

새로운 개념의 고압 발전기 설계 및 특성분석

김창화* · 황돈하* · 박도영* · 김용주* · 권영안* · 류동근*
 *한국전기연구소 메카트로닉스연구그룹, *부산대학교, *일진중공업

The New High Voltage Generator's Design and Performance Analysis

C.H. Kim* · D.H. Hwang* · D.Y. Park* · Y.J. Kim* · Y.A. Kwon* · D.G. Ryu*
 *Mechatronics Research Group, KERI, *Pusan National University, *Iljin Heavy Industries Co. Ltd

Abstract - A new high voltage generator is designed and basic performance analysis by 2D-FEA is performed. The new generator is able to supply electricity directly to the high voltage grid without the need for a step-up transformer.

For the 2D-FEA analysis, the generator model is coupled to external circuit components with inductance and end-winding resistance.

1. 서론

세계적인 발전기 제작 업체들은 발전기에 대한 연구 개발을 실시하여 발전기 설계 및 해석에 필요한 전반적인 기술을 확보하고 있으며, 세계 시장에서의 주도권을 유지하기 위하여 지속적인 연구개발을 수행하고 있다.

스웨덴의 ABB에서 발전기와 승압변압기를 결합하여 고가의 승압변압기를 사용하지 않아도 되는 Powerformer™라는 획기적인 발전기를 개발하여 Porjus Hydro Power Center에 설치하여 시험을 실시하고 있다. Powerformer™ 발전기는 고정자 권선으로 고압 Cable을 사용함으로써 기존의 발전기에 비해 출력전압이 매우 높기 때문에 발전기 출력단에서 승압변압기를 거치지 않고 직접 송전계통에 접속이 가능한 시스템이다.

본 연구에서는 3상 6극 1650[V] 100[kW]급의 고압 동기 발전기를 설계 및 제작하였고, 발전기의 전반적인 특성 분석을 위해 2차원 전자기 해석을 통한 특성 시험 결과를 제시한다.

2. 새로운 개념의 고압 발전기 설계 및 해석

2.1 개발된 고압 발전기의 특징

그림 1은 Powerformer™ 발전기와 기존의 발전기 시스템의 차이점을 나타낸 것이다.

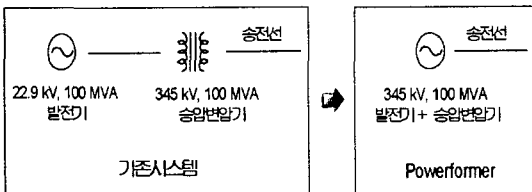


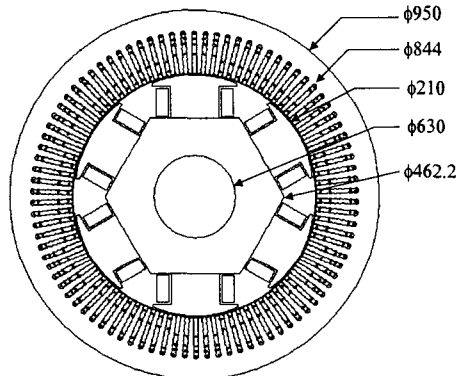
그림 1. Powerformer 발전기와 기존 시스템의 비교

기존의 발전기는 발전기의 출력단이 승압변압기를 거쳐서 송전계통에 접속되는 시스템이지만, 본 연구에서 설계한 고압 발전기는 발전기의 출력단에서 승압변압기를 거치지 않고 직접 송전계통에 접속이 가능한 시스템이다. 이 발전기는 기존의 발전기와는 출발 개념부터가

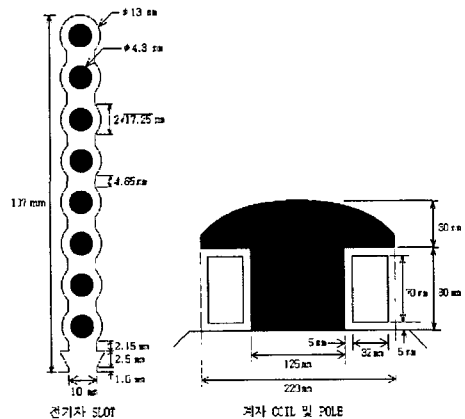
다른 혁신적인 제품으로서 고정자 권선으로 고압 Cable을 사용한다는 것이 가장 큰 특징이다. 그리고 승압변압기를 사용하지 않으므로 승압변압기에서의 무효전력 손실이 없어지고, 동일한 출력에서 전류를 최소화시킬 수 있다.

2.2 고압 발전기의 구조 및 제원

본 논문에서 해석한 Model의 사양은 3상 6극 정격 용량 100[KW], 정격전압 1650[V], 정격 회전속도 1200[RPM]의 고압 발전기이며, 설계 model 치수는 표 1과 같고, 단면 구조는 그림 2에 나타나 있다.



(a) 단면 구조



(b) 전기자 slot 및 극자 pole 상세도

그림 2. 100 kW 고압 발전기 단면구조

표 1. 고압 발전기 설계 model의 치수

구분	원	치수
고정자	외경(D _o)	950 [mm]
	내경(D _i)	630 [mm]
고정자 slot	깊이(L _i)	107 [mm]
	폭(W _s)	13 [mm]
공극	최소(g _{min})	4 [mm]
	최대(g _{max})	7.02 [mm]
고정자 상당 Turn 수(N _{eh})		60 [Turn]
고정자 길이(L)		440 [mm]
고정자 slot 수(N _s)		90 [개]
계자 Coil Turn 수(N _f)		200 [Turn]

3. 고압 발전기의 전자기 해석

3.1 2차원 유한 요소 해석

전자계 해석용 프로그램인 Flux2D를 사용하여 정상 상태 전자계 해석을 수행하였다. 해석 model의 입력 형상은 극의 대칭성을 고려하여 전체 형상의 1/6 만 modeling하였다. 전기자 부분은 자성체인 전기자와 고정자 cable인 전기자 권선으로 구성되어 있고, 회전자부는 계자극(pole) 및 spider, 계자 권선으로 구성되어 있다.

과도 상태 해석을 위해 회전 공극(moving airgap) 기법을 적용하여 이중 공극을 설정하였다. 그림 3은 전기자에 사용된 자성체 재료의 B-H curve 특성을 나타낸 것이고, Pole 및 Rotor는 냉간 압연 강판이 사용되었다. 그림 4는 입력형상의 유한요소 분할도를 나타내고 있다.

2. 15110
1. 75.41

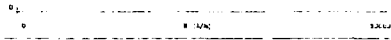


그림 3. 입력 자성체의 재질 특성

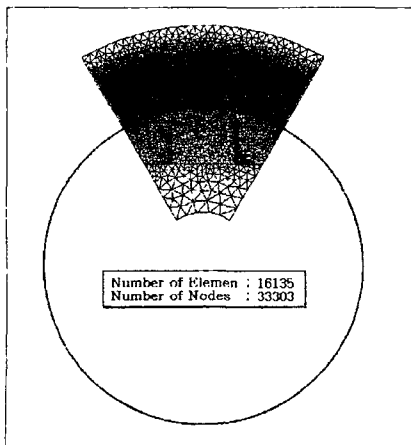


그림 4. 유한요소 분할도

그림 4에 나타난 유한 요소의 개수는 16,135 개, 절점의 개수는 33,303 개를 가진 2차 삼각요소를 이용하여 해석하였다. 경계조건은 고정경계조건과 반주기경계조건을 적용하였다.

3.2 외부회로의 구성

유한 요소 해석 영역과 결합하기 위하여 회전자, 고정자를 각각의 회로소자로 표현한 외부회로(external circuit)를 구성하여 그림 5에 나타내었다. 외부회로에서 회전자는 계자 전류원과 계자 권선으로 구성하였고, 고정자는 각 상의 전기자 권선 직선부의 저항을 고려하기 위한 권선과 전기자 권선 단위 저항 및 전기자 권선 단위 리액턴스로 구성된 3상 Y 결선으로 되어있다.

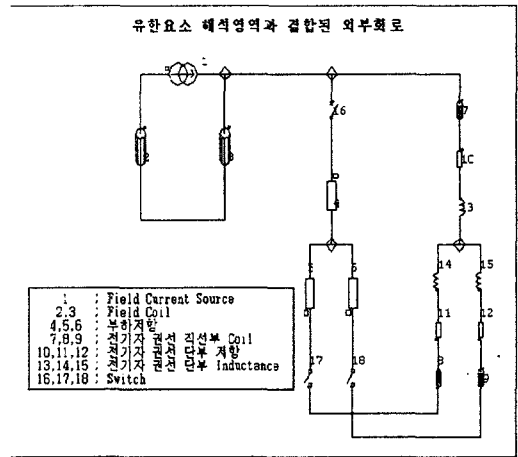
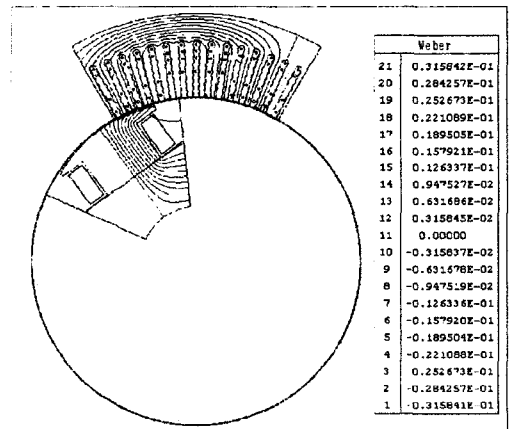


그림 5. 유한요소 해석 영역과 결합된 외부회로

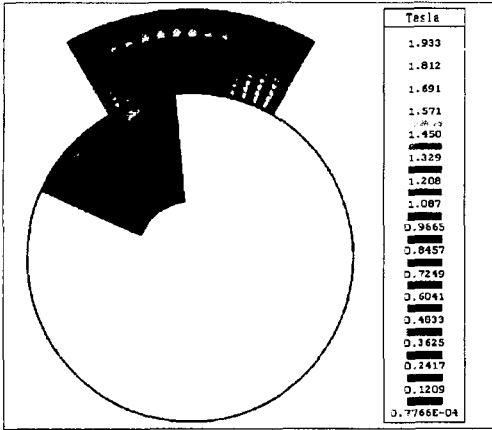
3.3 무부하시 자속 분포 및 전압파형

3.3.1 무부하시 자속 분포

계자권선에 무부하시 계자전류 17.7[A]를 인가하여 유한요소 해석을 수행하였다. 그림 6은 회전자가 약 47 회전(약 2.355[sec])한 후의 등자속선 분포와 자속밀도 분포를 나타내고 있다.



(a) 등자속선 분포(약 2.355[sec])



(b) 자속밀도 분포(약 2.355[sec])

그림 6. 무부하시 등자속선과 자속밀도 분포

그림 7은 공극의 중간 부분(R=313[mm])에서 구해진 자속밀도 파형을 나타낸 것이다. 전기자 slot 부분에 자속이 거의 통과하지 않으므로 자속밀도 파형이 완전한 정현파가 되지 않음을 볼 수 있다.

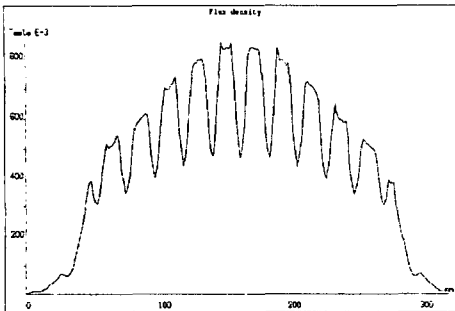


그림 7. 자속밀도 분포(R=313[mm])

3.3.2 무부하시 전압파형

그림 8은 3상 무부하시 계자에 정격 전류를 인가하여 해석한 결과로서 전기자 단자에 나타난 선간전압 파형을 나타낸 것이다. 선간전압의 최대값은 약 2,343[V], RMS 값은 1,656[V]로 나타났고, 각 상의 단자전압은 120(DEG)의 위상차가 나타남을 확인하였다.

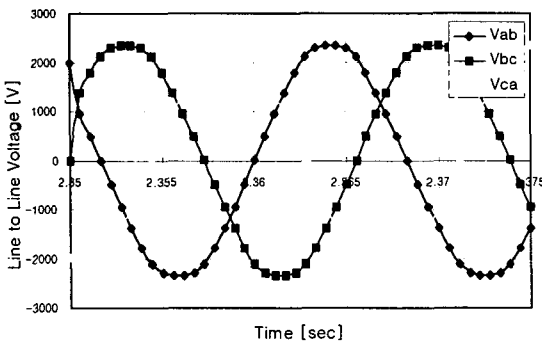


그림 8. 무부하시 전기자 단자전압

4. 결 론

본 연구에서는 3상 4극 100[kW] 고압 발전기의 무부하시 정상상태 전자계 해석을 통해 발전기 내부의 자속 및 자속밀도 분포를 확인하였다. 무부하 계자전류 17.7[A]를 인가하여 2차원 유한요소 해석기법으로 구한 무부하 단자전압 1,656[V]는 설계시 정격 출력전압 1,650[V]와 매우 근사하게 계산되었다.

향후 발전기의 전체적인 특성파악을 위하여 전기자 및 계자 권선의 end turn 저항과 리액턴스를 고려하여 외부회로를 연결한 상태에서 개방회로 및 단락회로 특성 시험을 수행하여 전자계 해석 및 실험 결과를 비교 분석하여 발전기의 전체적인 동작 특성을 파악하기 위한 연구를 수행하고자 한다. 또한 과도 상태의 전자계 해석을 수행할 예정이다.

(참 고 문 헌)

- [1] S. Lindahl, C. Parkegren, "Development and Commissioning of Powerformer-A High-Voltage Synchronous Machine". Double Conference, April 1999, Boston, USA
- [2] M. Leijon, "Powerformer-a radically new rotating machine", ABB Review, 2/1998, pp.21-26
- [3] M. Leijon, L. Gertmar, "Breaking Conventions in Electric Power Plants", CIGRE, 1998, Paper 11:1.1
- [4] S. J. Salon, Finite Element Analysis of Electrical machines, Kluwer Academic Publishers, 1995
- [5] Flux2D User's Guide, Version 7.4, Magsoft Corporation, Troy, NY 2000
- [6] John H. Kuhlmann, Design of Electrical Apparatus, John Wiley & Sons, Inc, 3rd Edition, 1959