

# 등고선 데이터를 이용한 산악지형 유동해석 격자생성 프로그램 개발 및 그 응용

진 상 문<sup>\*1</sup>, 원 찬 식<sup>\*2</sup>, 허 남 건<sup>\*3</sup>

## The development of a mesh generation program using contour line data

S. M. Chin, C. S. Won and N. Hur

In the present study a mesh generation program has been developed by using DXF file. The program consists of DXF file reading and mapping algorithm, which projects the 2-D mesh point onto the triangular surface constructed by nearest three points. The present program has been tested for mesh generations for the road tunnel ventilation analysis and analysis of lava movement in mountain area.

**Key Words:** Mesh generation(격자 생성), Contour line(등고선), DXF file(DXF 파일)

### 1. 서 론

전산 유체 역학은 컴퓨터의 급속한 발달과 유동 해석기술의 발전으로 인해, 그 응용 범위가 산업 전반에 걸쳐 확대되고 있으며, 다양한 CFD 상용 프로그램들이 나와 있다. 대부분의 CFD 해석 프로그램들은 일반적으로 격자를 생성하는 전처리장치(pre-processor), 생성된 격자를 사용하여 유동을 해석하는 해석 모듈(solver), 그리고 계산결과를 나타내는 후처리장치(post-processor)로 구성된다. 이 중, 계산 격자를 생성하는 전처리 과정은 계산 모델의 형상이 복잡해짐에 따라 많은 시간과 노력이 소모되고 있는 실정이다. 특히 대기 유동 해석의 경우, 대상 지형의 정확한 묘사는 해석 정확도의 중요한 변수가 되는데, 산악 지형은 격자를 생성하는 데 많은 시간이 소모된다. 또한 대형 건축물 주위의 유동 해석의 경우에도, 대부분의 도면이 캐드파일 형식으로 정의되어 있어서 계산 격자를 생성하는 전처리 과정

에 많은 시간이 소모된다. 이런 문제점을 보완하기 위해서 본 연구에서는 캐드 파일 형식의 지형도 및 건축 도면을 이용하여 계산 격자를 자동적으로 생성하는 프로그램을 개발하였다.

프로그램은 본 연구실에서 CFD Package 프로그램 개발의 일환으로 제작하고 있는 범용 3차원 유동 해석 프로그램<sup>[1-2]</sup>에서 사용될 전처리 장치에 첨가되었다.

### 2. 프로그램 설명

#### 2.1 프로그램 개발 환경 및 구성

본 프로그램의 개발환경은 OS Windows 2000 Professional, 1.4GHz P-IV으로 개발을 수행하였으며, 사용된 Compiler는 Windows 프로그래밍에 보편적으로 사용되는 Visual C++ 6.0을 사용하였다. 본 프로그램은 크게 등고선 데이터를 저장하고 있는 DXF파일로부터 위치 정보를 수집하는 과정과 이 정보를 통해 해석 격자의 높이를 보간하는 과정으로 나누어진다.

\*1 서강대학교 대학원, bp1310@sogang.ac.kr

\*2 서강대학교 대학원, ace@sogang.ac.kr

\*3 서강대학교 기계공학과, nhur@ccs.sogang.ac.kr

## 2.2 프로그램 알고리즘

### 2.2.1 DXF 파일 탐색

등고선이나 대형 건축물 도면의 정보 교환을 위해서는 일반적으로 DXF 파일 형식이 이용된다. DXF 파일을 구성하는 주요 단위는 섹션(section)이며, 기능별로 Header section, Table section, Block section 및 Entity section으로 구성된다. Entity section에는 실제 도면 요소 정보들을 담고 있는 그룹 요소들의 집합으로 이루어져 있다. 그룹 요소에는 특정한 숫자에 의해 정의된 그룹 코드로 이루어져 있으며, 캐드 도면 위치의 구체적인 정보를 담고 있다.

캐드 데이터의 위치 정보를 원하는 DXF 파일 사용자는 Entity section 내부의 정보만을 수집하면 된다. 그러나 도면 요소 정의는 전적으로 캐드 파일 작성자에 이루어지기 때문에 등고선 데이터의 수집, 즉 본 프로그램을 이용한 데이터 변환 시, 사전에 Entity 유형을 파악하고 있어야 한다. 다시 말해 캐드파일 형식의 지형도 내의 등고선 표현 방식이 단순히 점의 연결만으로 이루어졌는지 또는 점과 원호의 집합으로 이루어져 있는지 등에 따라 데이터 수집 방식 또한 달라져야 한다. 건축 도면의 경우, 정의되는 Entity 유형은 다양하지만, 대부분 지형도에서의 등고선 데이터는 단순히 LINE의 집합으로 이루어지거나, LINE과 ARC의 집합인 POLYLINE으로 정의된다.

캐드파일형식의 지형도에서, 등고선 라인은 축척에 따라 수만에서 수십만 개의 점들로 표현된다. 만약 DXF 파일로부터 수집한 정보를 저장하기 위하여 순차적인 기억 방법을 선택한다면 지형도에 따라 메모리를 필요 이상으로 소모하거나 오버플로의 가능성을 발생시킬 수 있다. 또한 이 정보들을 정렬 또는 탐색하는 경우 많은 시간이 소비된다. 본 프로그램에서는 수집한 정보를 보다 효율적으로 저장하기 위해서 선형 연결 리스트 구조(linear linked list)를 선택하였다.

### 2.2.2 투영 알고리즘

본 프로그램의 순서도를 Fig. 1에 나타내었다. 수집된 DXF 파일 데이터는 순차적으로 배열되어 있지 않고, 수치해석의 질점으로 사용하기에는 그 수가 너무 많기 때문에 계산 격자로 사용하기에는

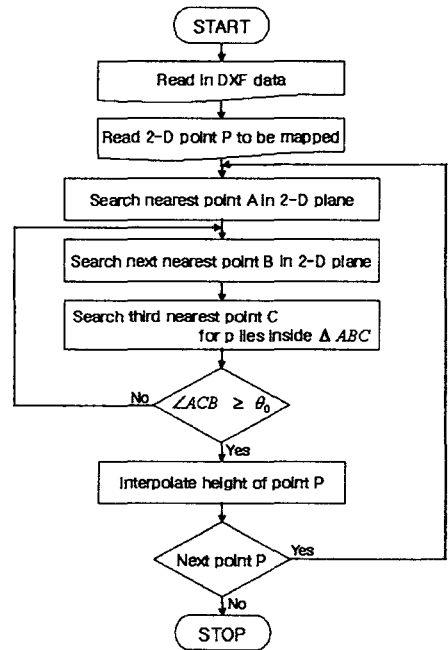


Fig. 1 Flow Chart

부적절하다. 본 프로그램에서는 사용자가 계산 영역상의 경계점을 설정하도록 하여, 등간격의 계산 격자를 구성하는 질점 P를 평면상에 생성하도록 하였다. 이렇게 생성된 질점 P를 기준으로 하여 Fig. 1에서와 같이 특정한 조건을 만족하는 세 점 A, B, C를 찾게 된다. 그리고 이 세 점을 통해 질점 P를 지형 표면에 투영시킴으로서 3차원 공간좌표를 가지는 계산 격자를 만들 수 있다.

질점의 투영면을 만들기 위해서는 특정한 조건을 만족시키는 3개의 등고선 데이터가 필요하다. 우선 질점 P에 가장 가까운 두 점 A, B를 찾는다. 벡터  $\vec{AP}$ 와 벡터  $\vec{BP}$ 의 분할된 영역을 영역 1과 영역 2라고 했을 때, 질점이 세 점 A, B, C가 이루는 삼각형 속에 포함되기 위해서는 점 C는 영역 2안에 항상 존재해야만 한다(Fig. 2). 이러한 조건을 만족시키기 위해서는 선택된 점 C가 식 (1)을 만족시켜야 한다.

$$\vec{PH} \cdot \vec{PC} < 0 \tag{1}$$

점 H는 벡터  $\vec{AB}$ 의 수선의 발이며, 직선 m은 벡

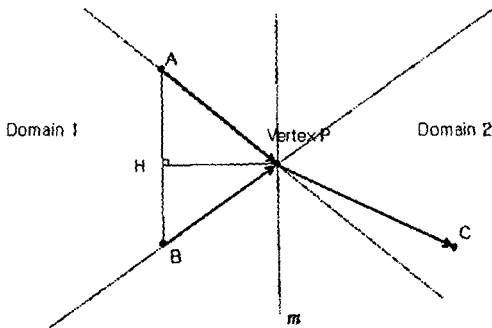


Fig. 2 Contour line data search

터  $\overline{AB}$ 에 평행하면서 질점 P를 지나는 직선이다. 따라서 식 (1)을 만족시키는 점 C는 직선 m을 기준으로 하여 수선의 발 H의 반대편 영역에 존재하게 된다. 식 (1)을 만족시키는 데이터 중에서, 점 C가 영역 2에 존재하기 위해서는 식(2) 또한 만족시켜야 한다.

$$(\overline{AP} \times \overline{PC}) \cdot (\overline{BP} \times \overline{PC}) < 0 \quad (2)$$

벡터  $\overline{AP}$ 와 벡터  $\overline{PC}$ 의 외적과 벡터  $\overline{BP}$ 와 벡터  $\overline{PC}$ 의 외적은 이 평면상에 수직인 z성분이며, 이들의 내적이 음수이기 위해서는 점 C는 영역 1과 영역 2에 존재해야만 한다. 따라서 식 (1)과 식 (2)를 동시에 만족하는 C는 영역 2안에 항상 존재하게 된다.

또한, 벡터  $\overline{AP}$ 와 벡터  $\overline{BP}$ 가 이루는 각  $\theta_{APB}$ 가 작을수록 영역 n이 작아지게 되어, 점 C가 질점 P로

부터 상대적으로 멀리 떨어져 있게 된다. 이러한 경우 지형 표면을 제대로 표현하지 못하게 되므로,  $\theta_{APB}$ 는 식 (3)을 만족시켜야 한다.

$$\theta_{APB} > \theta_0 \quad (3)$$

$\theta_0$ 는 사용자의 의해 정의되어야 하는 값이다. 마지막으로 점 C는 이러한 조건을 만족시키는 데이터 중에서, 질점 P와의 거리가 최소인 점을 선택한다. 만약 위의 조건을 만족하지 않을 시, 점 B와 C를 제외한 데이터를 새롭게 찾게 된다.

등고선 데이터로부터 탐색된 점 A, B, C가 이루는 평면은 산악지형의 표면에 존재하며, xy 평면상에 투영시킨 정사영은 질점 P를 포함하게 된다. 따라서 평면상에 해당 질점을 투영시킴으로써 질점의 높이 z를 식 (4)로 보간 할 수 있게 된다.

$$\vec{n}_{ABC} \cdot \vec{CP} = 0 \quad (4)$$

### 2.3 성능 평가

#### 2.3.1 지형도

산악지형 주위의 유동 해석의 경우, 지형의 형상에 많은 영향을 받기 때문에 지형의 정확한 표현이 필요하다. 그러나 지형의 불규칙성으로 인해 계산 격자 생성 시, 많은 시간과 인력이 소모된다. 이러한 단점을 보완하기 위해 본 프로그램을 이용하여 화성 평택 간 지형도를 이용하여 산악지형의 계산 격자를 생성해 보았다. 지형도와 생성한 계산 격자를 Fig. 3에 나타내었다. (a)에 나와 있는 지형도의 총 데이터

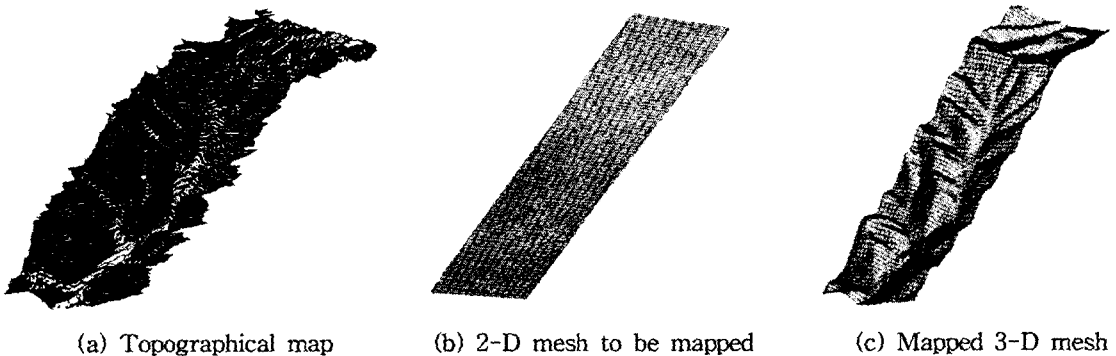


Fig. 3 Mesh generation using topographical map

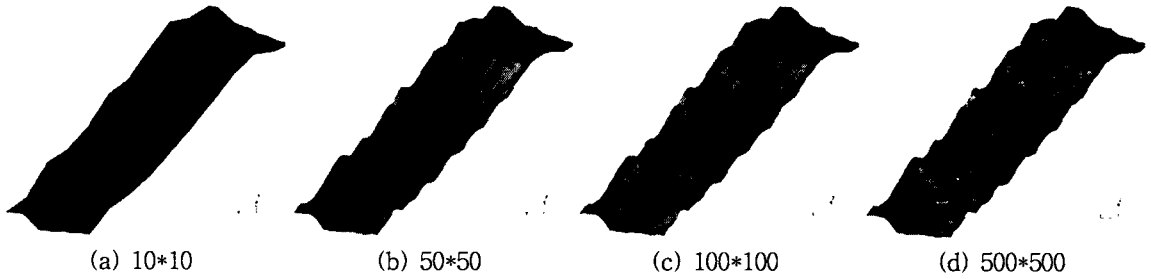


Fig. 4 Mash surface for various mesh points

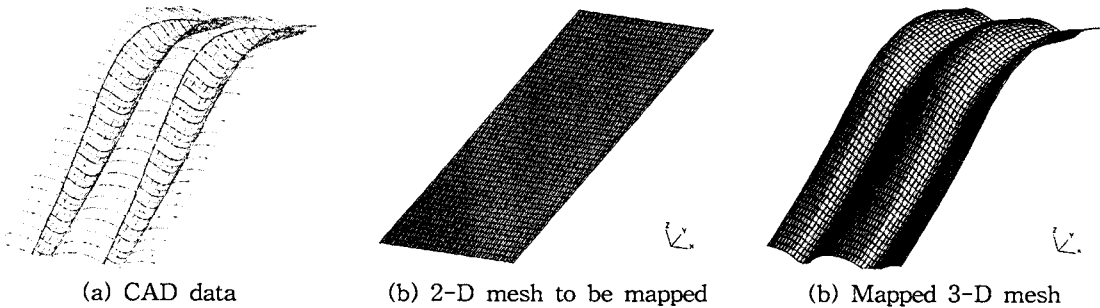


Fig. 5 Mesh generation using CAD data

개수는 350000개이며, 등고선 라인은 POLYLINE Entity 유형으로 정의되어 있다. 지형도가 나타내고 있는 지형의 실제 길이는 2375.05m, 폭 방향으로 413.21m, 높이 방향으로 296m이다. 계산 격자의 생성을 위해 지형의 길이방향을 x축, 폭 방향을 y축으로 하는 등간격의 질점을 생성 하였다. (b)는 본 프로그램의 보간 과정을 거치기 전의 계산 격자 (100\*100)로서, xy평면상에 존재한다. 이를 통해 위치정보를 보간하여 새롭게 생성된 계산격자를 (c)에 나타내었다. 본 프로그램을 이용해 생성한 계산 격자는 DXF 파일의 등고선 데이터를 정확히 표현함을 확인할 수 있다.

일정한 등고선 데이터에 대해서, 계산격자수를 달리하여 Fig. 4에 나타내었다. 격자수가 많이 생성 될수록 대상 지형을 더 잘 표현함을 확인할 수 있다. 그러나 계산 격자의 수는 수치해석의 효율성에 중요한 변수가 되므로 본 프로그램을 이용하여 계산 격자를 손쉽게 생성해 봄으로서 가장 적절한 해석 격자를 선택할 수 있다.

### 2.3.2 대형 건축물 도면

실제 건축물의 설계에는 건축법상 풍하중을 고려해야 하며, 형상이 복잡한 대형 건축물은 기존의 경험식으로는 그 풍하중을 예측하기가 불가능하다. 이러한 이유로 대형 건축물 주위의 수치해석을 통해 설계의 타당성을 검증한다. 하지만 기존의 대형 건축물 주위의 유동 해석 시, 캐드 도면의 위치 정보를 수작업을 통해 변환하거나 대략적인 형상만을 묘사하는데 그쳤다. 또한 이러한 과정도 많은 시간이 소비되어 수치해석의 효율성을 저하시키는 원인이 되었다.

본 연구에서는 이러한 단점을 보완하고자 경부고속철도 경주역사 도면의 역사 지붕 도면의 일부를 변환하여 계산 격자를 생성해 봄으로서, 본 프로그램의 유용성을 검증하였다. 대상 도면과 생성된 계산 격자를 Fig. 5에 나타내었다. (a)에 나와 있는 도면은 경주역사 좌측 지붕의 일부분으로서 집합유리와 강판으로 제작 되는 부분이다. 지붕의 반복적인 형상으로 인해, 반복형상의 2구간만을 선택하였으며

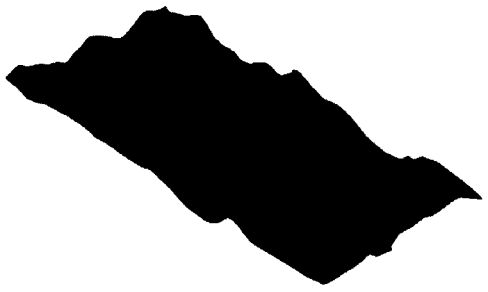


Fig. 6 Surface mesh for tunnel ventilation analysis

폭 방향으로 24m, 길이 방향으로는 59.2m하였다. 도면의 총 데이터 개수는 1200개이며, LINE 유형과 POLYLINE 유형의 조합으로 이루어져 있다. 이 경우에는 폭 방향을 x축, 길이 방향을 y축으로 하여 각각 50개의 계산 격자를 생성하였다. (b)는 보간 하기 전, xy평면상에 존재하는 계산 격자이다. (c)는 본 프로그램을 이용하여 높이를 보간한 계산 격자로서, (a)의 위치정보가 적절히 보간 되었음을 확인할 수 있다.

### 3. 적용 예

#### 3.1 터널 환기 해석에 적용

본 연구실에서 수행한 연구 중, 평택-음성 고속도로 상의 터널 환기/방재 해석을 위해 본 프로그램을 이용한 계산 격자를 사용하였다. 터널 내부 및 입·출구 주위의 유동은 터널 주위의 지형에 많은 영향을 받기 때문에 터널 주변 지형의 상세한 표현은 중요하다.

환기 해석을 위한 터널 및 주위 지형의 계산 격자를 Fig. 6에 나타내었다. Star-CD를 이용하여 계산 격자를 생성하였으며, 총 계산 격자는 1,200,000개이다. 차량에 의해 배출되는 오염물질을 고려하기 위해 일정한 속도를 가지는 대·소형 차량을 표현하였다. 기존의 연구에서는 Fig. 6과 같은 계산 격자를 생성하는 전처리 과정에서 많은 시간과 노력을 소모했지만, 본 프로그램을 이용함으로써 연구 기간 및 연구에 투입되는 인력을 상당히 줄일 수 있게 되었다. Fig. 7은 터널 입구 및 주변의 기류분포도이며, 터널 인근이 계곡인 이유로 터널로부터 나온 유동의 재유입율이 높음을 알 수 있다.[3] 이를 통해 터널

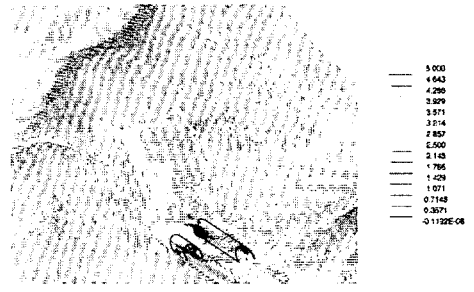


Fig. 7 Velocity field around of tunnel portal

입구의 오염 물질 유입 및 화재 발생시 연기의 확산 방향을 예측함으로써, 지형 조건에 많은 영향을 받는 터널 설계 파라미터를 제공할 수 있다.

#### 3.3 용암 유동 해석에 적용

산 정상에서 분출 되는 용암은 산 지형에 따라 그 유동 방향이 결정된다. 만약 용암 유동 방향을 미리 예측할 수 있다면 경제적 손실을 상당히 줄일 수 있을 것이다. 하지만 용암 분출을 관찰하여 그 유동 패턴을 파악하기란 매우 어려운 일이며, 또 지형 특성에 많은 영향을 받기 때문에 용암 유동 예측을 일반화하기가 어렵다. 이에 본 프로그램을 이용하여 산악지형을 빠른 시간 내에 계산 격자로 표현하고 용암의 유동 방향을 수치해석 해 보았다. 계산은 Star-CD를 사용하였으며, 총 계산 격자의 수는 530,000개 이다. 대기 중의 용암분출을 표현하기 위하여 Two-phase flow방법으로 해석하였다. 용암의 점성  $\mu_l$ 은 다음과 같이 주었다.[4]

$$\mu_l = 10^{-6} \exp\left(\frac{26170}{T}\right) \quad (4)$$

Fig. 8는 용암이 분출된 후 2분이 지난 후의 용암 유동이며 지형의 굴곡에 따라 흘러내려가는 것을 확인할 수 있다. 즉, 본 프로그램을 이용하여 계산 격자를 손쉽게 생성해 봄으로서 다양한 용암 유동 현상을 짧은 시간 내에 확인해 볼 수 있을 것이다.

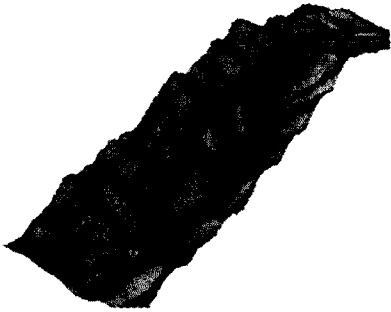


Fig. 8 Result of lava flow analysis

#### 4. 결론

본 연구에서는 지형의 영향을 많이 받는 CFD 해석 모델의 전처리 과정을 용이하게 하기 위해 DXF 파일의 등고선 데이터를 이용하여 계산 격자를 자동으로 생성하는 프로그램을 개발하였다. DXF 파일로부터 수집된 정보를 통해 계산 격자를 이루는 평면상의 질점의 높이를 적절히 보간 함으로서 실제 지형을 정확히 묘사 할 수 있다. 본 프로그램을 이용하여 지형도의 등고선 데이터와 대형 건축물의 도면의 계산 격자를 생성하여 해석을 수행함으로써, 프로그램의 성능을 입증하였다.

#### 후기

본 연구는 과학기술부의 공학용 해석 소프트웨어 기술개발사업의 일환인 “범용 열/유체 유동해석 프로그램 개발” 과제의 연구비지원(MI- 0129000001)으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참고문헌

- [1] 장재원, 허남건, “화재 Simulation을 위한 Post Processor 개발,” 한국전산유체공학회 2001년도 춘계학술대회논문집(2001), pp.155-160.
- [2] 허성범, 허남건, “범용 3차원 유동해석용 전/후처리 장치의 개발,” 한국전산유체공학회 2002년도 한국유체공학학술대회논문집(2002), pp.111-117.
- [3] 허남건, 평택-음성 고속도로 7공구(안성-평택) 건설공사 환기/방재 시뮬레이션, 화승 엔지니어링(2002).
- [4] J.I. Ramos, “Two-Dimensional simulations of magma ascent in volcanic conduits,” Int. J. Numer. Math. Fluids 29(1999), pp.765-789.