

영구자석 내삽형 동기 발전기의 기전력 특성 해석에 관한 연구

이 광 호, 홍 선 기, 권 혁 기  
호서대학교 정보제어공학과

A study for electromotive force character analysis of internal permanence magnet form synchronous generator

Kwang-Ho Lee, Sun-Ki Hong, Hyk-Ki Kwon  
Department of Information Control Engineering Hoseo University

**Abstract** - 본 논문에는 영구자석 내삽형 동기 발전기의 기전력 특성에 해석에 관한 연구이다. 기전력 해석시 측정값과 시뮬레이션의 값의 차이의 원인 중 하나를 영구자석에 있다고 가정 하고 이에 대한 영향을 자석을 세그먼트화 하여 비교 실험하였다. 실제 측정값과 시뮬레이션의 기전력의 차이의 원인에 대해 비교하였다.

1. 서 론

정상적인 상태에서 영구자석 내삽형 동기 발전기에서 나오는 기전력을 측정 후 같은 조건의 시뮬레이션의 기전력을 계산 하고 비교 하면 근사 값의 결과가 나와야 할 것이다. 하지만 영구자석 내삽형 동기 발전기의 기전력 특성 해석을 위해 실제와 같은 조건으로 시뮬레이션을 한 결과 다르게 나왔다. 본 논문에서 실제 측정값과 시뮬레이션의 기전력 값 차이의 원인 중 하나를 영구자석에 있다고 가정하고 연구하고자 한다. 실험 대상 표 1의 기본적인 사양을 가지고 그림 1의 형상을 한 내삽형 자석 동기 발전기이다. 내삽형 자석 동기 발전기를 구동시켜 기전력을 측정 했다. 실제 구동시킨 내삽형 자석 동기 발전기를 똑같은 크기의 형상을 그렸다. 또한 그 형상에 실제 내삽형 자석 동기 발전기의 재질을 넣었다. 2차원 시뮬레이션을 통해 극당 자속을 측정했다. 시뮬레이션을 통해 얻어진 극당 자속을 가지고 기전력을 계산 후 값을 비교했다. 실제로 측정된 기전력과 시뮬레이션을 통해 구한 기전력은 차이가 있는 것을 실험을 통해 알 수 있다. 자석 착자시 균일한 착자가 힘들다. 하지만 시뮬레이션상의 자석은 이상적이다. 실제 자석과 같은 상태를 만들기 위해 시뮬레이션상의 자석을 세그먼트화 하여 세그먼트 전 후와 실제 측정값을 비교 하였다.

2. 본 론

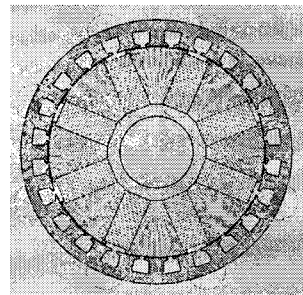
2.1 영구자석 발전기

영구자석 발전기는 영구자석에 의해 공급되는 자속을 사용하는 발전기이다. 이는 고정자와 회전자 모두에서 여자원을 가지는 여자기에 들어 간다. 영구자석 발전기와 일반적인 발전기의 차이가 있다. 기존의 동기기나 직류기는 역률이나 공급전압과 같이 기기의 여러 가지 특성을 제어할 수 있지만 영구자석 발전기에서는 한계가 있다. 그리고 영구자석을 이용하는 기기가 계자 권선에 의한 여자를 이용하는 기기보다 구조적으로 간단하지만 가격면에서는 고려해야 될 부분이 많다. 일반적으로는 페라이트 자석을 사용하는 기기가 상대적으로 전압제어 부분이 작아지므로 저렴하다. 영구자석 발전기의 가장 중요한 정점중의 계자 권선형으로 한다면 비용면에서 불리한 특수한 크기와 모양으로 제작할 수 있다는 점이다. 그러나 영구자석 발전기가 계자 권선형에 비해 약점 부분은 전기자 과전류, 과열 등에 의해 자석이 감자될 수 있다는 점이다. 본 논문에서는 내삽형 자석 동기 발전기의 시뮬레이션을 통해 기전력 값을 구할 수 있다.

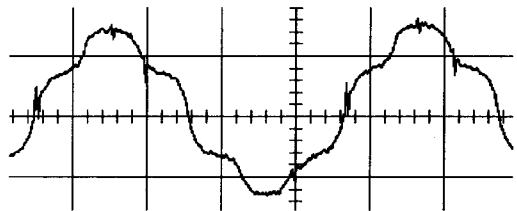
2.1.1 역기전력 비교

<표 1> 해석 모델의 기본적인 사양

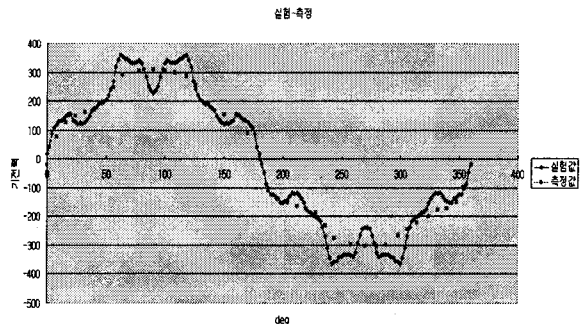
| 항목    | 값     | 단위  |
|-------|-------|-----|
| 정격 입력 | 220   | V   |
| RPM   | 1800  | rpm |
| 극수    | 8     |     |
| 슬롯수   | 24    |     |
| 상수    | 3     |     |
| 영구자석  | 0.395 | T   |



<그림 1> 발전기의 동포텐셜도



<그림 2> 동기발전기 선간전압 측정



<그림 3 > FEM / 실제측정 파형 비교

표 1의 사양의 기본 사양을 가진 영구자석 내삽형 동기 발전기의 상당역기전력은

$$E_t = N \frac{d\Phi}{dt} \quad (1)$$

N은 턴수 이다.

역기전력은

$$rms = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f^2 dt} \quad (2)$$

이다.

그림 1은 영구자석에 의한 샘플 발전기의 동포텐셜도이다. 8개의 직사각 자석과, 극을 형성하는 부채꼴의 회전자 치가 있다. 자석 표면적은 공극 극면적보다 더 넓기 때문에 자석 잔류 자속밀도보다 공극 자속밀도가 더 커질 수 있다. 여기서, 자석에 나온 자속이 공극으로 흘러가야 하므로, 회전자 축을 둘러싼 링구조물은 반드시 바자성체이어야 한다.

그림 2는 표 1과 그림 1의 형상을 가진 영구자석 내삽형 동기 발전기의 실제 측정파형이다.

그림 3는 시뮬레이션과 측정값을 비교해 놓은 그래프이다. 핑크색은 측정값이다. 남색은 본 논문에서 측정값과 비교하고자 하는 3차원 시뮬레이션의 역기전력이다.

## 2.2 영구자석 고려 유한요소 해석법

유한 요소법은 수치해석 기법에 의해 전자기 시스템 문제를 해석하는 방법이다. 이 방법은 특히 형상이 복잡하거나 비선형 물질 특성을 가지는 경우 해석 적해를 구하기가 매우 어려운 경우에 매우 유용한 수치해석 기법이다. 해석 영역 내에서 만족하여야 하는 비선형 미분 방정식은 맥스웰 방정식으로부터 유도가 되며, 보통 이 미분 방정식은 자기 포텐셜(magnetic potential)로 표현이 된다. 회전기, 변압기 등의 전기기기 해석에 유한 요소법을 적용하는 경우 전처리 과정(Pre-processing), 주처리 과정(Main-processing) 및 후처리 과정(Post-processing)으로 이루어진다.

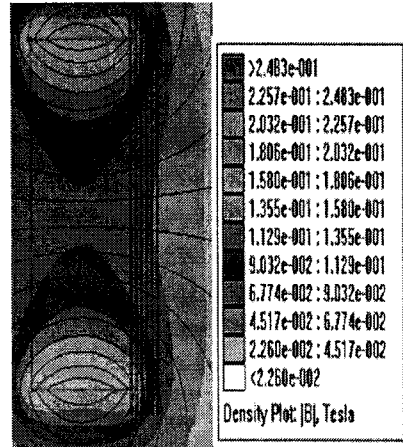
전처리 과정은 요소 분할, 물질 상수값 입력 및 문제 정의의 부분으로 나뉘어 진다. 문제 정의의 과정은 해석 영역의 정확한 경계 조건을 부여 하고, 전류가 흐르는 영역의 전류 밀도 및 전류 방향, 자석의 자화방향 등을 지정하며, 특히 경계 조건 부여 이외의 것은 앞부분의 물질 상수값 입력 과정과 밀접한 관련이 있다. 주처리 과정은 전체 해석 영역을 만족하는 편미분 방정식을 요소별로 이산화된 편미분·방정식으로 바꾸어 해를 구하는 것이다. 이산화에 의해서 편미분 방정식은 절점에서 포텐셜을 미지수로 하는 많은 비선형 연립 방정식으로 변환된다. 이 비선형 연립 방정식을 풀기 위해서는 반복 계산이 필수적이다. 또한 미지수가 많기 때문에 대형 행렬 계산을 하여야 한다. 후처리 과정은 주처리 과정으로부터 각 절점에서의 포텐셜 값이 얻어질 때, 이 포텐셜 값을 이용하여 기전력을 계산하는 과정이다.

### 2.2.1 영구자석의 세그먼트

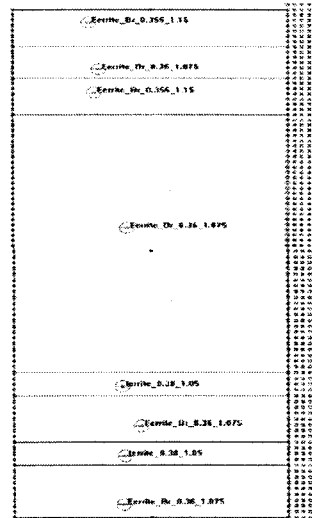
유한요소 해석법으로 풀이된 시뮬레이션 자석을 세그먼트 전, 후와 실제 내삽형 영구자석 동기 발전기에 삽입되는 영구자석과 자속밀도를 비교하였다.

그림 4는 세그먼트 전 자석의 형상과 자속분포를 보여 주고 있다. 그림 5는 세그먼트 후 시뮬레이션을 한 자석의 형상이다. 그림 6에서 남색의 선은 실제 영구자석을 가우스 미터를 이용하여 자석 표면적 거리 1 mm에서 측정 한 자속밀도이고 노란색 선은 그림 5에서 세그먼트 화한 자석의 자석 표면적 1 mm에서 자속밀도를 시뮬레이션 한 값이다. 영구자석의 자속밀도와 시뮬레이션의 자속밀도의 값이 다르다. 그림 3에서 시뮬레이션과 측정값의 피크치 값을 확인 해보면 시뮬레이션의 그래프에서 피크치가 안으로 들어가는 형상이다. 시뮬레이션에서 물결치는 파형을 실제 측정값과 같은 유형으로 만들기 위해서

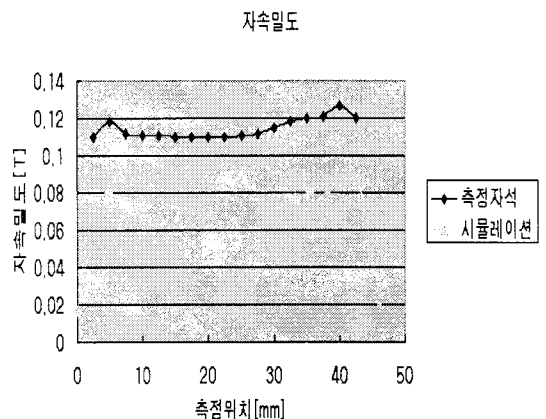
영구자석 자속밀도와 시뮬레이션의 자속밀도의 스케일 보다는 자속의 분포만 시뮬레이션하는 자석을 측정치와 함께 만들고 실험을 하고 비교해 보았다.



<그림 4> 세그먼트화 전 자석

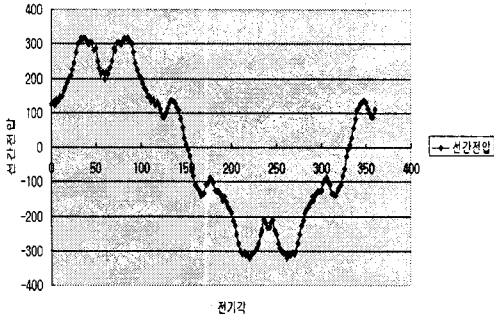


<그림 5> 세그먼트 후 자석



<그림 6> 실제자석과 세그먼트 후 자석 비교

### 3. 결 론



<그림 7> 세그먼트화 후 결과파형

본 논문에는 영구자석 내삽형 동기 발전기의 기전력 특성에 영향을 주는 요인 중 하나를 영구자석이라 가정하고 해석에 관한 연구를 하였다. 시뮬레이션을 하는 자석을 실제 영구자석과 같은 분포로 만들기 위해 세그먼트를 한 후 결과 파형을 자석을 세그먼트화 하여 비교 실험하였다. 그림 7이 세그먼트화 후 시뮬레이션 결과 파형이다. 자석밀도의 스케일의 영향으로 전체적인 크기값이 작아졌을 뿐 실제 측정 파형이 아닌 세그먼트 전 시뮬레이션의 파형과 같은 유형의 파형이 나왔다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 大川光吉, "페라이트 磁石回轉機의 設計", pp.183~268, 1984
- [2] 서울대 전기공학부 전기역학 연구실, "영구자석 전동기 설계", pp.174 ~ 195, 1998
- [3] N Bianchi, S Bolognari, "Performance Analysis of An IPM Motor with Segmented Rotor for Flux-Weakening Application", IEE. no. 468, pp. 49 - 53, 1999.
- [4] Byoung-yull Yang, Hyun-kag Park, Byung-il Kwon, "Design of Flux Barrier for Reducing Torque Ripple and Cogging Torque in IPM type BLDC motor", Electromagnetic Field Computation, 2006 12th Biennial IEEE Conference on 2006, pp.241 - 241, May 2006