

## ◎ 논문

## 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(1-2)</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 semi-automatic mesh generation program has been developed by using DXF file containing contour line data. The program consists of DXF file reader and mapping algorithm. Pre-generated 2-D planar mesh points are to be mapped one by one onto triangular surface whose three vertices are three nearest contour points surrounding the mapping point. The present program has been successfully 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

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. 전처리 과정에서는 기존의 수작업을 통한 격자생성 방법에서 탈피하여, 자동격자 생성 프로그램을 이용해 다양한 계산 모델을 손쉽게 계산 격자화 할 수 있게 되었다. 하지만 자동 격자 생성 프로그램을 이용하기 위해서는 계산 모델이 면(plane)으로 정의되어 있어야 하며, 점이나 선으로 정의되어 있는 경우 기존의 자동격자 생성프로그램으로 계산 격자를 생성하는 것은 불가능하다. 특히 대기 유동 해석의 경우, 대상 지형의 묘사는 해석 정확도의 중요한 변수가 되어 상세한 지형 지형묘사가 필요하지만, 산악 지형의 정보를 담고 있는 캐

드 파일의 경우 그 정보는 점이나 선으로 정의되어 있다. 따라서 기존의 자동 격자 생성 프로그램이 이용하기 위해서는 산악 지형을 면으로 다시 정의해야 하며, 이러한 과정에 많은 시간이 소모된다. 또한 대형 건축물 주위의 유동 해석의 경우에도, 건축물의 형상 또한, 점 또는 선으로 정의되어 있기 때문에 대기 유동 해석에서와 같은 문제가 발생한다.

이러한 문제점을 보완하기 위해서 본 연구에서는 점이나 선으로 정의된 캐드파일 형식의 지형도 및 건축 도면을 이용하여 계산 격자를 자동적으로 생성하는 프로그램을 개발하였다. 또한 본 프로그램은 본 연구실에서 CFD Package 프로그램 개발의 일환으로 제작하고 있는 범용 3차원 유동해석 프로그램<sup>[1-2]</sup>에서 사용될 전처리 장치에 첨가되었다.

### 2. 산악지형 격자생성 프로그램

#### 2.1 프로그램 개발 환경 및 구성

본 프로그램의 개발환경은 OS:Windows 2000 Professional, cpu:1.4GHz P-IV로 개발을 수행하였으며, 사용된 Compiler는 Windows 프로그래밍에

\* 2004년 7월 27일 접수

\*1 서강대학교 대학원 기계공학과

\*2 서강대학교 대학원 기계공학과

\*3 종신회원, 서강대학교 기계공학과

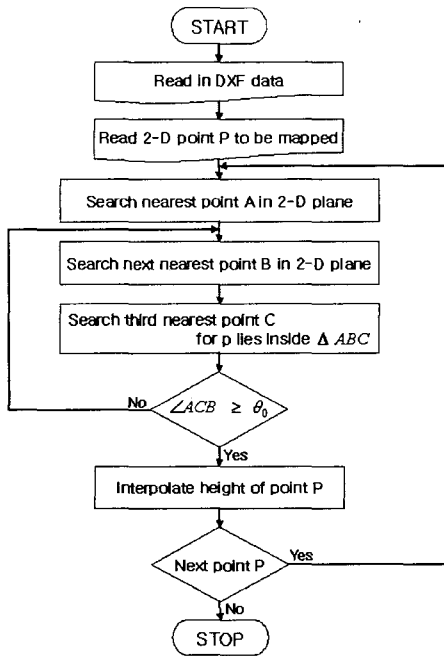


Fig. 1 Flow chart

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.

## 2.2 프로그램 알고리즘

### 2.2.1 DXF 파일

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

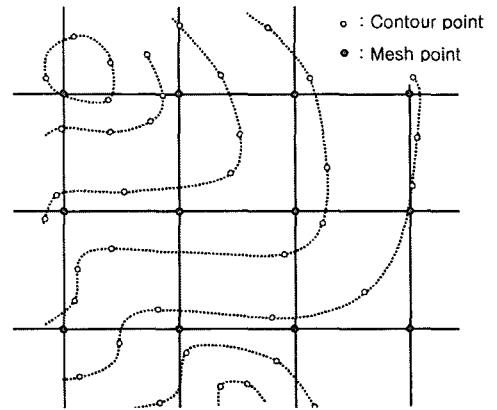


Fig. 2 Creation of 2-D mesh point

작성자에 의해서 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 수백만 개의 점들로 표현된다. 따라서 메모리를 필요이상으로 소모하거나 오버플로를 발생시키지 않으면서, 수집한 정보를 보다 효율적으로 정렬 및 탐색하기 위해 선형 연결 리스트 구조(linear linked list)를 선택하였다.

### 2.2.2 투영 알고리즘

본 프로그램의 순서도를 Fig. 1에 나타내었다. 우선 DXF 파일을 탐색하여 데이터의 위치정보를 수집한다. 하지만 수집된 DXF 파일 데이터는 순차적으로 배열되어 있지 않고, 수치해석의 절점으로 사용하기에는 그 수가 너무 많기 때문에 계산 격자로 사용하기에는 부적절하다. 따라서 Fig.2 에서와 같이 등고선 데이터 주변에 규칙적이고 사용자에게 해 조절 가능한 절점 P를 생성하였다. 절점 P는 아직 평면상에 존재하며, P의 높이를 보간하기 위해 주변의 등고선 데이터를 적절히 선택하여 높이를

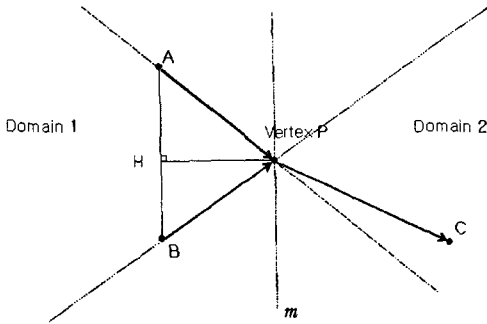


Fig. 3 Contour line data search

보간하게 된다.

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. 3). 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 벡터  $\vec{AB}$ 에 평행하면서 질점 P를 지나는 직선이다. 따라서 식 (1)을 만족시키는 점 C는 직선 m을 경계로 한 우측 영역상에 존재하게 된다. 다음으로 식 (1)을 만족시키는 데이터 중에서, 점 C가 영역 2에 존재하기 위해서는 식(2) 또한 만족시켜야 한다.

$$(\vec{AP} \times \vec{PC}) \cdot (\vec{BP} \times \vec{PC}) < 0 \tag{2}$$

벡터  $\vec{AP}$ 와 벡터  $\vec{PC}$ 의 외적과 벡터  $\vec{BP}$ 와 벡터  $\vec{PC}$ 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  $\vec{AP}$ 와 벡터  $\vec{BP}$ 가 이루는 각  $\theta_{APB}$ 가 작을수록 영역 n이 작아지게 되어, 점 C가 질점 P로부터 상대적으로 멀리 떨어져 있게 된다. 이러한 경우 지형 표면을 제대로 표현하지 못하게 되므로,  $\theta_{APB}$ 는 식 (3)을 만족시켜야 한다.

$$\theta_{APB} > \theta_0 \tag{3}$$

$\theta_0$ 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. 마지막으로 선택된 A, B, C를 이용하여 높이 z를 식 (4)로 보간할 수 있게 된다.

$$\vec{n}_{ABC} \cdot \vec{CP} = 0 \tag{4}$$

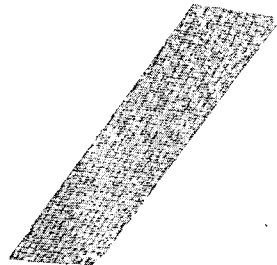
### 2.3 성능 평가

#### 2.3.1 지형도를 이용한 지형격자 생성

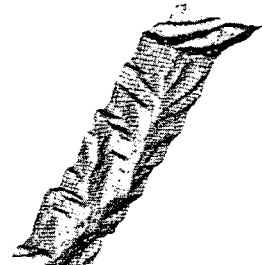
본 프로그램의 성능과 효율성을 검증하기 위해



(a) Topographical map



(b) 2-D mesh to be mapped



(c) Mapped 3-D mesh

Fig. 4 Mesh generation using topographical map

화성 평택 간 지형도를 이용하여 산악지형의 계산 격자를 생성하였다. 지형도와 생성한 계산 격자를 Fig. 4에 나타내었다. (a)에 나와 있는 지형도의 총 데이터 개수는 350,000개이며, 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 과정전의 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. 즉 기존의 산악지형 주위의 유동 해석 시, 등고선 데이터를 이용하여 면을 생성하고 이를 통해 계산 격자를 생성하는 비효율적인 방법을 이용함으로써 많은 시간과 인력이 소모되었지만, 등고선 데이터 자체를 직접 이용하는 본 프로그램을 통해 전처리 과정의 효율을 증대시킬 수 있었다.

일정한 등고선 데이터에 대해서, 계산격자수를 달리하여 Fig. 5에 나타내었다. 격자수가 많이 생성될수록 대상 지형을 더 잘 표현함을 확인할 수 있다. 그러나 계산 격자의 수는 수치해석의 효율성에 중요한 변수가 되므로 본 프로그램을 이용하여 계산 격자를 손쉽게 생성함으로써 가장 적절한 해석 격자를 선택할 수 있을 것이다.

**2.3.2 대형 건축물 CAD도면에 의한 격자생성**

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 경부고

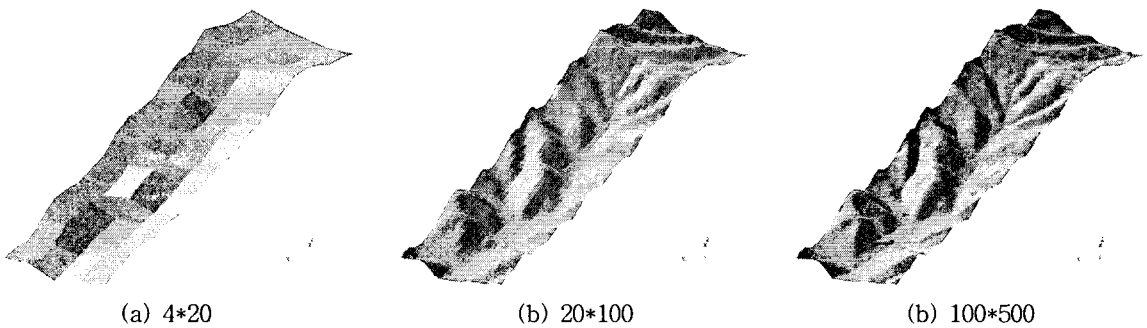


Fig. 5 Mesh surface for various mesh points

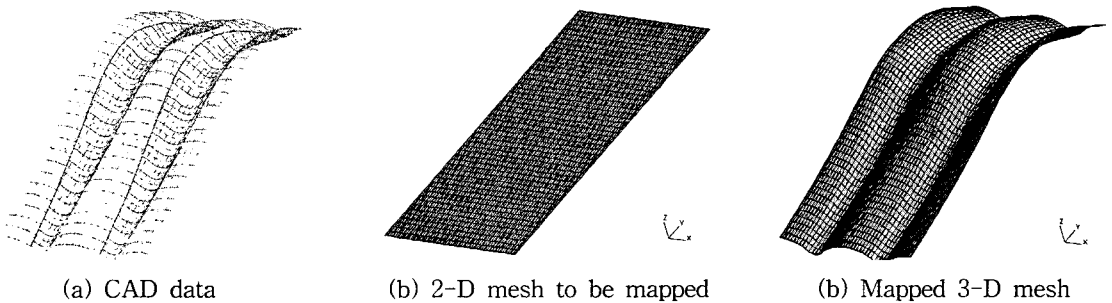


Fig. 6 Mesh generation using CAD data

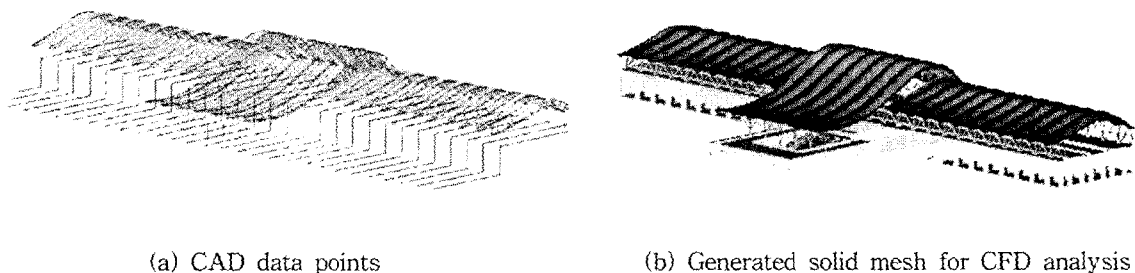


Fig. 7 A KTX station model

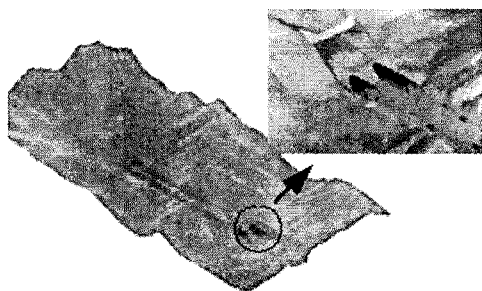


Fig. 8 Surface mesh for tunnel ventilation analysis

속철도 경주역사 도면(안)의 역사 지붕 도면의 일부를 변환하여 계산 격자를 생성함으로써 본 프로그램의 유용성을 검증하였다. 대상 도면과 생성된 계산 격자를 Fig. 6에 나타내었다. (a)에 나와 있는 도면은 역사 좌측 지붕의 일부분으로서 집합유리와 강판으로 제작 되는 부분이다. 지붕의 반복적인 형상으로 인해, 반복형상의 2구간만을 선택하였으며 폭 방향으로 24m, 길이 방향으로는 59.2m로 하였다. 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 확인 할 수 있다.

본 프로그램을 이용해 생성한 경주 역사 지붕의 일부분을 전체로 확장시켜 Fig. 7에 나타내었다. 기존의 자동격자 생성 프로그램으로는 (a)와 같이 계

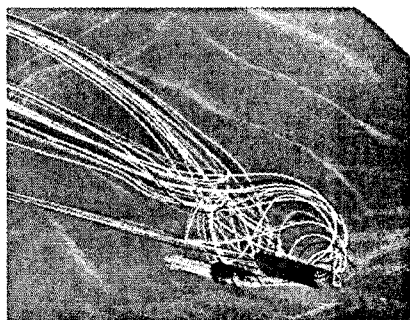


Fig. 9 Streamline around of tunnel portal

산 모델이 선으로만 정의되어있을 경우, 계산 격자를 생성시키지 못하였다. 하지만 본 프로그램을 이용하여 지붕의 3차원적 형상을 상세히 표현할 수 있게 되었다.

### 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 이용하여 생성한 계산 격자를 사용하였다. 환기 해석을 위한 터널 및 주위 지형의 계산 격자를 Fig. 8에 나타내었다. 총 계산 격자는 1,200,000개이며 상용 프로그램인 Star-CD를 이용하여 계산을 수행하였다. 특히 차량에 의해 배출되는 오염물질을 고려하기 위해 일정한 속도를 가지는 대·소형 차량을 표현하였다. 기존의 연구에서는 터널 외부의 산악지형을 표현하기 위해서는 등고선의 정보를 수작업을 통해 읽어들이고, 이를 다시 계산 격자로 변환하는

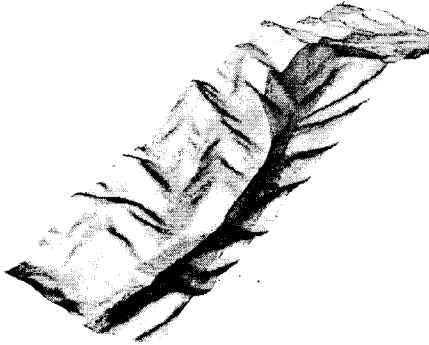


Fig. 10 Result of lava flow analysis

작업을 거쳐야 했다. 하지만 본 프로그램을 이용함으로써 연구 기간 및 연구에 투입되는 인력을 상당히 줄일 수 있게 되었다.

Fig. 9는 터널 입구에서 빠져나온 유동의 유선을 표현하고 있다. 터널 인근이 계곡인 이유 때문에 복잡한 유동양상을 보이고 있으며 터널로부터 나온 유동의 재유입율이 높음을 알 수 있다.[3] 이를 통해 터널 입구의 오염 물질 유입 및 화재 발생시 연기의 확산 방향을 예측하여, 지형 조건에 많은 영향을 받는 터널 설계 파라미터를 제공하였다.

### 3.2 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 모사하여 산 정상에서 흘러내리는 용암을 수치해석 하였다. 계산은 Star-CD를 사용하였으며, 총 계산 격자의 수는 530,000개 이다. 대기 중의 용암유동을 V·O·F방법에 의한 자유표면 유동으로 해석하였으며 용암의 응고 과정을 모사하기 위해 용암의 점성  $\mu$ 는 다음과 같이 계산하였다.[4]

$$\mu = 10^{-6} \exp\left(\frac{26170}{T}\right) \quad (5)$$

Fig. 10은 용암이 분출된 후 2분이 지난 후의 용암유동이며 지형의 굴곡에 따라 흘러내려가는 것을 확인 할 수 있다. 즉, 본 프로그램을 이용하여 계산 격자를 손쉽게 생성함으로써 다양한 용암 유동 현상을 짧은 시간 내에 확인해 볼 수 있을 것이다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 복잡한 지형주위의 유동 해석에서, 그 지형이 등고선 형태의 DXF파일로 표현되어 있는 경우에, CFD 해석격자를 자동으로 생성하는 프로그램을 개발 하였다. 개발된 프로그램은 DXF 파일로부터 수집된 정보를 통해 계산 격자를 이루는 평면상의 질점의 높이를 적절히 보간 함으로써 실제 지형을 정확히 묘사 할 수 있다. 본 프로그램을 이용하여 지형도의 등고선 데이터와 대형 건축물의 도면의 계산 격자를 생성하여 해석을 수행함으로써, 프로그램의 성능을 입증하였다.

## 후 기

본 연구는 과학기술부의 공학용 해석 소프트웨어 기술개발사업의 일환인 “범용 열/유체 유동해석 프로그램 개발” 과제의 연구비지원(M1- 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] Ramos, J.I., “Two-Dimensional simulations of magma ascent in volcanic conduits,” Int. J. Numer. Math. Fluids 29(1999), pp.765-789.