

형상 보간을 이용한 유한요소 격자생성

이 원 양*, 최 영**, 조 성 육**

* : 중앙대학교 대학원 기계공학과

** : 중앙대학교 기계설계학과

ABSTRACT

A three dimensional FE mesh generation scheme based on mapping approach is proposed in this study. A volume in Euclidian space is represented by composite hyperpatches which are piecewise cubic functions with parameters u, v, w . A key idea in the proposed approach is that sampled grid data points only on the boundary surfaces are needed for the shape representation. Inner points which are necessary to form a hyperpatch are internally generated by Coons patches. This approach is most appropriate for the shapes which are compositions of hexahedron-like shapes and also severely curved.

1. 서론

최근 급격한 발전을 이루한 전산기의 개발에 힘입어 수치 시험의 방법이 매우 중요하게 되었다. 기계설계나 구조물의 진동 등 공학 전반에 있어서 유한요소법은 가장 일반적인 범 8 해석 방법으로 인식되고 있다. 유한요소 해석을 위해서는 선형자료로부터 효율적인 요소 격자를 생성할 필요성이 증가하고 있다. 정밀한 해석의 필요성과 저가의 고성능 전산기가 보급됨에 따라 과거에는 시도할 수 없었던 고밀도의 유한요소 격자의 생성이 필요하게 되었다. 유한요소 격자의 효율적인 격자의 생성이 필요하게 되었다. 유한요소 격자의 효율적인 생성은 유한요소해석에 관한 전문 지식이 부족한 실무 사용자를 위한 배려의 측면과 더불어 최적격자의 자동 생성, 비선형 해석을 위한 격자 재생성 등을 위해 그 필요성이 증가하고 있다.

현재 여러가지 이론[1,8,9,10,11]에 기초하여 유한요소 격자를 생성하는 기술이 연구되고 있다. 각각의 이론과 방법은 그 장단점이 있다. 그러나 여러가지 효율적인 측면을 고려하여 실제의 상용 프로그램에서 사용하는 격자 생성방법은 사상법 (Mapped Element Approach)에 기초한 방법이다. 이 방법은 먼저 해석 영역을 세 면이나 네 면으로 둘러싸인 여러 개의 영역으로 분할해야 한다. 각 영역에 대한 요소의 생성은 매개 변수 영역에서 생성된 요소를 사상(mapping)함으로써 이루어진다. 이 방법은 사용하려면 사상시키는 방법을 결정하여야 한다. 현재 2차원 격자 생성을 위해서는 보통 쿠스 패치 (Coons Patch)[2]를 이용하고 있다. 이 방법에 의하면 격자생성을 위한 영역의 경계선을 기준으로하여 내부의 요소를 생성하기 때문에 경계면은 물론 영역의 내부를 정확하게 표현하지 못하는 한계가 있다. 분할 영역간의 연속성이 필요한 경우에는 3차 혹은 고차의 보간함수(cubic or higher order splines)를 사용하게 된다.[3]

3차원 요소격자를 사상법에 의하여 생성하려는 연구도 계속되고 있다. 현재는 3차원 영역 (사상공간에서는 정육면체)의 각각의 변을 기준함수로 하여 격자를 생성하고 있는 단계이다. 따라서 분할 영역의 표면조차 정확히 표현하지 못하는 한계를 지니게 된다. 이를 개선하기 위해서는 3차원 공간내의 모든 위치를 표현할 수 있는 사상함수의 도입이 필요하게 된다.

본 연구는 1994년도 교육부 기계공학과 학술연구 조성비 (과제 번호 : ME94-E-13)의 지원으로 수행되었음.

본 연구에서는 3차원 요소 격자생성을 위하여 복합 하이퍼패치 (composite hyperpatch)를 사상함수로 사용하여 유한요소를 자동생성하는 방법을 연구하였다. 복합 하이퍼패치는 분할된 공간 내의 주어진 점들을 기준으로하여 전체 공간의 위치를 효율적으로 표현할 수 있는 방법이다.

2 차원 문제의 경우에는 보통 4각형 혹은 3각형의 형상을 갖는 매개변수 영역을 유사한 형상의 곡면으로 mapping 하는 방법을 사용한다. 이를 위해서 복잡한 형상의 곡면일 경우에 4각형 혹은 3각형의 기본형상으로 해석모델을 분할하는 작업이 필요하게 된다. 3차원 문제의 경우에도 이와 유사하게 해석모델을 기본적인 3차원 형상인 6면체로 분할하여 모델링하는 과정이 필요하게 된다. 3차원 영역을 매개변수식으로 표현하기 위한 방법으로는 여러가지가 있을 수 있으나 본연구에서는 해석모델의 경계점을 셈플링하고 내부의 격자점을 쿠스패치 보간법을 이용하여 추정한 다음 이 점들을 u, v, w 세 방향으로 동시에 보간하는 방법을 사용하고자 한다.

이와같은 방식으로 해석모델을 표현한 후에는 각각의 매개변수영역에서 다양한 분할방법에 의해 해석모델 전체에 대한 유한요소격자 데이터를 손쉽게 구할 수 있다.

2. 내부 보간점의 생성

2.1 쿠스패치

쿠스패치는 네개의 경계 곡선을 선형 보간하여 곡면식을 얻는 것이다. 그림 2.1에서 네개의 경계 곡선의 매개변수 u, v 는 모두 $0 \leq u \leq 1, 0 \leq v \leq 1$ 의 범위를 갖고 경계곡선의 표현식을 이용하여 내부의 임의의 점에 대한 보간식은 다음과 같다.

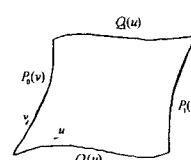


그림 2.1 네개의 경계곡선과 쿠스패치

$$P(u, v) = (1-u)P_0(v) + uP_1(v) + (1-v)Q_0(u) + vQ_1(u)$$

$$-(1-u)(1-v)P_{0,0} - u(1-v)P_{1,0} - (1-u)vP_{0,1} - uvP_{1,1}$$

$$0 \leq u \leq 1, \quad 0 \leq v \leq 1$$

$$(2.1)$$

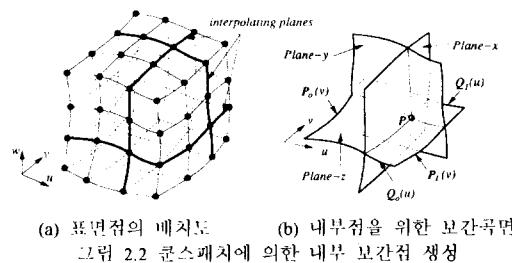
코스페치는 꼭면 내부의 불록한 정도를 직접 조절하기는 어려우나 그 형태의 간결성으로 널리 사용된다.

2.2 꼭면 보간점의 생성

코스페치로 유한요소 격자를 생성하기 위한 내부 보간점을 표현하는데 큼 오차가 없으므로 식 (2.1)에서 꼭선의 보간점을 포함하여 그림 2.1의 내부에 보간점을 생성시킬 수 있다. 표면 보간점의 생성은 큼들이 접촉하는 면에서만 필요하므로 외부 표면의 복잡성과는 별개로 취급하여 구분하여야 한다.

2.3 내부 보간점의 생성

꼭면에 대한 코스페치의 아이디어를 이용하여 부피내부의 보간점을 그림 2.2에서처럼 *plane-x*, *plane-y*, *plane-z* 방향의 꼭면 보간점의 평균값으로 정한다.



3. 복합 하이퍼페치를 이용한 부피의 표현

3.1 하이퍼페치 모델

3차원 매개변수 공간에서 u, v 및 w 에 의해 표현된 육면체 모양의 매개변수 영역을 x, y 및 z 에 의해 표현된 모델링 영역으로 매핑할 때 얻어진 결과적인 솔리드를 매개변수 솔리드(parametric solid) 또는 하이퍼페치(hyperpatch)라고 한다[4,5].

일반적으로 하이퍼페치는 u, v 및 w 의 매개변수 구간을 각각 0에서 1까지로 설정한 단위 육면체로 모델링한다. 그림3.1은 한수 $p(u,v,w)$ 에 의해서 매개변수 좌표계에서의 단위 육면체가 직교 좌표계로 매핑되는 예를 보여준다. 직교 좌표계에서의 각 고너 포인트와 꼭선, 곡면들은 매개변수 좌표계에서 단위 육면체의 고너 포인트와 에즈와 면에 해당된다.

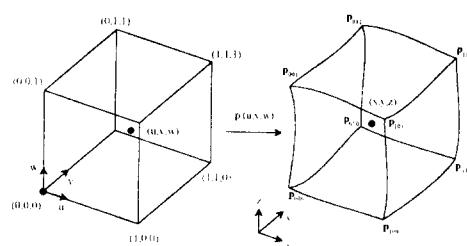


그림3.1 Mapping of a parametric space into a modeling space

하이퍼페치를 높은 차수의 다항식으로 표현할 수도 있지만 각 매개변수에 대한 3차 다항식이면 실제적인 응용에 충분하다. 매개변수 영역에서 모델링 영역으로의 매핑은 u, v 및 w 에 대한 3차식(tricubic)을 사용하고 나옵과 같이 고너 포인트에서의 좌표, u, v 및 w 방향으로의 접선벡터, 트위스트 벡터(twist

vector) 그리고 triple mixed partial을 이용하면

- 고너 좌표 $\mathbf{p} = \mathbf{p}(u, v, w)$
 - 접선 벡터 $\mathbf{p}'^u = \frac{\partial \mathbf{p}}{\partial u}, \mathbf{p}'^v = \frac{\partial \mathbf{p}}{\partial v}, \mathbf{p}'^w = \frac{\partial \mathbf{p}}{\partial w}$
 - 트위스트 벡터 $\mathbf{p}'''^{uv} = \frac{\partial^2 \mathbf{p}}{\partial u \partial v}, \mathbf{p}'''^{vw} = \frac{\partial^2 \mathbf{p}}{\partial v \partial w}, \mathbf{p}'''^{uw} = \frac{\partial^2 \mathbf{p}}{\partial u \partial w}$
 - triple mixed partial $\mathbf{p}'''''^{uvw} = \frac{\partial^3 \mathbf{p}}{\partial u \partial v \partial w}$
- (3.1)

하이퍼페치는 다음과 같은 식에 의해 표현된다.

$$\mathbf{p}(u, v, w) = \begin{bmatrix} \mathbf{U} \mathbf{M} \mathbf{B}_0 \mathbf{M}^T \mathbf{V}^T \\ \mathbf{U} \mathbf{M} \mathbf{B}_1 \mathbf{M}^T \mathbf{V}^T \\ \mathbf{U} \mathbf{M} \mathbf{B}_2 \mathbf{M}^T \mathbf{V}^T \\ \mathbf{U} \mathbf{M} \mathbf{B}_3 \mathbf{M}^T \mathbf{V}^T \end{bmatrix}^T \mathbf{M}^T \mathbf{W}^T$$

for $u, v, w \in [0, 1]$

(3.2)

여기서

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} u^3 & u^2 & u & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} v^3 & v^2 & v & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} w^3 & w^2 & w & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} 2 & -2 & 1 & 1 \\ -3 & 3 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B}_0 = \begin{bmatrix} \mathbf{p}_{000} & \mathbf{p}_{010} & \mathbf{p}_{000}^v & \mathbf{p}_{010}^v \\ \mathbf{p}_{100} & \mathbf{p}_{110} & \mathbf{p}_{100}^v & \mathbf{p}_{110}^v \\ \mathbf{p}_{000}^u & \mathbf{p}_{010}^u & \mathbf{p}_{000}^w & \mathbf{p}_{010}^w \\ \mathbf{p}_{100}^u & \mathbf{p}_{110}^u & \mathbf{p}_{100}^w & \mathbf{p}_{110}^w \end{bmatrix}$$

3.2 C^2 연속 복합 하이퍼페치

모델링하고자 하는 3차원 형상이 복잡하여 단일 하이퍼페치 만으로는 모델링하기 힘든 경우에 형상을 임의적으로 분할하여 여러개의 하이퍼페치의 조합으로 표현할 수 있다. 이 때 각 하이퍼페치간의 경계면에서 연속성을 고려하여야 하는데 본 연구에서는 매개변수 C^2 연속을 만족시키도록 한다.

그림3.2에는 하이퍼페치 r^1 과 u 방향으로 연결되어있는 하이퍼페치 r^2 , v 방향으로 연결되어있는 하이퍼페치 r^3 , w 방향으로 연결되어있는 하이퍼페치 r^4 가 도시되어있다. 각각의 경계면(유령 처리된 면)에서 C^2 연속이 되기 위해서는 다음의 조건이 만족되어야 한다.

$$\begin{aligned} r_{uu}^1(1, v, w) &= r_{uu}^2(0, v, w) \\ r_{vv}^1(u, 1, w) &= r_{vv}^3(u, 0, w) \\ r_{ww}^1(u, v, 1) &= r_{ww}^4(u, v, 0) \end{aligned}$$

(3.3)

식 (3.3)의 첫 식을 전개하여 u 에 대한 2차 도함수를 계산하여 대입하면, u 방향으로의 C^2 연속조건식이 다음과 같이 유도된다.

• 8개의 측면과 모너에서의 triple mixed partial

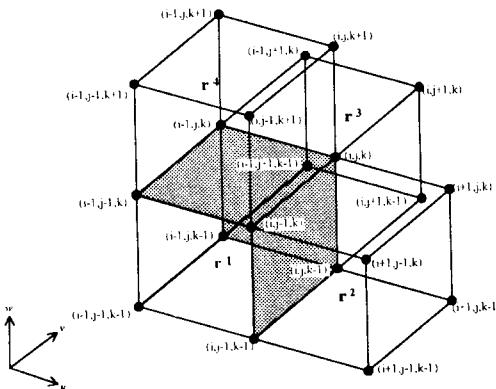


그림 3.2 Continuity across hyperpatch cell boundaries

$$\mathbf{p}_{i-1,j,k}'' + 4\mathbf{p}_{i,j,k}'' + \mathbf{p}_{i+1,j,k}'' = 3(\mathbf{p}_{i+1,j,k} - \mathbf{p}_{i-1,j,k}) \quad (3.4a)$$

$$\mathbf{p}_{i-1,j,k}''' + 4\mathbf{p}_{i,j,k}''' + \mathbf{p}_{i+1,j,k}''' = 3(\mathbf{p}_{i+1,j,k}''' - \mathbf{p}_{i-1,j,k}''') \quad (3.4b)$$

$$\mathbf{p}_{i-1,j,k}''' + 4\mathbf{p}_{i,j,k}''' + \mathbf{p}_{i+1,j,k}''' = 3(\mathbf{p}_{i+1,j,k}''' - \mathbf{p}_{i-1,j,k}''') \quad (3.4c)$$

$$\mathbf{p}_{i-1,j,k}''' + 4\mathbf{p}_{i,j,k}''' + \mathbf{p}_{i+1,j,k}''' = 3(\mathbf{p}_{i+1,j,k}''' - \mathbf{p}_{i-1,j,k}''') \quad (3.4d)$$

동일한 방법으로, 식 (3.3)의 두 번째 식, 즉 v 방향으로의 C^2 연속조건이 다음과 같이 유도된다.

$$\mathbf{p}_{i,j-1,k}'' + 4\mathbf{p}_{i,j,k}'' + \mathbf{p}_{i,j+1,k}'' = 3(\mathbf{p}_{i,j+1,k} - \mathbf{p}_{i,j-1,k}) \quad (3.5a)$$

$$\mathbf{p}_{i,j-1,k}''' + 4\mathbf{p}_{i,j,k}''' + \mathbf{p}_{i,j+1,k}''' = 3(\mathbf{p}_{i,j+1,k}''' - \mathbf{p}_{i,j-1,k}''') \quad (3.5b)$$

$$\mathbf{p}_{i,j-1,k}''' + 4\mathbf{p}_{i,j,k}''' + \mathbf{p}_{i,j+1,k}''' = 3(\mathbf{p}_{i,j+1,k}''' - \mathbf{p}_{i,j-1,k}''') \quad (3.5c)$$

$$\mathbf{p}_{i,j-1,k}''' + 4\mathbf{p}_{i,j,k}''' + \mathbf{p}_{i,j+1,k}''' = 3(\mathbf{p}_{i,j+1,k}''' - \mathbf{p}_{i,j-1,k}''') \quad (3.5d)$$

마지막으로 식 (3.3)의 세 번째 식인, w 방향의 C^2 연속성을 고려하기 위해서 하이퍼페치식의 w 에 대한 2차 도함수를 구하려면 C^2 연속조건식은 아래와 같다.

$$\mathbf{p}_{i,j,k-1}'' + 4\mathbf{p}_{i,j,k}'' + \mathbf{p}_{i,j,k+1}'' = 3(\mathbf{p}_{i,j,k+1} - \mathbf{p}_{i,j,k-1}) \quad (3.6a)$$

$$\mathbf{p}_{i,j,k-1}''' + 4\mathbf{p}_{i,j,k}''' + \mathbf{p}_{i,j,k+1}''' = 3(\mathbf{p}_{i,j,k+1}''' - \mathbf{p}_{i,j,k-1}''') \quad (3.6b)$$

$$\mathbf{p}_{i,j,k-1}''' + 4\mathbf{p}_{i,j,k}''' + \mathbf{p}_{i,j,k+1}''' = 3(\mathbf{p}_{i,j,k+1}''' - \mathbf{p}_{i,j,k-1}''') \quad (3.6c)$$

$$\mathbf{p}_{i,j,k-1}''' + 4\mathbf{p}_{i,j,k}''' + \mathbf{p}_{i,j,k+1}''' = 3(\mathbf{p}_{i,j,k+1}''' - \mathbf{p}_{i,j,k-1}''') \quad (3.6d)$$

3.3 하이퍼페치 모델링을 위한 3차원 격자 데이터의 보간

3.3.1 경계조건의 가정

3차원 솔리드 형상을 모델링 하기 위해 $(l+1)*(m+1)*(n+1)$ 개의 격자 형태의 측정 데이터가 주어진 경우, 이 데이터들을 세 방향으로 부드럽게(C^2 연속) 보간하고자 한다. 이때 주어진 데이터 좌표 이외에도 다음과 같은 추가 경계조건이 필요하다.

- $(l+1)*(m+1)+(l+1)*(n+1)+(m+1)*(n+1)$ 개의 보간곡선 양단에서의 접선 벡터
- $(l+1)*(m+1)*(n+1)$ 개의 보간곡면 모너에서의 트위스트 벡터

본 연구에서는 보간곡면 모너에서의 트위스트 벡터와 측면과 모너에서의 triple mixed partial의 값을 0으로 가정하였다. 접선 벡터를 지정하는 방법으로는 양단에서의 원호 보간, 2차 혹은 3차의 나향식 보간, 곡률이 0이 되도록 하는 free-end 조건 등이 사용될 수 있다.

주어진 격자 형태의 데이터 포인트와 가정된 경계조건들을 만족하고 식 (3.4), (3.5) 및 식(3.6)로 표현되는 C^2 연속 조건을 만족하는 각 하이퍼페치에 대한 접선 벡터와 트위스트 벡터 그리고 triple mixed partial이 계산되어야 한다.

3.3.2 접선 벡터의 계산

하이퍼페치의 모서리를 나타내는 에즈는 같은 방향으로 있는 인접 하이퍼페치의 에즈와 C^2 연속이어야 한다. 곡선의 판점에서 보면 이것은 한 방향으로 정렬된 데이터 포인트들을 부드럽게 연결하는 3차 스플라인을 생성하는 것이다. 아래에 free-end 조건과 C^2 연속 조건을 사용하여 각 축방향 데이터 포인트들을 연결하는 보간곡선을 생성하기 위한 접선 벡터를 계산한다.

3.3.3 트위스트 벡터의 계산

보간곡면 모너를 제외한 모든 모니에서의 트위스트 벡터의 계산은 각 매개변수 방향으로 두 단계에 걸쳐서 계산하여야 한다. 먼저 보간곡면의 모너에서의 트위스트 벡터로부터 경계 에즈에서의 트위스트 벡터를 구하고 이로부터 보간곡면 내부에서의 트위스트 벡터를 계산한다[6].

3.3.4 Triple mixed partial의 계산

최외곽 모너를 제외한 모든 모니에서의 triple mixed partial의 계산은 각 매개변수 방향으로 다음 세 단계의 절차를 따라 순차적으로 구한다. 먼저 최외곽 모너에서의 triple mixed partial로부터 경계 에즈에서의 triple mixed partial을 구하고 이로부터 최외곽 경계면에서의 triple mixed partial을 구한다. 마지막으로 하이퍼페치 내부의 전 영역에서의 triple mixed partial을 계산한다.

이상의 방법으로 각 하이퍼페치를 구성하는 모든 기하학적 상수들이 구해지고 하이퍼페치간의 경계에서는 C^2 연속조건이 만족된다.

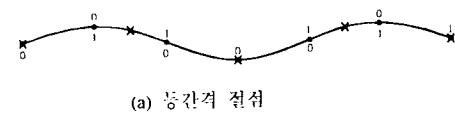
4. 격자 데이터의 생성

4.1 단위 블록의 유한요소 격자 생성

6개의 경계면에 대한 보간곡의 좌표와 쿠스페치에 의한 내부 보간점이 결정되면 복합 하이퍼페치 표현에 의해서 부피의 전 영역이 블록별 3 차의 매개 변수식으로 표현된다. 그리고 한 블록의 매개변수 u, v, w 방향에 대한 유한요소 절점의 갯수 및 비율 간격이 결정되면 유한요소 격자가 어떻게 생성되는지 고찰해 보자.

4.1.1 유한요소 절점 좌표

보통 유한 요소 해석에서는 등비율로 또는 등간격으로 절점을 생성하게 되므로 매개변수 구간 0에서 1까지의 범위 내에서 규칙적으로 얻어 질 수 있다.



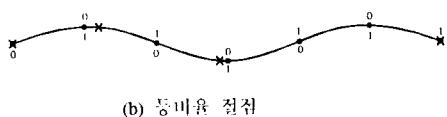


그림 4.1 원리데이터 point [•]와 요소의 절점[×]

매개변수 u 방향을 따라 절점의 갯수가 nx 개이고 v 방향을 따라 절점의 갯수가 ny 개이고 w 방향을 따라 절점의 갯수가 nz 개라면 하나하나의 격자의 기준이 되는 점(각 매개변수가 0인 위치)으로부터 각각 0부터 1 사이의 어떤 값을 갖게 되는데, 필요로 하는 위치에서의 유한요소 절점을 구하기 위해서는 격자의 어느 기준점의 매개변수 영역에 포함되는지를 깊이해서 세로운 매개변수값으로 유한요소를 이루는 절점의 좌표를 생성 시킨다.

4.1.2 절점의 numbering 및 유한요소 격자 생성

한 블럭에 대하여 생성되는 절점의 갯수는 $nx \times ny \times nz$ 개이고 다음과 같이 생성된다.

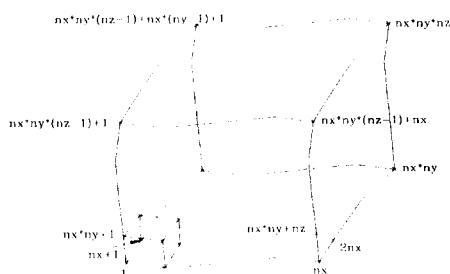


그림 4.2 절점의 numbering



그림 4.3 일반적인 8node-element

8 절점 요소를 생성하기 위해 u, v, w 방향으로 각각 i, j, k 번째에 위치하고 있다면 그림 4.3에서

1. $\rightarrow ((i-1) \times ny + j - 1) \times nx + k$ 로.
2. $\rightarrow ((i-1) \times ny + j - 1) \times nx + k + 1$.
3. $\rightarrow ((i-1) \times ny + j) \times nx + k + 1$.
4. $\rightarrow ((i-1) \times ny + j) \times nx + k$.
5. $\rightarrow (i \times ny + j - 1) \times nx + k$.
6. $\rightarrow (i \times ny + j - 1) \times nx + k + 1$.
7. $\rightarrow (i \times ny + j) \times nx + k + 1$.
8. $\rightarrow (i \times ny + j) \times nx + k$ 로 각각 대응시켜 격자를 이루는 절점들의 번호를 일관화 시켰다.

4.2 복합 블럭의 유한요소 격자 생성

현실적으로 단일 블럭의 변형으로는 복잡한 형상의 표현이 불가능하므로 여러개의 블럭이 조합된 형상의 표현이 가능하

여야하고 이로부터 유한요소 격자가 생성되어야 한다.

각 블럭에 대하여 필요로 하는 보간점은 여섯개의 경계면들 중 다른 블럭과 접촉하지 않는 경계면에 대한 좌표들이므로, 각 블럭을 독립적으로 하이퍼캐치를 적용하기 위하여 먼저 인접하고 있는 블럭과 접촉하고 있는 모서리 좌표를 검출 및 교환한 다음, 식 (2.1)에서 각 블럭의 접촉면과 내부 보간점을 생성한다.

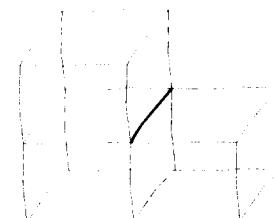


그림 4.4 접촉하고 있는 블럭

각 블럭을 독립적인 것으로 간주하므로 앞서 논한 단일 블럭과 똑같이 하이퍼캐치를 적용시키지만 앞서 논한 단일 블럭과 같은 무언을 거치게 된다. 그러나 유한요소 격자를 생성하기 위해서는 모든 블럭내에서 요소를 이루는 절점 고유번호가 유일해야 하지만 같은 좌표를 서로 다른 절점번호로 인식할 수 있다. 그러므로 절점을 일반화 시킬 때도 접촉하고 있는 다른 블럭과 접촉면의 절점좌표를 검색해야만 한다. 접촉면의 절점간의 거리가 특정값보다 작은 경우 같은 절점으로 인식하도록 하여 모든 블럭에서 유일한 절점을 생성하여 유한요소 격자를 얻을 수 있다.

5. 예제

몇 가지 형상을 위의 표면 데이터에 의해 정의하고 본 연구에서 제안한 방법에 의해서 격자데이터를 생성하였다. 결과 데이터를 ANSYS 포맷으로 생성하여 디스플레이한 결과이다. 그림 5.1에서 5.3까지는 등간격으로 생성되고 그림 5.4는 비규수로 생성된 것이다.

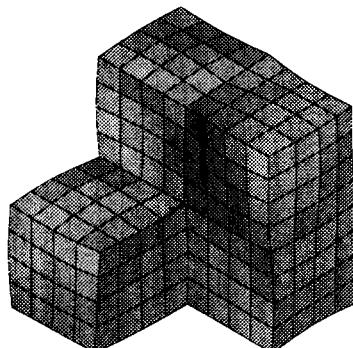


그림 5.1

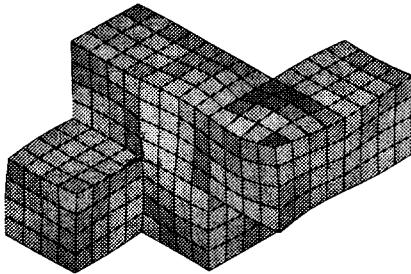


그림 5.2

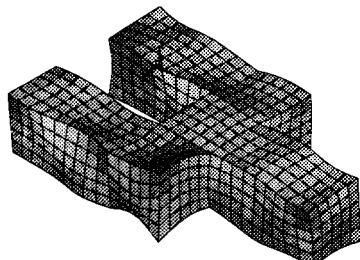


그림 5.3

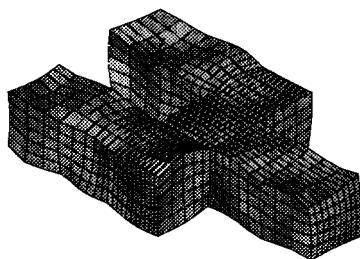


그림 5.4

6. 결론

본연구에서는 3차원 형상의 경계면에서 샘플링된 데이터를 이용하여 자유로운 형상의 부피를 수학적으로 표현하고, 이로부터 유연체 요소를 자동생성하는 프로그램을 개발하였다.

경계면에서 샘플링된 데이터로부터 전체 부피를 수학적으로 표현하기 위하여 코스페치 아이디어와 복합 3차 하이퍼페치를 이용하였다. 복합 3차 하이퍼페치 표현을 위해서는 전체 부피 구간에서 격자점 데이터가 필요하다. 그런데 본연구에서 제안한 방법에서는 경계면에서의 데이터만 주어지므로 부피 내부의 격자점을 생성해야 하고 이를 위해서 코스페치를 이용하였다. 이로써 세기의 매개변수 u, v, w 에 의해서 부피가 원리하게 수학적으로 표현되므로 매핑을 이용하여 등간격 혹은 등비급수 등의 원의의 조건을 만족하는 격자를 생성하는 것이 가능하다.

본연구에서 제안된 방법은 특히 자유로운 형상의 격자생성에 효과적이다. 특히 수식으로 표현하기 힘든 자유로운 형상의 실물만이 존재할 때 디지털ай저를 이용하여 정해진 패턴의 표면 데이터를 측정함으로써 유한요소 격자를 생성 할 수 있다.

***참고문헌

- [1] Yeung, S F and Hsu, M B "A mesh generation method based on set theory" Comput. & Struct. Vol 3 (1973) pp 1063 - 1077
- [2] Coons, S A "Surfaces for computer-aided design of space forms" Technical Report MAC-TR 44 MIT, Cambridge, MA, USA (1967)
- [3] Barnhill, R E, Birkhoff, G and Gordon, W J "Smooth interpolation in triangles" J. Approx. Theory Vol 8 (1973) pp 114 - 128
- [4] Michael E. Mortenson, Geometric Modeling, John Wiley & Sons, 1985
- [5] Ibrahim Zaid, CAD/CAM Theory and Practice, McGraw-Hill, 1991
- [6] Byoung K. Choi, Surface Modeling for CAD/CAM, Elsevier Science Publishers B.V., 1991
- [7] Steven C. Chapra, Raymond P. Canale, Numerical Methods for Engineers 2nd edition, McGraw-Hill, 1989
- [8] Zienkiewicz, O C and Phillips, D V "An automatic mesh generation scheme for plane and curved surfaces by 'isoparametric' co-ordinates" Int. J. Numer. Meth. Eng. Vol 15 (1971) pp 519 - 528
- [9] Cohen, H D "A method for the automatic generation of triangular elements on a surface" Int. J. Numer. Mesh. Eng. Vol 15 (1980) pp 470 - 476
- [10] 채 수원, "유한요소 해석에서의 전후 처리 시스템", 전산 고체 역학 워크샵 자료 논문 모음, 한국 과학 기술원, 1991.7
- [11] K Ho-Le, "Finite element mesh generation methods: a review and classification", computer-aided design, volume 20 number 1 january/february (1988)