

격자구성 기법에 관한 연구

A Study on the Grid Generation Technique

윤 용 현*

Yoon, Yong Hyun

When computing the flow around complex three dimensional configurations, the generation of the grid is the most time consuming. This paper presents a survey of the grid generation technique. The technique for treating problems arising in grid generation for complex geometries is addressed. A general procedure for generating boundary conforming grids is included

1. 서론

전산유체역학은 이제 실제적인 공학문제를 해결할 수 있을 만큼 발전하였다. 항공기 설계시 공기역학적 특성 파악, 그리고 선박설계, 제트엔진 기관이나 로켓트등의 설계, 더 나아가 기상예측을 위한 기단(air mass) 분석, 해양의 조류(tidal flow)해석, 강물의 흐름문제(estuary flow)등 그 적용 범위가 무궁무진하다. 이상에서 언급한 실생활(real world)문제들을 전산유체역학을 이용하여 푸는 일반적인 절차는 격자구성 단계(pre-processing), 지배방정식을 푸는 단계(processing), 그리고 계산 결과를 해석하기 위한 가시화의 단계(post-processing)로 구분된다. 그런데 유동장의 형상이 복잡할 수록 격자구성 단계가 차지하는 비중이 크다. 따라서 본 연구에서는 주로 복잡한 형상을 갖는 유동장에 격자를 구성하는 기본적인 절차와 이에 수반되어 필요한 격자구성 기법들을 간략히 소개하고 이러한 기법들을 이용하여 구성한 격자계의 결과들을 살펴 보면서 향후 복잡한 형상을 다루기 위한 새로운 격자구성 기법들을 전망해 보겠다.

2. 격자구성의 일반적인 절차

임의의 형상을 갖는 유동장 주위의 격자를 구성하는 일반적인 절차는 다음 그림 1과 같다. 이러한 기본 단계는 상호 밀접하게 연계되어 있으므로 어느 한 단계에서 잘못이 있을 경우 전체적인 격자계에 영향을 주게 된다. 뿐만 아니라 주어진 형상들이 단순한 것에서 부터 매우 복잡한 임의의 형태(free form geometry)를 갖기 때문에 격자를 구성하기 위해서는 이러한 다양한 형상들을 다룰 수 있는 갖가지 형상 모델링 기법과 격자구성법들이 개발 되어야 한다. 그리고 수치적 격자생성을 위해서는 선형대수학, 벡터해석학, 미분기하학, 수치해석학, 편미분방정식등의 예비식이 필요하다. 아울러 컴퓨터 그래픽 및 컴퓨터 지원 설계(CAD: Computer Aided Design)등에

* 공군사관학교 항공공학과(충북 청원군 남일면 사서함 2호)

관한 지식과 컴퓨터 프로그램 언어로 FORTRAN, PASCAL, C언어 중 최소한 어느 하나에는 익숙해야 한다.

본 연구에서는 다음 그림1에서 보여 주는 격자구성의 일반적인 절차에 따라서 기법들을 간략하게 설명해 나가도록 하겠다.

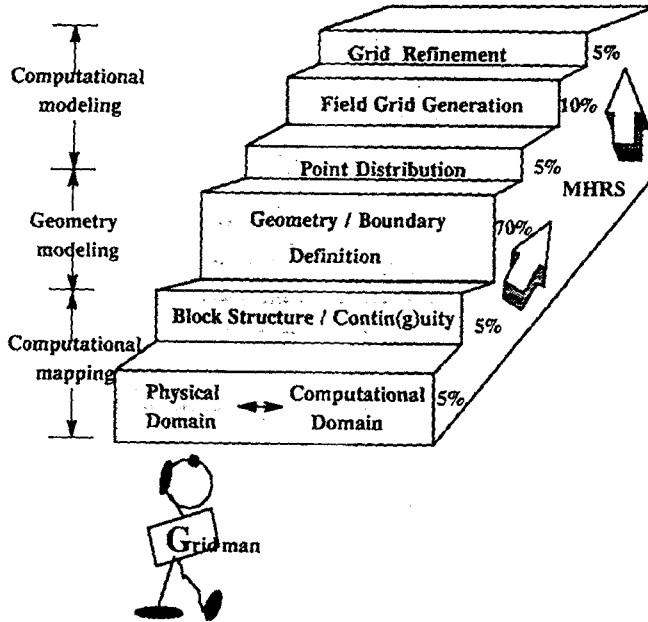


Fig. 1 General geometry/grid generation steps

2.1 좌표변환

좌표변환(mapping)한 공간을 논리공간 또는 계산공간(logical space or computational space)이라 부르는데 이러한 공간들은 모두 유클리드 공간(Euclidean space)에 한정시키고 다음과 같이 표시한다. E^n ($n=1,2,3$) 그리고 물리영역(Physical space)에서 좌표로 사용될 변수는 x, y, z 를, 그리고 계산영역에서 좌표로 사용될 변수는 ξ, η, ζ 이라 한다. 즉 계산공간에서는 $\bar{\xi}=(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$ 이라 하고, 물리공간에서는 $\bar{X}=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 로 한다.

이 두 공간 사이에는 중요한 두개의 파라메타가 있는데 계산공간에서의 K 차원과 물리공간의 n 차원이다. 즉 n 차원의 계산 공간상에서 k 차원의 물리공간 물체는 Ω_k^n 로 나타내고, 이는 전체가 둘러 쌓인 경계를 갖는다. 이를 다시 계산공간에서 물리공간으로 좌표변환 시키는 좌표계 X_k^n 는 다음과 같다.

$$X_k^* \rightarrow \Omega_k^*$$

이를 서로 변환 시킬 때 각 격자점들은 철저하게 일대일 대응관계(one-to-one mapping)를 이루도록 한다. 이러한 좌표 변환을 통해 실제 경계선이나 경계면에 일치하는 좌표계를 얻을 수 있는데 이를 경계 일치 좌표계(boundary conforming coordinates) 또는 경계 고정 좌표계(body-fitted coordinates)라 한다. 이 경계 고정 좌표계를 사용할 경우

- i) 경계조건을 적용하기가 간편하고,
- ii) 유동장 내부격자망의 어느 격자점에서 보다 정밀한 계산이 필요할 경우 격자점을 밀집시킬 수 있으며,
- iii) 물리공간과 계산공간 사이에 일대일 대응관계를 잘 유지시켜 줄 수 있는 장점을 가지고 있다.
- iv) 특히 경계고정좌표계를 사용하여 격자를 구성하게 되면 물체표면 주위에서 유동 속도 구배가 큰 높은 Reynolds수의 점성유동해석에 매우 유용할 뿐 아니라
- v) Parabolized Navier-Stokes 방정식에서 사용하는 얇은 경계층 문제를 풀때 반드시 필요하다.
- vi) 정렬 격자계를 기본으로 한 경계고정 좌표계의 사용은 차분법을 보다 간단하게 하고 병렬처리 컴퓨터 프로그램 사용을 용이하게 한다.

2.2 구획 분할법

다구획 격자계란 유동장을 여러 개의 단순한 형상으로 나누거나 아니면 부분영역(sub-domains)으로 분할하는 방법이다. 그런데 각 구획간을 연결하는 형태에 따라 blocked grid, patched grid 또는 overset grid로 분류된다. 이러한 구획 분할 기법을 사용하여 복잡한 유동장에 대해 격자계를 구성할 경우 다음과 같은 효과를 기대할 수 있다[1, 2].

- i) 형상이 복잡하여 단일 구획으로 양질의 격자를 구성하기에 어려움이 있을 때 단순한 형상으로 분할 처리할 수 있다.
- ii) 구획별로 다른 지배방정식이나 다른 알고리즘을 적용할 수 있다.
- iii) 단일 구획으로 계산할 경우 컴퓨터 용량을 초과할 수 있는데 여러 구획으로 나누어 계산할 경우 이러한 한계를 극복할 수 있다.

2.3 형상 모델링

항공기나 선박 또는 미사일 등 복잡한 형상을 갖는 물체를 대상으로 격자를 구성하기 위해서는 다양한 격자구성법을 구비하는 것이 필요하다. 왜냐하면 격자를 구성하는 사람이 다양한 형상 또는 다루기에 매우 어려운 유동장과 조우했을 경우에 대비해서 여러가지 기법을 구비하는 것이 문제를 성공적으로 해결할 수 있기 때문이다. 특히 형상 모델링은 표면 격자 및 경계조건의 기능을 하기 때문에 이는 마치 실험을 위한 모델을 만드는 것과 비교될 수 있다[3, 4]. 다음 그림 2는 형상 모델링 및 표면격자 구성을 위한 기법들을 예시하고 있다.

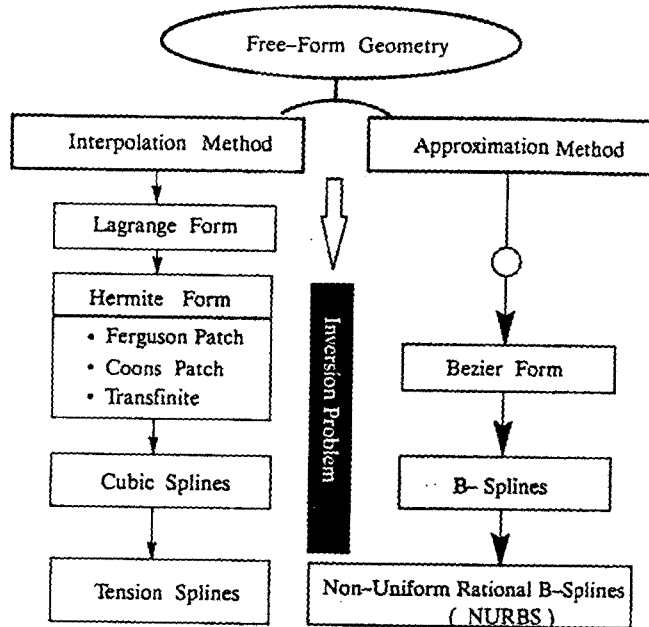


Fig. 2 Methods of geometry definition

2.4 격자계의 구성 요건

격자망을 구성하는데 있어서 다음 몇가지 사항에 대해 유념해야 할 점들이 있다. 첫째, 좌표 변환시 자코비안이 영이라면 물리장을 지배하는 방정식의 물리적, 수학적 특성을 상실해 버리고 만다. 좌코비안이 영이나 마이너스 값을 갖는 좌표계 변환은 격자선들이 꼬이거나 잘못 변환된 것이므로 각별한 주의가 요구 된다. 둘째, 지배방정식의 근사해가 갖는 오차는 방정식의 미계수와 격자간격과도 불가분의 관계가 있을 뿐 아니라 격자간격의 변화를 즉 격자간격이 유연(smoothness)하게 변하는가의 여부에 달려 있으므로 격자간격이 급격하게 변하지 않도록 격자선 분포를 잘 조절해야 한다. 셋째, 서로 가로지르는 격자선과의 이루는 각이 가능한 직교하여야(orthogonality) 수치해석적 오차를 최소화 할 수 있다. 요컨대 성공적인 격자구성이란 격자망의 직교성, 유연성, 그리고 찌그러짐이나 꼬임이 없는 격자망을 구성하는 것이다.

만약 지배방정식의 물리적 특성이 어떤 한 부분에서 심한 변화를 하게되면 그 부분에서 물리적 해석의 정확도를 높여 주기 위해서 격자수를 증가시켜 주는 것이 바람직하다. 이러한 요구에 부응하는 격자를 적응격자계(solution adaptive grids)라 한다. 이러한 기법에 대해서는 참고 문헌[5]에서 소개하고 있다.

3. 격자구성 결과

본 장에서는 형상이 복잡한 물체에 대해 격자를 구성한 몇가지 경우의 결과들을 소개하겠다. 그림 3의 경우는 우주선을 모델링하여 그 주위에 격자계를 구성한 결과이고, 그림 4는 개량형 F-15전투기의 형상을 컴퓨터 지원 설계로부터 얻어진 데이터를 기본으로 하여 표면격자를 구성

한 결과이다. 그리고 그림 5는 스틸스 항공기로 널리 알려진 F-117의 형상 데이터만을 보여 주고 있다. 이러한 형상 데이터가 표면 격자의 기능을 하기 위해서는 유동 지배 방정식의 알고리즘과 연계하여 보다 많은 연구가 뒤따라야 할 것이다. 끝으로 그림 6에서 보여 주는 격자는 주행중인 실제 타이어의 열전도 해석을 위해 6개의 구획으로 나누어 구성된 격자계를 보여 주고 있다.

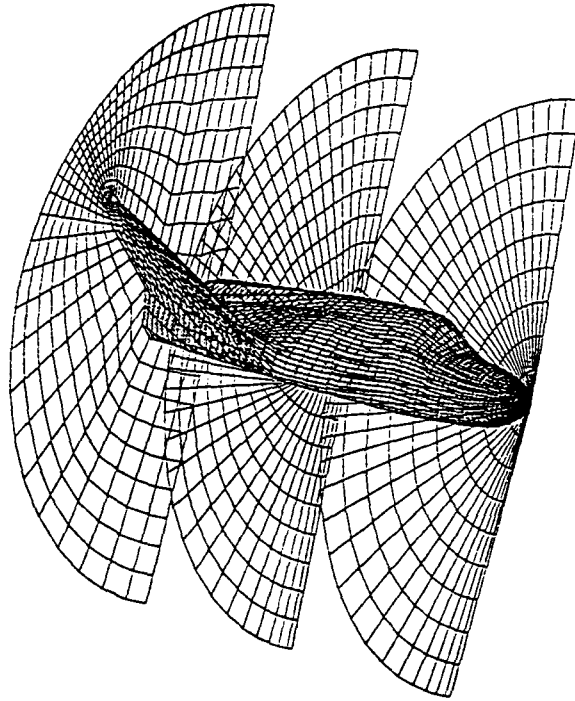
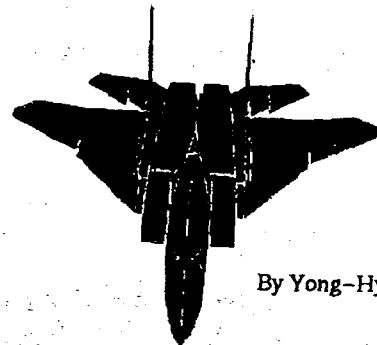
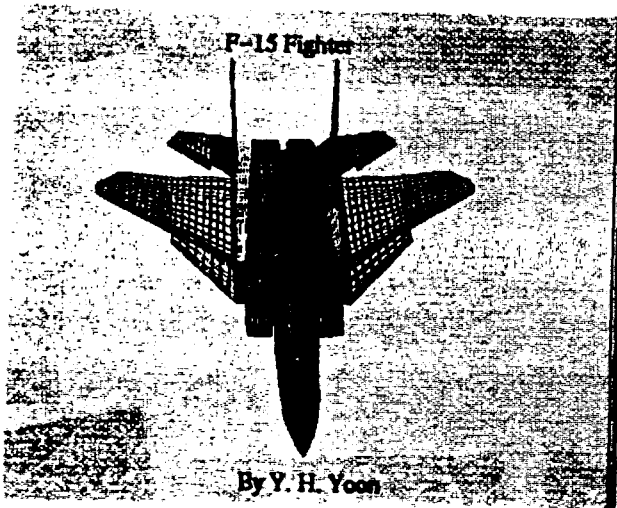
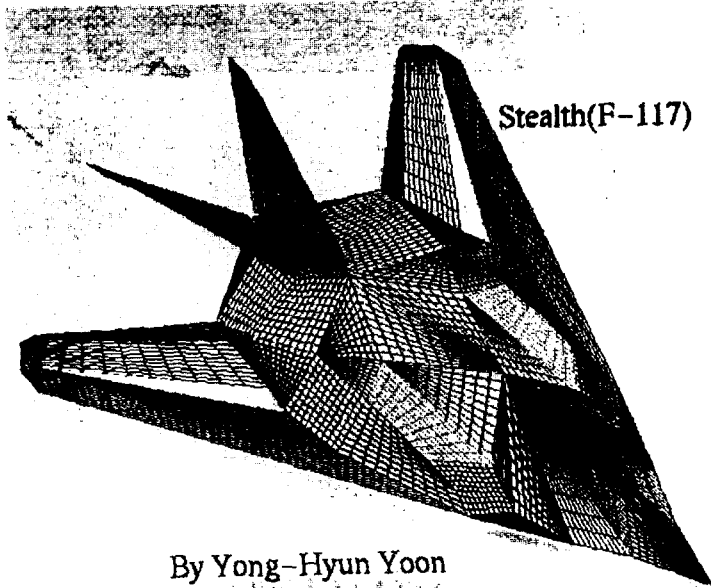


Fig. 3 Grid system for HL-20



By Yong-Hyun Yoon

Fig. 4 Surface grid for an advanced F-15 fighter



By Yong-Hyun Yoon

Fig. 5 Stealth(F-117) configuration

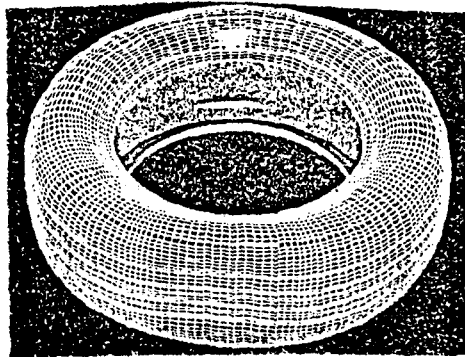


Fig. 6 Multi-block grid for a tire

4. 격자구성 기법의 발전 방향

최근 격자구성 프로그램은 점점 다양화되어 가고 있어 이른바 복합 다구획 혼합 적응격자 (composite multiblock hybrid adaptive grid generation) 양상을 띠고 있다. 적응(adaptive)이란 해의 결과에 따라 격자분포를 적응시켜 가는 것을 뜻하고 혼합(hybrid)이란 정렬격자계와 비정렬격자계의 혼용을 말하며, 다구획(multiblock)격자란 복잡한 유동장을 격자구성이 용이하도록 몇개 구획으로 나누어 구획별 격자를 구성한 다음 해를 구하기 위해 구획별 연속성을 유지하는 것이다. 끝으로 복합(composite)이란 복잡 다양한 임의형상에 대처하기 위해 중복, 또는 이중으로 감싸는 격자기법들을 채택하거나 병렬처리에 적합한 격자구성 프로그램등을 사용하므로 복합

이란 용어가 사용되고 있다. 이상은 격자구성 기법들에 관해서 언급하였지만 실제 컴퓨터를 이용하여 격자를 구성하는 절차적인 측면에서 본다면 대화형(interactive)으로 격자를 구성하는 프로그램이 개발되고 있는 추세다. 즉 사용자 편의(user-friendly)가 중요하게 된다는 점을 간과해서는 안된다. 왜냐하면 격자는 한번 구성한 후 수정없이 그대로 사용하는 경우가 거의 없다. 그래서 수시로 다시 반복작업과 재구성이 이루어져야 하는데 이때 절차가 너무 복잡하든가 또는 시간이 너무 소요될 경우 또 다른 장애를 야기시키기 때문이다.

5. 결 론

수치적 격자구성이란 유동장 형상이 복잡할수록 많은 시간과 노력이 요구되는 부분이며 이는 효과적인 알고리즘과 사용자 편의의 프로그램이 개발되는 것이 필수적이다. 따라서 최근에는 형상의 복잡성을 극복하고 양질의 격자계를 구성하기 위해 3차원 대화형 복합/적응 격자계를 구성할 수 있는 격자구성 프로그램이 점차 개발되어 가고 있는 추세이다.

6. 참고문헌

- [1] Vogel, A.A. "A Knowledge-Based Approach to Automated Flow-Field Zoning for Computational Fluid Dynamics," NASA Tm101072, April 1989.
- [2] Allwright, S.E., "Techniques in Multiblock Domain Decomposition and Surface Grid Generation," In Numerical Grid Generation in Computational Fluid Mechanics'88, Pineridge Press Limited, 1988.
- [3] "Surface Modeling, Grid Generation, and Related Issues in Computational Fluid Dynamic Solutions", NASA CP 3291, May 1995
- [4] Faux, I. D. and Pratt, M. J., "Computational Geometry for Design and Manufacture," Ellis Horwood, 1985, pp.199-205.
- [5] Thompson, J. F., "A survey of Dynamically-Adaptive Grids in the Numerical Solution of PDE," Journal of applied Numerical Mathematics, Vol. 1, 1985, pp.3-27.