

# 전자장 수치해석 기법 조사 전문 위원회

(유한요소법에 의한 전자장 해석 및 응용)

전자장 수치해석기법 조사전문 위원회 위원장 : 임 달호  
전자장 수치해석기법 조사전문 위원회 간 사 : 한 송업  
전자장 수치해석기법 조사전문 위원회 위 원 : 정 현교

## 1. 서론

최근에는 전자소자 및 전기기기의 소형화, 고효율화, 및 고성능화를 목표로 많은 연구가 이루어 지고 있다. 이러한 소자 및 기기들의 설계를 위해서는 가장 중요한 것 중의 하나가 기기의 전자장 분포를 정확히 해석하는 것이다.

전자장의 물리적 현상은 수식적으로는 맥스웰 방정식으로 표현된다. 이방정식을 풀 때는 해석영역의 경계조건을 만족하여야 하므로 전자장의 해석은 경계치문제 해석으로 귀착된다. 그런데 맥스웰 방정식을 이론적으로 푸는 것은 경계의 형상이 간단하거나 매질의 특성이 선형일 때만 가능하다. 따라서 공학적인 실제의 문제를 다룰 때는 수치적인 해법이 필수불가결하다.

전자장 수치해석기법으로는 경계적분 방정식을 이용하는 경계적분법과 유한차분법 및 유한요소법등의 영역법으로 대별할 수 있다. 이중 근래에 효과적인 수치해석기법으로 많이 이용되고 있는 것이 유한요소법이다. 이 방법은 세계적으로 보면 1960년대말 부터 전자장 해석에 이용되었고 현재에는 그 기법이 매우 발전되어 많은 실제적인 공학문제의 해석에 응용되기 까지 이르렀다.

국내에서는 선전의국보다 10여년 늦게 1970년대 후반 부터 유한요소법에 대한 연구가 시작되었으며 지금은 대학, 연구소 및 산업체에서 이에 대한 연구와 응용이 활발하여 기술수준이 어떤 분야에서는 세계적인 수준에 달하고 있다.

본 조사전문위원회에서는 문헌조사, 토론회 및 간담회 등의 활동을 통하여 얻은 전자장 해석에 있어서의 유한요소기법과 그 응용사례들에 관한 많은 자료들을 바탕으로 보고서를 작성하였으며 현재 최종 마무리 단계에 있다.

## 2. 국내의 연구동향

국내에서는 1970년대 후반 한양대학교 전기공학과에서 처음으로 전자장해석에 유한요소법을 적용하는 연구를 시작하였고

이어서 서울대학교 전기공학과에서 유한요소법 알고리즘에 의한 전자장 해석 프로그램을 개발하였다. 그 후 국내의 다른 여러 대학 및 연구소에서도 연구를 시작하여, 근래에는 이 분야에 관한 연구가 매우 활발하게 이루어 지고 있으며 실제로 우수한 연구결과들이 세계적인 전자장 수치해석 학술회의에서 발표되고 있다.

그 동안 다루어 왔던 중요 연구내용을 살펴 보면, 2차원 정전장 및 정자장 문제가 주로 다루어졌다. 정자장 문제 중에는 영구자석을 포함한 문제도 다루었으며, 선형 뿐만아니라 자기포화 현상을 고려한 비선형 및 이방성 매질 문제도 해석되었다. 그리고 Preisach모델링을 이용한 히스테리시스 현상 해석도 이루어져서 전문학술지 및 학술회의에서 그 결과들이 발표되었다. 또한 DeLaunay법을 기초로한 자동요소 분할 기법이 개발되어 유한요소법 적용의 효율성을 높였고, 오차추정법과 요소세분법의 연구결과를 이용한 적응요소분할 기법에 대한 연구도 많이 이루어져 국내의 산업체에서 실용화되고 있다. 2차원 교류자계 문제 해석을 위해서는 A- $\phi$ 법 또는 T- $\Omega$ 법이 다루어졌으며 응용으로서 선형 유도전동기의 해석에 많이 이용되었다. 이와 같이 2차원 문제 해석은 성공적인 연구수행을 하여 좋은 연구결과들을 얻었으나 아직 3차원 연구는 많이 이루어지지 않았으며 또한 연구결과도 별로 발표되지 못한 실정이다. 그리고 이외에도 개 영역 문제, 고주파 문제 및 반도체 문제 등도 다루어 졌다.

최근에는 변(Edge)에서 정의한 미지수를 이용하는 변요소 유한요소법에 도입되어 물리적 경계조건을 쉽게 만족시켜 해석의 정확도를 꾀하고 있다. 그리고 외부에서 측정된 물리량을 이용하여 전기기기 재료의 물리적 특성 및 재료의 균열등을 유추할 수 있는 역유한요소 기법이 연구되고 있다. 또 다른 역유한요소 기법으로서 전기기기의 형상을 우리가 원하는 물리적 특성을 얻을 수 있도록 설계하는 최적 형상 설계에 대한 연구가 많이 이루어져서 좋은 연구결과들이 발표되고 있다.

이상과 같이 현재까지 국내에서 이루어진 유한요소법에 관한 연구는 성공적으로 수행되었다고 말할 수 있으며 앞으로의 연구방향은 현재 개발되어 있는 기법들을 실제 공학문제 해석에

보다 많은 응용이 이루어지도록 하는 것이다.

### 3. 국내의 응용동향

앞에서 언급한 바와 같이 우리나라에서는 유한요소법에 의한 전자장 수치해석 연구는 대학에서 먼저 이루어져 현재 이 연구 결과들은 산, 학, 연 협동과정에서 정부출연 연구소, 산업체 연구소 및 산업체 설계 담당 부서로 전달되었다. 따라서 근래에는 많은 연구소 및 산업체에서 유한요소법을 이용한 전자장 수치해석의 필요성이 잘 인식되어 자체연구 및 제품개발을 위해 수치해석 소프트웨어를 개발하거나 상용소프트웨어를 구입하여 사용하고 있다.

실제 사용예를 몇 가지 들어 보면, 우선 전동기 해석 분야로서 영구자석 전동기, 유도전동기, 자기부상열차 등에서 자장, 와전류, 전자력 등을 해석할 수 있는 국내에서 개발된 소프트웨어 또는 외국으로부터 구입한 소프트웨어가 한국전기 연구소, 한국 과학기술원, 만도기계, 삼성종합 기술원, 효성중공업 기술연구소 및 금성사 중앙연구소 등에서 사용되고 있다. 고전압기기 해석으로서 초고압 스위치기어, 초고압케이블, 초고압 변압기 등에서 전계 또는 전위분포를 구하고 케이블의 경우 은 도상층까지 해석할 수 있는 소프트웨어가 국내에서 개발되어 한국전기연구소, 효성중공업 기술연구소, 대한전선, 현대 중전기 등에서 사용되고 있다. 음극선관 해석으로 전자빔을 얻는 전자총 부분과 전자빔의 방향을 제어하는 자기편향 요소크의 전장 및 자장을 해석하고 전자빔의 궤적을 구하는 소프트웨어 개발이 삼성전관, 삼성전기, 금성사, 한국전기유항 등에서 대학과 공동연구를 통하여 이루어져서 운용되고 있다. 마지막으로 반도체 해석으로서 반도체 소자 내에서의 정공 및 전자의 분포, 극간 정전용량 등을 해석할 수 있는 소프트웨어들이 외국으로부터 수입되어 삼성반도체, 금성반도체 및 현대전자 등에서 운용되고 있다.

위에서 언급한 것 이외에도 영구자석의 착자기설계 및 전기기기의 형상설계를 위한 전자장 수치해석 응용이 산업체에서 이루어지고 있으며, 앞으로는 수직자기 기록시스템의 해석, 도파관 및 전자파의 산란해석, 비파괴시험 시스템의 개발, 반도체 소자의 옛칭현상 해석, 플라즈마 및 아크 해석 등에도 산업체의 응용을 기대해 본다.

### 4. 위원회 활동 현황

전자장 수치해석기법 조사전문위원회는 1991년 5월에 발족된 이후 1, 2, 3차 회의를 거치면서 조사내용, 조사분야별 위원 결정, 보고서의 내용, 형식 및 목차 등을 결정하였으며 현재 보고서 마무리 작업이 진행되고 있다. 구체적인 회의 내용은 다음과 같다.

### 가. 1차회의

1) 일시: 1991년 8월 22일 오후 2시

2) 장소: 대한전기학회 회의실

3) 회의내용:

- 조사보고서의 내용과 목차 토의
- 조사분야별 집필 위원 선정
  - 유한요소법의 개요 (임 달호)
  - 정전계 해석 (신 판석)
  - 정자계 해석 (정 훈)
  - 교류자계 및 과도자계 해석 (이 기식)
  - 고주파 전자계 해석(신 판석, 이 수영)
  - 전자력 해석 (정 현교)
  - 형상 설계(주 관경)
  - 적용유한요소법(한 송엽)

### 나. 2차회의

1) 일시: 1991년 9월 27일 오후 4시

2) 장소: 대한전기학회 회의실

3) 회의내용:

- 조사보고서 세부목차 확정
- 위원회 활동의 추진일정 토의
  - 보고서 초안을 1992년 2월 28일 까지 작성
  - 보고서 초안을 1992년 3월 31일 까지 검토
  - 보고서 초안을 각자 워드프로세서로 작성

### 다. 3차회의

1) 일시: 1992년 3월 18일 오후 6시

2) 장소: 서울대 호암생활관

3) 회의내용:

- 보고서 초안 검토
- 보고서 형식 결정(기호설명법, 수식표현법, 그림규격, 참고문헌표시 등)

### 5. 결론

국내의 산업이 점차 고도화됨에 따라 전자소자 및 전기기기의 고성능, 고효율화가 요구되며, 이를 위해서는 전자장 수치해석 분야의 소프트웨어의 필요성은 매우 절실한 실정이다. 따라서 학계에서는 더욱 새로운 기법의 연구를 계속하여야 하고 이분야 인력양성에도 힘써야 할 것이다. 그리고 연구소 및 산업체도 산, 학, 연 협동체제를 구축하여 새로운 연구와 기기개발에 필요한 소프트웨어 개발에 힘써야 할 것이다.

본 조사위원회의 조사활동 결과로 작성된 보고서는 학계, 연구소 및 산업체의 전자장 수치해석 소프트웨어 개발에 종사하는 관계자들에게 큰 도움이 될 것으로 믿는다.

보고서 목차

전자장 수치해석 기법과 응용  
(유한요소법)

1. 유한요소법의 개요

- 1.1 서론
- 1.2 유한요소법의 기본 개념
- 1.3 변분원리와 가중잔차법
- 1.4 유한요소해석의 적용

2. 전자계 해석

- 2.1 정전계
- 2.2 정자계
- 2.3 교류자계
- 2.4 고주파 자계
- 2.5 과도자계

3. 전자력계산

- 3.1 맥스웰 응력법
- 3.2 가상변위법
- 3.3 자화 전류법
- 3.4 적용사례

4. 적용유한요소법

- 4.1 적용유한요소법의 원리
- 4.2 초기요소망 발생
- 4.3 오차 추정법
- 4.4 요소세분법
- 4.5 적용사례

5. 형상설계

- 5.1 민감도법에 의한 설계
- 5.2 자기회로법과 연계한 설계

6. 결론