

FEM을 이용한 3MW-Class 해상풍력 발전기용 LCL 필터를 위한 리액터 설계

왕지명, 김정훈, 김호선, 박성준
전남대학교

Reactor design for LCL filter in 3 MW-class offshore wind power generator using FEM

Zhi Ming Wang, Jeong Hum Kim, Hyo Seon. Kim, Sung Jun Park
Chonnam National University

ABSTRACT

최근 대규모 해상풍력단지 조성을 위한 프로젝트 등이 진행되고 있다. 매우 큰 전력을 생산하는 풍력발전기를 계통에 연계시키기 위해서는 du/dt 필터, LCL 필터 등의 요소가 반드시 필요하다. 이러한 필터 설계를 위해서는 선제작한 후 실제 실험을 통해 그적합성을 시험 받는 수밖에 없다. 작은 규모는 상관없지만 이렇게 큰 용량의 필터를 설계하기 위해서는 적지 않은 노력과 비용이 필요하다. 따라서 이러한 설계를 위해서는 많은 시뮬레이션 수단이 강구될 수 있는바 본 논문은 FEM 프로그램을 이용하여 LCL 필터용의 3상 리액터를 설계하고 그 효과를 검증하고자 한다.

1. 서론

풍력에너지를 사용하는 신재생 에너지발전 시스템에는 직류 링크 단을 입력으로 하여 제어할 수 있고 계통연계를 위한 교류 출력 단 전류도 함께 제어할 수 있는 계통연계형 3상 PWM 전압 형 인버터가 널리 사용된다. 일반적으로 이와 같은 인버터의 출력 전류에는 기본과 성분 이외에 스위칭 주파수와 정수배에 해당하는 고조파 성분이 포함되어 있다.^[1] 계통에 주입되는 전류의 고조파 성분을 줄이기 위해 인버터 출력 단에 L, 또는 LC 필터를 사용하게 되는데, 필터의 성능을 높이기 위해 인덕턴스 값을 크게 할수록 필터 제작비용과 부피가 증가하는 단점이 있다. 반면 3차 저역 통과 필터와 같은 특성을 가지는 LCL 필터의 경우 L 또는 LC 필터에 비하여 낮은 필터 용량으로 더 높은 고조파 감쇄 효과를 보여 비용과 부피를 줄일 수 있다. 하지만 이 역시 파라미터 선정 과정이 복잡하고, 전류리플, 필터크기, 스위칭 리플 감쇄율, 필터 커패시터에 흐르는 무효전력 등의 많은 제약사항에 대하여 고려해야하는 단점을 가지고 있다.^[2] 이와 같은 사항은 인덕턴스의 비선형재료 특성상 이상적 선형적 재료에 의한 시뮬레이션에 의한 경우 제대로 그 특성을 파악하지 못할 경우가 많고 그에 따라 먼저 선제작한 후 실제 설치를 하고 결과를 바라봐야 하는 경우가 많다.

따라서 유한 요소 해석 프로그램(FEM)을 사용하여 여러 재료 특성과 디멘션, 인가 전류를 입력하여 3상 인덕턴스(3상 변압기의 형태) 코어의 자속의 흐름과 그 안정성을 파악할 필요가 있다.^[1]

2. LCL 필터와 그 사양

2.1 LCL 필터의 기본구조와 S 도메인 블록

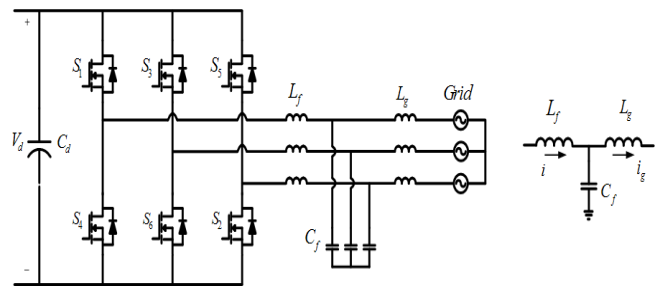


그림 1. 계통연계형 LCL 필터 기본 구조 및 등가회로
Fig 1. Grid connected LCL filter and equivalent circuit

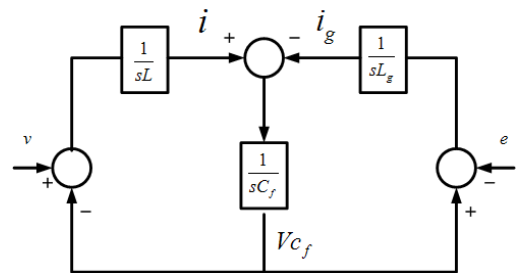


그림 2. LCL 필터 S 도메인 블록
Fig 2. S domain of LCL filter

LCL 필터는 독립운전 및 계통연계 운전의 상호 전환이 가능하고 부피를 저감시킬 수 있으며 가격을 낮출 수 있다는 장점이 있음에 비해 필터 설계가 난해하고 LCL 공진의 발생이라는 단점이 있다. 작은 인덕턴스 값을 갖고 효과적인 필터링이라는 면에서 그 사용이 증대되고 있는 실정이다.

2.2 필터를 이루는 계통방향의 구체적인 L spec

표 1은 계통연계형 L의 구체적인 사양을 나타내었다. 참고적으로 작동 온도는 20~80도로 설정하였고 냉각방식은 공랭식을 채택하였다.

표 1 L 사양

Table 1 L specification

	사양	비고
치수(W*H*D)	1100*1000*700	mm
core material	적층 규소강판	
wire	Aluminum Foil	15(turn)
Rating Currents	1981A	
Rated Frequency	60Hz	
Theoretical Loss	P _{core} =270W	

3. 시뮬레이션

3.1 지오메트리와 재료 피직스 & 매쉬 구조

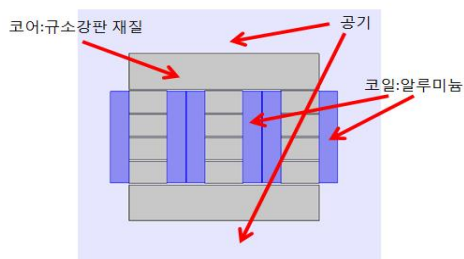


그림 3 지오메트리와 재료
Fig. 2 Geometry & material

본 논문의 타당성의 검증을 위하여, 유한요소 해석 프로그램으로 COMSOL Multiphysics (ver 4.3)을 사용하였다. 그림 2는 2차원 지오메트리 구조와 재질을 나타낸 것으로서 비선형 입력 특성을 갖도록 하였다. 또한 자속의 움직임을 파악하기 위해 피직스는 magnetic fields를 사용하였는데 시뮬레이션 시간 단축과 편의성을 확보하기 위해 Multi turn domain 이라는 기능을 사용하여 턴수와 감긴 알루미늄 호일의 단면적, 인가되는 전류(60Hz 1900A 교류 전류 입력)를 나타내도록 하였다. 그림 3은 멀티턴 도메인 기능의 파라미터 설정을 나타내었다.

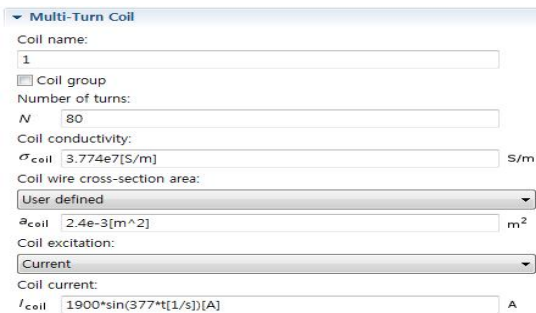


그림 4 멀티턴 코일 도메인 입력 파라미터
Fig. 3 Multi turn Coil Domain input parameters

그림 4는 COMSOL Multiphysics를 이용한 매쉬 구조를 나타낸 그림이다. 공극과 가까운 영역들이 조밀하게 짜여져 있음을 확인 할 수 있다.

3.2 시뮬레이션 결과

매쉬 구조를 바탕으로 시간의 흐름에 따른 자속변화를 관찰하기 위하여 설정한 시뮬레이션 파라미터를 바탕으로 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 5는 시뮬레이션 결과 중, 시간의 흐름에 따른 자속의 흐름에 대한 결과 그림이다. 왼쪽위에서부터 시간의 흐름에 따라 배치하였는데, 매쉬 구조에서의 자속은 6[T]에서부터 1.5231[mT]까지 검출이 됨을 확인 할 수 있다.

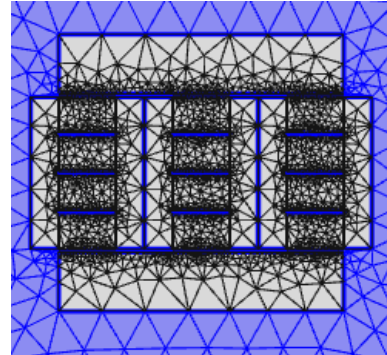


그림 5 매쉬 구조
Fig. 4 Mesh structure

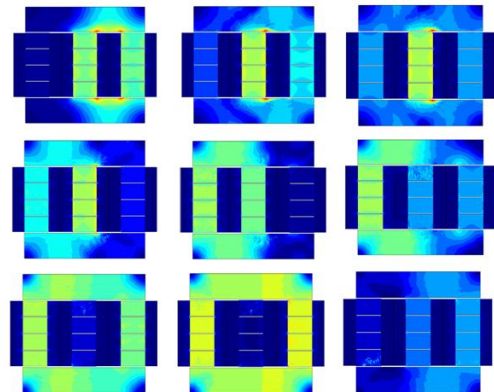


그림 6 시간의 흐름에 따른 자속의 흐름
Fig. 5 Magnetic flux flow along the time

4. 결론

기존의 회로해석 시뮬레이션 프로그램들은 2차원 해석밖에 못하는 단점이 있었다. 본 논문은 COMSOL Multiphysics 시뮬레이션을 통하여 기존의 시뮬레이션 프로그램이 갖는 단점 극복이 가능함을 검증하였다.

참고 문헌

[1] M. Liserre, F. Blaabjerg, and S. Hansen, "Design and Control of an LCL filter based Three phase Active Rectifier, " IEEE Trans. On. Ind. Appl., Vol.41, No.5, 2005.