

PM-RSM의 자동화 해석시스템 연구

김태영, 정기우, 김동훈, 김흥근
경북대학교

A study on the Automatic analysis system for PM-RSM

Tae-young Kim, Giwoo Jeung, Dong-Hun Kim, Heung-Geun Kim
Kyungpook National University

Abstract - This paper proposes a program architecture integrating different engineering software packages, such as Auto-Cad, Excel and Magnet, for realizing an automatic motor analysis. Based on the architecture, the characteristic analysis of a PM-Assited Reluctance SynchronousMotor (PM-RSM) is automatically executed only if main input data of the motor are fed. To achieve this, API fuctions and Visual Basic Scripts provided by the software packages are thoroughly exploited.

와 Visual Basic Script를 이용하여 자동화 할 수 있다[3].

1. 서 론

10여년 전부터 가전 및 산업용 기기와 전기자동차 등에 많이 쓰이는 유도전동기를 대체하기 위해 동기릴럭턴스 전동기(Synchronous Reluctance Motor: 이하 SynRM)의 연구가 활성화 되었다. 그러나 동일사양의 기존 영구자석 전동기에 비해 부피가 커지는 단점이 있다. 이런 단점을 보완하기 위해 근래 영구자석 보조형 동기릴럭턴스 전동기 개발을 일본을 중심으로 한 선진국에서 하이브리드 자동차(Hybrid Vehicles: HV)의 구동/발전용으로 활발히 연구하고 있다[1,2]. PM-RSM은 기존 전동기에 비해 복잡한 회전자 구조 즉, 자속안내자, 자속장벽 및 영구자석 등의 비선형 재질을 포함하고 있다. 이러한 구조적 특징으로 말미암아 PM-RSM의 특성에 관련된 설계변수(Design Variable)의 개수가 기존 전동기에 비해 증가함으로써 자기회로법(Magnetic Circuit Method)으로는 정확한 기기의 특성을 예측하기 어렵다. 따라서 PM-RSM의 편리한 특성해석을 위해서 전자장 수치해석 도구, Excel 및 Auto-Cad등의 공학용 SW를 통합할 수 있는 자동화해석프로그램 개발이 선행되어야 한다.

2. 본 론

2.1 자동화 해석 시스템 개요

일반적으로 전자장 수치해석 도구를 이용한 전동기 특성 해석은 해석대상에 따라 다를 수 있으나 대부분 동일한 반복 작업을 요구한다. 이러한 반복 작업으로는 도면 작성을 위한 CAD작업, 전자장 해석도구를 이용한 특성 해석, 마지막으로 결과를 Excel로 도표화하여 검토하는 작업이다. 그림 1은 전자장 수치해석을 이용한 전동기 정밀특성해석에 요구되는 이러한 공통작업들을 통합하고 자동화 할 수 있는 프로그램 환경을 제시하고 있다.

전동기의 형상에 관련된 치수 date를 Auto-Cad로부터 읽어 Excel의 Spreadsheets에 저장하고 전자장 해석도구인 Magnet에 입력하여 정밀특성해석을 수행한 후 해석 결과를 다시 Spreadsheets에 도식화 한다. 이러한 일련의 작업과정은 Excel 및 Magnet에서 지원하는 API(Application Programing Interface)함수

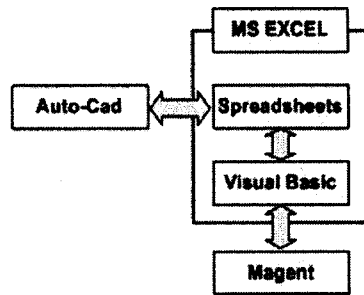


그림 1. 자동화 프로그램 구조
Fig. 1. Automatic program architecture

즉 API 함수 및 다양한 Excel의 매크로 기능을 활용하여 작성된 VB Script file이 자동화 해석 환경의 핵심요소라 할 수 있다. 그림 2는 VB Editor를 활용한 자동화 특성해석 프로그래밍의 예를 보여주고 있다.

```

Dim Name, Control(0) As Variant
Dim wrd(30), wrd(30), wrd(30), wrd(30), wrd(30), wrd(30), wrd(30) As Double
Dim statwr, statstwr, statas, statr, statordpolpitch, rotorordpitch As Double
Dim r0, r1, r2, r3, r4, r5, s, AMP, alpha, alpha, theta As Double
Dim icore, ipole, halfpole, statpole, statarc2, statarc3, halfwidth, polewidth, ext As Double
Dim l, nr, nr, nr As Integer
Dim z0, l, e, b, d, position As Double
Dim CoilMaterial, CoilName, 11, 12, 13, 14, 15 As Variant

Dim nberrier As Integer, Aturns As Integer, Bturns As Integer, ProblemID As Integer
Dim gap, Length, ROR, RIR, IPEAK As Variant
Dim Wb, Alpha, Wm, Lpol, Lmag, Lm2, Lb, Wb2 As Variant
Dim P1, red, cent_y1, cent_y2, cent_y3, cent_y4 As Variant
Dim ErrorFlag As Boolean

Dim MW, Doc, Con, Cur, Sol As Object
Dim Dir, File, Material, PMMaterial, Unit As Variant
Dim x0, y0, X1, Y1, Z1, X2, Y2, Z2, X3, Y3, Z3 As Double
Dim Itrans0, Itrans1, Itrans As Double

Sub SetData()
    ProblemID = 0 ' number of problems to be solved
    Sheets("Analysis").Select
    Range("F5").Select
    Unit = ActiveCell.Value
    Range("F17").Select
    Aturns = ActiveCell.Value
    Range("F17").Select

```

그림 2. VB로 구현된 자동화 해석 프로그램
Fig. 2. Automatic analysis program with VB

2.2 해석 전처리 과정 자동화

전동기의 특성해석을 실행하기 위해서는 전동기의 사양, 치수, 형상정보, 경계조건, 구속조건 등을 체계적으로 관리해야 한다. 먼저 설계변수를 매개화 하고 잘못된 치수 입력으로 초래하는 전동기 유한요소 모델링 시 발생하는 에러를 방지하기 위해 기본형상정보를 검증해야

한다. 또한 재질, 전원조건, 경계조건, 유한요소 분할, 시스템 해석을 위한 옵션과 주기조건도 전처리 해석 과정에서 명확히 기술되어야 한다.

2.2.1 설계변수 매개화

유한요소법을 이용한 전동기 특성해석을 수행하기 위하여 이와 관련된 전동기 치수 및 기본 사양 등이 체계적으로 관리되고 이를 쉽게 수정할 수 있는 환경이 요구된다[4-7]. 그림 3은 Excel의 Spreadsheets상에서 전동기 관련 형상정보 및 치수 관련 정보를 나타내고 있다.

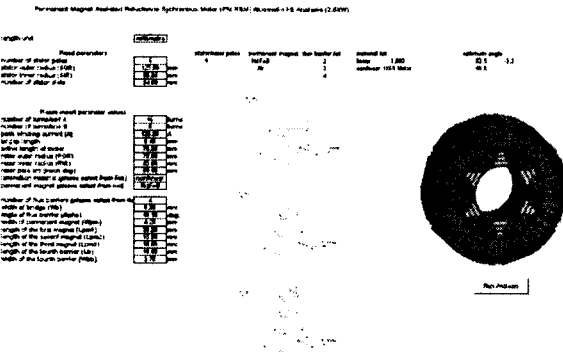


그림 3 PM-RSM의 주요 입력 데이터
Fig. 3 Main input data for PM-RSM

설계변수는 고정된 변수와 변경 가능한 변수로 분류된다. 주로 고정된 변수는 고정자와 관련되어 있다. 이는 기존의 유도기나 영구자석 전동기 등의 고정자를 공유하고 회전자 구조만을 설계하기 위함이다. 변수 값들의 입력 방식은 직접 입력 방식과 한정된 목록에서 선택하는 방식이 있다. 한정된 목록의 예는 그림 4에 제시되어 있다. 자속 장벽의 수는 2-4개로 제한하였고 영구자석의 재질은 Nd자석(NdFeB)과 공기(air)로 지정할 수 있게 하여 릴럭턴스 토크성분과 영구자석에 의한 토크성분을 분리할 수 있게 하였다.

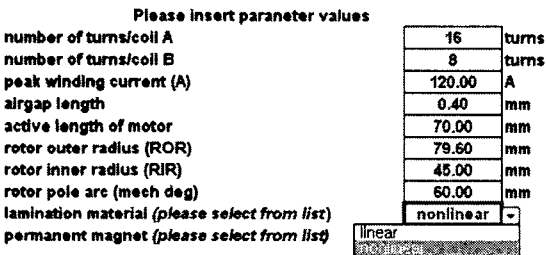


그림 4 목록 창을 통한 변수 값 입력의 예
Fig. 4 Example of parameter input through a list box

2.2.2 형상정보 알고리즘 검증

Excel Spreadsheets로부터 전송된 전동기 주요치수를 이용한 유한요소 모델링 시 발생하는 기하학적 오류를 방지하기 위하여 입력된 변수 값들을 미리 검증할 필요가 있다. 예를 들어 회전자의 외 반경(ROR)보다 내 반경이 허용치수 이상을 초과할 경우 내부 검증알고리즘이 동작하여 잘못된 입력 값에 대한 오류메시지가 그림 5에서와 같이 나타난다.

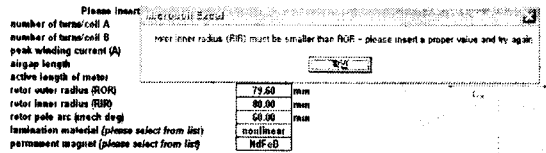


그림 5 잘못 입력된 데이터에 대한 예러 메시지 창
Fig. 5 Error message box for wrong input data

검증하는 대상으로는 공극길이, 회전자 외 반경, 회전자 내 반경, 자속장벽 주요치수, 회전자 브릿지 폭(bridge width), 자속 장벽의 각(flux barrier angle), 영구자석 길이(PM length)등의 주요 전동기 치수들이 고려된다.

2.2.3 유한요소 모델링

기하학적 오류 검증이 끝나면 유한요소 모델링 작업이 자동적으로 수행된다. Excel Spreadsheets창에 입력된 새로운 전동기 치수에 따라 회전자 형상을 결정하는 19개의 설계변수가 반영되어 기존 전동기 회전자 형상을 자동으로 수정하게 된다. 이에 대한 과정은 그림 6에 나타내었다.

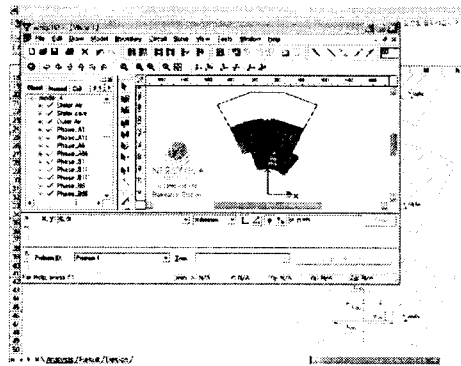


그림 6. 자동화 된 유한요소 모델링 예
Fig. 6 A example of automatic FE modeling

유한요소 형상 모델링 작업이 완료된 후 전동기 특성 해석을 위하여 각부에 대한 재질, 전원 조건, 경계조건 등이 자동으로 입력되어 유한요소해석이 수행된다. 철심 재질과 영구자석 재질에 대해 선형과 비선형조건, 슬롯 당 코일 턴 수 및 전류/전압 조건, 경계조건 부여 등은 Visual Basic Script File에 의해 자동화 된다. 해석 모델 전동기는 6극이므로 해석 시간 단축을 위해 전체 형상의 1/6만이 고려되었고 주기 경계 조건이 그림 7과 같이 부여되었다.

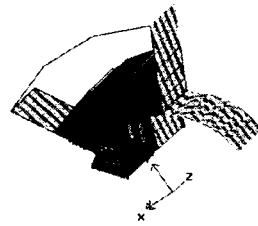


그림 7. 주기경계 조건
Fig. 7 Periodic boundary condition

유한요소해석은 2차 형상함수를 갖는 삼각형 요소와 비선형 해석을 위해 Newton-Raphson법이 사용되었다

다.(그림 8참조). 해석에 사용된 전동기 유한 요소 분할도는 그림 9와 같다.

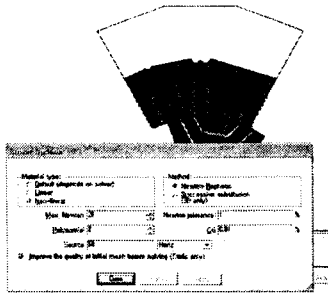


그림 8 유한요소 해석기 옵션
Fig. 8 FE solver option

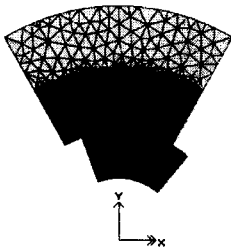


그림 9. 유한요소 분할도
Fig. 9 Finite element mesh

2.3 해석 후처리 과정 자동화

유한요소해석에 의해 수행된 정밀 특성해석 결과를 쉽게 확인할 수 있도록 가시화 되어야 한다. 이를 위해 해석 후 결과 데이터 값들이 Spreadsheets창에 저장되고 Excel의 도표 마법사를 이용하여 그림 10과 같이 주요 전동기 특성들이 도식화 된다. 이러한 자동화 해석 시스템 구현의 핵심은 상이한 범용SW 사이의 설계데이터 공유와 필요시 각 SW 기능들의 선별적인 제어에 있다. 구축된 자동화 해석 프로그램 환경 하에서 실제 데이터 및 해석결과 데이터의 흐름을 그림 11에 나타내었다.

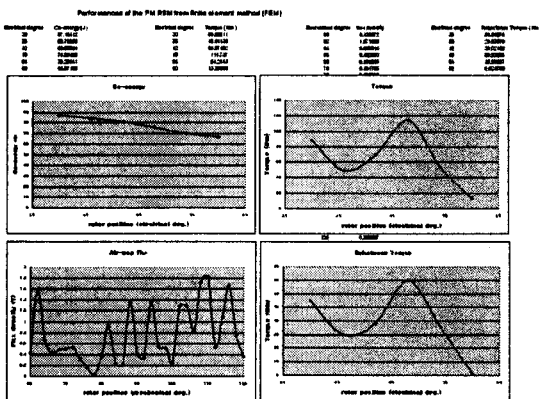


그림 10. 해석 결과 가시화
Fig. 10 Visualization of analysis results

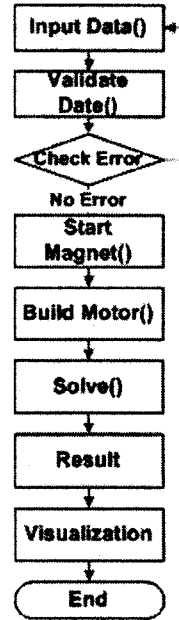


그림 11. 자동화 해석 흐름도
Fig. 11. Flowchart of the automatic analysis

3. 결 론

본 논문에서 제시한 자동화 해석 프로그램은 영구자석 보조형 동기릴럭턴스 전동기 뿐만 아니라 모든 전기 기기 및 소자에 쉽게 적용될 수 있는 유연성과 범용성을 가지고 있다. 따라서 일반 산업 뿐 아니라 의료 및 정보통신에 사용되는 전동기 개발 시 설계비용 절감 효과가 있을 것이라 사료된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원(R-2005-7-067)주관으로 수행된 과제임

[참 고 문 헌]

- [1] Masayuki Sanada, "Torque Ripple Improvement for Synchronous Reluctance Motor Using an Asymmetric Flux Barrier Arrangement", IEEE Trans. on Industry Application, Vol. 40, No. 4, pp. 1076-1082, July/August, 2004.
- [2] Infolytica Corporation, Magnet 6 User's Guide, 2005.
- [3] Ion Boldea, "PM-Assisted Reluctance Synchronous Motor/Generator(PM-RSM) for Mild Hybrid Vehicles: Electromagnetic Design", IEEE Trans. on Industry Application, Vol. 40, No. 2, pp. 492-498, March, 2004.
- [4] Parker, C.F, "Parametric Environment for EM Computer Aided Design", IEEE Trans. on Magnetics, Vol. 32, No. 3, pp.1433-1436, May, 1996.
- [5] Derek N. Dyck, "Automated Design of Magnetic Devices by Optimizing Material Distribution", IEEE Trans. on Magnetics, Vol. 32, No. 3, pp1188-1193, May, 1996.
- [6] Edwin Hardee, "A CAD-based design parameterization for shape optimization of elastic solids", Advances in Engineering Software, Vol. 30, pp, 185-199, 1996.
- [7] Biddlecombe, C. S, "Design environment modules for non-specialist users of EM software", IEEE Trans. on Magnetics, Vol. 30, No. 5, pp. 3625-3628, September, 2004.