

## 소용량 2극 동기발전기의 공극자속 특성 연구

배덕권\*, 김동훈\*\*, 송명곤\*\*\*, 이동영#, 박중신##  
 충주대학교\*, 경북대학교\*\* 백터필드코리아\*\*\*, 위덕대학교#

## Study on Air-Gap Magnetic Flux Characteristics of Small-Scale 2-Pole Synchronous Generator

Duck Kweon Bae\*, Dong-Hun Kim\*\*, Myung Gon Song\*\*\*, Dong-Young Lee#, and Jung-Shin Park##  
 Chungju National Univ.\*, Kyungbuk National Univ.\*\*, VFK\*\*\*, Uiduk Univ.#

**Abstract** - 현대 산업사회의 특징은 대용량화와 고속화에 있다. 전력 부문에 있어서도 예외는 아니어서 초고층빌딩, 대단지 아파트, 공장, 위탁시설, 병원 등 대용량 전력부하가 급격한 속도로 증가하고 있다. 특히 전력부하에 있어서는 대용량화와 동시에 경량 및 부피감소의 요구가 증대되면서도 신뢰성 높은 전력 품질 또한 요구되고 있다. 전기안전의 측면에 있어서 발전소의 안전불량은 전력수용가의 수급 차질로 인한 데이터 전산망, 생산설비의 막대한 재산 피해 뿐 아니라 병원 등에서의 인명 피해도 발생시킬 수 있으므로 이에 대한 대책이 꼭 강구되어야 한다. 본 논문은 소용량 2극 동기발전기의 공극자속 파형 특성연구를 통하여 발전기 회전자 권선의 단락고장진단을 위한 예측진단기술을 개발하는 과정의 일환으로 진행되었으며 우선 정상상태의 공극자속을 컴퓨터 시뮬레이션 방법으로 계산하고 이를 시험치와 비교하여 해석 결과의 신뢰성을 평가하였다. 본 연구의 결과를 바탕으로 발전기의 모의 고장으로 발생하는 공극 자속의 특성을 연구하여 발전설비의 안전 확대에 기여할 것이다.

## 1. 서 론

동기발전기의 기계적 고장을 감시하고 진단하는 기술은 이미 상용화되어 현장에서 많이 활용되고 있으나 전기적 고장에 대한 감시 및 진단 기술은 아직 초기기술개발단계로 국내·외 소수 대학 연구실을 중심으로 한 소규모 연구가 진행되고 있다. 특히 운전 중인 동기발전기의 전기적 고장에 대한 진단 기술에 관련한 국내·외 연구논문 및 기술개발 자료가 전무한 실정이며 따라서 이에 대한 연구는 거의 수행되지 않고 있다고 사료된다. 현재 개발된 발전기의 전기적 고장진단 방법으로는, 대용량 고압 전동기 및 발전기에 커플러(Couplers)를 설치하고 부분방전을 측정·감시함으로써 고장자 권선의 고장진단을 수행하는 방법이 있다. 또한 절연열화 상태를 진단하는 연구는 1980년대 후반부터 본격적으로 시작되었으며, 처음에는 부분방전분석기(PDA: Partial Discharge Analyzer)를 이용하여 수력 발전기의 고정자 권선의 고장진단을 수행하였으며 1990년대 초부터는 터빈발전기분석기(TGA: Turbine Generator Analyzer)가 개발되어 화력 발전기에 적용되고 있다. 이러한 기존의 동기발전기 고장 진단 방법은 상시 감시 시스템의 경우에도 정상상태와 고장상태를 구분할 뿐 고장의 위치 및 그 심각성을 예측하기는 어렵다. 또한 사전진단의 경우 실제적인 사고 발생 후나 정기적인 점검 시 전체 발전기시스템의 정지 후 진단으로 사고 위치의 대략적 판단정도가 가능하다 [1], [2].

본 연구는 동기발전기 권선단락사고의 정확한 진단이 목적이다. 이를 위하여 우선 전자기해석 기법을 활용하여 회전자권선에 대한 공극자속파형패턴 시뮬레이션수행 후 이를 활용한 회전자권선의 파형과 비교하여 향후 수행할 단락사고 해석을 위한 기본 자료를 확보하고자 하였다. 본 연구를 바탕으로 실제 실험으로 연기가 어려운 발전기 고장 시 발생하는 여러 가지 종류의 자속 패턴 및 전압파형을 데이터베이스(Database: 이하 DB)화할 수 있으며, 나아가 이를 활용하여 동기발전기의 회전자권선의 절연이상 징후 및 고장 시 신속하고 정확한 감시 및 진단을 가능케 한다.

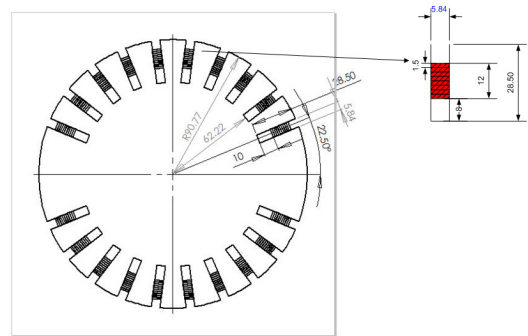
## 2. 2극 동기발전기 및 모델링

## 2.1 2극 동기발전기의 사양

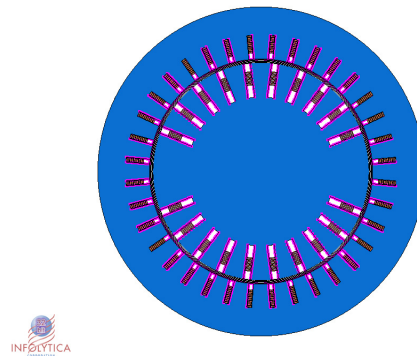
표 1은 본 연구에 사용된 2극 동기발전기의 사양을 나타낸다. 2극 동기발전기의 회전속도를 1,800rpm으로 하여 출력전압의 주파수는 30Hz이며 상의 출력전압은 5V로 설계하였다. 전기자 내경은 188mm, 회전자

〈표 1〉 2극 동기발전기의 사양

발전기	상출력전압	5V	주파수	30Hz
	회전속도	1,800rpm	공극	3.23mm
	전기자내경	188mm	회전자외경	181.54mm
전기자	전기자슬롯수	36	전기자층수	2layer
	슬롯당권선수	10turns/slot 5turns/layer	극수	2pole
	회전자	여자전류	여자전압	5V
회전자	권선수	8turns/slot	축길이	200mm



〈그림 1〉 회전자의 구조



〈그림 2〉 2차원 유한요소 모델링

외경은 181.54mm이다. 또한 공극길이는 3.23mm이다. 전기자 슬롯수는 총 36개이며 2층권으로 구성되어있다. 회전자 권선수는 슬롯당 8턴이며 여자전압 5V로 1A의 여자전류가 회전자권선에 인가되도록 설계하였다. 또한 회전자의 축길이는 200mm이다. 그림 1은 회전자의 구조이다.

## 2.2 2극 동기발전기의 모델링

그림 2는 본 연구에 사용된 2극 동기발전기의 유한요소 해석을 위한 2차원 모델을 보여준다. 해석에 사용된 동기발전기의 전기자슬롯 및 회전자 슬롯은 제작한 발전기와 동일한 구조이며 여자전류로는 직렬로 연결된 여자권선에 1A가 흐르도록 하였다.

### 2.3 유한요소 모델의 자장해석 결과

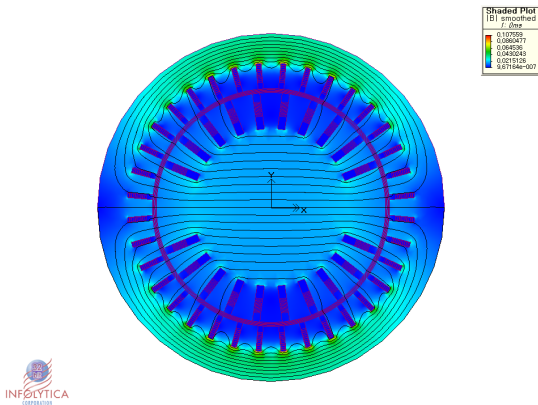
그림 3은 본 연구에서 해석한 2극 동기발전기의 2차원 자장분포를 나타낸다. 본 해석에는 MagNet을 사용하였다. 회전기의 해석에 앞서 정자장 상태에서의 자장분포 해석을 먼저 수행하여 해석을 위하여 나눈 유한요소 메쉬의 타당성과 상용 해석도구의 성능을 검증하였다. 본 정자장 해석으로 정량적인 평가까지 수행할 수는 없으나 자속밀도 분포로써 경험적 메쉬의 타당성과 해석도구의 성능을 알 수 있다. 그림 3에서 나타난 바와 같이 자극 사이로 형성된 등자속선 및 자속분포에서 메쉬 오류 및 자장의 이상분포는 관측되지 않았다.

## 3. 결과 및 검토

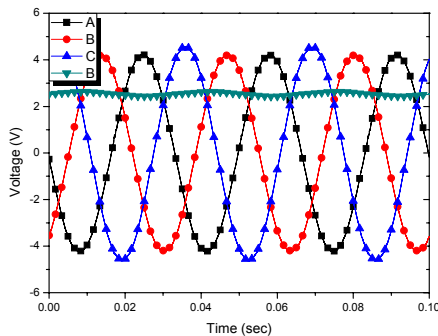
### 3.1 출력 전압

그림 4는 정격속도 1800rpm으로 회전하고 있는 2극 동기발전기의 출력파형을 나타내고 있다. (a)는 실제 발전기의 출력을 DAQ 장비를 통해 측정된 결과를 나타내고 있고 (b)는 유한요소 해석으로 구한 출력전압을 나타내고 있다. 최대값 약 5V의 출력이 관측되고 있으므로 설계치에 맞는 해석결과가 나왔으며 실제 제작한 2극 동기발전기도 설계사양을 만족하는 것으로 나타났다. 단 실측한 결과에 나타나 있듯이 C상의 전압이 약간 높게 관측되었는데 이는 제작 시 발생한 전기자 권선오차에 기인하는 것으로 생각된다.

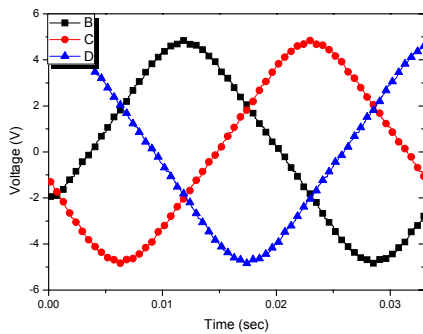
### 3.2 공극 자속



〈그림 3〉 정자장 자속밀도 분포 해석결과



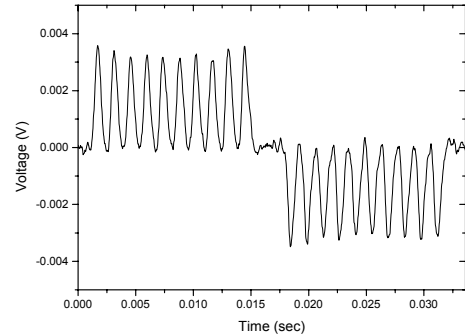
(a) 실측파형



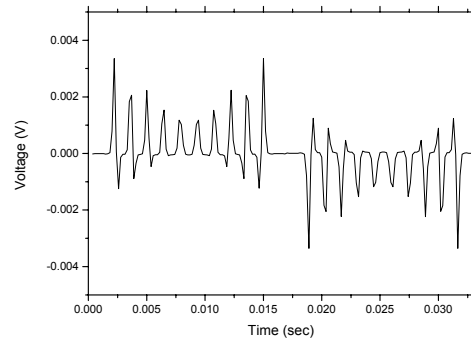
(b) 해석 파형

〈그림 4〉 발전기 출력전압 파형의 비교

그림 5는 실험을 통하여 측정된 공극자속 파형 및 전자기 해석을 통하여 도출된 공극자속 파형을 보여준다. 공극자속 파형은 전자기해석 및 실측된 자속밀도를 전압으로 환산한 값이다. 아래 그림 5에서 보는 바와 같이 측정파형과 해석결과 파형은 측정된 전압의 최대치에서는 차이를 보이나, 그 파형은 유사한 형태를 가짐을 알 수 있다. 본 논문에서는 정상상태와 단락사고 시의 공극에서의 자속파형의 상대 비교를 통하여 회전자권선의 단락사고를 감지하는 데 목적이 있으므로, 측정파형과 해석파형사이의 전압의 절대치 비교 보다는 각 파형에서의 사고시와 정상시의 크기차이에 의미를 부여하고 있다.



(a) 실측 파형



(b) 해석 파형

〈그림 5〉 공극자속 파형의 비교

## 3. 결 론

본 논문은 동기발전기의 전기적 안전 및 사용 상태를 파악할 수 있는 모터터링 기술을 개발하기 위한 연구의 일환으로 우선 소형 2극 동기발전기를 제작하고 제작한 발전기를 모델링하여 해석하여 실측 파형과 비교하였다. 그 결과 해석의 신뢰성이 검증되었고 이를 바탕으로 발전기 권선의 모의 단락을 통한 발전기 해석연구를 진행할 것이다. 본 연구는 신뢰성 높은 발전기 운전 및 전력 시스템의 전기안전도 향상에 기여할 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 산업자원의 지원에 의하여  
기초전력연구원(R-2005-7-068)주관으로 수행된 과제임.

### [참 고 문 헌]

- [1] J.P. Sturgess, et al., "Finite-element simulation of a generator on load during and after a three-phase fault," IEEE Trans. on Energy Conversion, vol. 7, pp. 787-793, Dec. 1992.
- [2] R. Wamkeue, et al., "Line-to-line short-circuit-based finite-element performance and parameter predictions of large hydrogenerator," IEEE Trans. on Energy Conversion, vol. 18, pp. 370-378, Sept. 2003.