

論文

중첩격자계와 접합격자계를 이용한 적응격자 기법

김대희*, 권장혁*

A Grid Adaptation Method Using the Chimera
and Patched Grid Systems

Dehee Kim* and Jang Hyuk Kwon*

ABSTRACT

A grid adaptation method within systems of chimera and patched grids is presented. Problem domains are divided into near-body and off-body fields. Near-body field is filled with curvilinear body-fitted grids that extend only a short distance from body surfaces and connected to other grid systems via chimera domain connectivity method. Off-body field is filled with patched uniform cartesian grids of varying levels of refinement. This method gives flexibility in grid generation and efficient adaptation capability. Several numerical experiments including 2D store separation were performed to show the performance of the proposed adaptation method.

초 록

중첩격자계와 접합격자계를 이용한 적응격자 기법이 개발되었다. 유동장은 물체와 근접한 영역과 떨어진 영역으로 구분된다. 근접한 영역은 곡선 격자계로 채워지며 중첩격자 기법으로 영역이 연결되고 떨어진 영역은 다양한 적응 단계를 가진 직교 격자계로 채워지며 접합격자 기법으로 연결된다. 본 적응격자 기법은 격자생성에 있어서의 유연성과 효과적인 격자적응 기능을 보여준다. 2차원 스토어 분리 해석을 포함하는 몇 가지 수치해석을 통해 본 적응격자 기법의 성능을 검증하였다.

Key Words : Chimera grid system(중첩격자계), Patched grid system(접합격자계), Grid adaptation(격자적응)

1. 서 론

Steger, Dougherty, Benek 등[1]에 의해 체계화된 중첩격자 기법(혹은 Chimera 격자 기법)은 기하학적으로 복잡한 물체주위의 정상/비정상 유동 해석을 위해 널리 사용된다[1-5]. 중첩격자 기법의 가장 큰 장점으로 격자 생성의 유연성을 들 수 있으며 특히 물체 간 상대운동이 있는 경우

그 효율을 최대화 할 수 있다. 예를 들어 항공기 날개에서 스토어를 떨어뜨리는 경우[2,4,5]와 대기권내에서 고체 로켓 부스터를 떨어뜨리는 경우의 유동 해석 등 상대운동이 있는 복잡한 유동장의 해석에 중첩격자 기법이 효과적으로 적용될 수 있다.

초기 중첩격자계를 구성할 때 수치해의 정확성을 위해서 유동의 변화가 심한 영역에 격자를 밀집시켜야 하며 물체간의 간섭이 있는 부분에 격자를 조밀하게 분포시켜야 한다. 그런데 유동의 전반적인 특성을 예측하기 쉽지 않은 문제에 대해서는 초기 격자구성이 어려울 수 있다. 뿐만 아니라 초기의 격자 밀집이 적절하다 하더라도

† 2005년 1월 24일 접수 ~ 2005년 9월 5일 심사완료

* 정회원, KAIST 기계공학과 항공우주공학 전공
연락처, E-mail : dehee@kaist.ac.kr
대전시 유성구 구성동 373-1

상대운동이 있는 경우 운동하는 격자계는 격자가 밀집된 영역을 지나 배경격자가 성근 지역에서 영역연결이 이루어질 수 있다. 이러한 영역에서는 중첩되는 격자계간 격자크기 비가 커지고 이에 따라 삼간 오차가 증가하게 되며 삼간점 찾기 과정이 제대로 진행되지 않는다.

이와 같이 초기에 사용자의 경험에 의해 격자를 구성하는 일이 쉽지 않을뿐더러 비정상 유동의 해석에서 격자계의 운동에 따라 격자가 밀집될 필요가 있는 부분에 대해서 초기에 격자를 미리 조밀하게 만드는 것은 격자점의 수를 비효율적으로 증가시키게 된다. 또한, 격자계의 운동 경로를 미리 알 수 없는 경우에는 이마저도 불가능하다. 격자구성과 격자적용을 용이하게 하기 위해 Meakin은 ASPaR(Adaptive Spatial Partitioning and Refinement) 기법을 제안하였다[3]. 물체 주위의 유동장(NB: Near-Body)은 일반적인 body-fitted 격자계와 직교(cartesian) 격자계로 구성되고 나머지 영역(OB: Off-Body)은 NB 격자계의 정보로부터 자동적으로 직교 격자계가 구성된다. 모든 격자계는 일반적인 중첩격자기법에 의해 영역이 연결된다. 이를 통해 NB 격자계만 주어지면 유동장의 특성에 따라 자동적으로 격자계가 생성되므로 격자구성에 따르는 어려움을 줄일 수 있고 유동의 진행 상황에 따라 자동적으로 격자적용이 되므로 사전에 격자계를 조밀화 시킬 필요가 없다. Meakin의 방법에서는 모든 격자계들이 중첩격자기법으로 연결되므로 많은 격자계가 서로 중첩되는 영역에서는 영역 연결이 매우 복잡해지며 중첩격자계의 특성상 비보존적인 오차가 증가하게 되는 문제가 있다. 이는 접합격자계를 이용함으로써 해결할 수 있다.

본 연구에서는 Meakin의 ASPaR 기법을 바탕으로 중첩격자계와 접합격자계를 이용해서 유동영역을 격자적용 시키는 방법에 대해 연구하였다.

II. Meakin의 ASPaR 기법

2.1 ASPaR 기법의 개요

주어진 문제의 물리영역은 NB 영역과 OB 영역으로 나뉜다. NB 영역은 물체로부터 짧은 거리만큼 전진한 격자계로 구성되고 이 격자계는 더 조밀해질 필요가 없도록 충분한 밀도로 격자점이 분포된다고 가정하고 더 이상 격자가 적용되지 않는 영역이다. 그리고 OB 영역은 전체 유동장에서 NB 영역을 제외한 나머지 부분으로 격

자적용이 일어나는 영역이다. NB 영역은 보통 body-fitted 격자계와 직교 격자계로 OB 영역은 직교 격자계의 여러 블록들로 구성되며 각 격자 블록간 영역 연결은 일반적인 중첩격자기법에 의해 처리된다.

일반적인 중첩격자기법에서는 배경격자가 고정된 데 반해 ASPaR 기법은 물체의 운동에 따라 가변적이고 또한 OB 영역에서 적응격자기법의 모든 과정이 일어난다. OB 영역에서 격자를 생성하기 위해서는 NB 격자계, NB 격자계로부터 원거리 경계까지의 거리 D_{far} 가 주어져야 한다. 이 자료만으로 양질의 OB 격자계를 자동적으로 생성시킬 수 있다.

2.2 NB 격자계에서 얻어지는 정보

OB 영역의 격자생성을 위해 NB 격자계에서 얻어지는 정보는 가장 높은 적응단계(가장 조밀한 적응단계)의 격자간격 S_{near} , 각 물체(body)를 포함하는 테두리(bounding box) r_{ij}^n , OB의 바깥 경계(outer boundary) R_{ij} 가 있다. 여기서 아래첨자 i 는 사각형의 대각선상의 끝점($i=1$ 은 사각형의 왼쪽-아래 점, $i=2$ 는 사각형의 오른쪽-위 점)을 나타내고, j 는 직교좌표계에서의 각 방향을 나타낸다. 위첨자 n 은 r_{ij}^n 가 포함하는 고체물체를 나타낸다. R_{ij} 는 다음과 같이 식 (1)로 정의된다.

$$\begin{aligned} R_{1j} &= \min(r_{1j}^1, r_{1j}^2, \dots, r_{1j}^N) - D_{far} \\ R_{2j} &= \max(r_{2j}^1, r_{2j}^2, \dots, r_{2j}^N) + D_{far} \end{aligned} \quad (1)$$

2.3 OB 격자의 조절

하나의 격자계 블록이 가지는 최소의 격자수는 ϑ_{min} 으로 표시되며 한 방향으로 가져야 할 최소한의 격자수를 의미한다. 병합 과정을 거친 격자계의 격자수는 이보다 커질 수 있다. 본 연구에서는 ϑ_{min} 을 4로 주었다. OB 영역의 격자적용은 MB(master-brick)를 구성함으로써 제어된다.

MB는 가상의 배경격자계로 R_{ij} 의 좌표값으로 정의되는 전체유동장이 가상의 셀들로 균일하게 나뉜다. 셀은 brick으로 불리고 실제격자가 생성되는 하나의 블록이고 각각에 격자의 적용에 필요한 적응단계가 부여된다. 이 셀들은 같은 적응단계의 셀들과 병합의 과정을 거친 후 실제 격자들로 채워지게 된다. MB 격자의 각 방향 격자수는 식 (2)로 주어진다.

$$I_j = \text{int} \frac{R_{2j} - R_{1j}}{\vartheta_{min} S_{near}} + 1 \quad (2)$$

상태변수 B는 각 가상 셀의 적응단계를 나타내는 자연수로 이 셀 경계 내에 들어가는 OB 영역의 실제 격자는 B의 적응단계에 따라 적용된다. 만약 계산 영역을 2단계로 격자적용 시키겠다고 가정하면 MB의 각 셀에 대해 B는 1 혹은 2의 값을 가지며 주위에 같은 레벨을 가지는 가상 셀들을 병합하여 영역을 만들고 그 영역이 실제 격자로 채워지게 된다. Fig. 1과 Fig. 2를 보면 B의 쓰임을 잘 알 수 있다. 이 MB를 매개로 OB 격자를 매우 효과적으로 제어할 수 있다. 상태변수가 B인 어떤 셀의 계산영역상의 좌표는 다음의 식 (3)에 의해 주어진다.

$$i_j = \text{int} \frac{x_j - R_{1j}}{\vartheta_{\min} S_{\text{near}}} + 1 \quad (3)$$

2.4 적응 단계수 결정

격자가 적용되는 단계의 수는

$$\sum_{i=1}^L \vartheta_{\min} S_{\text{near}} A^{i-1} \simeq D_{\text{far}} \quad (4)$$

에 의해 결정된다. 여기서 L은 적응단계수이다. 각 적응단계의 격자계 블록이 가질 격자의 크기는 S_{near} 와 격자배율 A에 의해 결정된다. 본 연구에서는 격자배율 A를 2로 두었다.

2.5 상태변수 B의 초기화

B는 NB 격자계로부터 MB 셀까지의 거리에 따라 초기화된다. 고체물체가 N개이고 적응단계의 수가 M인 경우 적응단계가 m번째인 MB는 다음의 식 (5)로 주어지는 범위 내부의 셀들이다.

$$\begin{aligned} x_{1j}^n &= r_{1j}^n - \sum_{i=1}^m \vartheta_{\min} S_{\text{near}} A^{i-1} \\ x_{2j}^n &= r_{2j}^n + \sum_{i=1}^m \vartheta_{\min} S_{\text{near}} A^{i-1} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서, n은 1에서 N까지 m은 1에서 M의 값을 가지며 Fig. 1에서 그 의미를 알 수 있다. 이 사각형 테두리에 속하는 MB 셀 i_j 는 더 높은 단계로 정해지지 않았을 경우 m으로 초기화된다. 이 과정은 모든 고체물체 N과 각각의 적응단계에 대해 행해진다. 이렇게 초기화된 적응단계를 사용해서 초기 격자가 만들어지고 유동해석과정에서 격자적용이 필요할 경우 오차측정에 의해 조밀화하거나 병합화해야 할 격자가 정해지고 이 격자를 감싸고 있는 MB 셀이 그에 맞게 적응단계가 정해진다. 격자점이 어느 MB 셀에 속하는가 하는 것은 식 (3)을 통해 알 수 있다.

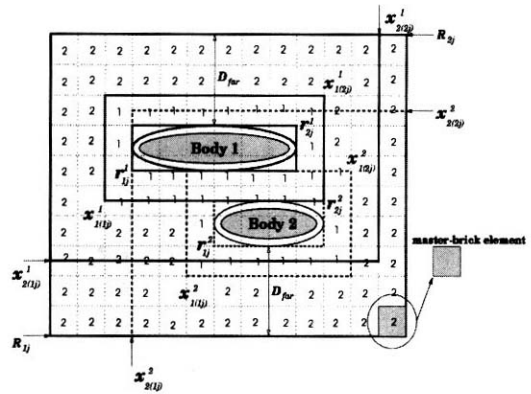


Fig. 1. Configuration of initial MB

Fig. 1을 통해 상태변수를 초기화하는 과정을 볼 수 있다. 고체 물체가 2개이고 적응단계가 2단계 일 때의 예로 N=2, M=2로 주어진다. 따라서 모두 4개의 사각형이 만들어지게 된다. 이때 각 사각형 안에 속한 MB 가상셀들의 B 값은 1 혹은 2로 결정된다. 사각형이 중첩되는 영역에 속한 가상 셀의 B는 1과 2가 주어졌을 때 더 높은 단계인 1로 결정된다.

2.6 Brick의 병합과 격자계 생성

MB 셀의 상태변수 B는 OB 영역의 격자생성과 격자적용을 조절하는 기능을 제공한다. 격자계 블록의 수를 줄이기 위해 같은 적응단계의 MB 셀들을 병합한다. 같은 적응단계를 갖는 이웃하는 셀들을 병합하는 방법에는 유일한 해가 있는 것이 아니고 최종적인 병합 결과는 병합 과정에 좌우된다. 유일성의 문제는 중요한 문제가

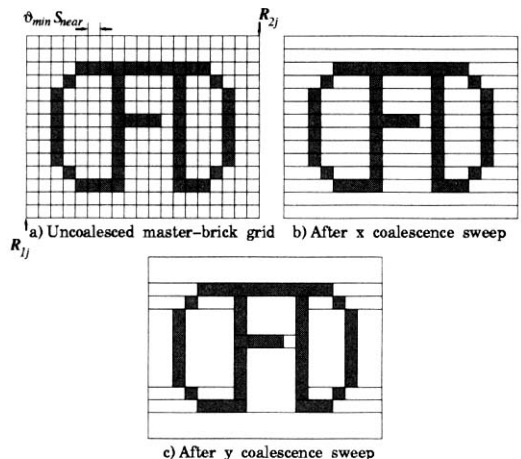


Fig. 2. Coalescence of MB

아니고 다만 적절한 병합을 통해 셀의 수를 줄이면 된다. 각각의 병합된 셀로부터 주어지는 실제 영역을 그 셀에 주어진 격자크기로 이산화 함으로써 실제 격자계 블록을 만든다.

병합과정의 예를 Fig. 2에 도시하였다. 셀의 흑백에 따라 2단계의 적응단계로 나뉘어져 있는데 초기 셀의 수는 266개이다. 짙은 색의 셀은 짙은 색끼리 흰색의 셀은 흰색의 셀끼리 병합된다. x 방향의 병합과정을 거친 후 84개의 셀이 되고 y 방향의 병합을 거친 후 최종적으로 34개의 셀이 된다. 34개의 셀은 각 적응단계에 맞는 격자간격으로 실제 격자가 채워지게 되고 격자계 블록의 수도 34개가 된다. 물론, 병합의 과정을 y방향 먼저, x 방향 나중으로 바꾸면 셀의 최종 수도 달라진다.

2.7 격자적응을 위한 오차 지시자

해의 정확도를 얻기 위한 적응격자기법에서는 오차를 잘 감지해 낼 수 있는가야 무엇보다 중요하다. 오차 측정은 크게 나뉘 물리현상감지와 수치오차 측정으로 나뉜다. 전자는 충격파나 와류동과 같은 중요한 유동현상을 감지하기 위해 해상도를 높일 목적으로 격자점을 유동이 급변하는 영역에 밀집시키는 반면, 후자는 격자를 밀집시켜서 수치오차를 줄이기 위해 사용된다. 물리현상을 감지하기 위한 오차 지시자의 경우는 적용되는 문제에 민감해서 각 경우에 따라 잘 작동하기도 하고 좋지 못한 결과를 주기도 한다. 반면, 수치오차를 줄이기 위해 고안된 오차 지시자는 부하가 더 크지만 여러 경우에 대해 좋은 결과를 낸다[3]. 본 연구에서는 수치오차를 줄이기 위해 사용되는 오차 지시자를 사용하였으며 자세한 내용은 Meakin[3]의 논문에 자세히 기술되어 있다.

2.8 격자적응 전후의 유동해 전달

격자적응이 일어나면 적응 전후의 유동해 전달과정이 필요하게 된다. 해를 구하는 동안의 전체 유동장의 크기는 일정하므로 적응 전의 유동해로부터 적응 후의 격자에 초기 유동 해를 전하는 과정이 가능하며 직교 격자계이므로 방법 또한 간단하다. 테두리의 두 점 X_j , 계산영역의 크기 I_j 와 격자크기가 각 블록에 대해 저장되게 된다. 자세한 과정은 다음과 같다.

먼저, 새로운 블록 m 과 격자적응 전의 블록 n 이 겹치는가를 식 (6)으로 판별한다.

$$X_{1j}^m > X_{2j}^n \quad \text{or} \quad X_{2j}^m < X_{1j}^n \quad (6)$$

식(6)에 대해서 null response면 블록간 중첩되는 영역이 존재한다는 의미이므로 블록 n 으로부터 m 으로 삼간이 가능하며 이때 업데이트 될 수 있는 m 의 영역은 식 (7)로 나타내진다.

$$\begin{aligned} i_{1j}^m &= \text{int} \frac{(x_{\min} - X_{1j}^m)}{\Delta X_j^m} + 1 \\ i_{2j}^m &= \text{int} \frac{(x_{\max} - X_{1j}^m)}{\Delta X_j^m} + 1 \end{aligned} \quad (7)$$

여기서

$$\begin{aligned} x_{\min} &= \max(X_{1j}^m, X_{1j}^n) \\ x_{\max} &= \min(X_{2j}^m, X_{2j}^n) \end{aligned}$$

ΔX_j^m 는 블록 m 의 각 방향 격자간격이다. 블록 m 내의 각 점을 둘러싸는 블록 n 의 각 점은 식 (8)로 구할 수 있다.

$$i_{1j}^n = \text{int} \frac{(x_j^m - X_{1j}^n)}{\Delta X_j^n} + 1 \quad (8)$$

여기서

$$x_j^m = (i_j^m - 1)\Delta X_j^m + X_{1j}^m$$

블록 m 내의 각 점을 둘러싸는 블록 n 의 네 점이 구해지면 bilinear 삼간법에 의해 삼간 한다.

III. 새로운 PAsPaR 기법

OB 영역은 Meakin의 방법에서는 중첩격자기법으로 모든 블록들이 연결되나 제안되는 방법에서는 경계에서 유속을 보존시키기 위해 접합격자기법(patch grid system)을 도입하고 PAsPaR (Patched ASPaR)이라 칭하기로 한다. NB 영역과 OB 영역이 중첩되는 영역에서는 격자간격이 조밀하므로 2층의 삼간 층을 구성하여 bilinear 삼간법으로 연결시키면 충분하고 나머지 영역은 접합격자기법으로 보존적으로 연결시킴으로써 비보존 오차를 만들지 않는다. 접합격자기법은 Furukawa 등[6]이 제안한 방법을 적용하였다. OB 영역의 영역연결이 접합격자기법에 의해 이루어진다는 점을 제외하면 나머지 과정은 ASPaR 기법과 동일하다.

IV. 수치 해석 기법

4.1 지배 방정식

2차원 비점성 유동장의 지배방정식인 비정상

Euler 방정식을 일반 좌표계에서 보존형으로 표현하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial F}{\partial \xi} + \frac{\partial G}{\partial \eta} = 0 \quad (8)$$

$$Q = \frac{q}{J} = \frac{1}{J} \begin{pmatrix} \rho \\ \rho u \\ \rho v \\ \rho E \end{pmatrix}, F = \frac{1}{J} \begin{pmatrix} \rho U \\ \rho u U + \xi_x p \\ \rho v U + \xi_y p \\ \rho H U + \xi_t p \end{pmatrix} \quad (9)$$

여기서 Q 는 유동 변수이고, F, G 는 비점성 유속 벡터를 나타내며 G 는 F 와 유사하게 표현된다. E, H, p 는 총에너지, 총엔탈피, 압력이다. 일반좌표계의 격자면 속도는 다음과 같다.

$$U = \xi_x u + \xi_y v - \xi_t \quad (10)$$

여기서 ξ_t 는 ξ 방향 격자의 이동속도이다.

4.2 수치 기법

공간 이산화를 위해 격자 중심 유한체적법을 사용하고 Roe의 FDS를 이용해서 비점성 유속을 구한다. 격자 경계에서 보존변수의 재구성을 위해 MUSCL 기법을 적용하였다. 시간 전진 기법으로 DADI[7]를 사용했으며 비정상 유동해석의 경우 2차의 시간정확도를 얻기 위해 이중시간 적분법[8]을 적용한다. Blanking Algorithm을 적용해서 정상점에서는 그대로 시간전진 시키고 삼각점에 대해서는 주위의 정상점들로부터 삼각점에 의해 값이 주어지도록 하였다.

4.3 접합격자계의 유속 보존

접합격자기법은 다중 블록(multi block) 격자계의 구성이 용이하지 않을 때 사용된다. 경계에서 두 개의 격자계가 2차원에 대해서는 한 방향의 선을 3차원에 대해서는 면을 공유하도록 만들어지는 격자계이다. 일반적인 중첩격자기법에서 경계에서 2차 정확도를 유지하려면 2층의 삼각층을 구성해야 하나 Meakin의 방법은 1층의 삼각층을 둬으로써 중첩격자 경계에서 정확도가 1차로 떨어지고 유속이 보존되지 않으므로 비보존 오차가 발생하게 된다. 그에 비해 접합격자기법으로 경계를 구성하면 유속을 보존시킬 수 있다.

Furukawa 등[6]의 방법은 1개의 dummy cell로도 2차 정확도를 유지시킬 수 있으므로 이 방법을 적용하였다.

4.4 경계 조건

원방 경계 조건으로 특성치를 이용한 경계조건을 사용하였고 벽면 조건은 벽면에 수직인 방

향으로 속도가 영이고 압력구배가 없다는 조건으로부터 외압에 의하여 결정할 수 있다. 또한, 수직방향의 엔트로피의 변화가 없다는 조건으로부터 밀도를 결정한다.

V. 수치 해석

적용격자기법을 검증하기 위해 NACA0012 익형과 BiNACA0012 익형에 대해 유동장을 해석하고 격자계의 변화를 알아본다. 또한, 비정상 유동 문제에 대한 검증을 위해 날개로부터 분리되는 스토어가 있는 문제에 대해 적용하였다.

5.1 NACA0012 익형 주위의 유동

마하수 0.85, 받음각 1도인 NACA0012 익형 주위의 유동장에 대해 해석을 수행하였다. NACA0012 익형 주위의 NB 격자계는 C형으로 183×12의 격자점을 가진다(Fig. 3). 이로부터 OB 영역에 25개의 격자계 블록이 생성된다. 초기의 격자점은 모두 21941개이다. 반복횟수 1500회 마다 격자적응을 했으며 2회의 격자적응을 통해 67개의 블록에 22647개의 격자점이 생성되었다. Fig. 4는 적응후의 격자계를 보여주고 있다. Fig. 5의 압력선도와 비교해 보면 충격파를 따라 격자가 밀집됨을 볼 수 있다. 표 1은 AGARD 보고서 [8]에 있는 다른 수치해석 결과와 비교한 것으로 타당한 결과치를 보여주고 있다.

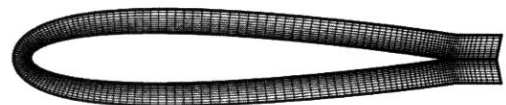


Fig. 3. NB grid system(NACA0012)

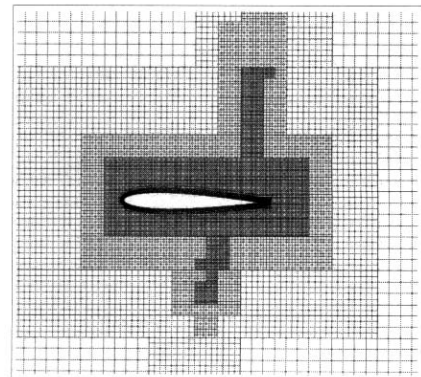


Fig. 4. Grid system after adaptation

Table 1. Comparison of aerodynamic coefficients

Contribution	C_L	C_D	C_M
HEMKER et al[8]	0.3565	0.0582	-0.1209
KROUTHEN et al[8]	0.330	0.0528	-0.104
PANDOLFI et al[8]	0.3586	0.0514	-0.1170
present	0.330	0.0590	-0.1168

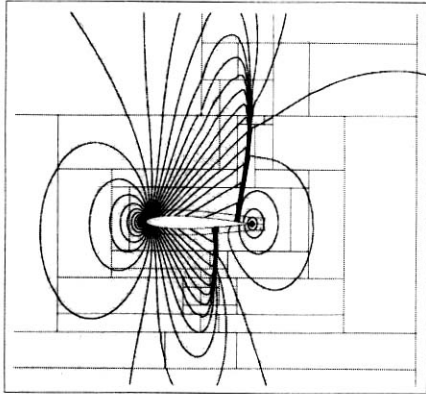


Fig. 5. Pressure contours around NACA0012 airfoil

5.2 BiNACA0012 익형 주위의 유동

마하수 1.25, 받음각 0도인 BiNACA0012 익형 주위의 유동장을 해석하였다. 사용된 NB 영역의 격자는 위, 아래 모두 C형 격자계로 각각 183×12의 격자점을 가진다. 이로부터 OB 영역에 25개의 격자계 블록이 생성된다. 초기의 격자점은 모두 31409개이다. 반복횟수 1500회 마다 격자적용을 했으며 2회의 격자적용을 통해 348개의 블록에 64858개의 격자점이 생성되었다. Fig. 6은

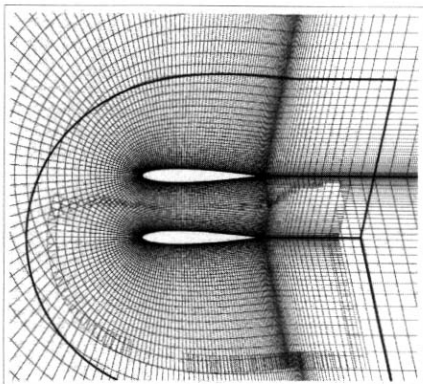


Fig. 6. Chimera grid system (BiNACA0012)

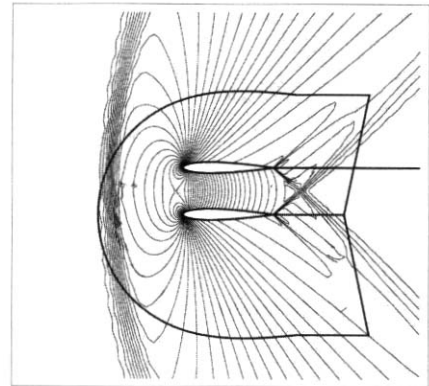


Fig. 7. Pressure contours using chimera grid system

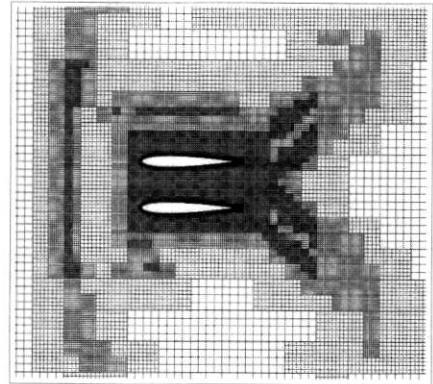


Fig. 8. Initial PAsPaR grid system

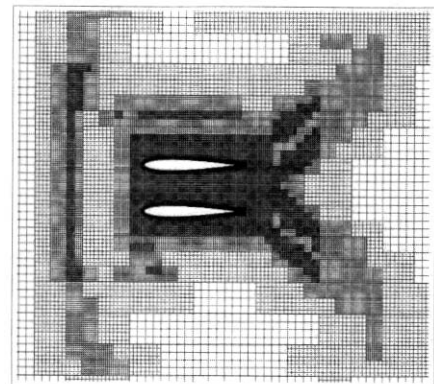


Fig. 9. PAsPaR grid system after adaptation

비교를 위해 사용된 중첩격자계로 22936개의 격자점으로 구성되며 Fig. 7은 중첩격자계를 이용해서 구한 압력 선도를 나타낸다. 적절한 격자밀집이 없으므로 충격파는 퍼지게 된다. Fig. 6의 격자계에서 익형으로부터 짧은 거리만큼 전진한

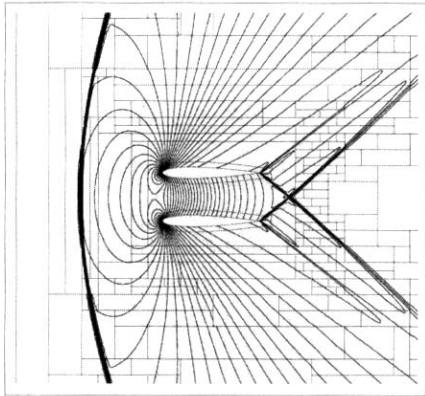


Fig. 10. Pressure contours using PAsPaR grid system

NB 격자계를 추출해서 PAsPaR로 OB 격자계를 생성하고 계산을 수행하였다. Fig. 8은 초기의 PAsPaR 격자계를 나타내고 Fig. 9는 두 번의 적응후의 격자계를 보여준다. Fig. 10의 압력선도와 비교해보면 충격파를 따라서 격자가 잘 밀집되어 있음을 알 수 있다. 격자밀집이 위아래 익형에 대해서 서로 대칭을 이루어야 하지만 오차 지시자의 미세한 cutoff 차이에 따라 완벽한 대칭을 이루지는 않는다.

5.3 스토어 분리 해석

비정상 유동에 대해서 본 적응격자기법의 효율성을 검증하기 위해 날개로부터 분리되는 2차원 날개/스토어 예제[5]를 해석하였다. 검증을 위해 일반적인 중첩격자기법에 의한 결과[5]와 비교하였다. 자유흐름 마하수는 0.6, 받음각은 0도이다. NB 격자계는 C형 익형 격자계(189×10), O형 스토어 격자계(141×10)로 구성된다. 일반적인 중첩격자기법에 의한 결과를 위해 사용된 격자계

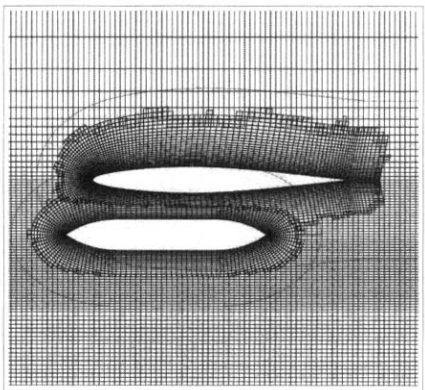


Fig. 11. Initial chimera grid system

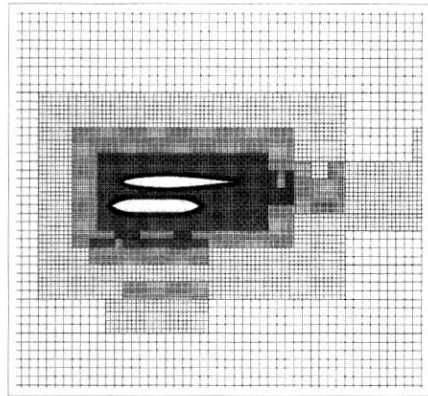


Fig. 12. Initial PAsPaR grid system

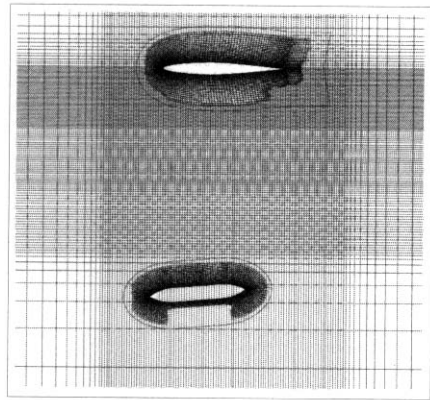


Fig. 13. Chimera grid system at t=20

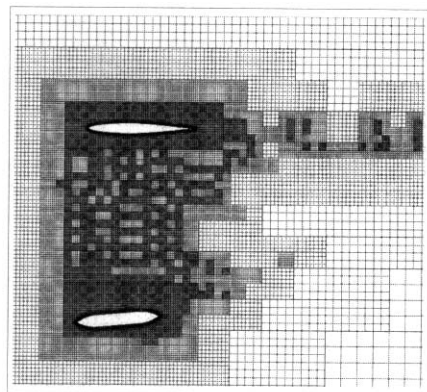


Fig. 14. PAsPaR grid system at t=20

는 C형 익형 격자계(189×31), O형 스토어 격자계(141×25)와 H형 배경 격자계(148×145)이다. Fig. 11과 Fig. 12는 초기 격자계를 보여준다. Fig. 12는 정상 상태 유동해를 얻는 과정에서 PAsPaR를 이용해서 두 번에 걸쳐 격자적응이 된 격자계

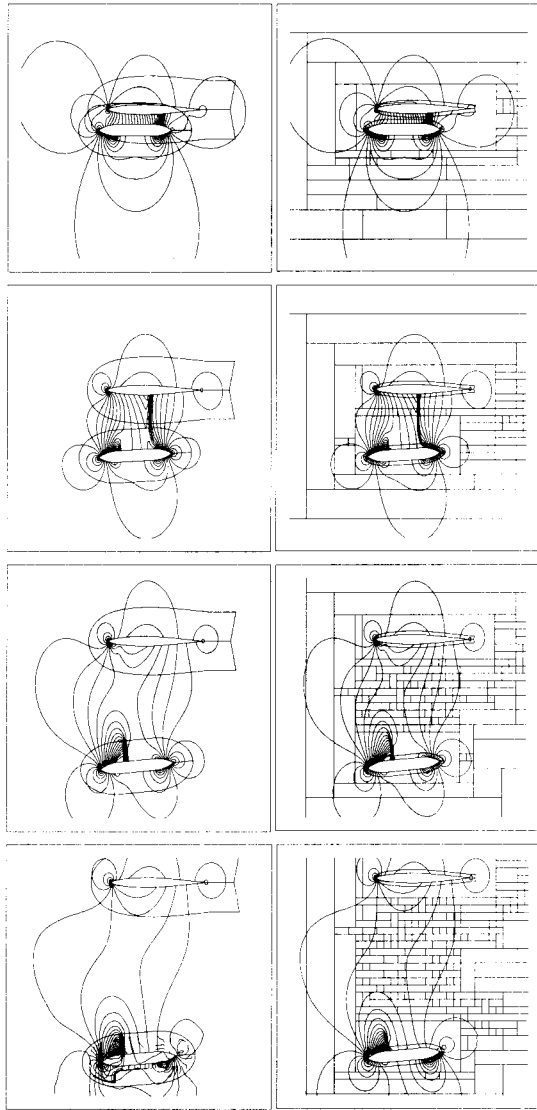


Fig. 15. Pressure contours at $t=0, 10, 16, 20$ (top to bottom), left: Chimera, right: PAsPaR

로 비정상 유동 해석을 위한 초기 격자계이다. Fig. 13과 Fig. 14는 무차원 시간 20일 때의 격자계로 중첩격자법의 경우 스토어가 배경격자계 성근영역으로 접어들어 따라 흘 절단이 제대로 되지 않고 있음을 볼 수 있고 PAsPaR을 이용한 격자계는 유동장의 상태에 따라 자동으로 적응됨을 볼 수 있다.

Fig. 15는 각 시간에 따른 등압력 선도를 나타낸다. 중첩격자법에 의한 결과와 PAsPaR에 의한 결과는 유사하고 다만 충격파의 두께에 차이를 보이며 무차원 시간 20일 때 중첩격자법에

의한 결과는 흘 절단이 제대로 되지 않기 때문에 압력선도가 제대로 나타나지 않는다. Fig. 16은 각각 스토어의 무게 중심의 좌표 및 피칭각의 궤적, 힘과 모멘트 계수의 변화를 비교한 그림이다. 거의 같은 결과를 보여 주고 있다.

Fig. 14와 Fig. 15를 비교해 보면 PAsPaR에 의해 필요이상으로 조밀한 지역이 생기는 것을 볼 수 있다. 이는 PAsPaR이나 ASPaR 모두에 해당된다. PAsPaR이나 ASPaR의 경우 MB라는 가상의 격자계와 실제 격자계로 격자계가 구분된다. 오차 지시자는 실제 격자계에서 조밀화나 병합화가 필요한 셀을 찾게 되는데 이때 조밀화가 필요한 셀이 단 한 개일지라도 이 셀을 포함하는 MB의 가상 셀이 조밀화 됨으로써 결국은 조밀화가 필요한 영역보다 더 넓은 영역이 조밀화 되게 된다. 이 문제는 두기법의 태생적인 한계로 정렬격자계 구조를 이용할 수 있다는 점이 단점이자 장점으로 작용하는 것이다. 그러나 정렬 격자계 자료 구조를 이용할 수 있다는 장점과 필드 그리드를 자동 생성하고 자동 적용할 수 있다는 장점이 더 크다고 볼 수 있다.

VI. 결 론

Meakin의 ASPaR을 바탕으로 중첩격자계와 접합격자계를 사용하여 적응격자기법(PAsPaR)을 개발하였다. OB 영역에서 접합격자기법을 사용함으로써 Meakin의 ASPaR에서 나타나는 물성치의 불연속현상을 방지할 수 있고 또한 비보존 오차를 막을 수 있다. ASPaR 기법은 물체로부터 짧은 거리까지에 걸쳐 형성된 NB 격자계가 주어지면 나머지 유동장의 격자는 자동으로 구성되

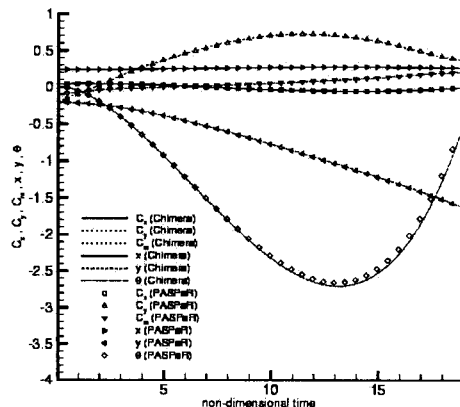


Fig. 16. Store trajectory, force and moment coefficients

로 격자계 구성에 따르는 노력을 줄일 수 있고 상대운동이 있는 유동의 해석에서 격자계의 잘못된 구성으로 삼간점 찾기가 불가능해지는 문제를 막을 수 있다. 이러한 격자구성의 유연성과 함께 자동적인 격자적응 기능을 장점으로 들 수 있다. 정렬격자계의 구조를 사용하면서 격자적응을 시키기 위해서는 셀 단위가 아닌 블록 단위로 적응을 시킬 수밖에 없고 이를 위해서 MB와 같은 가상 셀의 개념을 도입해야 한다. 가상 셀의 수가 늘어나면 메모리에 대한 부담이 증가하므로 단점으로 지적될 수 있지만 수치결과를 보면 격자계의 구성에 많은 이점이 있음을 알 수 있다. 본 방법의 3차원 확장은 'straightforward' 하다. 다만 단점으로 가상 격자계, 즉 MB의 구성에 따른 기억용량의 증가를 지적할 수 있다.

참고문헌

- 1) Steger, J. L., Dougherty, F. C., and Benek, J. A., "A Chimera Grid Scheme," *Advances in Grid Generation*, K.N. Ghia and U. Ghia eds. ASME FED-Vol.5, June 1983.
- 2) Lijewski, L. E. and Suhs, N. E., "Time-Accurate Computational Fluid Dynamics Approach to Transonic Store Separation Trajectory Prediction", *Journal of Aircraft*, Vol. 31, No. 4, 1994.
- 3) Meakin, R. L., "An Efficient Means of Adaptive Refinement Within Systems of Overset Grids", *AIAA Paper 95-1722*, 1995.
- 4) Cho, K. W., Kwon, J. H., and Lee, S., "Development of a Fully Systemized Chimera Methodology for Steady/Unsteady Problems", *Journal of Aircraft*, Vol. 36, No. 6, 1999, pp. 973-980.
- 5) 조금원, "상대운동이 있는 3차원 비정상 유동 해석을 위한 효율적인 중첩격자계 개발", 박사학위논문, 한국과학기술원, 2000.
- 6) Furukawa, M., Yamasaki, M., and Inoue, M., "A Zonal Approach for Navier-Stokes Computations of Compressible Cascade Flow Fields Using a TVD Finite Volume Method", *Journal of Turbomachinery*, Vol. 113, 1991, pp. 573-582.
- 7) 박수형, 성춘호, 권장혁, "압축성 유동에 대한 다중격자 DADI 기법의 수렴성 연구", *한국항공우주학회지* 29권 5호, 2001, pp. 25-32.
- 8) Thibert, J., Grandjacques, M., and Oham, L., "NACA 0012 Airfoil", *AGARD Advisory Report*, 1979.