탐색기법을 이용한 2차원 유한요소 연결관계의 자동추출

Automatic Extraction of 2-Dimensional Finite Element Connectivities by Search Technique

김 한 수*
Kim, Han-Soo

요 지

임의의 체눈 모양에서 어떤 절점에서 출발하여 출발한 절점으로 되돌아 오는 최단 경로를 탐색함으로써 2차원 유한요소의 연결관계를 자동추출할 수 있는 방법을 개발하였다. 한 절점에서 가능한 여러 경로 중에서 가능성이 큰 경로만을 탐색하게 하였고 추출된 경로에 대하여 요소로서의 유일성 및 적합성을 검사하였다. 제안된 방법이 완전함을 증명하였으며 예제를 통하여 일반적인 자동발생 기능의 적용이 어려운 체눈 모양에 대해서도 정확하게 요소를 추출할 수 있음을 보였다.

핵심용어 : 체눈, 자동추출, 탐색기법, 연결관계

Abstract

A method for automatic extraction of 2-dimensional finite element connectivities by searching the shortest closed path from a certain node to the starting node was developed. Only the best path among the possible paths was probed. The uniqueness and validity of the extracted path were examined. The proposed method was proved to be complete. Examples show that the proposed method can extract elements exactly from the irregular mesh which can not be handled easily by the conventional automatic mesh generation.

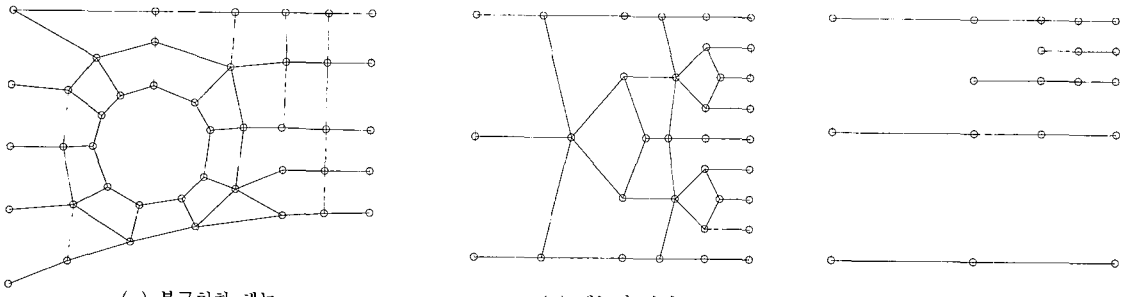
Keywords : *mesh, automatic extraction, search technique, connectivity*

1. 서 론

유한요소 해석을 위해서는 해석 체눈을 구성하고 각 절점의 좌표와 번호, 각 요소의 연결관계를 정의하는 유한요소 모델링 과정이 필수적인데 이를 지원하는 여러 가지 방법들이 개발되어 사용되어 왔다. 2차원 요소망의 자동 생성 기능 중 가장 기본적인 것이 일정한 간격으로 절점과 요소를 자동 발생시키는 기능이며 이를 응용 발전시켜 사각형의 변에서의 체눈 형식을 각각 지정하고 이를 시드(seed)로 활용하여 요소망을 자동 생성하는 기능들이 주로 범용 유한요소 해석 프로그램에서 사용되고 있다[1),2)]. 그러나 이 같은 자동 발생 기능은 체눈의 구성이 그림 1과 같이 사각형 요소 및 삼각형 요소를 혼합 사용하여 일정한 규칙을 발견하기 어려운 경우 또는 성긴 체눈으로 부터 조밀한 체눈으로 전이하는 경우에 대해서는 적용하기가 곤란하며 이에 더하여 4절점 요소의 변에 절점을 추가하여 5, 6, 7 절점을 가지는 변절점 요소[3)]가 사용되는 경우에는 일반적인 자동 발생 기능을 사용하기가 더욱 어렵다.

* 정회원 · 현대건설 기술연구소, 책임연구원

· 이 논문에 대한 토론을 2000년 12월 31일까지 본 학회에 보내주시면 2001년 3월호에 그 결과를 게재하겠습니다.



(a) 불규칙한 체눈 (b) 체눈의 전이 (c) 변절점 요소가 사용된 체눈

그림 1 자동 발생 기능을 사용하기 곤란한 체눈 경우

본 연구에서는 2차원 유한요소 모델링의 새로운 방법으로 사용자가 체눈의 모양만을 제시하면 이로부터 절점의 좌표와 요소의 연결관계를 추출할 수 있는 방법을 개발하였다. 체눈의 모양을 구성하는 선분의 시작 좌표와 끝 좌표만을 입력하면 이를 바탕으로 선분들의 교차점을 절점으로 자동 인식하여 각각의 좌표값을 구할 수 있으며 절점과 절점을 연결하는 자료를 구할 수 있다. 이들 절점 연결 자료로부터 탐색기법을 이용하여 유한요소 연결관계를 추출하는 방법을 개발하였다. 이 방법은 일반적인 격자 형태뿐만 아니라 자동 발생 기능을 적용하기가 곤란한 경우에도 간단히 유한요소 자료를 자동추출할 수 있는 방법이다. 체눈의 모양을 입력하는 방법으로는 오토캐드와 같은 일반적인 도면 작성 프로그램을 사용하거나 전용 전처리 프로그램에서 체눈 모양을 단순히 그려 넣는 기능을 제공함으로써 간단하게 입력할 수 있으며 자동추출된 절점과 요소 연결관계 또한 이들 그래픽 프로그램을 이용하여 확인 할 수 있다. 본 논문에서는 개발된 유한요소 자료 추출 방법을 설명하고 이를 이용한 예를 들어 그 유용성을 예시하고자 한다.

2. 체눈 모양에서 유한요소 자료의 자동추출

규칙적인 체눈 모양은 물론 불규칙적인 체눈 모양 또는 변절점 요소를 사용한 경우 등 임의의 체눈 모양으로부터 절점 좌표 및 유한요소의 연결관계를 추출할 수 있도록 본 논문에서 개발된 방법은 다음과 같은 단계를 거쳐 수행된다.

(1) 체눈의 모양 입력
(2) 절점의 좌표값 및 절점의 연결 자료 생성
(3) 필요없는 절점의 삭제 및 절점 번호 재 부여
(4) 요소의 연결 경로 탐색 및 검사
(5) 추출된 유한요소 자료의 출력

2.1 체눈의 모양 입력

유한요소의 연결관계를 자동추출하기 위한 입력 자료로는 체눈의 모양이 필요한데, 체눈 모양을 구성하는 선분들의 시작 좌표와 끝 좌표값을 직접 입력할 수도 있지만 보다 효과적으로 입력하게 위하여 본 논문에서는 캐드 프로그램이 사용되었다. 캐드 프로그램에서 원하는 체눈 모양을 기본적인 선분을 그리는 명령을 이용하여 그리면 되는데 교차점은 자동추출되므로 절점과 절점 사이를 하나하나 그릴 필요는 없다. 즉 해석하고자 하는 체눈 모양을 실제의 크기로 그리기만 하면 되는 것이다. 변절점 요소를 사용하는 경우에는 요소의 변의 추가 절점에 해당하는 지점에 교차점이 생기도록 짧은 선분을 이용하여 그림 2(a)와 같이 표시한다. 일반적인 캐드 프로그램은 도면의 내용을 다른 프로그램에서 이용할 수 있도록 자료 교환용 파일 형식을 제공하고 있는데 DXF (Data eX-change Format)[4] 가 대표적인 예라고 할 수 있다. 캐드 프로그램에서 체눈의 모양을 DXF 파일로 출력하고 이를 유한요소 연결 자료 자동추출 프로그램의 입력 화일로 이용한다.

2.2 절점의 좌표값 및 절점의 연결 자료 생성

입력된 DXF 파일로부터 체눈의 모양을 구성하는 선분들의 시작점과 끝점을 알 수 있게 되고 이로부터 그림 2(b)에서와 같이 선분들의 교차점을 구하게 된다. 선분의 교차점을 구하는 방법은 그래픽 알고리듬

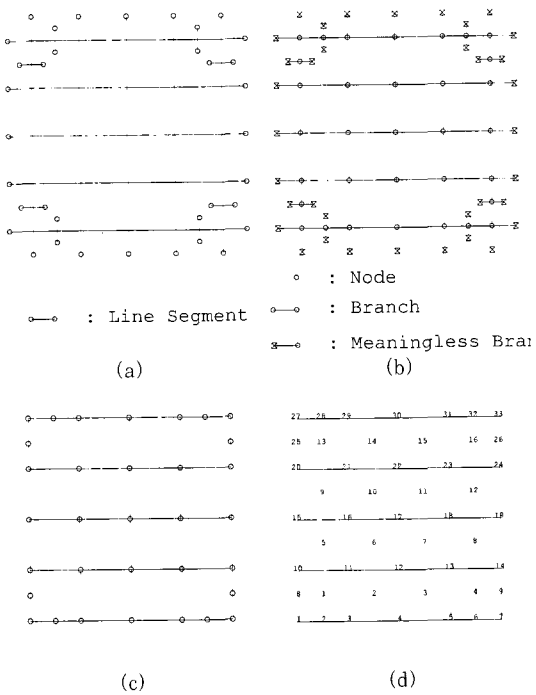


그림 2 탐색기법에 의한 유한요소 연결관계의 자동추출 과정

을 다루는 참고 문헌들에서 찾을 수 있다[5]. 입력된 선분의 시작점과 끝점 그리고 교차점이 일차적인 절점이 되며 각 절점들의 X,Y 좌표값은 계산되는 순서에 의해 일련 번호로 부여되어 저장된다. 절점과 절점을 잇는 선분들에 대한 시작점과 끝점의 절점 번호를 저장하며 이를 가지(branch)라고 부르기로 한다.

2.3 필요없는 절점의 삭제 및 절점 번호 재 부여

2차원 유한요소 체눈에서 각 절점은 두 개이상의 가지가 연결되어 있으므로 하나의 가지만이 연결된 절점들은 의미없는 것들이므로 그림 2(c)와 같이 삭제된다. 남아 있는 절점들은 일정한 규칙에 의하여 절점 번호를 재부여 받는데 본 연구에서는 수평 우선 방식으로 좌측 하단에서 우측 상단 방향으로 절점 번호를 부여하였다. 절점 번호가 새로이 부여되었으므로 이를 참조하는 가지의 절점 번호도 이에 맞도록 갱신한다. 절점 연결 자료는 시작 절점 번호와 끝 절점 번호로 구분되므로 나중의 탐색 과정에서 양방향으로 탐색할 수 있도록 시작 절점 번호와 끝 절점 번호를 서로 바꾼 추가의 절점 연결 자료를 만든다.

2.4 요소의 연결 경로 탐색 및 검사

절점 연결 자료로부터 유한요소 연결관계의 추출하는 단계로 자동추출 방법에서 가장 핵심적인 과정이다. 이에 대한 자세한 내용은 다음 장에서 설명하기로 한다.

2.5 추출된 유한요소 자료의 출력

유한요소의 연결관계가 모두 추출되면 사용되는 유한요소 해석 프로그램에 맞는 요소의 절점번호 부여 방식으로 절점 번호를 재정렬하는 과정을 거쳐 절점 번호 및 좌표값 그리고 요소번호, 요소종류 및 연결관계를 텍스트 파일로 출력한다. 또한 절점 번호 및 요소 번호가 기입된 그림 2(d)와 같은 체눈 모양의 DXF 파일을 함께 출력하므로 캐드 프로그램을 이용하여 그 결과를 확인 할 수 있도록 한다.

3. 요소의 연결관계 추출

3.1 요소 경로의 추출

요소의 연결관계를 추출하는 과정은 모든 절점에 대하여 한 절점에서 출발하여 절점 연결 자료를 따라 탐색하여 출발한 절점으로 돌아오는 경로 중에서 최적 경로를 찾는 과정으로 생각 할 수 있다. 여기서 최적 경로란 어떤 한 절점에서 출발하여 그 절점으로 돌아오는 경로중에서 거치는 절점수가 가장 작은 경로를 말한다. 이와 같은 탐색 과정은 여러 길로 연결된 지점들에서 한 지점에서 다른 지점으로 가는 경로를 찾는 문제와 유사하며 다만 출발한 지점과 도착 지점이 일치한다는 점만 다를 뿐이다. 이 같은 탐색 문제는 전산학의 인공지능 분야에서 많이 연구되어 왔으며 그림 3과 같은 다양한 탐색기법들이 개발되어 왔다.[6,7]

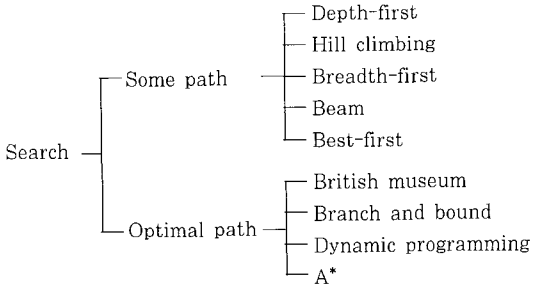


그림 3 경로의 탐색기법

탐색기법은 하나의 경로만 찾아내는 방법과 여러 경로중 최적인 경로를 찾아내는 방법으로 크게 나눌 수 있다. 이중에서 하나의 경로만 찾아내는 탐색기법들은 추출하고자 하는 요소의 내부에는 절점이 존재하지 않아야 하고 모든 요소를 추출해야 하는 본 문제의 성격상 적용할 수가 없다. 따라서 여러 경로 중 최적 경로를 찾아낼 수 있는 방법을 사용해야 하는데, 요소의 절점수가 다른 요소들을 혼합 사용하는 경우 최단 경로를 찾는 것만으로는 모든 요소를 추출할 수 없으므로 문제가 다소 복잡하게 된다. 동일한 수의 절점을 갖는 요소들만으로 체눈이 구성되어 있으면 각 절점에서 출발하여 그 절점으로 돌아오는 최적경로를 찾아냄으로써 모든 요소의 연결관계를 추출할 수 있다. 그러나 변절점 요소를 사용한 경우 또는 절점수가 다른 요소들을 혼합 사용하는 경우에는 최적경로만을 찾아내는 방법을 사용하게 되면 경우에 따라 모든 요소를 추출하지 못하게 된다. 예를 들면 그림 4 (a)와 같이 변절점 요소가 체눈의 중간에 위치하는 경우, 절점7에서 출발하는 경로를 탐색하면 최적경로로 7-8-3-2-7 또는 7-2-1-6-7 또는 7-6-11-12-7 중 하나를 찾게되어 변절점요소를 이루는 경로인 7-8-9-13-18-17-16-12-7은 찾아내지를 못하게 된다.

따라서 그림 4 (a)에서 변절점요소를 추출해내기 위해서는 요소당 최대 절점수 만큼의 탐색깊이를 가지는 경로트리에서 모든 경로를 탐색하여 요소를 형성하는 즉, 출발한 절점으로 되돌아 오는 모든 경로를 찾아낼 수 있는 탐색 방법의 적용을 생각해 볼 수 있다. 전시실이 대단히 많은 영국박물관에서 한 전시실에서 다른 전시실로 이동하는 모든 방법을 찾아내고 이들 중 최적의 경로를 찾는다는 그림 3에서의 브리티쉬 뮤지엄(British museum) 방법을 사용하면 모든 요소를 추출할 수 있음을 보장할 수 있게 된다. 그러나 이러한 탐색 방법을 적용하는 경우 탐색하여야 하는 경로의 수가 대단히 많아지게 된다. 예를 들어 요소당 최대 절점수가 8개이고 체눈이 격자형으로 되어 있다고 가정하면 매 절점 마다 연결 가지가 되돌아 가는 연결 가지를 제외하면 3개가 되어 최대 $3^8=6561$개라는 엄청난 수의 경로를 탐색하여야 한다.

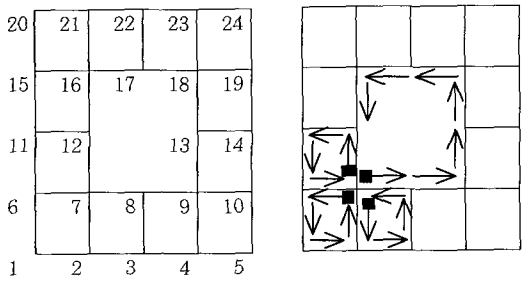


그림 4 최단경로를 갖지 않는 변절점 요소의 추출

따라서 효율적으로 이 탐색 공간을 줄이기 위한 방법이 적용되어야 하는데 본 연구에서는 다음과 같은 방안이 적용되었다.

1. 한 절점에 연결된 모든 가지(branch)에 대하여 가장 반시계 방향의 경로를 요소당 최대 절점 수 만큼의 깊이 우선 방식으로 탐색하고 출발 절점으로 되돌아 오는 경로를 찾으면 더 이상 탐색하지 않는다.
2. 만일 최대 절점 수 만큼의 깊이까지 탐색하였으나 출발 절점으로 되돌아 오지 않는 경우에도 탐색을 중단한다.

이 방법은 각 절점 당 연결된 가지 수 만큼의 경로만 탐색하는 것으로 앞의 경우와 같이 체눈의 모양이 격자형으로 되어 있다면 절점 당 단지 4개의 경로만을 탐색하는 것이 된다. 이는 요소의 절점 연결 경로가 출발 절점으로 되돌아 오는 형태를 가지므로 일정한 방향으로 도는 경로가 요소를 구성하는 경로가 된다는 점을 활용한 것이다. 반시계 방향의 경로를 우선 탐색하기 위하여 시작하는 가지의 끝 절점에 연결된 모든 가지에 대하여 각도를 계산하고 이중에서 반시계 방향으로 가장 각도가 큰 가지로 탐색하게 된다. 그림 4 (b)는 절점 7에서 탐색되는 모든 경로를 나타낸 것으로 최적 경로로는 중앙의 변절점 요소를 찾지 못하였던 경우에도 위의 방안을 적용하면 중앙의 변절점 요소를 찾을 수 있음을 보여 주고 있다.

3.2 경로의 유일성 및 적합성 검사

유한요소의 자료의 추출 문제에 있어서는 임의의 체눈 모양에 있어서 하나의 요소라도 빠뜨리지 않고 다 추출할 수 있다는 완전성이 우선 보장되어야 한다. 위의 방법에 의할 경우 모든 요소를 추출할 수 있음은 다음의 사실을 이용하여 증명할 수 있다.

1. 주어진 체눈 중의 모든 요소는 요소를 구성하는 한 절점에서 출발하여 반시계 방향으로 돌아 출발 절점으로 되돌아 오는 유일한 경로를 가진다
2. 모든 절점에 대하여 반시계 방향으로 돌아오는 모든 요소를 탐색한다
3. 따라서 모든 요소가 탐색되어 진다.

개발된 방법을 적용하면 요소를 구성하는 절점 수만큼의 횟수로 하나의 요소를 반복하여 찾게 되므로 요소를 찾을 때마다 찾아진 경로가 새로운 요소인지를 판별하는 유일성 검사와 요소로서의 적합성 여부를 검사하여야 한다. 유일성 검사는 검사 대상의 경로를 한 절점씩 원형 이동시킨 각각의 경로 및 대칭 경로에 대하여 이미 찾아진 요소의 경로와 비교하여 새로운 요소인지를 검사함으로써 판단한다. 그림 5에서 2-3-4-1-2 및 1-4-3-2-1는 이미 찾아진 1-2-3-4-1 경로와 비교하면 모두 같은 요소를 구성하므로 유일성 검사를 통과하지 못하는 것이다. 적합성 검사는 검사 대상의 경로가 요소를 구성하는 경로인지를 검사하는 것으로 요소를 구성하는 경로는 내부에 절점 및 가지가 없어야 한다. 내부에 절점이 있는 그림 6 (a)의 경우, 가지 1-3에서 출발하여 반시계 방향을 우선하여 검색하면 1-3-6-7-8-5-2-1의 경로가 추출되는

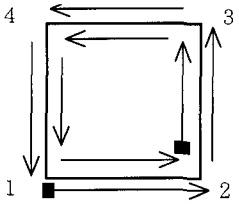
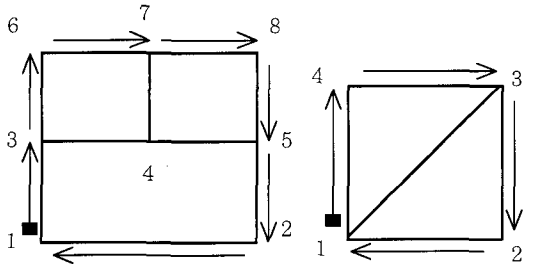


그림 5 동일한 요소를 표시하는 여러 가지 경로



(a) 내부에 절점을 갖는 경로 (b) 내부에 연결 가지를 갖는 경로

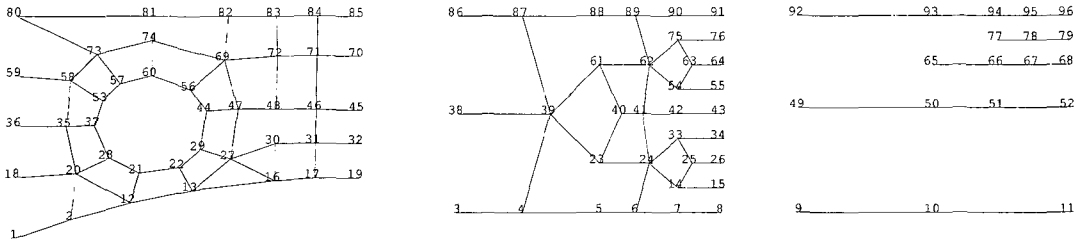
그림 6 요소의 연결 자료로 적합하지 않는 경로

데 이는 내부에 절점 4가 존재하므로 적합성 검사를 통과하지 못하게 된다. 내부에 가지가 있는 그림 6 (b)의 경우에는 가지 1-4에서 출발하여 반시계 방향을 우선하여 검색하면 1-4-3-2-1의 경로가 추출되는데 이는 내부에 가지 1-3이 존재하므로 적합성 검사를 통과하지 못하게 된다. 유일성과 적합성이 만족되는 경로는 가장 낮은 절점 번호부터 시작하도록 원형 이동시켜 저장된다.

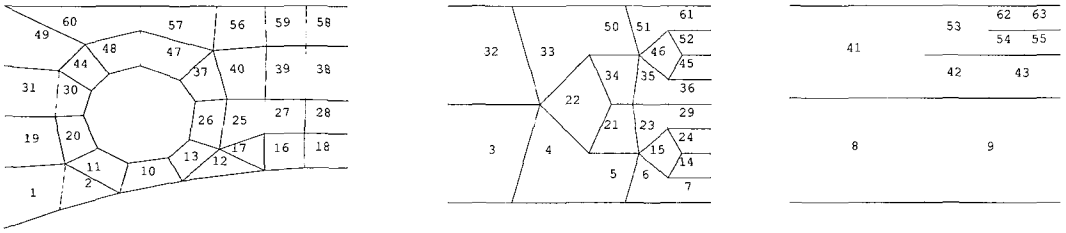
위의 방법에 의하면 요소 추출에 소요되는 시간은 절점과 절점을 연결하는 가지수에 선형 비례하므로 절점수가 많은 경우에도 급격하게 탐색 시간이 늘어나지 않는다. 한편, 경로 탐색 과정을 빠르게 하기 위해서는 절점의 연결 자료를 검색하여 한 절점에 연결된 절점들을 빠르게 알아내는 것이 중요하다. 빠른 요소 추출을 위하여 절점 연결 자료를 퀵소트 알고리듬를 이용하여 우선 정렬해 놓은 뒤 이진탐색(binary search)을 이용하여 각 절점에서 연결된 절점을 찾아내었다. 퀵소트는 현재까지 개발된 정렬 방법중 가장 빠른 방법으로 알려져 있으며 이진탐색은 일단 정렬되어 있는 자료에 대한 탐색 방법으로 순차탐색(sequential search)보다 대단히 빠른 탐색 방법이다[8].

4. 예제 적용

개발된 유한요소 추출 방법을 그림 1에서와 같은 일반적인 자동 발생 기능의 적용이 곤란한 경우에 적용하여 보았다. 체눈 모양을 입력하기 위하여 AutoCAD의 line명령을 이용하여 체눈의 모양을 구성하는 선분들의 시작점 및 끝점의 좌표를 마우스 또는 키보드를 이용하여 입력한다. 추출 프로그램에서 자동으로 교차점을 찾아 절점으로 인식하므로 교차점 사이를 각각의 선분으로 그릴 필요 없이 연속된 하나의 선분으로 그려 주면 된다. 체눈의 모양이 완성되면 이를 DXF 파일로 저장하고 그림 7(c)의 추출 프로그램의 실행 예에서와 같이 추출 프로그램의 입력파일로 사용한다. 추가적인 입력 자료로 요소당 최대 절점수, 절점 좌표값의 오차 허용치를 입력하며 요소번호 및 절점번호가 추가된 결과DXF 파일이름 그리고 절점 좌표 및 요소의 연결자료를 출력하는 파일이름을 각각 입력하게 되어 있다. 요소당 최대 절점수를 입력하는 것은 사용된 모든 요소의 절점수가 8보다 적은 경우에 탐색 공간을 줄여 수행 시간을 줄이고자 하는 함이며,



(a) node numbering



(b) element numbering

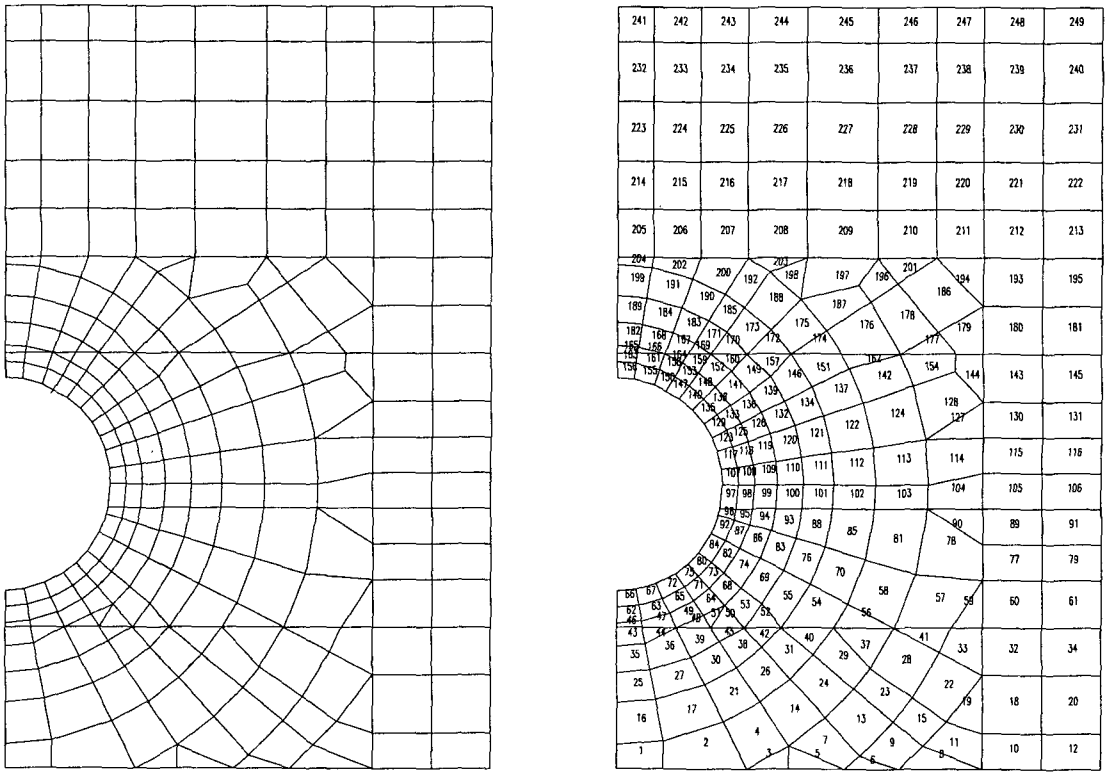
```
MDATA:Automatic FEM Data Extractor from DXF. Version 1.5
Line:5000   Node:5000   Element:5000

Enter input DXF File name : diff
Enter Max. Nodes / element (3-8) (8) :
Enter Tolerance (0.072427) :
135 lines are found in DXF file
158 links and 97 Nodes are found
157 links and 96 node are remained
**********************************************************************************************************************
63 elements are found.
Enter output  DXF File name : diff_m
Enter Character size (3.087734) :
Enter output data File name : diff
```

(c) 추출 프로그램의 입력 자료 및 출력 자료

```
 96   63
  1    115.6      163.6
  2    131.2      169.8
  3      240      172
  4      258      172
  5      280      172
  6      290      172
  7      302      172
 ....
  1    4    1    2   20   18
  2    3    2   12   20
  3    4    3    4   39   38
  4    4    4    5   23   39
  5    4    5    6   24   23
  6    4    6    7   14   24
  7    4    7    8   15   14
  8    4    9   10   50   49
  9    5   52   50   10   11   51
 10    4   12   13   22   21
 ....
```

(d) 텍스트 파일로 출력된 절점 및 요소 연결관계

그림 7 탐색기법을 이용한 요소의 추출 예제



(a) 체눈 모양 (b) 자동추출된 요소의 번호

그림 8 체눈 모양의 전이가 있는 경우에서의 요소 추출

오차 허용치를 두는 이유는 AutoCAD에서 DXF파일을 출력할 때 좌표값의 유효숫자를 지정하게 되어 있어 이를 고려하기 위함이다. 입력DXF파일 이름을 제외한 모든 입력값의 기본값은 미리 지정되어 있어 편리하게 사용할 수 있다. 그림 7(a) 및 그림 7(b)에서와 같이 모든 절점 및 2차원 유한요소가 완전하게 추출되었으며 절점의 좌표 및 요소의 연결관계가 출력된 텍스트 파일의 일부를 그림 7(d)에 나타내었다. 이 예제에서는 세 개의 체눈을 하나의 그림으로 작성하여 요소를 추출하도록 하였으므로 절점 번호 및 요소 번호가 체눈 사이에 걸쳐 있음을 보여 준다. 가장 왼쪽의 체눈의 경우에는 중앙에 10개의 절점으로 구성된 원형 모양의 내부 공백(void)이 있는데 이는 자동추출 과정에서 최대 8 절점까지의 요소를 찾도록 되어 있으므로 요소로 추출되지 않았다. 만일 8개 절점 이하로 구성되는 내부 공백은 자동추출 과정에서는 요소로 인식하게 되므로 자동추출 프로그램에서의 요소당 최대 절점수를 줄이던지 또는 좀 더 세분하여 9개 절점 이상으로 구성된 공백이 되도록 하여야 한다.

좀 더 복잡한 체눈 모양인 그림 8(a)과 같은 체눈에 대하여 2차원 유한요소를 추출하여 보았다. 원형 모양의 체눈에서 주변의 사각형 모양의 체눈으로 전이가 되는 경우이며 4각형 요소 및 3각형 요소가 혼합 사용되고 있는 경우이다. 이 예제에서도 역시 체눈 상의 모든 요소가 완전하게 추출되었으며 그 결과는 요소 번호가 부여된 그림 8(b)에 나타나 있다.

두가지 예에서 살펴본 바와 같이 개발된 자동추출 프로그램을 사용하면 일반 상용 프로그램에서의 자동발생 기능으로는 적용하기 곤란한 불규칙한 체눈 모양 또는 변절점 요소를 사용한 경우에도 쉽게 유한요소 자료를 작성할 수 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

탐색기법을 이용한 2차원 유한요소의 자동추출 방법을 개발하였다. 개발된 방법은 체눈 모양만을 입력

하기 때문에 규칙적인 체눈 모양뿐만 아니라 불규칙하게 구성되어 있는 체눈이나 변절점 요소가 사용된 경우에는 더욱 효과적으로 활용될 수 있다. 입력 자료로 사용되는 체눈 모양은 캐드 프로그램을 사용하여 시각적으로 작성하므로 사용자가 원하는 체눈 모양으로 쉽게 구성할 수 있다. 체눈 모양의 작성 과정은 해석프로그램의 자동 발생 기능을 사용하더라도 미리 체눈의 모양을 그려 그 그림을 참고하여 입력하는 것이 일반적이므로 자동추출 프로그램을 사용하는 경우에만 해당하는 추가적인 과정은 아니라고 할 수 있다.

개발된 방법은 모든 유한요소를 추출할 수 있음을 증명하였으며 반시계 방향으로 도는 경로를 우선 탐색하게 함으로써 탐색 소요 시간이 절점과 절점을 연결하는 가지수에 선형 비례하는 효율성을 가진다. 따라서 절점 및 요소의 수가 대단히 큰 해석 모델의 경우에도 간편하고 신속하게 유한요소 해석 자료를 생성할 수 있게 되었다. 개발된 방법은 상업용 해석 프로그램의 전처리 프로그램으로 활용하거나 또는 연구용으로 개발된 해석 프로그램의 전처리 프로그램으로 효과적으로 사용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. PDA, *P3/PATRAN User Manual*, PDA Engineering, 1994
2. CSI, *SAP2000 Analysis Reference*, Computers and Structures Inc, 1995
3. Choi, C.K. and Kim, H.S., "Variable Node Plate Bending Element for Mat Foundation Analysis", *Computers & Structures*, Vol.47, No.3, 1993, pp. 371-382,
4. Autodesk, *AutoCAD Release 14 Customization Guide*, Autodesk Inc, 1998
5. Harrington, S, *Computer Graphics - A Programming Approach, 2nd Ed.*, McGraw-Hill, 1987
6. Winston, P.H., *Artificial Intelligence*, Addison Wiley, 1984
7. Schildt, H, *Artificial Intelligence Using C*, 1987
8. Schildt, H., *Advanced C*, McGraw-Hill, 1987

(접수일자 : 2000. 3. 25)