
PSCAD/EMTDC를 이용한 풍력발전의 배전계통 사고특성에 관한 연구

손준호¹, 김병기¹, 전진택¹, 노대석^{1*}

¹한국기술교육대학교

A Study on Fault Characteristics of DFIG in Distribution Systems Based on the PSCAD/EMTDC

Joon-Ho Son¹, Byung-Ki Kim¹, Jin-Taek Jeon¹, Dae-Seok Rho^{1*}

¹Korea University of Technology and Education

요약 2008년도 지식경제부의 전망에 의하면 신재생에너지전원 중 풍력발전의 보급전망은 2020년 37%, 2030년 42%에 달하고, 2012년부터 시행 예정인 신재생에너지 의무할당제(Renewable Portfolio Standard-RPS)의 도입으로 태양광 및 풍력 등의 신재생에너지가 향후 지속적으로 배전계통에 연계·운용될 것으로 예상된다. 현재 풍력은 배전계통에 전용선로로 연계되어 계통에 미치는 영향은 미미하지만, 3[MW] 이상의 대규모 풍력발전이 일반 배전선로로 확대 운용되면, 풍력발전 연계용 변압기 및 풍력발전기의 %임피던스에 의한 사고전류 변동으로 보호계전기(OCR, OCGR)의 오·부동작을 야기할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 대표적인 풍력발전기인 이중여자유도발전기(Double-Fed Induction Generator-DFIG)가 고압 배전선로에 연계되어 운전되는 경우, 3상단락, 2선단락 및 1선지락의 사고특성을 분석하기 위하여, 전력계통 상용소프트웨어인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 풍력발전기의 모델링과 시뮬레이션을 수행하고, 대칭좌표법을 통한 이론적인 수치해석의 결과치를 비교/분석하여, 제안한 수법의 유용성을 확인하였다.

• **주제어** : 분산시스템, 분산생성, 디에프아이지, 보호장치, 과전류계전기, 오씨알, 오씨지알

Abstract Korea Ministry of Knowledge Economy has estimated that wind power (WP) will be occupied 37% in 2020 and 42% in 2030 of the new energy sources, and also green energies such as photovoltaic (PV) and WP are expected to be interconnected with the distribution system because of Renewable Portfolio Standard (RPS) starting from 2012. However, when a large scale wind power plant (over 3[MW]) is connected to the traditional distribution system, protective devices (mainly OCR and OCGR of re-closer) will be occurred mal-function problems due to changed fault currents it be caused by Wye-grounded/Delta winding of interconnection transformer and %impedance of WP's turbine. Therefore, when Double-Fed Induction Generator (DFIG) of typical WP's Generator is connected into distribution system, this paper deals with analysis three-phase short, line to line short and a single line ground faults current by using the symmetrical components of fault analysis and PSCAD/EMTDC modeling.

• **Key Words** : distribution System, Distributed Generation (DG), DFIG, Protective devices, Protective coordination, Symmetrical components, Over Current Relay (OCR), Over Current Ground Relay (OCGR)

본 논문은 한국에너지기술평가원(KETEP) 연구과제로 수행되었음.

*교신저자 : 노대석(dsrho@kut.ac.kr)

접수일 2011년 6월 3일 수정일 2011년 6월 25일 게재확정일 2011년 6월 27일

1. 서론

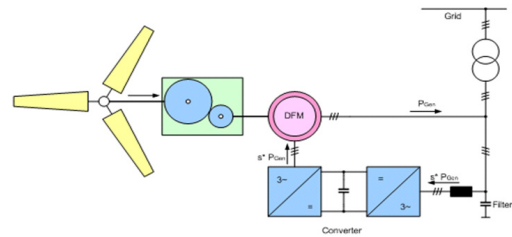
2011년 후쿠시마 원전사고로 부족한 전력을 해상풍력 발전으로 대체하는 것이 추진 중이고, 2050년 독일 해상 풍력발전은 총 전력소모량의 25%를 담당할 것으로 전망된다. 풍력에너지는 지난 10년간 매년 30% 정도의 성장을 거듭하며 2009년 말 전 세계적으로 158GW가 넘는 설비용량이 운용되고 있다. 세계풍력협회(GWEC)는 2014년까지 전 세계적으로 400GW 이상의 풍력터빈이 설치될 것으로 예상하고 있다. 유럽에서 해상풍력 산업은 매년 20~30%의 꾸준한 성장을 거듭하고 있으며, 국내의 경우 정부의 녹색성장 정책에 의해서 태양광, 풍력, 연료전지의 3대 기술을 향후 국가의 신성장 동력사업으로 선정하여 지속적으로 기술개발에 투자하고 있다. 2030년까지 전체 에너지원 중 신재생에너지의 비중은 전체 에너지원의 7.6%를 차지할 전망이다. 그리고 2008년도 지식경제부의 전망에 의하면, 신재생에너지전원 중 풍력의 보급전망은 2020년 37%, 2030년 42%에 달한다[1]. 그리고 2012년부터 시행 예정인 신재생에너지 의무할당제(RPS)의 도입으로 향후 태양광 및 풍력 등의 신재생에너지가 지속적으로 배전계통에 연계·운용될 것으로 예상된다[2].

현재 풍력은 배전계통에 전용선로로 연계되어 계통에 미치는 영향이 미미하지만 3MW 이상의 대규모 풍력발전이 일반 배전선로에 확대 운용되면 사고상태의 경우 풍력발전의 연계용변압기 및 풍력발전기의 %임피던스에 의한 사고전류의 변화에 따라 보호계전기(OCR, OCGR)의 정정치 변동으로 오·부작동을 야기할 수 있다[3]-[6]. 따라서 풍력발전의 배전계통 연계시 수용가에 미치는 영향과, 배전계통의 외란이 풍력발전에 미치는 영향을 분석할 필요성이 있다.

이와 같은 배경 하에 본 논문에서는 1[MW]의 풍력발전기(DFIG)가 배전계통 말단에 연계·운용시 3상/2선 단락 및 1선지락사고전류를 분석하고자한다. 구체적으로 설명하자면, 2장에서 풍력발전기 중 대표적으로 많이 이용되고 있는 이중여자유도 발전기의 제어특성을 제시하고, 3장에서는 EMTDC를 이용하여 모델 배전계통을 모델링하였다. 마지막으로 4장에서는 3상/2선 단락 및 1선지락 사고전류를 대칭좌표법에 의한 수치해석과 EMTDC를 이용한 시뮬레이션을 통해 사고전류를 해석한다.

2. 이중여자유도발전기(DFIG) 특성

그림 1은 권선형 유도발전기를 개선한 이중여자유도 발전기(Doubly Fed Induction Generator)이다. 즉 고정자의 3상권선 1쌍에서 여자전류를 공급하는 기존의 유도기와는 달리, 2쌍의 3상권선에서 여자전류를 공급할 수 있는 발전기를 말한다. 일반적으로 특정 풍속에서만 생산할 수 있는 즉, 제한된 범위에서 가변속이 가능한 방식은 4극 또는 6극인 권선형 유도발전기를 사용하는데 블레이드와 발전기 사이에 기어가 필요하다[7].



[Fig. 1] Concept for Doubly Fed Induction Generator

또한 발전기의 고정자는 계통에 직접 연결하고 회전자는 발전시스템 정격용량의 30% 이내의 용량을 갖는 전력변환장치를 연결하여 발전기를 제어한다[8]. 이 두 가지 방식 모두 에너지 변환 효율이 높지만 전범위에서 가변속이 가능한 풍력발전시스템은 시스템 정격과 동일한 대형 전력변환장치를 구성해야 하기 때문에 시스템 전체의 정격용량에 비하여 전력변환장치의 용량이 작은 제한 범위 가변속 시스템이 주로 사용된다. 제한범위 가변속 방식에서 유도발전기는 여자전류를 고정자와 회전자 양쪽에서 인가할 수 있기 때문에 일반적으로 이중여자유도발전기라고 한다. 이중여자유도발전기의 장점은 다음과 같이 4가지로 정리할 수 있다[9]. 첫째로 에너지 변환 효율이 높다. 특히 낮은 풍속에서 고정속도방식과 비교할 경우 효율이 10% 정도 높다. 둘째는 타워나 기어 등 기계적인 부분의 설계를 최적화 할 수 있기 때문에 시스템 가격을 낮출 수 있다. 셋째는 발전 전력의 변화가 적고 무효전력을 제어할 수 있는 등 계통연계 특성이 우수하기 때문에 계통의 전력품질에 미치는 영향이 적다. 마지막으로 전력변환장치의 용량이 발전시스템 전체 정격의 30% 이내로 작기 때문에 대형 전력변환장치를 구현해야 하는 문제점이 해소되는 장점이 있다.

3. PSCAD/EMTDC를 이용한 모델링

3.1 배전용 변전소(Substation)

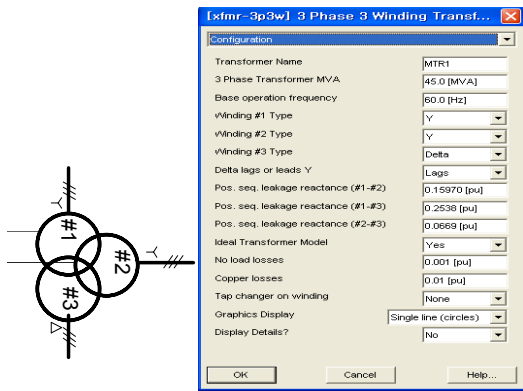
배전용 변전소의 Y-Yg-D 결선의 주변압기의 영상 및 정상분 %임피던스는 표 1, 2에 의해서 산정하였으며, 모델링과 내부변수는 그림 2와 같다. 그림 3은 154kV 전 원계통 모델이다[11].

[Table 1] Positive phase sequence % impedance Data of Substation

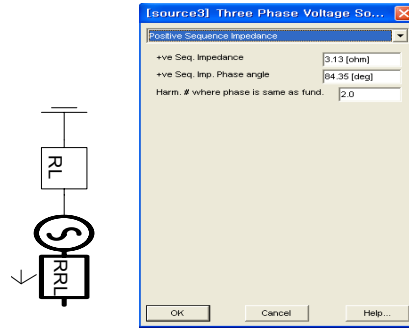
전원측 임피던스			주변압기 임피던스		모선임피던스		
%R	%X	%ZS1	MVA	%ZHM	%R	%X	%ZB1
0.13	1.314	1.32	45	35.49	0.13	36.80	36.80

[Table 2] Negative phase sequence % impedance Data of Substation

주변압기 임피던스		NGR 임피던스	모선임피던스
MVA	%ZML	%ZNGR × 3	%ZB0
45	14.867	34.323	49.190



[Fig. 2] Model and internal value of M,Tr



[Fig. 3] Model and internal value of 154kV power system

3.2 고압 배전선로(Feeders)

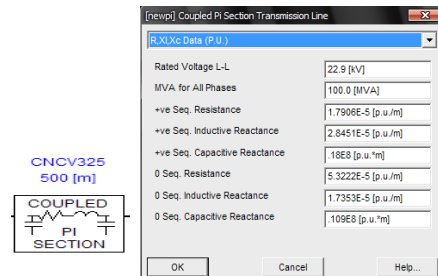
일반적으로 많이 사용되고 있는 CNCV 325 지중선로와 ACSR 160-95 가공선로를 설계한다. 또한 표 3, 4의 값을 이용하여, 그림 4와 5의 내부변수를 산정한다.

[Table 3] % impedance Data of CNCV 325

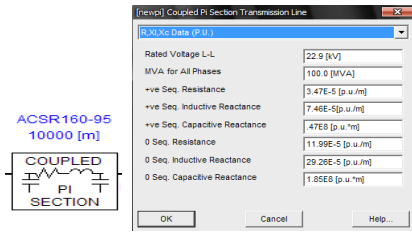
구분	선종	R(%/Km)	jX(%/km)
정상분	CNCV 325	1.7906	2.8451
영상분	CNCV 325	5.322	1.7353

[Table 4] % impedance Data of ACSR160-95

구분	선종	R(%/Km)	jX(%/km)
정상분	ACSR160-95	3.47	7.46
영상분	ACSR160-95	11.9	29.26



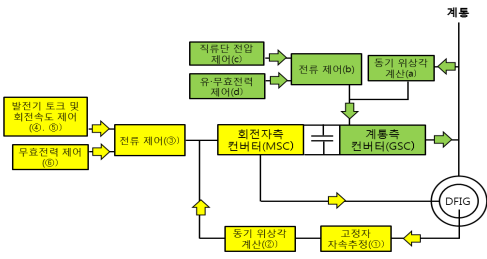
[Fig. 4] Model and internal value of CNCV 325



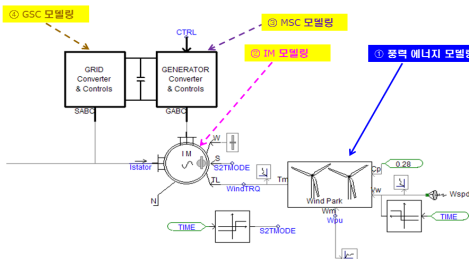
[Fig. 5] Model and internal value of ACSR160-95

3.3 이중여자자유도 발전기(DFIG) 모델링

DFIG의 전체적인 제어 블록도를 나타내면 그림 6과 같다. 먼저 MSC(Machine Side Converter)는 그림 6의 하단부와 같이 총 6개의 요소로 구성된다. 즉, 고정자 자속의 추정(①)과 동기 위상각계산(②), 전류제어기(③)의 발전량 제어, 발전기의 토크(④), 회전속도 제어(⑤), 발전기여자전류공급에 따른 무효전력 제어(⑥)로 구성된다. 한편 GSC(Grid Side Converter)는 그림 6의 상단부와 같이 총 4가지 요소로 구성된다. 계통 전압의 위상각을 계산(a)하고 전류제어(b)를 하며, 직류단 전압제어(c)와 무효전력의 제어(d)로 구성된다. 상기의 이론을 바탕으로 PSCAD를 이용하여 그림 7과 같이 1[MW]의 DFIG를 모델링 하였다. 크게 풍력에너지, IM, MSC, GSC부분으로 구성된다[12].



[Fig. 6] Control block of DFIG



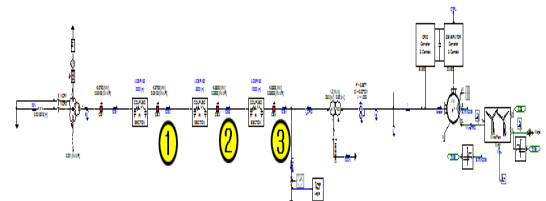
[Fig. 7] Modeling of DFIG

4. 시뮬레이션 및 분석

본 장에서는 모델링된 계통과 DFIG를 이용하여 배전 계통의 임의의 지점에서 3상/2선 단락, 1선지락 사고가 발생시 사고전류의 변동을 분석한다. 먼저 5.1절의 모델 배전계통을 이용하여 5.2, 5.3, 5.4절에서 3가지의 조건, 즉 Case 1 (배전선로만 연계), Case 2 (배전선로 + Yg-Δ 연계용변압기 연계), Case 3 (배전선로 + Yg-Δ 연계용 변압기 + 1[MW] 풍력발전 연계)에 대해서 수치해석 및 시뮬레이션 및 분석을 통해 3상 및 2선단락, 1선지락 전류를 분석하였으며, 5.4절에서는 Case 3의 1선지락전류를 구체적으로 분석하여 사고전류에 영향을 미치는 요소를 해석한다. 마지막으로 5.5절에서는 DFIG 용량 및 연계 용 변압기 %임피던스 변동에 따른 1선지락 사고전류를 분석한다.

4.1 모델계통과 시뮬레이션 조건

그림 8은 모델계통으로 배전용 변전소로부터 2[km] ①, 5[km] ②, 10[km] ③로 구간을 나누었으며, 사고는 ③번 지점 즉 배전용 변전소로부터 17[km]인 지점에 모의한다. 시뮬레이션의 조건은 표 5와 같이 상정하며, 그 이유는 풍력발전이 설치되어 있지만 운전은 하지 않는 경우와, 사고발생시 연계용 변압기 및 풍력발전에서 공급하는 각각의 사고전류 크기를 비교하기 위함이다. 시뮬레이션 시간은 1초 이후, 0.2초간 단락 및 지락사고를 모의하며 사고전류는 3cycle 이후의 값을 유효값으로 정한다.



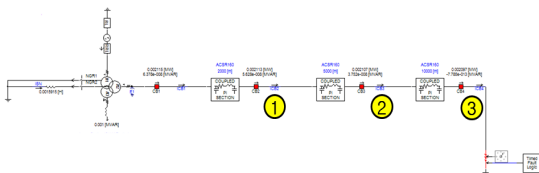
[Fig. 8] Model Distribution Network

[Table 5] Simulation conditions

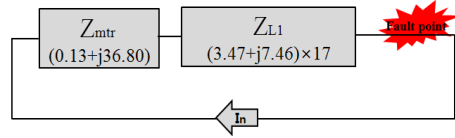
종 류	내 용	
배전용 변전소	45[MVA]	
계통 기준전압	22.9[kV]	
배전선로	ACSR-160, ①지점 2[km], ACSR-160, ②지점 5[km], ACSR-160, ③지점 10[km]	
풍 력	정격 용량	DFIG, 1[MW]
	GSC 전압	0.350[kV]
	모드	0 ~ 0.5[s] -> Speed 0.5 ~ 8[s] -> Torque
	정격 풍속	0 ~ 3[s] -> 5[m/s] 3 ~ 8[s] -> 9[m/s]
	로터 속도	0 ~ 3[s] -> 0.07[pu] 3 ~ 8[s] -> 0.41[pu]
조 건	Case 1	배전선로만 연계
	Case 2	배전선로 + Yg-Δ 연계용 변압기 연계
	Case 3	배전선로 + Yg-Δ 연계용 변압기 + 1[MW] 풍력발전 연계

4.2 Case 1의 시뮬레이션 분석

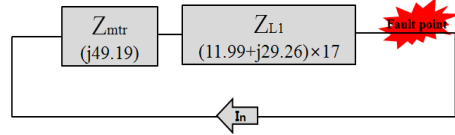
그림 9의 구성도에서 ③지점에 사고해석을 위한 정상분 %임피던스맵은 그림 10이며, 정상분 %임피던스는 $Z_1 = 173.97[\%]$ 이다. 그리고 그림 11은 영상분 %임피던스 맵이며 영상분 임피던스는 $Z_0 = 507.18 [\%]$ 이다. 영상분 및 정상분 %임피던스를 이용하여 식 (7), (8), (9)와 같이 3상단락전류, 2선단락전류 그리고 1선지락전류를 구할 수 있다. 이 값은 표 5의 시뮬레이션 값과 거의 일치함을 알 수 있다.



[Fig. 9] Simulation configuration of case 1



[Fig. 10] Positive phase sequence component of equivalent circuit(Case 1)



[Fig. 11] Negative phase sequence component of equivalent circuit(Case 1)

$$I_{3S} = \frac{100}{\%Z_1} \times I_n = \frac{100}{(173.97)} \times \frac{100,000}{\sqrt{3} \times 22.9} \quad (7)$$

$$= 1449.07 [A]$$

$$I_{2S} = I_{3S} \times 0.866 = 1449.07 \times 0.866 \quad (8)$$

$$= 1254.89 [A]$$

$$I_g = \frac{300}{2(\%Z_1) + (\%Z_0)} \times I_n \quad (9)$$

$$= \frac{300}{2(173.97) + (507.18)} \times \frac{100,000}{\sqrt{3} \times 22.9}$$

$$= 812.08 [A]$$

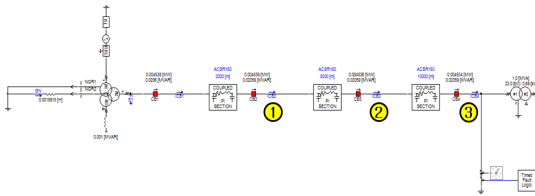
여기서, I_{3S} : 3상단락전류[A], I_{2S} : 2선단락전류[A], I_g : 1선지락전류[A], I_n : 정격전류[A]

[Table 6] Simulation analysis(Primary feeder)

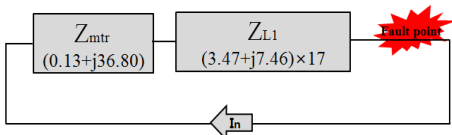
사고종류	수치해석[A]	EMTDC[A]
3상단락	1449.07	1444.69
		1444.68
		1444.67
2선단락	1254.89	1286.54
		1280.35
		1280.35
1선지락	812.08	819.91
		819.91
		819.91

4.3 Case 2의 시뮬레이션 분석

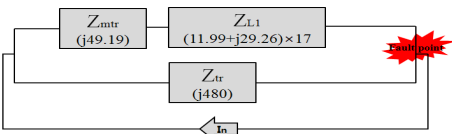
1[MW]에 해당하는 Yg-△연계용변압기의 %임피던스 계산은 $\%Z = j6\%(1250\text{kVA}) = j480\%(100\text{MVA})$ 에 의해서 480[%]로 산정하였다. 그리고 이 값을 내부변수로 입력하고, 그림 12와 같이 모델링하여 ③지점에서 사고해석을 하였다. 먼저 그림 13은 정상분 %임피던스맵이며 정상분 %임피던스는 $Z1=173.97\%$ 로 변함이 없음을 확인하였다. 반면 그림 14는 영상분 %임피던스맵에 의해서 $Z0= 370.67\%$ 과 같이 계산된다. 이 값은 Case 1의 영상분 %임피던스보다 136.51[%]만큼 줄어들었음을 알 수 있다. 정상 및 영상분 %임피던스를 이용하여 식 (10), (11) 그리고 (12)와 같이 3상단락전류, 2선단락전류, 1선지락전류를 구할 수 있다. 표 6과 같이 시뮬레이션 값과 일치함을 알 수 있으며 1선지락전류의 경우 Case 1보다 240.44[A]가 증가 되었다. 그 이유는 연계용 변압기의 영상분 %임피던스 회로가 병렬화 되어 실제 사고지점의 %임피던스가 줄어들었으며, 이것이 1선지락 사고전류의 증가 원인이 되었음을 확인 하였다.



[Fig. 12] Simulation configuration of case 2



[Fig. 13] Positive phase sequence component of equivalent circuit(Case 2)



[Fig. 14] Negative phase sequence component of equivalent circuit(Case 2)

$$I_{3s} = \frac{100}{\%Z_1} \times I_n = \frac{100}{(173.97)} \times \frac{100,000}{\sqrt{3} \times 22.9} \quad (10)$$

$$= 1449.07 [\text{A}]$$

$$I_y = \frac{300}{2(\%Z_1) + (\%Z_0)} \times I_n \quad (11)$$

$$= \frac{300}{2(173.97) + (370.67)} \times \frac{100,000}{\sqrt{3} \times 22.9}$$

$$= 1052.52 [\text{A}]$$

$$I_{2s} = I_{3s} \times 0.866 = 1449.07 \times 0.866 \quad (12)$$

$$= 1254.89 [\text{A}]$$

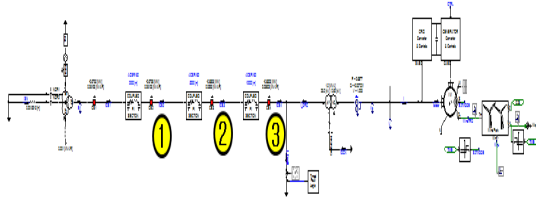
[Table 7] Simulation analysis(Primary feeder + Wye-grounded/Delta winding of interconnection transformer)

사고종류	수치해석[A]	EMTDC[A]
3상단락	1449.07	1444.69
		1444.68
		1444.65
2선단락	1254.89	1290.1
		1295.5
		1292.2
1선지락	1052.52	1102.81
		1102.54
		1102.80

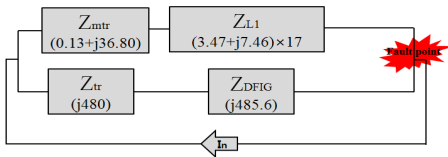
4.4 Case 3의 시뮬레이션 분석

1[MW] DFIG는 회전자 저항이 사고전류에 영향을 직접적으로 끼치므로 회전자 저항을 기준으로 DFIG의 %임피던스를 구할 수 있다. 1[MW]에 해당하는 %임피던스 계산은 $\%j(6\%) : j480 = 0.00607 : X$ 에 의해서 485.6[%]로 산정하여 그림 15의 내부변수로 입력하였다. ③지점에서 사고해석을 위한 그림 16은 정상분 %임피던스맵이며 정상분 %임피던스는 $Z1= 148.56\%$ 이다. 그림 17은 영상분 %임피던스맵이며, 영상분 %임피던스는 $Z0=370.67\%$ 이다. 정상 및 영상분 %임피던스를 이용하여 식 (13), 식 (14) 그리고 식 (15)와 같이 3상/2선단락전류, 1선지락전류를 구할 수 있다. 이 값은 표 8의 시뮬레이션 값과 거의 일치함을 알 수 있다. 즉 DFIG가 운전시 상기의 정상 및 영상분의 %임피던스맵에서와 같이 연계용 변압기 및 DFIG의 %임피던스 모두 배전계통에

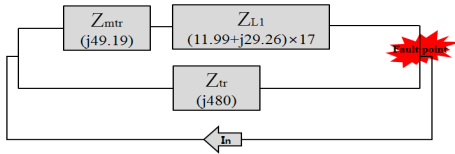
병렬로 연계되어 정상분 %임피던스의 경우 Case 1보다 25.41[%]정도 감소하였으며 영상분 %임피던스의 경우 Case 1보다 136.51[%]정도 줄었음을 확인하였다.



[Fig. 15] Simulation configuration of case 3



[Fig. 16] Positive phase sequence component of equivalent circuit(Case 3)



[Fig. 17] Negative phase sequence component of equivalent circuit(Case 3)

$$I_{3s} = \frac{100}{\%Z_1} \times I_n = \frac{100}{(148.56)} \times \frac{100,000}{\sqrt{3} \times 22.9} \quad (13)$$

$$= 1697.08 [A]$$

$$I_{2s} = I_{3s} \times 0.866 = 1697.08 \times 0.866 \quad (14)$$

$$= 1469.67 [A]$$

$$I_y = \frac{300}{2(\%Z_1) + (\%Z_0)} \times I_n \quad (15)$$

$$= \frac{300}{2(148.56) + (370.67)} \times \frac{100,000}{\sqrt{3} \times 22.9}$$

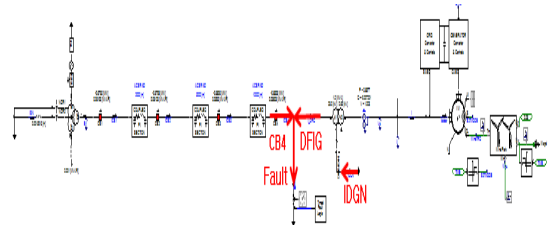
$$= 1132.62 [A]$$

[Table 8] Simulation analysis(Distribution line + Wye-grounded/Delta winding of interconnection transformer +1 [MW] wind power)

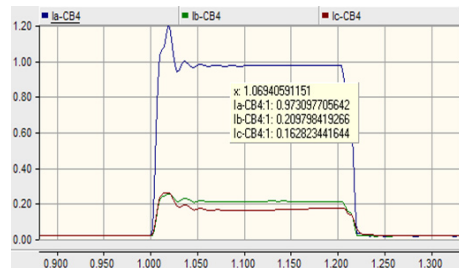
사고종류	수치해석[A]	EMTDC[A]
3상단락	1697.08	1650.12
		1651.34
		1654.23
2선단락	1469.67	1441.82
		1441.91
		1442.24
1선지락	1132.62	1180.42
		1181.12
		1182.24

4.5 Case 3의 1선지락전류 분석

Case 3의 경우, 그림 18과 같이 1선지락 사고 발생시 I_CB4, I_DFIG, I_Fault, I_IDGN의 사고전류를 분석하면 1선지락 사고전류의 구체적인 흐름을 파악 할 수 있다. 각 지점의 사고전류는 그림 19와 같다.



[Fig. 18] Collection points of a single line ground faults current(Case 3)

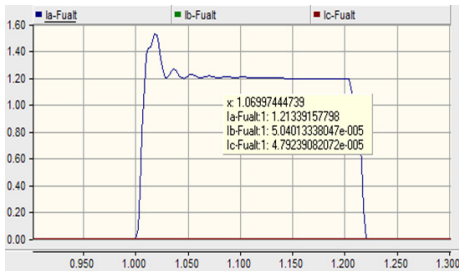


(a) 1선지락전류(I_CB4)

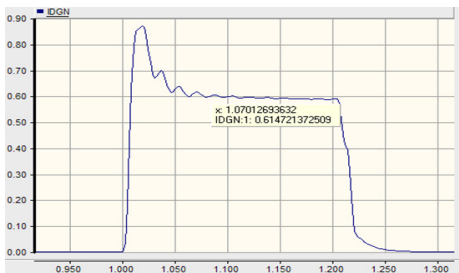
(a) A single line ground faults current(I_CB4)



(b) 1선지락전류(I_DFIG)
 (b) A single line ground faults current(I_DFIG)



(c) 1선지락전류(I_Fault)
 (c) A single line ground faults current(I_Fault)



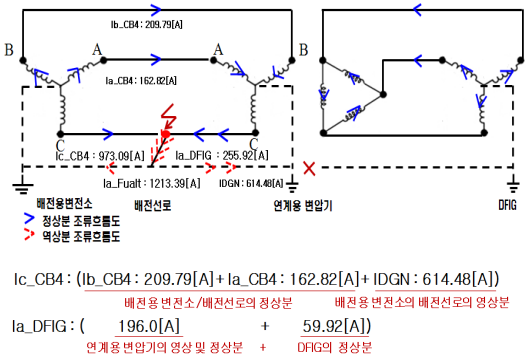
(d) 1선지락전류(I_IDGN)
 (d) A single line ground faults current(I_IDGN)

[Fig. 19] A single line ground faults current of Case 3

그림 18의 시물레이션 그래프 수치에 의해서 1선지락 사고전류를 다음과 같이 분석할 수 있다.

- (a) $I_{a_CB4} - I_{b_CB4} - I_{c_CB4} = 973.09[A] - 209.79[A] - 162.82[A] = 604.48[A]$
- (b) $604.48[A] \approx I_{IDGN}(614.48[A])$
- (c) $I_{a_CB} \approx I_{b_CB4} + I_{c_CB4} + I_{IDGN}$
- (d) $I_{a_CB4} + I_{a_DFIG} = 973.09[A] + 209.79[A] = 1182.88[A]$
- (e) $1182.88[A] \approx I_{a_Fault}(1182.39[A])$
- (f) I_{a_Fault} (1선지락 전류) $\approx I_{a_CB4} + I_{a_DFIG}$

상기의 그래프 수치 해석을 그림 20과 같이 종합적으로 분석할 수 있다. 즉 1선지락전류 1182.39[A]는 지락점을 기준으로 좌측의 Ia_CB4 전류와 우측의 Ia_DFIG 전류의 합이다. Ia_CB4 전류는 배전용변전소와 배전선로의 정상분 및 영상분 %임피던스에 의해서 공급되는 전류이며, Ia_DFIG 전류는 연계용변압기의 영상 및 정상분 %임피던스에 의한 사고전류 및 DFIG의 정상분 %임피던스에 의한 사고전류의 합으로 분석할 수 있다.



[Fig. 20] Analysis for a single line ground faults current(Case 3)

4.6 DFIG 및 연계용 변압기 용량에 따른 분석

DFIG를 1[%]로 고정한 후, 변압기의 임피던스를 증·감시켜 1선지락 전류를 표 9와 같이 정리하였다. 변압기 임피던스가 증가할수록 사고전류는 줄어들었음을 알 수 있다. 즉 병렬로 연계되는 변압기 %임피던스는 클수록 합성 임피던스도 증가되어 사고전류는 줄어들었다. 그리고 표 10과 같이 풍력발전기 및 연계용 변압기의 용량이 증가할수록 1선지락전류가 증가함을 확인하였다.

[Table 9] Changing % impedance of Wye-grounded /Delta winding of interconnection transformer

DFIG [MW]	변압기 임피던스	Ia_CB4 [A]	Ia_DFIG [A]	Ia_Fault [A]	I_IDGN [A]
1	0.04[pu] (j320)	1027.13	367.69	1354.95	821.40
	0.06[pu] (j480)	973.10	255.92	1213.15	614.65
	0.08[pu] (j640)	949.04	237.37	1127.09	510.09
	0.1[pu] (j800)	933.24	204.97	1071.32	435.81

[Table 10] Parameter of wind power's capacity

DFIG/ 변압기 용량 [MW]	부하용 량 [MW]	Ia_CB4 [A]	Ia_DFIG [A]	Ia_Fault [A]	I_IDGN [A]
0.5	0.5	906.49	146.57	1041.09	356.68
1	1	972.99	254.53	1212.30	614.21
2	2	1068.80	426.23	1462.33	985.70
3	3	1132.64	560.57	1641.24	1244.79

결론적으로 DFIG의 용량, DFIG의 %임피던스, 연계용 변압기의 용량, 연계용 변압기의 %임피던스가 증가할수록 1선지락전류가 증가하였다. 이에 따라 대규모의 풍력발전이 배전계통에 연계시 1선지락 전류에 대한 대책이 필요함을 알 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 풍력발전기 중 많이 이용되고 있는 DFIG를 PSCAD/EMTDC로 모델링하였다. 그리고 풍력발전이 배전계통에 연계시 사고상태에서 미치는 영향을 해석하기 위하여 3상/2선단락, 1선지락 사고에 대해서 대칭좌표법을 통한 수치해석과 PSCAD /EMTDC의 시뮬레이션 값의 비교/분석을 함으로써 사고전류를 해석하였다. 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 배전선로에 연계용 변압기 및 DFIG가 연계된 경우, 1선지락 사고시 1선지락 사고전류의 경우 DFIG 연계전보다 무려 320[A]까지 증가하였다. 이 중에서 240[A]는 연계용 변압기에서 공급되었으며, 80[A]는 풍력발전에서 공급되었음을 알 수 있었다.
- (2) 1선지락 사고시 Yg-△ 연계용 변압기의 경우 연계용 변압기의 용량 및 %임피던스의 크기가 1선지락 사고전류의 크기에 영향을 미쳤으며 이는 정상 및 영상분의 %임피던스 병렬화와 연계용 변압기의 접지에 의한 지락전류의 통로 때문이다.
- (3) DFIG의 용량, DFIG의 %임피던스, 연계용 변압기의 용량, 연계용 변압기의 %임피던스가 증가할수록 1선지락전류가 증감됨을 확인하였다.

REFERENCES

- [1] Moon-Seok Jang and Hyung-Joon Bang, "The Current Status and the Prospects of Wind Energy", Journal of the Environmental Sciences, Vol. 18, No. 8, pp. 933-940, 2009.
- [2] New Energy and Renewable Energy Development, Use, and Spread Promotion Law
- [3] Philip P. Barker, Robert W. de Mello, "Determining the impact of distributed generation on power systems: Part 1 - Radial distribution systems", in Proc. IEEE Power Eng. Soc. Summer Meeting, Vol. 3, pp 1645-1656, 2000.
- [4] A. Girgis, S. Brahma, "Effect of Distributed Generation on Protective Device Coordination in Distribution System," Power Engineering, LESCOPE'01. 2001 Large Engineering Systems Conference, 11-13, pp. 115-119. 2001.
- [5] IEEE 1547.1 "IEEE Standard conformance Test Procedures for Equipment Interconnecting Distributed Resources with Electric Power System", J, 2005.
- [6] R. F. Arritt, R. C. Dugan "Distributed generation interconnection transformer and grounding selection" Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, IEEE. pp. 1-7, 2008.
- [7] <http://www.enercon.de/>
- [8] M. Kuhn, M, B Becker, "Enron WInd 3.6 Offshore : Example for the next Generation of Offshore Wind Turbines", 2002 Global Wind Power Conference, 2002.
- [9] Dr. Eggert, S. Franko, "Innovative Variable Speed Drive for Doublu Fed Wind Turbine Application", 2002 Global Wind Power Conference, 2002.
- [10] Daeseok Rho, "KUT_Electrical Equipment_ (Practice)", February, 2010.
- [11] Dong-yeol Shin, "An Analysis and Countermeasure for the Reverse-Power-Flow Phenomena of Distribution System interconnected with Distributed Generations", Chungnam National

University, 2009.

[12] Byoung-Chang Jeong, "Wind Generator Control Algorithm for Inrush Current Restraint and Torque Ripple Compensation of Doubly-Fed Induction Generator", Chonbuk National University, 2006.

저자소개

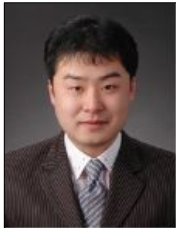
손 준 호(Joon-Ho Son) [학생회원]



- 2009.8 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학사)
- 2009년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학과 전기공학전공 석사과정 재학중

<관심분야> : 배전계통 운용, 전력품질, 신재생에너지, 스마트그리드

김 병 기(Byung-Ki Kim) [학생회원]



- 2008.1 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학사)
- 2008년 7월 ~ 2010년 2월 경북직업전문학교 전기과정 교사
- 2010년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학과 전기공학전공 석사과정 재학중

<관심분야> : 배전계통 운용, 전력품질, 신재생에너지, 스마트그리드

전 진 택(Jin-Taek Jeon) [학생회원]



- 2008.2 : 청주대학교 전자공학과 (공학사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학과 전기공학전공 석사과정 재학중

<관심분야> : 배전계통 운용, 전력품질, 신재생에너지, 스마트그리드

노 대 석(Dae-Seok Rho) [정회원]



- 1985년 2월 : 고려대학교 전기공학과 (공학사)
- 1987년 2월 : 동대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1997년 3월 : 일본 북해도대학교 대학원 전기공학과(공학박사)

· 1987년 3월 ~ 1998년 8월 : 한국전기연구소 연구원/선임연구원

· 1999년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 정보기술공학부 교수

<관심분야> : 전력/배전 계통, 분산전원연계, 전력품질 해석