

OPERA-3d 전처리기에서의 변수화 모델링 기법

임인택*, 이상진**

*(주) 유진데이터 EDA팀, **위덕대학교 전기공학과

Parametric Modeling Technique in OPERA-3d Preprocessor

In-Taek LIM*, Sang-Jin LEE**

*EDA Team, EUGENE Data Inc., **Electrical Eng., UIDUK Univ.

Abstract - Parameterizing a model is one of the most efficient ways of conducting "virtual prototyping" i.e. exploring the "What if?" scenario. But it is very difficult to construct parameterized models in commercial based FEM programs, because they usually adopt the mouse inputs in their GUI, which cannot be parameterized. We consolidated a parametric modelling technique in OPERA-3d preprocessor, which is one of world leading electromagnetic analysis programs, by combining the mouse inputs in GUI with it's FORTRAN-based self script command language.

1. 서 론

경쟁력 있는 전기기기 제품을 만들기 위해서는 설계에 대한 기본적 사항들을 재검점할 필요가 있기 때문에 전자장 수치해석 프로그램의 사용은 최근 몇 년 사이에 급격히 증가하고 있으며, 이러한 추세는 앞으로도 지속될 것으로 예상된다. Vector Fields사의 전자장해석 전문 프로그램인 OPERA series는 쉬운 사용법과 다양한 기능을 갖추고 있기 때문에, 이를 이용하면 단기간에 설계에 적용하여 보다 개발된 제품을 개발할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 전기기기의 개념설계 시 필수적인 기능인, 변수를 변화시키면서 각각에 대한 유한요소 해석모델을 자동으로 발생시켜 주는 변수화 모델링 기법(parametric modeling technique)을 3차원 전자장해석 프로그램인 OPERA-3d의 전처리기를 이용하여 구현하였다. OPERA-2d에서는 프로그램 자체에서 메뉴 방식으로 이러한 기능이 지원되지만, OPERA-3d에는 없기 때문에 메뉴방식의 명령과 함께 포트란 문법과 유사한 자체 명령어를 사용하였다. 또한 이를 유도형 센서에 적용하여 센서와 목표물과의 거리를 변화시키면서 3차원 유한요소 해석모델을 자동으로 발생시켜 거리의 변화에 따른 센서에서의 역기전력을 계산하였다. 이러한 변수화 모델링 기법을 이용하면 전자장 해석에 필요한 만큼의 많은 모델을 자동화하여 양산할 수 있고,¹⁾ 결과적으로 제품개발 기간을 획기적으로 단축할 수 있다.

2. 변수화 모델링 기법

2.1 변수화 모델링의 개념

변수화 모델링은 기기의 한 설계변수를 변경하였을 때 어떠한 결과가 발생하는지를 알고자 할 때 가장 효율적인 방법이다. 일반적으로 모델은 실제의 치수가 아닌 설

계변수 이름으로 설명이 되며, 모델의 형태를 완성하기 위해서는 단순히 변수이름에 적절한 값을 대입하기만 하면 된다. 일단 변수를 이용하여 모델을 만든 후에는 변수에 임의의 값을 대입하여 모델의 형태를 변경하는 것이 가능해진다. 이러한 개념은 기기의 설계에 있어 가장 기본적이면서도 필수적인 내용으로 모델의 형상을 변화시켜 가면서 특성을 파악하기 위한 전단계라고 할 수 있을 것이다.²⁾

2.2 GUI를 이용한 전처리기에서의 문제점

일반적으로 GUI를 이용하지 않는 전자장해석 프로그램의 경우에는 모델의 각 정점을 직접 숫자로 입력하기 때문에 숫자 대신 변수를 사용하여 입력하여도 큰 문제가 발생하지 않는다. 하지만 모델의 구조가 복잡해질수록 이러한 입력 방식으로는 곧 한계에 이르기 때문에 범용성을 갖고 사용되기에는 부적합하다. 따라서 대부분의 상용 프로그램에서는 모델을 입력할 때 GUI에서 마우스로 입력할 수 있도록 지원하고 있다. 하지만 모델의 입력에 마우스의 좌표가 사용된다면 모델을 변수화하기가 매우 어렵게 된다. 이러한 상황을 쉽게 설명하기 위하여 일차원 모델에 대하여 하나의 예를 들어보기로 한다.

두 개의 변수가 각각 $x_1=1$, $x_2=2$ 의 값을 가지고 있고, 화면에서 x_1 을 지시하기 위해서 마우스로 누른 점의 좌표가 1.1이라고 가정하자. 현재 마우스로 입력한 점에서 가장 가까운 점은 x_1 이므로 원하는 결과를 나타낼 것이다. 이제 변수 x_1 의 값이 1에서 2.2로 변화했을 경우를 가정한다. 이 경우 x_1 을 지시하기 위하여 화면에서 마우스로 누른 점의 좌표는 1.1을 그대로 유지하고 있지만 더 이상 x_1 에서 가장 가까운 점이 아니다. 즉, x_1 을 의미하던 마우스 입력이 이제는 x_2 를 지시하게 되고 이후로는 원하지 않는 결과를 초래하게 되는 것이다. 이러한 결과를 피하기 위해서는 GUI에서의 마우스 입력을 포기하던지 아니면 모델의 변수화를 포기해야 하는 문제가 발생한다.

2.2 OPERA-3d에서의 해결방법

2.1에서와 같이 원하지 않는 결과를 피하기 위해서 Vector Fields사에서는 그림 1과 같이 3단계로 모델을 만들 것을 권장하고 있다.³⁾ 먼저 처음에는 변수를 사용하지 않고 변수의 대표값을 이용하여 실제 치수대로 모델을 만들어 저장한 다음, 이를 다시 GUI로 불러들여 마우스 입력용 좌표를 얻고 다시 일반 텍스트 편집기를 이용하여 변수화시킨다는 내용이다.

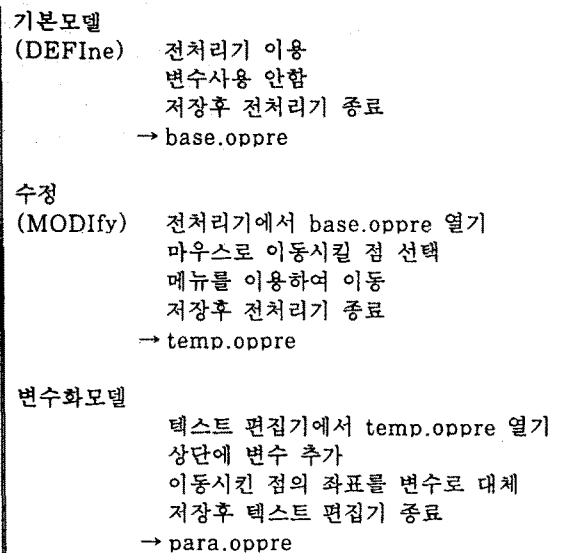


그림 1. 변수화 모델의 제작 순서

Fig. 1. Procedure for parameterizing a model

즉, 모델을 만들 때는 변수를 사용하지 않음으로서 마우스로 입력한 점의 좌표가 원하지 않는 정점을 가르키는 일이 없도록 한 후에, 모델을 수정하기 위하여 옮기고자 하는 정점에 대한 좌표를 마우스를 이용하여 얻는다. 다음 텍스트 편집기를 이용하여 모델에 변수를 추가시키고, 전단계에서 메뉴를 이용하여 이동한 내용을 추가된 변수로 치환하면 된다. 여기서 주의할 사항은 옮기고자 하는 점의 좌표(변수의 내용)는 변경할 수 있으나 그 점을 지시하는 마우스의 입력좌표는 절대로 변경하면 안된다는 사실이다

본 논문에서는 Vector Fields사에서 제시한 위의 방법을 개선하여 보다 효과적이면서도 쉬운 방법을 제시하고 있다. 위에서 제시된 방법의 문제점은 전처리기용 파일인 temp.oppre 파일에는 해석 프로그램과 후처리기 프로그램에서 사용할 데이터베이스 파일인 *.op3를 만들기 위한 많은 정보가 포함되어 있기 때문에 그 내용을 사용자가 쉽게 파악할 수가 없다는 점이다. 더욱이 모델의 구조가 복잡할 경우 파일의 크기가 방대해지기 때문에 텍스트 편집기에서 이 파일을 불러들였을 때 변수화를 원하는 정확한 위치를 찾기가 매우 어렵다는 단점이 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 OPERA 프로그램의 기록파일을 이용하였다. 즉, 전처리기 및 후처리기를 실행시킨 후 이를 종료하면 그 입출력 내용을 기록해주는 *.log 파일과 *.lp 파일이 자동으로 생성되는데 본 논문에서는 입력내용만 기록이 되는 LOG 파일을 이용하였다. LOG 파일에는 모델의 전체 정보가 아닌 프로그램을 실행시킨 후 GUI의 메뉴 또는 명령어 입력방식으로 입력시킨 모든 내용이 명령어로 변환되어 기록이 된다. 이 파일의 장점은 크기가 작을 뿐만 아니라 그 내용을 쉽게 파악할 수 있고, 또한 GUI의 'Commands in' 메뉴 명령어를 통하여 불러들일 경우 재실행이 가능하다는 점이다. 따라서 그림 1의 내용중 세 번째 단계에서 temp.oppre 파일이 아닌 *.log 파일을 편집해 변수화시킨 후 이를 para.comi의 이름으로 저장한다. 다음에는 전처리기를 재실행시켜 base.oppre 파일을 불러오고 여기에 'Commands in' 메뉴에서 para.comi 명령

어 파일을 실행시키면 변수화된 모델이 만들어진다. 이를 para.oppre로 저장하면 된다. 또한 para.comi 파일을 만드는 단계에서 여러 가지 제어문(do, for, if 등)이나 함수를 사용할 수 있으며, 파일 입출력도 가능하기 때문에 메뉴 방식과 명령어 방식을 혼용하여 사용하는 것이 가능하다. 즉, 먼저 메뉴 방식으로 변수화된 모델을 만들기 위한 기본적인 명령어를 얻고 텍스트 편집기를 이용하여 프로그래밍 기능을 추가시킬 수 있다. 이러한 방법은 전처리기에 국한되는 것이 아니라 후처리기에서도 그대로 사용할 수 있기 때문에 모델을 제작하고 결과를 처리하는데 무한한 유연성을 제공한다.

3. 적용사례

3.1 유도형 센서

유도형 센서의 전체적인 구조는 그림 2와 같다. 권선에는 자기장을 발생시키는 1000Hz의 교류전류가 흐르고, 전체전류의 합은 3A이다. 철심은 자기장의 방향을 목표물 쪽으로 안내하는 역할을 하며, 여기에는 강자성의 적층된 철심이 사용된다. 목표물은 강자성의 도체로, 목표물이 권선 가까이 접근하면 자기장의 형태에 영향을 주게된다. 이러한 영향은 권선의 임피던스에 변화를 일으켜 목표물이 접근했다는 사실을 감지할 수 있다. 즉, 목표물의 자기적 성질을 알고 있으면 목표물과 센서와의 거리를 알 수 있으며, 반대로 거리를 알면 목표물의 자기적 성질을 규명할 수 있을 것이다.

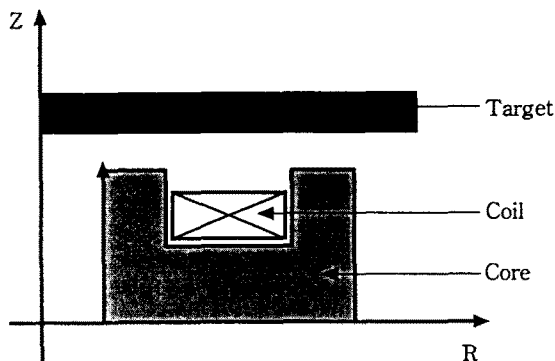


그림 2. 유도형 센서의 구조

Fig. 2. Structure of Induction Sensor

3.2 기본모델의 제작

그림 2의 유도형 센서는 완전한 축대칭 문제이므로 전체 모델의 1/2만을 모델링하였다. 후처리기에는 축대칭 문제를 위하여 해석한 결과를 z축을 기준으로 회전시킬 수 있는 기능이 있기 때문에 더 작게 나누어도 되지만 적절한 그림을 얻기 위하여 이와 같이 모델을 분할하였다. 먼저 yz 평면을 'base plane'으로 하였으며 이를 x축 방향으로 확장하였다. 목표물의 이름은 TARGET, 철심의 경우 CORE, 그리고 권선이 위치하는 목표물과 철심 사이의 공극을 AIR(Reduced)로 정의하였다. 여기서 정의된 이름은 후처리기에서까지 그대로 사용할 수 있을 것이다. 또한 목표물과 공극 영역에서는 계산의 정확도를 높이기 위하여 그림 3과 같이 이차요소를 갖도록 지정하였고, 요소로 분할하기 직전 단계까지를 IS.oppre 파일로 저장한다.

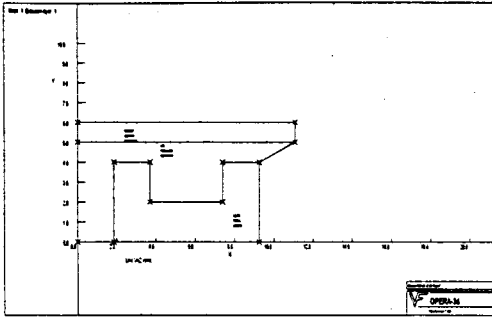


그림 3. 3차원 모델을 위한 기본평면의 구성
Fig. 3. Construction of the base plane

3.3 모델 생성의 자동화 및 해석

전처리기를 실행한 후 저장한 기본모델인 IS.oppre를 불러들인다. 모델에서 TARGET 영역의 각 꼭지점을 'DISPlace' 메뉴명령을 이용하여 원하는 위치로 옮기고 표면요소(surface mesh) 및 입체요소(volume mesh)를 차례로 발생시킨다. 다음에는 해석에 필요한 데이터베이스(*.op3)를 구성할 차례인데 이 모델의 경우에는 정상상태의 교류자장 문제이기 때문에 해석 프로그램으로 ELEKTRA-SS를 선택하고 단위와 여러 가지 물질 상수를 입력한다. CORE 및 TARGET의 투자율에는 적절한 자기포화곡선을 지정하여 비선형 해석이 될 수 있도록 하였다. 완성된 모델을 temp.op3로 저장하고 전처리기를 종료한다. 그림 4는 여기까지 진행하였을 때의 완성된 기본모델이다.

작업 디렉토리에서 가장 최근에 작성된 LOG 파일을 텍스트 편집기로 불러들인 후 'DISPlace' 명령을 찾아 원하는 좌표를 변수화 시킨다. 이때 'DISPlace' 명령의 앞쪽에 위치한 마우스로 입력된 좌표는 수정하지 않도록 주의한다. \$do 시스템 명령어를 사용하면 TARGET과 CORE의 거리를 1부터 15까지 차례로 증가시킬 수 있으며, \$open과 \$close, \$if 등의 시스템 명령어를 이용하여 위에서 저장한 파일의 이름인 temp.op3를 공극의 거리가 파일이름에 들어가도록 IS???.op3로 수정한다. 이제 이렇게 완성된 LOG 파일을 para.comi로 저장하고 텍스트 편집기를 종료한다.

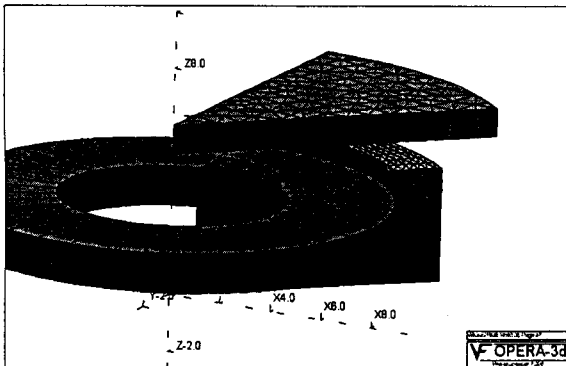


그림 4. 완성된 유도형 센서의 기본모델
Fig. 4. Constructed basic model for induction sensor

다시 전처리기를 실행시킨 후 IS.oppre 파일을 불러들이고 'File' 주메뉴의 'Commands in' 메뉴명령을 이용하여 para.comi의 내용을 실행시키면 작업 디렉토리에 해석 프로그램에서 사용할 수 있는 데이터베이스인 IS01.op3부터 IS15.op3까지의 파일이 차례로 만들어진다. 물론 해석프로그램에서는 이를 일괄작업으로 처리할 수 있다.

3.4 후처리기를 이용한 역기전력의 계산

해석된 결과는 *.op3의 데이터베이스 파일에 추가되는데 이를 후처리기를 이용하여 불러들인다. 역기전력을 계산하기 위해서는 TARGET에서 발생하는 손실을 알아야 하는데 이는 'FIELD' 주메뉴의 'INTEgral' 메뉴명령을 이용하면 된다. 먼저 대상을 TARGET으로 선택한 다음 'INTEgral' 명령을 실행하면 시스템 변수인 'POWER'에 그 값이 저장된다. 전처리기에서와 동일한 방법으로 모든 작업을 자동화할 수 있는데 이 경우에는 마우스를 이용한 좌표의 입력이 없기 때문에 개념이 훨씬 명료해진다. 그림 5는 IS01.op3부터 IS15.op3까지를 후처리기에서 자동으로 불러들여 역기전력을 계산한 결과를 저장한 것이다.

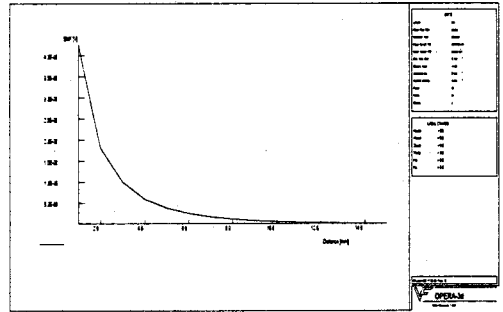


그림 5. 목표물과의 거리에 따른 역기전력의 변화
Fig. 5. Induced EMF variation w.r.t. distance

4. 결 론

전기기를 설계하거나 그 특성을 파악하기 위해서는 짧은 시간에 많은 전자장해석을 수행하여야 한다. 본 논문에서는 전자장해석 전문프로그램인 OPERA-3d를 이용하여 그래픽 방식의 쉬운 모델링 방법과 프로그래밍 방식의 장점을 결합하여 모델생성의 자동화라는 새로운 해결 방법을 제시하였다.

(참 고 문 헌)

- [1] S.J. LEE, M. Hecquet, P. Brochet, P. Delsalle and K.D. CHOI, "Computation of a linear eddy current braking system using the finite element method", 15th International Conference on Magnet Technology(MT-15), Beijing, China, 1997
- [2] Vector Fields Ltd., "Building Models More Efficiently", Advanced 3D Training Course Notes, 1996
- [3] Vector Fields Ltd., "Parameterized Models in OPERA-3d", OPERA-3d User's Guide, 1998