

우리나라 전자장 수치해석분야의 현재와 미래

한 송 업

(서울대 공대 전기공학과 교수)

1. 서 론

전자장의 거동은 Maxwell의 방정식으로 표현할 수 있다. 이 방정식을 풀때는 그 경계조건을 만족하여야 하므로 전자장의 해석은 경계치 문제로 귀착된다. Maxwell 방정식의 해법은 해석적인 해법과 수치적인 해법으로 크게 나누어지는데 전자의 경우는 경계의 형상이 간단하거나 매질의 특성이 선형일때만 가능하다. 따라서 공학적인 실제의 문제를 다룰 때는 수치적인 해법이 필수불가결하다.

근래에 와서 전기기기의 고효율화, 경량화, 고성능화등의 필요성에 의하여 전기기기 내에서의 전자장을 정확히 해석할 필요성이 증대되었다. 이를 위하여 효과적인 수치해석기법의 연구가 활발히 진행되어 왔는데 세계적으로 보면 1960년대 말부터 유한요소법이 전자장해석에 이용되었고 근래에 괄목할만한 발전을 이루었다.

국내에서는 선진외국보다는 10여년 늦게 1970년 후반부터 이에대한 연구가 시작되어 지금은 대학, 산업체에서 전자장수치해석에 대한 연구와 응용이 활발하고 어떤 분야는 세계적인 수준에 달하고 있다. 본고에서는 주로 국내의 유한요소법 및 경계요소법의 연구와 응용현황을 기술하고 앞으로의 전망을 기술하기로 한다. 그리고 본고를 작성하는 과정에서 자료조사의 미흡으로 모든 분야가 충분히 기술되지 못한 점에 대하여 깊은 이해가 있기를 바란다.

2. 학계에서의 연구현황

국내에서는 1970년대 후반 한양대학교 전기공학과에서 처음으로 전자장해석에 유한요소법을 적용하는 연구를 시작하였고 이어서 서울대학교 전기공학과에서 시작하였으며 1980년대 중반에는 한국과학기술원 전기전자공학과에서 시작하였다. 이상의 세 연구그룹이 국내에서는 가장 중추적 역할을 하고 있으며 근래에는 강원대학교, 단국대학교, 중앙대학교 등에서도 이 분야의 연구가 심도있게 이루어지고 있다.

그동안 국내에서는 유한요소법 및 경계요소법에 관한 논문이 전문학술지에만도 50여편 발표되었는데 그중 중요연구내용을 들어보면 아래와 같다.

정자장 문제 — 영구자석 자기회로를 포함하여 2차원의 정자장 문제들이 많이 다루어졌다. 3차원 정자장에 대하여는 일부에서 연구되었으며 전문학술지에 발표된 것은 없다.

와전류 문제 — 2차원 문제에서 A- ϕ 법 또는 T- Ω 이 다루어졌으며 응용으로서 선형유도전동기의 해석에 많이 이용되었다. 3차원문제는 A- ϕ 법, T- Ω 법, E- Ω 법등이 일부에서 연구되었으며 전문학술지에 발표된 것은 아직 없는 실정이다.

비선형 문제 — 자기포화 현상은 Newton-Raphson법을 이용하여 다루고 있으며 근래에는 이방성 매질에 대한 자기포화 현상도 다루고 있다. 히스테리시스현상은 Preisach 모델을 이용하여 해석하고 있다.

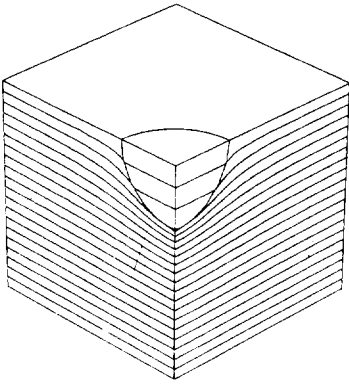


그림 1. 3차원 계산모델 : 평등전계 중에 놓인 유전체구

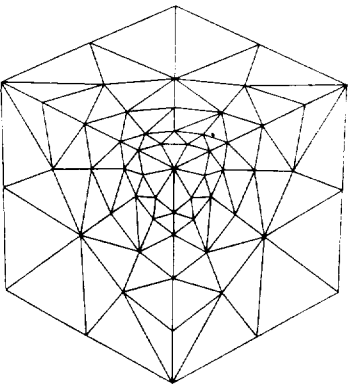


그림 2. Delaunay 법으로 작성한 사면체 초기요소

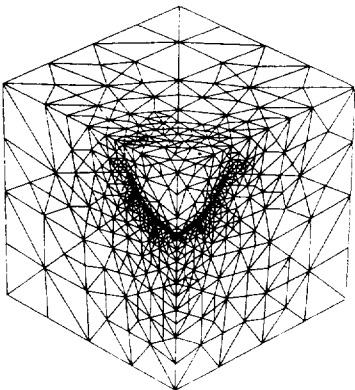


그림 3. 적응유한요소법으로 얻어진 요소망

자동요소분할 — Delaunay법에 의한 요소분할방법이 연구되어 2차원의 경우는 국내의 산업체에서 실용화되고 있고 근래에는 국내에서 개발된 것이 외국에서도 실용화되고 있으며 3차원에 대하여도 연구되

어있어 이것도 실용화 단계에 이르고 있다.

적응유한요소법 — 오차추정방법 및 요소 세분법에 대한 연구가 많이 이루어져 2차원의 경우는 국내의 산업체에서 실용화되고 있다. 3차원의 경우는 일부에서 연구되고 있는 실정인데, 한 예를 들어보면 아래와 같다. 그림1은 평등전계중에 놓은 유전체(1/8만고려한 것임)이고 그림2는 이것을 유한요소법으로 해석하기 위하여 Delaunay법으로 초기요소망을 만든 것이다. 절점수가 92, 요소수가 324개이다. 여기에 적응유한요소법을 적용하여 요소수를 증가시키나갔는데 그림3은 절점수 3741, 요소수 19402개 일때의 요소망을 보여준다. 여기에서 구하여진 등전위선이 그림1에 나타나 있다.

대형행렬식 계산 — 초기에는 Gauss-Seidal법을 이용하였으나 점차 행렬식이 대형화되고 비선형문제등 반복계산이 많아짐에 따라 JCG(Jacobi Conjugate Gradient)법, ICCG(Incomplete Cholesky Conjugate Gradient)법 BCG(Biconjugate Gradient)법 등의 반복계산법이 도입되었고 적응유한요소법을 사용하는 경우 다층요소망(Multi-Grid)법도 연구되었다.

개영역문제 — 초기에는 유한요소법과 고유함수를 이용하는 방법이 연구되었으나 근래에는 유한요소법과 경계요소법을 이용한 연구가 이루어지고 있다.

고주파 문제 — 이 분야는 비교적 최근에 들어 연구되기 시작하였는데 도파관내에서의 고주파 전파특성을 다루고 있다.

반도체문제 — 전통적으로 내려오던 FDM법의 이용이 아직도 큰 부분을 차지하고 근래에 FEM법을 이용한 모델링이 이루어지고 있는데 그 성능이 상용프로그램에 비하여 크게 미흡한 실정이다. 그러나 Upwind기법, 적응요소분할등 새로운 개념의 도입이 시도되고 있다.

위에서 설명한 분야 이외에도 플라즈마해석, 전자력해석, 전자유체 등에 대한 해석도 다루어지고 있다.

3. 연구소 및 사업체의 응용동향

국내의 정부출연 연구소, 산업체연구소 및 산업체 설계 담당부서에서는 전자장수치해석에 필요한 소프트웨어를 개발하거나 상용소프트웨어를 이용하여 제품을 개발하고 있다. 이것을 사용목적별로 나누어 기술하여보면 아래와 같다.

전동기해석 — 영구자석 전동기, 유도전동기, 자기 부상열차등에서 자장, 와전류, 전자력등을 해석할 수 있는 소프트웨어가 외국으로부터 수입되거나 국내에서 개발되어 기기의 해석 및 설계에 쓰여지고 있다. 한국전기연구소에 FLUX2D, 한국과학기술원 시스템센터에 MAGNAFIM, 만도기계에 AN-SOFT, 삼성종합기술원에 ANSYS 등이 수입된 소프트웨어이고 효성중공업기술연구소, 삼성종합기술원, 금성사 중앙연구소 등에서는 대학과 공동연구를 통하여 소프트웨어를 개발하여 이용하고 있다.

고전압기기해석 — 초고압 스위치기어, 초고압케이블, 초고압 변압기등에서 전계 또는 전위분포를 구하고 케이블의 경우 온도상승까지 해석할 수 있는 소프트웨어를 운용하고 있다. 이 소프트웨어는 국내의 대학과 산업체가 공동으로 연구한 것인데 현재 이용하고 있는 곳은 한국전기연구소, 효성중공업 기술연구소, 대한전선, 현대중전기 등이다.

음극선관 해석 — 음극선관에서는 전자빔을 얻는 전자총부분과 전자빔의 방향을 제어하는 자기편향 요오크의 전장 및 자장을 해석하고 전자빔의 궤적을 구하는 수치해석을 다룬다. 국내에서는 삼성전관, 삼성전기, 금성사, 한국전기음향등에서 대학과 공동연구를 통하여 소프트웨어를 개발하여 운용하고 있으며 근래에는 자체연구를 통하여 보다 고성능의 수치해석기법을 연구개발하고 있다.

반도체 해석 — 반도체 소자내에서의 정공 및 전자의 분포, 극간 정전용량등의 전기적 파라미터를 해석하기 위한 소프트웨어들이 외국으로부터 수입되어 운용되고 있다. 삼성반도체, 금성반도체, 현대전자 등에서 PISCES, MINIMOS등을 사용하고 있다.

4. 산학협동

앞에서도 언급한 바와 같이 국내에서의 전자장 수치해석 연구는 대학에서 먼저 이루어졌으며 이것이 점차 결실을 맺게되면서 산업체에 전자장 수치해석의 응용기법이 전달되게 되었다. 그중에서 가장 팔목할 만한 것 몇가지만 소개하면 아래와 같다.

워어크숍 — 1982년 8월 대한전기학회 전기기기연구회 주최로 서울대학교 공과대학 전기 공학과에서 5일간 개최되었다. 정전장, 정자장, 교류자장 등의 문제를 다루었으며 Apple 컴퓨터를 이용하여 실습하

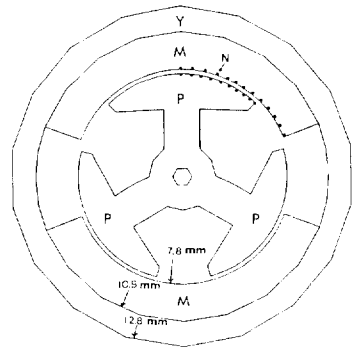


그림 4. 계산모델 : 소형영구자석 직류전동기

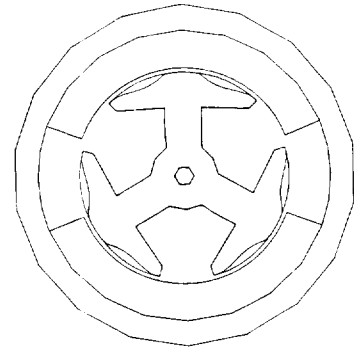


그림 5. 철자극의 형상을 최적화한 결과

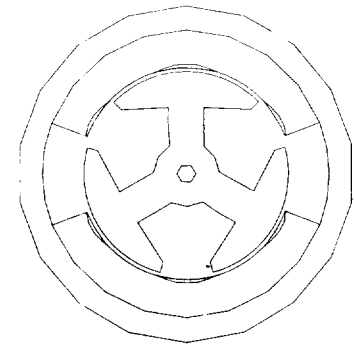


그림 6. 영구자석의 형상을 최적화한 결과

였다. 이때의 참석인원은 연구소, 산업체, 대학원을 포함하여 30여명 정도였다. 그 이후 이 워어크숍은 계속되어 1989년까지 8회를 기록하였고 교육내용도 매년 넓어져 근래에는 전자력계산, 자동요소분할등의 내용도 다루고 있다. 참석인원은 매회 30명정도에 이르고 있어 8년간 200명 넘는 인원이 참석하였으며 이제는 IBMPC를 이용하여 실습하고 있다.

응용프로그램개발 — 산업체에서 필요로 하는 전자장 수치해석프로그램은 일반 범용프로그램으로 사용 가능한 경우와 특수프로그램을 개발하여야 하는 경우가 있기 때문에 국내의 많은 산업체가 대학과 공동연구를 통하여 전자장 수치해석 프로그램을 개발하였다. 그 대상은 고전압기기의 전계 및 온도해석, 영구자석 전동기의 자계해석, 음극선관의 전자궤도해석 등인데 효성중공업 기술연구소, 한국전기연구소, 삼성종합기술연구원, 삼성전기, 삼성전관, 금성사 중앙연구소, 금성사, 대한전선, 현대중전기 등이 대학과 공동연구를 수행한 바 있다.

설계 위어크숍-1989년 12월 4일 기초전력공학공동연구소와 대한전기학회 전기기기연구회 공동주최로 “민감도를 이용한 전기기기의 형상설계” 위어크숍이 개최되었다. 지금까지도 전자장 수치해석기법은 전자장의 해석에 주로 쓰여왔는데 여기서는 설계에 이용될 수 있는 이론과 응용사례를 다루었다. 응용사례로서 영구자석 소형전동기의 코깅토크를 저감하는 철자극 또는 영구자석의 형상을 다루었는데 그림4는 통상의 전동기 단면이고 그림5는 고정자의 철심형상을 최적화한 것이고 그림6은 회전자의 영구자석형상을 최적화한 것이다.

5. 앞으로의 전망과 과제

우리나라의 산업이 점차 고도화됨에 따라 고성능 전기기기의 개발이 필수불가결하고 따라서 전기기기의 전자장을 효과적으로 해석할 수 있는 소프트웨어를 필요성도 더욱 절실하여지고 있다. 이를 위하여 전자장 수치해석기법의 연구와 그 응용방법에 대한 연구가 계속적으로 이루어져야 한다.

우선 SUN, APOLLO, MIPS등 고성능 위어크 스테이션의 보급이 많이 이루어져 전자장 수치해석 컴퓨터프로그램들이 실제의 문제를 쉽게 다룰 수 있고 계산시간도 매우 단축되어 이 분야 프로그램의 유용성이 점차 고조되고 있다. 특히 근래에는 Transputer가 등장하여 컴퓨터의 계산 속도가 더욱 증대되었으며 비행하는 물체로부터의 전자파 산란문제도 실시간으로 계산할 수 있게 되었다.

전자장 수치해석 기법상 앞으로 다루어야 할 과제들 중 중요한 것 몇가지를 들어보면 아래와 같다.

3차원 적응요소분할 — 유한요소법 또는 경계요소

법을 적용할 때 가장 다루기가 어려운 부분이 대상 영역의 요소분할이다. 요소분할은 최소한의 요소수로서 최대한의 계산정도를 얻도록 하여야 하는데 이를 위하여는 필요한 곳에는 매우 조밀한 요소망을 만들어야 한다. 이것을 자동으로 처리할 수 있는 기법중의 하나가 적응요소분할기법이고 여기에는 오차 추정법과 요소 세분법이 뒷받침 되어야 한다.

최적형상설계 — 소기의 특성을 가질 수 있는 전기기기의 형상을 수치적으로 설계할 수 있는 기법의 연구이다. 변경시킬 수 있는 파라미터를 정한 다음 소기의 특성에 미치는 민감도를 계산하여 파라미터를 변경하여 가는 기법이다. 여기서는 민감도를 쉽게 구할 수 있는 알고리즘의 개발이 있어야 할 것이다.

역유한요소법 — 전기기기의 외부에서 전자장 분포를 측정하여 전기기기 재료의 물리적 특성, 재질의 균열 등을 유추할 수 있는 기법이다. 최소한의 측정치로부터 원하는 물리량을 정확히 계산할 수 있는 유한요소법 알고리즘 연구가 필요하다.

비선형 문제 — 자기포화, 히스테리시스 현상, 이방성등을 쉽게 정확히 계산할 수 있는 알고리즘의 연구이다. Newton-Raphson 법, Preisach 모델, Chua모델 등이 제시되고 있는데 이들을 효과적으로 적용할 수 있는 기법 또는 새로운 모델링에 대한 연구가 필요하다.

변요소(Edge element) — 지금까지는 요소의 절점에서의 값을 미지수로 하는 요소를 사용하여 왔는데 근래에는 요소의 변에서의 값을 미지수로 하는 요소를 사용하기 시작하고 있다. 3차원 문제해석에 있어 $A=0$ 또는 $B=0$ 의 조건을 쉽게 만족시킬 수 있어 요소행렬식이 간단하여지고 해석의 정확도가 높아진다. 이와같은 요소의 응용연구가 시급히 이루어져야 할 것이다.

이상과 같은 기법이 해결되면 전자장 수치해석의 적용분야는 더욱 확장될 것이다. 영구자석의 착자기 설계, 전기기기의 형상설계, 수직자기기록 시스템의 해석, 도파관 및 전자파의 산란해석, 비파괴시험 시스템의 개발, 반도체소자의 에칭현상해석, 플라즈마 및 아아크해석 등에 곧 전자장 수치해석 기법이 활용될 것이다.

6. 결 론

전자장수치해석에 유한요소법이 도입된지 10여년이 지난 오늘날 학계에서 발표한 연구논문이 50여편에 달하고 있다. 산업체에서는 반도체 분야를 비롯하여 중전기 제작회사, 전자총 및 자기편향 요오크를 제작하는 회사등 20여개 회사에서 전자장 수치해석 소프트웨어를 이용하여 신제품을 개발하고 있다. 대학원교육 및 계속교육을 통하여 이 분야 인력도 300여명에 달하고 있다. 그리고 학계에서 발표된 연구논문중 일부는 세계적 수준에 달하고 있다.

국내의 산업이 점차 고도화 되어가는 이때 전자장

수치해석 분야의 연구인력과 고기능의 소프트웨어의 필요성은 매우 절실한 실정이다. 이와 같은 수요에 부응하기 위하여 학계에서는 더욱 새로운 기법의 연구를 계속하여야 하고 이분야 인력양성에도 힘써야 할 것이다. 그리고 산업체도 산학협동체제를 구축하여 새로운 기기개발에 필요한 소프트웨어의 개발에 힘써야 할 것이다.

이 분야의 연구는 특별한 시설을 요하지 않기 때문에 부존자원이 없는 우리나라에 적합한 연구분야이고 앞으로 세계시장으로의 진출에도 유망하리라 본다.