



CAD 형상 데이터를 이용한 비정렬 격자 자동 생성을 위한 격자셀 크기 지정 기법

이 봉 주,¹ 김 병 수^{*2}

A NEW CELL SIZING METHOD FOR AUTOMATIC UNSTRUCTURED GRID GENERATION USING CAD SURFACE DATA

B.J. Lee¹ and B.S. Kim^{*2}

In this paper a new cell sizing method is proposed. The new method calculates cell size at a point using given size control elements directly without the aid of background grid as other cell sizing algorithms do. The calculation method and related definitions are described in detail, and typical cell sizing results are given.

Key Words : Unstructured mesh generation, Mesh cell size control, Background mesh, Cell sizing

1. 서 론

전산유체역학에 의한 유동 해석을 위해서 필수적으로 수행 되어야 하는 작업인 격자 생성 작업은 안타깝게도 여전히 전산유체역학 기법의 원활한 활용에 방해가 되는 주요 병목점으로 작용하고 있다. 요즘과 같이 유동 계산의 대상이 되는 물체의 형상이 점점 사실적이고 복잡한 형상이 되어 갈수록 격자 생성과 관련된 이 문제는 더욱 그 중요성이 부각되고 있다.

격자 생성 작업과 관련하여 고려되어야 하는 사항은 여러 가지가 있지만, 격자셀의 적절한 크기 조절은 격자의 질 향상을 위해서 뿐만 아니라 궁극적으로 해당 격자계를 이용하여 얻어지는 유동해의 정확도와 효율성을 높이기 위해서 확보되어야 하는 매우 중요한 요건이다. 즉, 유동 변수의 변화가 큰 영역에서는 정확한 유동장 계산을 위해서 작은 크기의 격자셀을 분포시켜야 하고, 상대적으로 유동 변수의 변화가 없는 영역에는 격자셀의 낭비를 막고 계산량을 줄임으로써 효율적인 유동 계산이 이루어지도록 적절하게 큰 크기의 격자셀을 분포시켜야 한다.

격자 생성 작업에서 격자셀의 크기 분포 지정은 격자셀 생

성 작업을 하기 전에 미리 지정되는 것이 일반적이고, 이 경우 격자셀 크기 함수(sizing function)에 의해 유동장내의 임의의 점에서의 격자셀 크기가 $\delta = f(\vec{x})$ 형태의 함수로 계산되게 된다. 여기서 δ 는 격자셀 크기를 의미하고, \vec{x} 는 공간 좌표를 의미한다. 그러나 일반적으로 위와 같이 격자셀의 크기를 해석식의 형태로 공간 좌표의 함수로 지정할 수 있는 경우는 특별한 유동장의 경우를 제외하고는 거의 없고, 대부분의 경우는 유한한 지점에 지정된 크기 정보를 이용하여 선형 내삽 계산을 통하여 구해지게된다. 즉, 사용자의 선택이나 유동장의 기하학적 정보를 이용하여 지정된 유한한 갯수의 격자 조절 요소들로부터 임의의 점에 대한 격자 크기 정보를 계산하게 되는데, 이 때 많은 경우 배경 격자(background grid)를 이용하여 내삽이 이루어진다. 많이 사용되는 배경 격자의 형태로는 2차원 유동장 기준으로 비정렬 삼각형 격자(3차원의 경우는 사면체 격자)를 이용하기도 하고[1,2], quadtree 형식의 비정렬 사각형 격자(3차원의 경우는 octree 형식의 비정렬 육면체 격자)를 사용하거나[3], 또는 정렬 사각형 격자(3차원의 경우는 육면체 격자)를 이용하기도 한다[4].

배경 격자를 이용한 격자 크기 조절법은 비정렬 격자 생성 작업에서 가장 많이 사용되는 방법이지만, 비록 계산 시간이나 계산량이 많지는 않더라도 배경 격자의 생성이 실제 격자 생성과는 별도로 수행이 되어야 한다는 문제점과 함께, 격자 크기를 계산해야 하는 대상점이 속한 격자셀을 찾고 그 셀내에서의 위치에 근거하여 내삽 계산을 수행해야 한다는

1 학생회원, 충남대학교 대학원 항공우주공학과

2 종신회원, 충남대학교 항공우주공학과

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

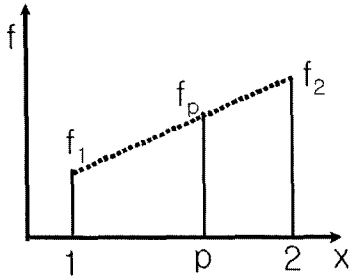


Fig. 1 Linear interpolation

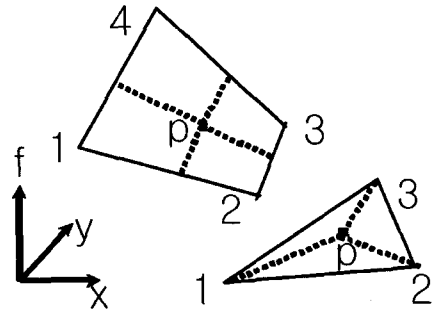


Fig. 2 2-D background mesh case

특징이 있다.

본 연구에서는 지정된 격자 간격 조절 요소(cell size control elements)들을 이용하여 배경 격자의 도움없이 바로 공간상의 임의의 점에 대한 격자셀 크기를 계산할 수 있는 새로운 방법을 제안한다.

2. Grid cell sizing method

2.1 Conventional background mesh approach

격자의 질을 판단하는 기준에는 격자의 찌그러진 정도 (skewness), 가로세로비(aspect ratio), 이웃 격자셀과의 간격비 (spacing ratio) 등 다양한 요소들이 있다. 물론 이러한 격자질 판단 기준을 가능한 한 만족시킬 수 있도록 격자 생성이 이루어져야겠지만, 궁극적으로 전산유체역학 기법에 의한 유동장의 해가 원하는 유동장의 물리적 현상에 대해 의미있고 가능한 한 정확한 결과가 되기 위한 기본적인 요구 조건으로 격자셀의 크기 분포, 즉 격자의 밀도 조절이 적절히 이루어져야한다. 이를 위하여 대부분의 격자 생성 알고리즘은 기본적으로 공간상에 격자 크기 조절 요소들을 분포시키고 이 조절 요소들을 이용하여 적절한 크기의 배경 격자를 생성한 후 각 배경 격자셀의 꼭지점에 크기 정보를 지정해 둔 후, 임의의 점에 대한 격자 크기 계산을 그 점이 속해있는 배경 격자셀을 찾은 후 그 셀내에서 선형 내삽을 통하여 수행하게 된다. 즉, 설명의 편의를 위해서 Fig. 1의 1차원의 예를 이용하여 설명하면 다음과 같다. 공간상의 p점에서의 격자 크기를 계산하기 위하여 p점이 속한 배경 격자, 즉 선분 1-2 요소를 찾은 후 그 요소의 양 끝점에서의 크기 정보인 f_1 과 f_2 를 이용하여 p점에서의 격자 크기인 f_p 를 계산하게 된다. 이를 일반적인 선형 내삽식으로 정리하면 다음과 같다.

$$f_p = w_1 f_1 + w_2 f_2 = \frac{d_{1-2} - d_{1-p}}{d_{1-2}} f_1 + \frac{d_{1-2} - d_{2-p}}{d_{1-2}} f_2$$

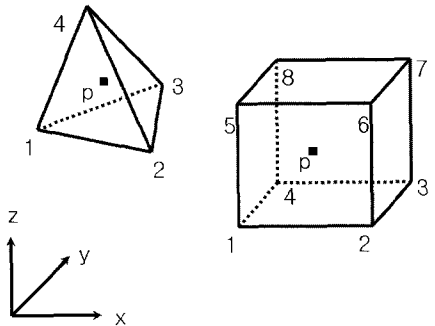
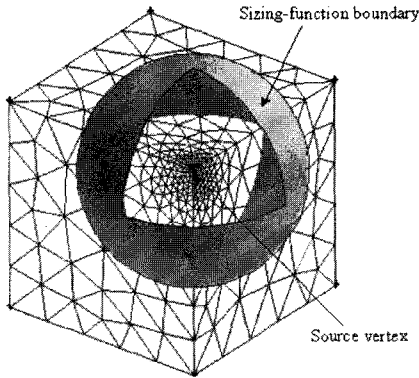


Fig. 3 3-D background mesh case

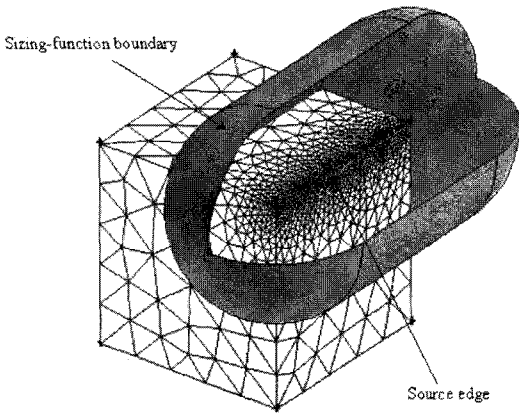
이처럼 1차원의 경우를 2차원으로 확장하면, Fig. 2에 그림으로 나와 있는 것처럼, 삼각형 형상의 배경 격자를 사용하는 경우는 사각형 형상의 배경 격자를 사용하는 경우든 우선 격자 간격 계산을 하고자 하는 p점이 포함된 배경 격자셀을 찾은 후, 해당 격자셀 내에서의 각 꼭지점에 지정된 격자셀 크기 정보로부터 꼭지점들과 p점과의 거리 정보를 이용하여 2차원 선형 내삽을 하게 된다.

이는 Fig. 3에 나온 3차원의 경우도 비슷하게 이루어진다.

이와 같은 배경 격자를 이용한 격자 크기 조절 기법의 경우 각 조절 요소에 대하여 원하는 영역에 한하여 그 영향력을 제한하는 기법과 혼용하기도 하는데, 이러한 기법을 이용한 대표적인 상용 격자 생성 코드로는 Fluent의 전처리 격자 생성 코드에 해당하는 Gambit을 들 수 있다. 즉, Fig. 4(a)에 나와 있는 것처럼 점 요소의 경우 지정된 반경의 구형 경계 내에서만 해당 요소에 의한 격자 간격 조절이 이루어지게 하거나, 선분 요소의 경우 양끝이 반구로 닫힌 실린더 형상의 경계 내에서만 격자 조절이 이루어지도록 하기도 한다[5].



(a) 점 요소



(b) 선분 요소

Fig. 4 Size control element and boundary (Gambit)

2.2 New closeness-based global interpolation method

위에서 살펴본 바와 같이, 배경 격자를 이용한 격자 간격 조절 기법의 경우 공간상에 분포된 격자 조절 요소들 중에서 계산 대상점을 포함하는 배경 격자셀의 꼭지점을 기준으로 격자셀 내부에 대한 선형 내삽을 하는 방식이므로 격자 생성 작업 전에 배경 격자계를 구성해야 한다는 문제와 함께 격자 조절 요소들 중에서 계산 대상점을 포함하는 격자셀의 꼭지점으로 사용되지 않은 조절 요소는 대상점의 격자 간격 계산에서 배제가 된다는 특성을 가지고 있다.

이에 대한 문제점을 설명하기 위해서 2차원의 예로 Fig. 5 를 기준으로 살펴보면, 격자 조절 요소 4개가 있는 그림과 같은 경우 격자 간격 계산 대상점인 p점을 포함하고 있는 배경 삼각형 격자셀 1-2-3의 꼭지점에 해당하는 1, 2, 그리고 3번 요소는 p점에 대한 크기 계산에 사용되지만 p점을 포함하는 배경 격자셀의 꼭지점이 아닌 4번 요소는 그 계산에서 제외된

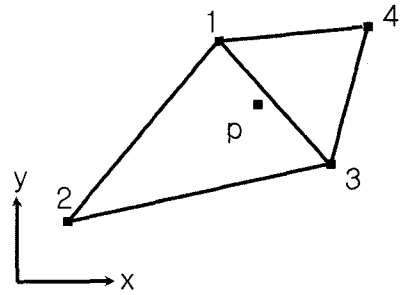


Fig. 5 Background mesh method

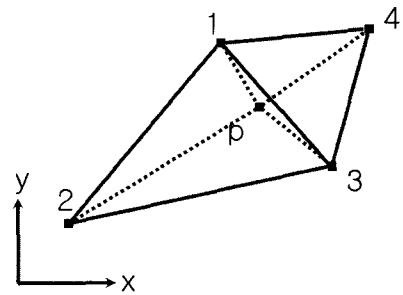


Fig. 6 New sizing method

다. 그러나, 그림에서와 같이 4번 요소가 2번 요소에 비해 오히려 p점에 가깝다는 점을 고려하면 p점에 대한 격자 간격 계산에 4번 요소에 지정된 크기 정보가 오히려 2번 요소에서의 정보보다 더 중시되는 것이 적절할 것이다.

따라서, 본 연구에서는 배경 격자를 생성하는 대신에 유동 장내에 분포된 모든 격자 크기 조절 요소들에 대해서 계산 대상점과의 거리를 기준으로 하여 거리가 가까운 조절 요소의 크기 정보는 더 높은 가중치가 적용되도록 하고, 멀어질수록 가중치가 작아지도록 계산하는 방법을 사용함으로써 위의 Fig. 5에서와 같은 문제점을 배제할 수 있고, 나아가 배경 격자의 생성 필요성도 없앨 수 있다. 이러한 접근법을 위 그림의 경우에 대해서 적용하면 다음과 같다.

Fig. 6과 같이 4개의 격자 조절 요소(점요소)가 분포되어 있는 유동장 영역에 대해서 p점에 대한 격자 크기를 계산하고자 할 경우, 본 연구에서 제안하는 방법에 의하면 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$\delta_p = \sum_{i=1}^4 w_i \delta_i$$

여기서 δ_p 는 p점에서의 격자 크기이고, w_i 는 i-번 격자 조절 요소의 p점에 대한 가중치, 그리고 δ_i 는 i-번 격자 조절 요소에 지정된 격자 크기 정보이다. 그리고 가중치 w_i 들은 다

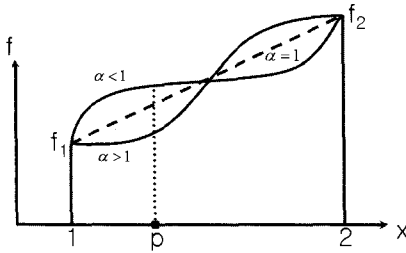


Fig. 7 The effect of α parameter

음과 같은 normalization condition을 만족시켜야 한다.

$$\sum_{i=1}^4 w_i = 1$$

위 식에서 가중치 w_i 를 정하는 방법으로는 각 조절 요소와 대상점 p 와의 거리에 대한 함수이면서 거리가 가까운 조절 요소에 대한 가중치가 상대적으로 먼 요소에 비해서 커야 하고, normalization condition을 만족시켜야 하므로 다음과 같은 식을 사용하는 것이 우선 가능할 것이다.

$$w_i = \frac{1/d_i}{\sum_{k=1}^4 1/d_k}$$

여기서 d_i 는 i -번째 조절 요소와 p 점까지의 거리이다. 위 가중치 관계식은 단지 거리의 역수에 근거한 식인데, 이를 변형하여 격자 크기 조절의 융통성을 확보할 수 있다.

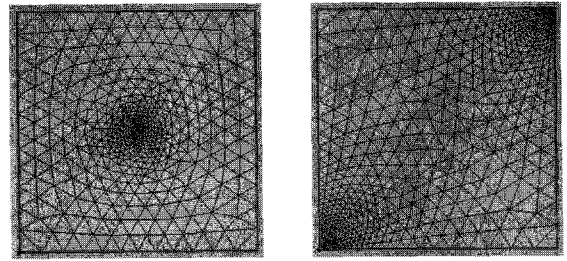
이를 위하여 두 지점간의 근접도(closeness)를 거리의 역수로 정의하자. 즉,

$$c_i = 1/d_i$$

그러면, 다음과 같이 변형된 가중치 식을 사용하여 일반적으로 n 개의 격자 간격 조절 요소를 갖는 유동장에 대한 임의의 점 p 에서의 격자 간격 계산을 함으로써 격자 간격 조절의 다양성을 확보할 수 있게 된다. 즉

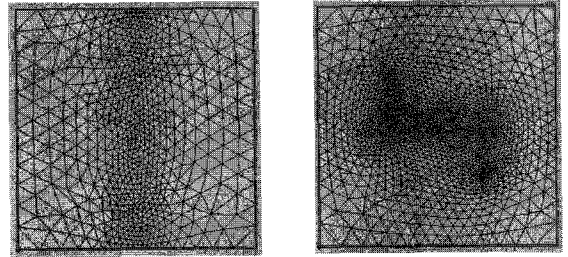
$$\delta_p = \sum_{i=1}^n w_i \delta_i$$

$$w_i = \frac{c_i^\alpha}{\sum_{k=1}^n c_k^\alpha}$$



(a) 점 요소(1개)

(b) 점 요소(2개)



(c) 선 요소

(d) 격인 선 요소

Fig. 8 2차원 격자셀 크기 조절의 예 ($\alpha=2$)

위 식에서 지수 α 는 각 조절 요소의 점 p 에 대한 영향력을 조절할 수 있는 파라미터이고, 그 효과는 Fig. 7에 나와 있는 것처럼 α 가 커질수록 가까운 조절 요소의 영향이 커지고, α 가 작아질수록 그 영향력이 줄어든다. 그리고, 1차원의 경우 $\alpha=1$ 이면 Fig. 7의 점선과 같이 선형 내삽이 된다.

이 방법이 본 연구에서 제안하는 소위 근접도에 근거한 전역 내삽 기법(closeness-based global interpolation method)이고, 이 기법을 사용함으로써 배경 격자 생성 없이도 주어진 격자 조절 요소들에 대한 거리(혹은 그 역수인 근접도)를 이용하여 임의의 점에 대한 격자 크기의 계산이 가능하다. 여기서 격자 조절 요소와의 거리는 각 조절 요소와 계산 대상점과의 최단 거리를 이용한다. 즉, 조절 요소가 선분인 경우 선분에 수직인 거리나 양 끝점과의 거리중 작은 값으로 하는 것을 의미하고 3차원의 경우 조절 요소가 면 요소일 경우에도 비슷하게 주어진 요소와의 최단 거리를 이용한다.

이상과 같은 새로운 격자셀 크기 지정법을 이용하여 정사각형 영역에 대한 격자셀 크기 조절 및 삼각형 격자 생성의 예를 Fig. 8에서 보여주고 있는데, 네 가지 경우 모두 사각형 영역의 네 꼭지점에 상대적으로 큰 값으로 지정된 점 요소가 있는 경우로서, Fig. 8(a)의 경우 중앙에 작은 격자 간격을 지정한 점 요소가 있는 경우이고, (b)의 경우는 대각선 방향의 두 꼭지점에 나머지 두 꼭지점보다 작은 격자 간격의 점 요소를 분포시킨 경우이다. 그리고, (c)의 경우는 수직방향으로 선분 요소를 지정하여 생성된 격자의 예이고, (d)는 중앙에

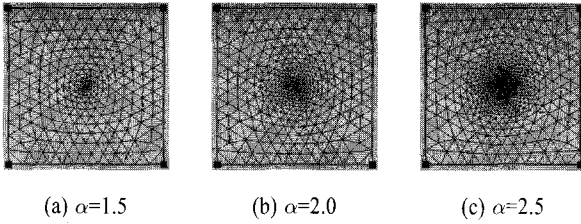


Fig. 9 α -파라미터의 영향

과 γ 자 형상의 선분으로 구성된 선분 요소(γ 형상의 요소)를 분포시킨 경우의 격자 생성 결과이다.

α -파라미터의 효과를 확인해보기 위해 위의 Fig. 8(a)와 동일한 경우에 대해서 α 값만 달리하여 격자 생성을 한 결과가 Fig. 9에 나와 있다. 그림에서 확인할 수 있는 것처럼 α 값이 커질수록 중앙과 주변 내 꼭지점에 분포된 격자 조절 요소의 영향이 멀리까지 미치는 것을 확인할 수 있다.

3. 격자 생성의 예

이상에서 설명한 새로운 격자셀 크기 지정 기법을 이용하여 몇 가지의 서로 다른 격자 간격 조절 요소를 분포시켜서 육면체 영역에 대한 격자 생성을 수행한 결과를 Fig. 10에서 보여주고 있다. 이 격자 생성 결과들은 STL 형식으로 넘어온 CAD 형상 데이터를 입력받은 후 Advancing Front Method에 근거하여 표면 격자계를 자동으로 생성하는 기능을 갖춘 본 저자 소속 연구실에서 개발한 응용프로그램을 이용하여 앞에서 소개한 격자 간격 조절 기법을 적용하여 격자 생성을 수행한 예들이다[6,7].

Fig. 10 (a)와 (b)는 앞의 Fig. 4의 경우와 비슷하게 각각 육면체 영역의 한 꼭지점에 점 요소를 분포시킨 경우와 한쪽 모서리에 선분 요소를 분포시킨 경우의 격자 생성 결과이다. 참고로 본 격자 생성 결과들은 격자 조절 요소의 영향이 미치는 경계 영역을 따로 지정하지 않은 상태에 대한 결과이고, $\alpha = 2$ 를 이용하여 생성된 결과들이다.

Fig. 10(c)와 Fig. 10(d)는 각각 윗면의 중앙에 하나의 점 요소를 분포시킨 경우와 윗면 중앙에서부터 아랫면 중앙 까지 걸쳐있는 선분 요소를 지정한 경우의 격자 생성 결과로서 Fig. 10(c)의 경우는 격자 조절 요소의 영향이 윗면에 한정되어 있는데 반하여 Fig. 10(d)의 경우는 윗면과 아랫면에 모두 영향을 미치고 있음을 보여주고 있다.

한편, Fig. 10(e)와 (f)는 각각 서로 마주보고 있는 윗면 꼭지점에 점 요소들을 분포한 경우와 서로 마주보고 있는 모서리에 선분 요소들을 분포한 경우의 격자 생성 결과들이다.

마지막으로 Fig. 10(g)와 (h)는 육면체 윗면에 각각 육면체

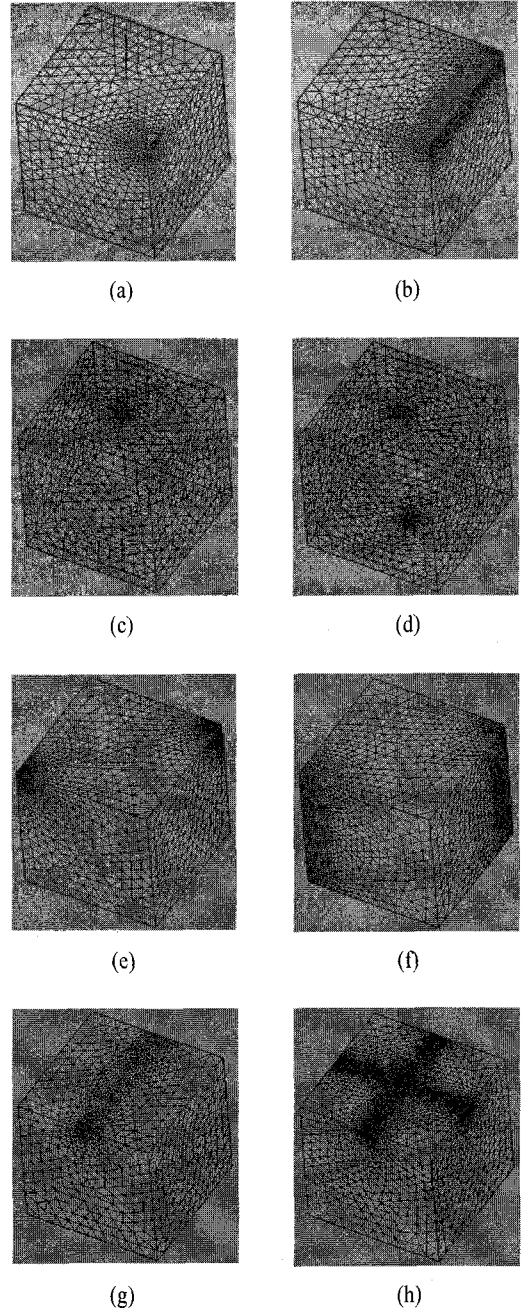


Fig. 10 격자 간격 조절 및 격자 생성 결과의 예

꼭에 해당하는 길이를 갖는 선분 요소를 중앙에 분포시킨 경우와 십자가 형태로 2개를 분포시킨 경우를 보여 주고 있다.

위의 예제들은 표면 격자를 기준으로 보여 주고 있으나, 본 격자셀 크기 지정 기법은 표면 격자 뿐만 아니라 체적 격자 생성에도 바로 적용이 가능한 기법이다.



4. 결 론

본 논문에서는 비정렬 격자 생성에 필요한 격자셀의 크기 지정에 사용할 수 있는 새로운 기법을 제시하였다.

본 기법은 일반적으로 많이 이용되고 있는 배경 격자계에 근거한 기법에 비하여 배경 격자계를 따로 생성할 필요가 없다는 장점과 함께 격자 크기 조절을 위해서 공간상에 분포된 모든 격자 조절 요소들과의 근접도에 근거하여 전역적인 내삽 계산을 통하여 격자 간격이 지정되는 특징을 갖고 있다. 더구나 각 조절 요소들에 대한 가중치 계산식에 사용된 α -파라미터를 조절함으로써 격자 간격 조절의 융통성과 추가적인 격자셀 크기 조절 기능을 가질 수 있다는 장점을 가지고 있다.

후 기

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

참고문헌

- [1] 2002, Zhu, J., Blacker, T. and Smith, R., "Background Overlay Grid Size Function," *11th International Meshing Roundtable, Ithaca, New York, USA.*
- [2] 1993, Pirzadeh, S., "Structured Background Grids for Generations of Unstructured Grids by Advancing-Front Method," *AIAA Journal*, Vol.31, No.2, pp.257-265.
- [3] 2004, Deister, F., Tremell U., Hassan, O. and Weatherill, N., "Fully automatic and fast mesh size specification for unstructured mesh generation," *Engineering with Computer*, Vol.20, pp.237-248.
- [4] 1990, Parikh, P., Pirzadeh, S. and Lohner, R., "A Package For 3-D Unstructured Grid Generation, Finite-Element Flow Solution and Flow Field Visualization," *NASA Contractor Report 182090.*
- [5] *Gambit 2.1 Documentation*, Fluent Inc..
- [6] 2007, 이봉주, 김병수, "CAD 형상 데이터를 이용한 물체 표면 삼각형 격자의 자동 생성 기법," *한국전산유체공학회 2007년 춘계학술대회*, 건국대학교.
- [7] 2007, Lee, Bong-Ju and Kim, Byoungsoo, "3D Surface Reconstruction and Preprocessing for Flow Calculation," *JSASS-KSAS Joint International Symposium on Aerospace Engineering*, Kitakyushu, Japan.