

공학실무에서의 경계요소해석 소프트웨어 BEASY의 적용

Application of The Boundary Element Analysis Software BEASY in Engineering Praticce

허 영¹⁾ 조 준상²⁾
Huh, Young Cho, Jun-Sang

ABSTRACT

BEASY is a soft-ware tool which may be used to solve problems in heat transfer(linear and non-linear, steady state and transient) and linear elastic stress analysis. It is based on the boundary element method. The central part is the analysis module, called BEASY. For pre- and post-processing the BEASY Interactive Modeling System BEASY-IMS can be used. Three examples are devoted to show the capability of BEASY.

1. 서론

BEASY는 경계요소법을 사용하여 영국의 Brebbia 교수팀이 개발한 소프트웨어로 다양한 공학분야에서의 적용이 가능한 범용프로그램이다. BEASY의 기본기능인 해석을 위한 모듈의 이름은 BEASY이고, 해석모델의 작성을 위한 전후처리기능을 갖는 모듈은 BEASY-IMS이다. 해석모델의 작성은 BEASY-IMS를 사용하여 직접 만들거나, 일반적으로 많이 사용되고 있는 유한요소프로그램용 전후처리 기능프로그램인 PATRAN이나 SUPERTAB을 사용하여 작성한 후 BEASY-GIS(BEASY General Interface System)를 사용하여 BEASY를 위한 입력데이터파일로의 변경이 가능하다. BEASY의 프로그램구조는 <그림 1>과 같다.

BEASY로 해석 가능한 문제들은 다음과 같다:

- potential flow
- linear elastic stress analysis
- thermal stress analysis
- time dependent diffusion analysis
- torsion constant analysis

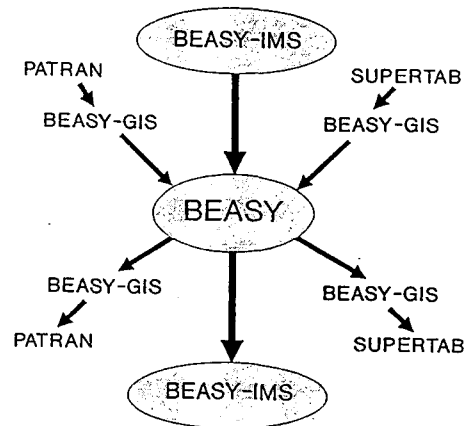


그림 1: BEASY 프로그램구조

1) 수원대학교 공과대학 토목공학과 조교수
2) 수원대학교 공과대학 토목공학과 석사과정

경계요소법이 2장에서 언급될 여러 장점에도 불구하고 보급이 늦어지는 대표적 원인으로서는 경계요소법에서 사용되는 수학적 이론이 유한요소법의 경우 보다 일반적으로 친숙하지 못하고 또한 경계요소법으로 만들어진 상업프로그램의 부족을 들 수 있다. 본 논문은 이를 위해 상업적 목적으로 만들어진 몇 안되는 경계요소법 소프트웨어중 BEASY를 소개하므로써 경계요소법의 보급에 이바지하고자 함이다.

2. 경계요소법의 기본 이론

사용되고 있는 여러 수치해석 방법들은 크게 나뉘 영역법(domain methods)와 경계법(boundary methods)으로 구분된다. 후자의 대표적 방법인 경계요소법의 기본이론의 수학적 설명은 지면상 본 논문에서는 생략하고, 전자인 영역법의 대표적 방법이 유한요소와의 장단점 비교로 대신하고자 한다. 경계요소법의 기본적 장점들은 요소가 경계에만 존재하므로, 전산모델의 차원이 유한요소모델과 비교해 한차원 낮아지는데 기인하는 것들로 구체적 내용을 요약하면 다음과 같다:

- 전산모델작성의 용이 및 신속함,
- 작성된 전산모델의 변경이 쉬움,
- 영역법에 비해 정확도가 높음,
- 무한영역에서의 적용이 용이함.

위의 여러 장점에 반해 경계요소법의 단점으로는 막구조 또는 트러스구조등과 같은 응용분야에서, 방법상의 이유로 인해 그 사용이 제한된다는 것으로, 이는 경계요소법의 기본인 근본해(fundamental solution)의 존재여부와 관련된다. 그러나 이들 문제들은 대부분 유한요소와의 병합에 의해 해결이 가능한 것으로, 여러 응용분야에서 병합법(hybrid method)에 의한 문제해결이 시도되고 있다.

3 BEASY의 소개

3.1 BEASY 파일구조

Beasy에서 사용되는 파일들의 구조는 <그림 2>와 같으며, 여기서의 각 파일의 기능은 <표 1>과 같다.

표 1 : Beasy 파일의 기능

파일 이름	수행 기능
file.OUT	BEASY의 명령이 들어 있다.
file.DA1, file.DA2, file.DA3	Binary 파일로서 BEASY-IMS의 기능을 수행할수 있게 한다.
file.MET	BEASY의 GRAPH나 CONTOUR을 프린터로 볼수있게 하는 파일이다.
file.DAT	BEASY의 해석시에 필요한 파일이다.
file.PRI	BEASY의 결과를 ASCII 파일로 저장되어있는 파일이다.
file.LOG	BEASY의 에러를 저장하고 있는 파일이다.
file.SF1, file.SF2, file.SF3	BEASY의 결과를 담고 있는 파일이다.

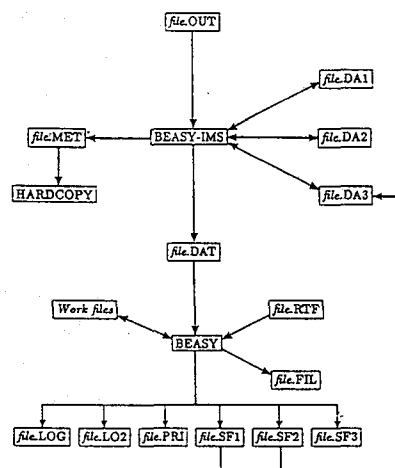


그림 2: Beasy의 파일 구조

이외에도 BEASY의 수행중 생성되는 다른 여러파일들은 계산이 종료된 후 자동적으로 지워지나, 입력데이터내에 특별한 명령을 추가하여 보존이 가능하다. 이는 BEASY의 여러 기능중 하나인 아래에서 설명될 재수행(restart)기능의 사용을 위함이다.

3.2 BEASY의 모델링

BEASY모델은 아래의 네가지 단계를 통해 생성된다.

(1) 모델형태(geometry)의 정의

BEASY모델의 정의는 점, 선, 면의 세가지 요소에 의해 만들어지며, 각 요소의 기본기능은 다음과 같다.

- ① Point: 공간에 점을 정의하기 위해 점의 좌표를 나타내어 준다.
- ② Lines: 직선, 원, 호, 곡선으로 구조물의 형상을 나타내어진다.
- ③ Patches: 사각형 또는 삼각형으로 3차원 물체의 표면을 나타내어 준다.

(2) 요소의 분할

첫번째 단계인 BEASY모델의 기하학적인 형태가 완성된 후, 요소분할의 단계가 이어진다. 이를 위한 경계요소의 종류는 <표 2>와 같다. 요소분할은 수동 또는 자동분할의 방법이 있으며 또한 <표 2>에서와 같이 요소의 기하학적인 형태를 구분하기 위한 점(○: mesh point)과 계산이 수행되는 점(●: node)의 일치 여하에 따라 continuous element와 discontinuous element로 구분된다. 이러한 두가지 요소의 구별을 통한 장점의 예로 균열문제의 경우, 균열단에서의 응력집중에 의한 수치해석적 어려움을 극복하기 위함이다.

표 2: BEASY에서 사용되는 요소

Element order	Name	Continuous element	Discontinuous Element
Constant	L1	Not available	
Linear	L2		
Quadratic	L3		
Constant quadrilateral	Q1	Not available	
Linear quadrilateral	Q2		
Quadratic quadrilateral	Q3		
Constant triangle	T1	Not available	
Linear triangle	T2		
Quadratic triangle	T3		

(3) 영역(Zone)에 관한 정보 입력

BEASY에서는 전체 구조물을 부영역(substructure)으로 이해될 수 있는 개별 영역(zone)으로의 분할이 가능하며, 개별 영역으로의 사용시의 장점은 다음과 같다.

- 경계요소법의 단점인 균질성 물체라는 제한을 극복하기 위해, 여러 상이한 재료로 구성되어 있는 구조체의 경우 여러 영역으로 분할하여 각기 다른 물성치의 입력이 가능하다.
- 두께가 다른 부분들로 만들어진 구조체의 모델링이 가능하다.
- 길고 얇은 구조체의 경우, zoning에 의해 수치해석적 어려움이나 계산시간의 절약이 가능하다.
- 균열문제에서 균열의 양쪽을 각기 다른 영역으로 나눔으로 인해 수치해석적 문제를 해결할 수 있다.
- 여러 단계의 계산이 수행되는 경우, 각 영역마다 상이한 단계의 해석이 가능하다. 예로 온도-응력해석의 경우, 첫단계인 온도해석단계에서 전체모델을 사용한후 응력해석의 수행이 필요없는 영역을 삭제하고 나머지 부분만의 응력해석의 수행이 가능한.
- 영역 사이의 연결조건의 입력이 가능하다.
- 큰 모델에서 저장이나 계산시간의 절약이 가능하다.

(4) 하중의 입력Loading

BEASY에서는 경계조건, 접촉조건 및 물체력에 의한 입력이 가능하다. 입력이 가능한 하중의 구체적 종류로는 potential, traction, displacement등이 있다.

3.4 BEASY의 후처리기능

BEASY의 해석결과는 다음과 같은 세가지 형태로의 표시가 가능하다.

Deformed Shape, x-y graph, Contour Plots

이 세가지 표시방법은 4장위 예제를 통해 설명되어 진다. 또한 계산 결과는 <그림 1>에서 처럼 BEASY-GIS에 의해 PATRAN 또는 SUPERTAB에 의한 후처리도 가능하다.

3.5 재수행(restart)기능

Beasy의 해석단계는 <표 3>에서와 같이 다섯단계로 나뉘어 지며, 요소분할이나 경계조건 또는 내부점(internal point)의 추가등에 의한 모델의 변경시 계산시간의 절약을 위해 계산수행후 자동적으로 지워지는 파일들중 필요한 파일을 보존하여 재수행을 하는 기능이 있다.

표 3 : BEASY 해석 및 재해석 단계

Solution step no.	Solution step	Model changes for Restart
1	Form influence matrix	New problem geometry
2	Form zone system matrices	Modified boundary condition types and values
3	Reduce system matrix	Modified boundary condition types and values
4	Backsubstitute	Modified boundary condition values
5	Internal point	Modified internal points

4. 예제

4.1 회전체(Rotating disk) 해석

BEASY를 이용한 첫번째 예제로 <그림 3>에서와 같이 z축의 주위를 회전하는 구조체를 해석하였다. 이 문제의 특징은 구조체나 하중 모두가 축대칭으로, (r,z)좌표를 사용한 BEASY의 축대칭모델링 기능을 이용하고, 그림에서 A로 표시된 선을 기준으로 물성치가 다른 양쪽은 BEASY의 영역분할(zoning)기능을 사용하여 해석하였다. 그림에서의 점선은 대칭축을 나타내는 것으로 대칭축의 기능을 사용하기 위해서는 축상에 경계요소가 존재하지 않아야 하며, 이때 프로그램은 이 축을 경계로 취급하지 않는다.

<그림 4>는 변위를 나타내는 것으로, 회전체의 r축상으로 끝부분이 질량의 편심에 의해 위로 올라가는 것을 보여준다. <그림 5>는 Von Mises stress의 contour plot를 나타내어 준다. <그림 6>은 x-y graph로 표시된 hoop응력을 보여 준다. 이 그림이 주는 주요한 정보는 응력의 크기와 함께 요소부날의 적합성이다. 즉, 이 그림에서 얇은 부분의 응력분포는 비교적 연속적이거나, 두꺼운 부분에서는 불연속적인 것은 두꺼운 부분의 경계요소의 수가 부족하다는 것을 알 수 있다. 이것은 좀 더 세분된 요소에 의한 재해석의 필요성을 의미한다.

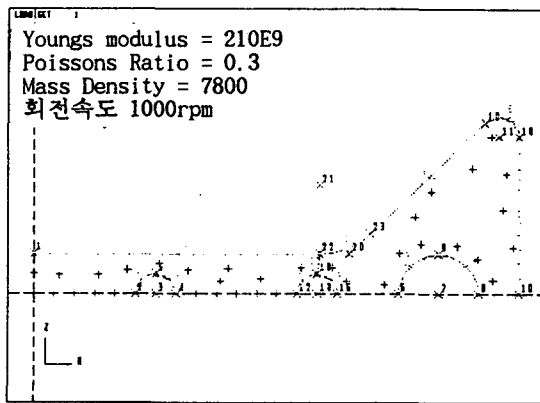


그림 3: 회전체 모델

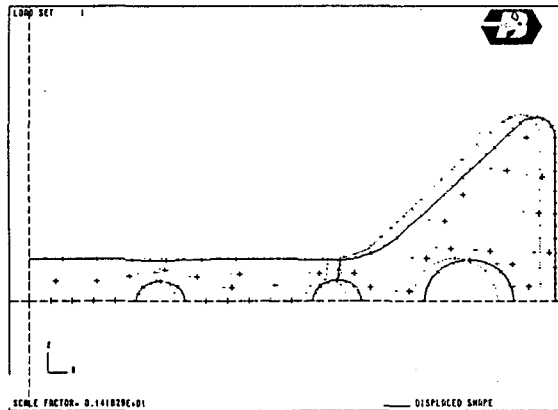


그림 4: 변위

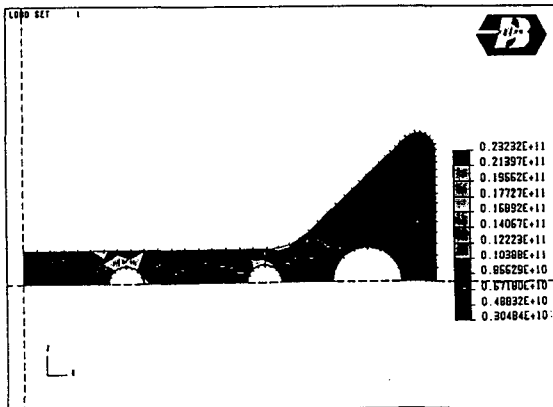


그림 5: stress contour

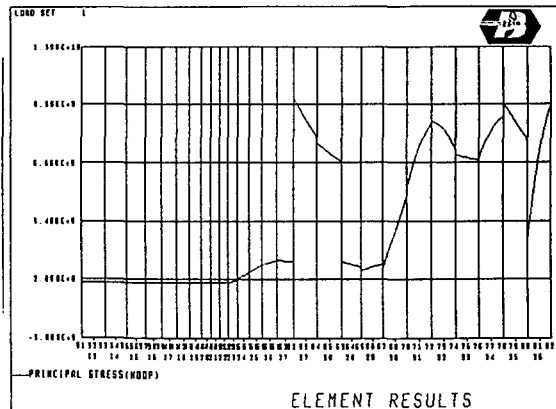


그림 6: Hoop stress

4.2 접촉문제

BEASY를 이용한 두번째 예제는 <그림 7>에서의 다른 재료의 두개의 튜브가 0에서 -0.005in의 초기갭(initial gap)에 의해 연결된 것으로 y=0와 z=0면에서 대칭인 구조체이다. 각각의 튜브는 두개의 다른 영역(zone)으로 정의 되어 상이한 물성치가 주어 졌다. 해석결과인 변형된 모양과 응력분포는 각각 <그림 8>과 <그림 9>와 같다.

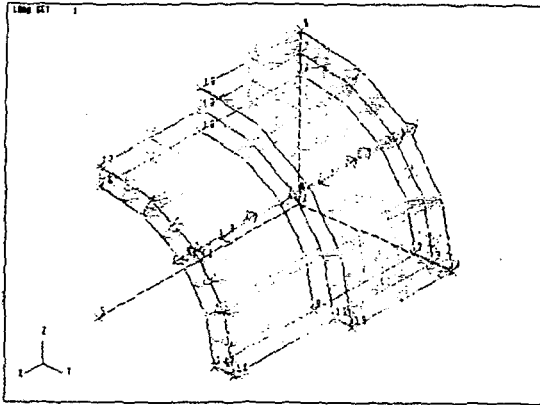


그림 7: 해석 모델

Material Properties:

Zone 1
 Youngs Modulus = 10E6 psi
 Poissons Ratio = 0.34
 Zone 2
 Youngs Modulus = 30E6 psi
 Poissons Ratio = 0.30

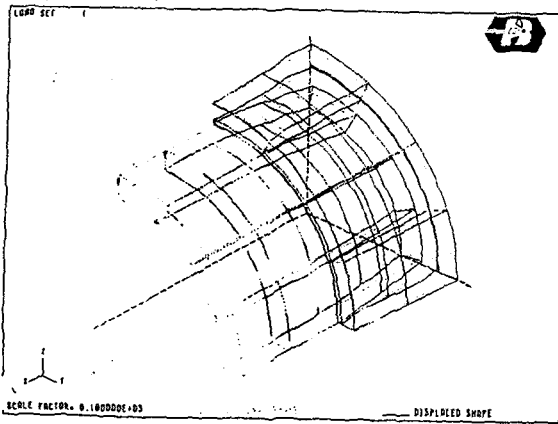


그림 8: 변위

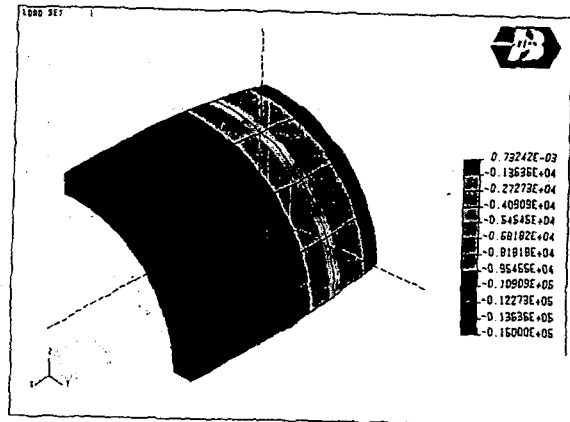


그림 9: 응력 분포

4.3 균열 성장 문제

여기서는 Mode I 과 Mode II 균열형상이 합쳐져서 생긴 곡선모양의 복합균열을 해석 하였다. 하중은 <그림 10>에서와 같고 아래의 물성치를 사용하였다. 계산결과로 균열의 성장이 <그림 11>에 표시되어 있고, 응력의 상태와 응력확대계수가 각각 <그림 12>와 <그림 13>에 나타나 있다.

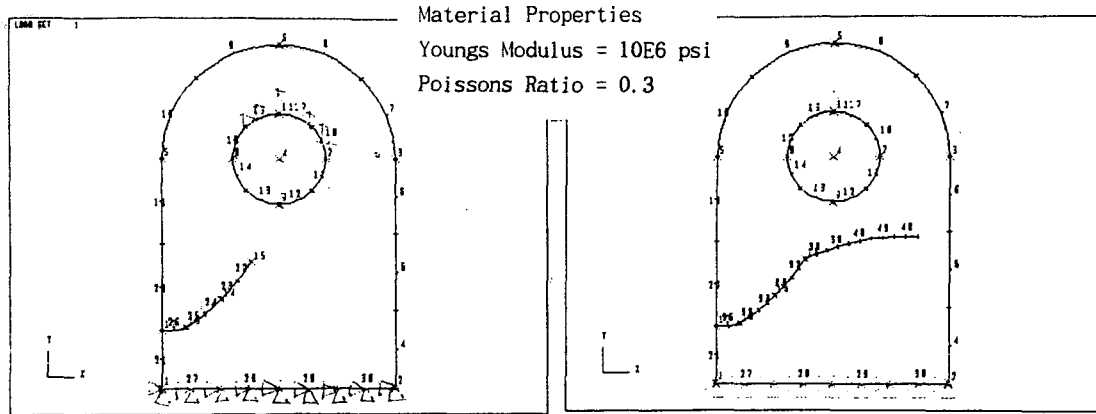


그림 10: 균열해석 모델

그림 11: 균열성장

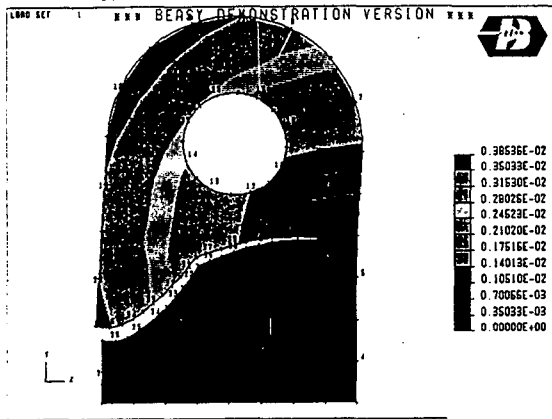


그림 12: 응력 분포

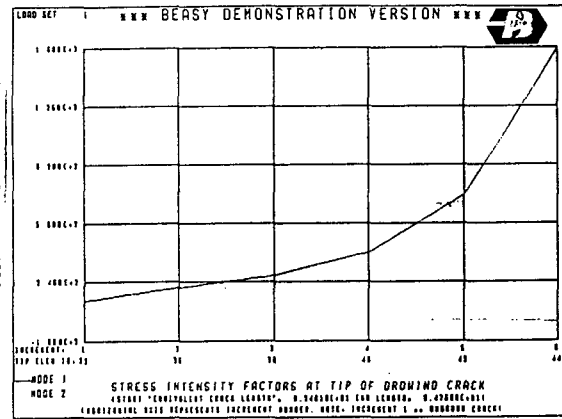


그림 13: 응력확대계수

5. 결론

여기에서 제시된 예제의 결과의 개선이 필요하다면, 이는 요소의 추가에 의한 간단한 모델의 변경을 통해 용이하게 수행될 수 있다. 이것은 유한요소법만을 사용하는 사람들에게 큰 매력으로 작용할 것이다. 본 논문에서 제시된 간단한 예제들은 단지 BEASY 기능의 일부를 알리기 위한 것으로, 경계요소법의 장점을 이용한 실무에서의 BEASY 응용영역은 대단히 넓다.

본 논문을 통하여 조금이라도 경계요소법 사용자의 수가 늘어나, 상호간의 정보교환이 더욱 활발해지기를 바란다.

감사의 글

BEASY의 사용을 가능하게 해주신 대림기술정보에게 감사드립니다.

참고 문헌

1. A.A.Becker, The Boundary Element Method in Engineering, McGraw-Hill Book Company, 1992
2. H. Liebowitz(Ed), Fracture: An Advanced Treatise, Academic Press, 1968
3. Y. Murakami, Stress Intensity Factors Handbook, Vol 1 and 2. Pergamon Press(1987)
4. BEASY User Guide, Computational Mechanics Pub. 1994