체하여 전달하게 되는데, 이때 전달되는 데이터는 삼각형 셀들의 세 꼭지점의 좌표와 물체의 내외부를 구분하기 위한 법선 벡터만으로 구성되어 있다. 따라서 물체를 모델링하는 단계에서 사용되는 여러 가지 위상학적인 또는 기하학적인 정보, 가령 모델링된 물체가 6면체인지 또는 구형 물체인지에 대한 정보도 사라지게 된다. 즉 물체의 위상 정보를 알려주는 꼭지점, 모서리, 면 등에 대한 정보는 전달되지 않는다는 것이다. 따라서 일단 STL 형식의 CAD 형상 데이터가 입력되고 나면 우선 이루어져야 하는 작업이 꼭지점, 모서리, 면과 같이 중요한 위상학적 정보를 알려주는 기하학적 요소를 찾아내는 작업이 될 것이다. 설명의

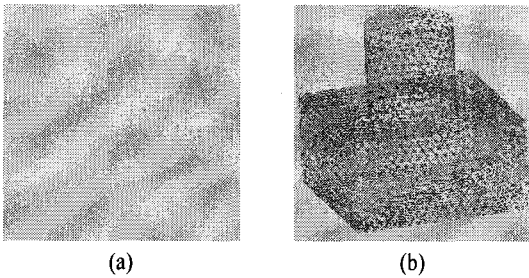


Fig. 5 Cylinder on a box case

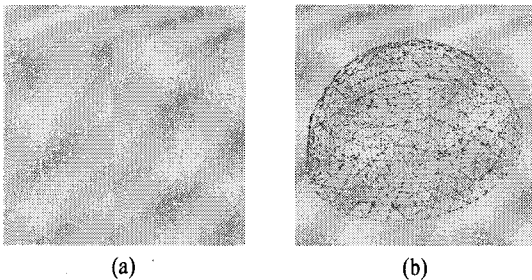


Fig. 5 Cylinder on a box case

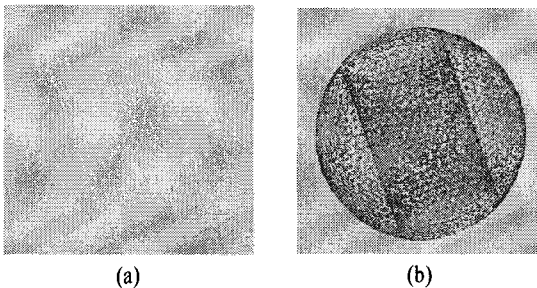


Fig. 5 Cylinder on a box case

편의상 꼭지점을 feature node, 모서리를 feature edge라고 부르도록 한다.

STL 형상 데이터의 입력에서부터 feature node와 feature edge 찾기를 포함하여 표면 삼각형 격자 생성이 자동으로 수행되도록 하기 위하여 이루어지는 일련의 작업을 Fig. 4(a)와 같이 반구와 육면체로 구성된 물체를 예로 하여 단계별로 설명하면 다음과 같다.

- 1) 물체의 CAD 형상 데이터(STL 형식)를 읽어 들인다.(Fig. 4b)
- 2) 물체의 꼭지점과 모서리에 해당하는 feature node 와 feature edge를 찾는다. 이를 위하여 우선 feature node를 찾는데, 이웃한 삼각형 셀의 법선 벡터끼리의 각도를 계산하여 지정된 임계값(45°)보다 작으면 feature edge로 등록된다. Feature edge 찾기가 모두 끝나면 feature edge가 2개 이상

만나는 점은 feature node로 등록이 된다. (Fig. 4c)

- 3) 다음은 서로 연결된 feature edge의 체인을 찾아냄으로써 서로 다른 면을 구분할 수 있게 된다. 즉 Fig. 4b에서의 STL 삼각형 셀들은 모두 서로 연결되어 있어서 면 구분을 할 수 없으나 feature edge의 체인으로 둘러싸인 면들이 구분되면 비로소 개개의 면을 따로 그리거나 계산 과정에서 필요한 정보로 이용할 수 있게 된다. (Fig. 4d)
- 4) 다음은 feature edge를 따라서 원하는 갯수의 격자점을 분포시킨다. (Fig. 4e)
- 5) Feature node를 따라 분포된 격자점을 연결한 선들이 초기 front가 되어 AFM(Advancing Front Method) 방법에 의해 표면 격자 생성 작업을 수행하게 된다.(Fig. 4f)
- 6) 다음은 AFM 방법에 의하여 각각의 front들이 차례로 전진을 하게 된다. (Fig. 4g) 내부로 전진이 이루어지면서 front로 둘러싸인 면적이 점점 좁아지면서 최종적으로 면적이 0이 될 때까지 전진이 이루어지면 해당 면에 대한 표면격자 생성이 완료된다[3]. 한편, 2차원 평면에서의 AFM 방법에서는 전진이 평면상에서 이루어지므로 큰 문제가 없겠지만, 물체 표면에서의 AFM 방법의 적용을 위해서는 주어진 물체 표면을 따라서 전진이 이루어져야 한다. 따라서, 초기의 전진 방향만으로 전진을 시킬 경우 면이 평면이 아닌 경우에는 물체 표면을 따라가지 못하게 된다.(Fig. 4h)
- 7) 따라서, 매번 front의 전진이 이루어질 때 마다 해당 front가 속한 물체 표면에 투영을 시키는 작업을 해줌으로써 이 문제를 해결한다. (Fig. 4i)
- 8) 위와 같이 물체 표면에서의 투영을 병행하면서 front의 전진이 모두 마무리되면 물체 표면을 완전히 뒤덮는 삼각형 표면 격자의 생성이 완료된다. (Fig. 4j)

위와 같은 방법으로 일반적인 3차원 물체 표면에 비정렬 삼각형 표면 격자계를 자동으로 생성하는 것이 가능하다. 현재는 격자 간격을 등간격만을 적용한 상태이나, 추후 background grid를 이용하여 격자 간격을 조절할 수 있는 기법에 대해서 추가로 연구할 것이다.

### 3. 격자 생성 에

이상과 같이 설명한 표면 격자 생성 기법을 이용하면 다양한 형태의 CAD 형상 데이터에 대해서 삼각형 표면 격자 생성을 자동으로 수행할 수 있다. 몇 가지 예를 살펴보면 다음과 같다.

Fig. 5는 원통형 물체와 육면체가 결합된 형상에 대해서 (a)에서는 STL 형상 데이터와 (b)에서는 본 기법에 의해서 생성된 표면 격자계를 보여주고 있다.



Fig. 6는 반구형 물체에 대해서 생성된 표면 격자계의 예이고, Fig. 7은 관통 구멍이 있는 구형 물체에 대한 격자 생성 결과를 보여주고 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 임의의 형상으로 주어지는 3차원 물체 표면에 비정렬 삼각형 격자를 자동으로 생성하기 위한 알고리즘에 대해서 연구하였다. 위에서 살펴본 바와 같이 아주 복잡한 형상들을 예로 들지는 않았지만, 그 접근 방법의 타당성에 있어서 물체 표면 형상 정보가 STL 형식으로 주어지는 경우 표면 격자 생성이 자동으로 이루어질 수 있음을 본 연구를 통하여 확인할 수 있었다.

## 후 기

본 연구는 산업자원부 한국형헬기 민군겸용구성품개발사업 (KARI 주관) 위탁연구결과 중 일부이며, 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

- [1] 김성환 외 공역, 2000, CAD/CAM/CAE 시스템, 피어슨 에듀케이션 코리아.
- [2] 이종원 외, 1995, CAD/CAM 시스템, 청문각.
- [3] Pirzadeh, S., 1993, "Structured Background Grids for Generations of Unstructured Grids by Advancing-Front Method," *AIAA Journal*, Vol.31, No.2, pp. 257-265.