

풍력발전단지의 계통연계 운전이 배전선 보호계전에 미치는 영향

論 文
52A-3-2

Influence of the Interconnected Wind Farm on Protection for Distribution Networks

張 成 一* · 金 光 鎬**
(Sung-Il Jang · Kwang-Ho Kim)

Abstract - Wind farm interconnected with grid can supply the power into a power network not only the normal conditions, but also the fault conditions of distribution network. If the fault happened in the distribution power line with wind farm, the fault current level measured in a relaying point might be lower than that of distribution network without wind turbine generator due to the contribution of wind farm. Consequently, it may be difficult to detect the fault happened in the distribution network connected with wind generator. This paper describes the effect of the interconnected wind turbine generators on protective relaying of distribution power lines and detection of the fault occurred in a power line network. Simulation results shows that the current level of fault happened in the power line with wind farm depends on the fault impedance, the fault location, the output of wind farm, and the load condition of distribution network.

Key Words : Wind Farm, Distribution Protection, Protective Relaying

1. 서 론

근래 들어서 증대하는 전력수요와 전력수급의 안정적인 확보를 위하여 대규모 발전설비의 투자보다는 소규모 분산전원(Distributed Generation)의 도입 및 설치가 대안으로 주목받고 있다 [1-3]. 특히, 에너지 생산비용이 타 발전설비에 비하여 비교적 적은 풍력발전단지의 보급이 최근에 급격히 확대되고 있는 실정이다. 풍력발전단지가 연계 운전되고 있는 배전선에서 지락, 단락사고가 발생했을 경우에는 계전점에서의 사고 전류가 상당히 크기 때문에 풍력발전단지의 연계 유·무에 관계없이 보호 계전기들은 이들 사고를 쉽게 검출할 수 있다. 그러나, 사고 저항이 큰 고 저항 사고의 경우는 계전점에서의 사고 전류가 지락, 단락사고에 비하여 크지 않으므로 검출이 용이하지 못하다 [6]. 특히, 풍력발전단지가 연계 운전되고 있는 배전계통에서의 고 저항 사고는 사고전류의 일부를 풍력발전단지에서 담당하게 되어 사고 계전점 전류가 더욱 작아지기 때문에 사고 검출이 불가능한 경우가 발생 할 수 있다.

일반적인 사고에 대한 계전점 사고전류는 사고가 발생하는 지점의 사고 저항의 크기와 사고 발생 위치 및 부하의 용량에 따라서 다양하게 변동하는데, 사고점 저항이 작고 부

하용량이 크며 전원에서 가까운 곳에서 사고가 발생했을 경우, 비교적 큰 사고전류가 계전점으로 흐르므로 쉽게 이를 검출할 수 있다. 그러나 고 저항 사고 또는 부하말단의 사고인 경우는 큰 사고점 임피던스와 선로임피던스의 영향으로 사고전류가 크지 않아 사고검출이 용이하지 않을 수 있다. 그리고, 풍력발전단지가 연계 운전되고 있는 배전선에서의 이러한 사고는 풍력발전단지의 용량에 따라 사고전류의 크기가 상당히 달라지므로, 경우에 따라 계통사고를 정상적인 부하변동으로 오인하는 경우도 발생할 수 있다.

본 논문에서는 풍력발전단지가 연계 운전되고 있는 배전계통에서 사고가 발생하였을 경우, 이들 풍력발전단지의 운전이 배전선 보호계전에 어떠한 영향을 미치는가를 모의 분석하였다. 풍력발전단지가 배전선 사고 검출에 미치는 영향을 검토하기 위하여 분산전원 설치 유·무에 따른 부하용량별, 사고지점별, 사고점 저항 크기별로 사고를 모의하였다. 그리고 풍력발전기 용량에 따른 계전점 사고전류의 크기 변화에 대해서도 살펴보았다. 모의 결과 풍력발전기가 연계 운전되고 있는 배전계통의 사고전류는 그렇지 않은 경우에 비하여 작게 나타났으며, 풍력발전기의 용량이 커질수록 계전점 사고전류는 더욱 작아지는 특성을 나타내었다. 따라서 분산전원의 보급이 확대되는 향후에는 배전선 사고 검출용 계전기 설정치를 정할 때, 풍력발전기의 연계 유무 및 운전 상태 등을 반드시 고려하여야 할 것으로 사료된다. 풍력발전기 및 다양한 배전선 사고의 모델링은 과도 현상 해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC(Power System Computer Aided Design/Electro-Magnetic Transients in DC systems)를 이용하였으며, 연계 배전 계통 모델은 일반적인 우리나라의 22.9 kV 선로 구성과 부하데이터를 이용하였다.

* 正 會 員 : 江 原 大 電 氣 工 學 科 博 士 課 程

** 正 會 員 : 江 原 大 電 氣 電 子 情 報 通 信 工 學 部 / 次 世 代 電 力 技 術 研 究 센 터 副 教 授

接 受 日 字 : 2002 年 8 月 20 日

最 終 完 了 : 2003 年 1 月 10 日

2. 분산전원이 연계된 배전계통 보호방식

풍력발전기가 연계된 배전계통의 일반적인 보호방식을 그림 1에 나타내었다. 배전계통에서 발생하는 사고를 검출하기 위해 사용되는 보호기기로는 과전류 계전기(51), 지락 과전류 계전기(51G), 저전압 계전기(27), 재폐로 계전기(79), 리클로저(R), 퓨즈로 구성되어 있다. 여기서, 과전류 계전기는 사고전류가 설정치 이상이 되면 사고를 검출하는 보호기기이며, 저전압 계전기는 2회 재폐로 방식을 적용한 계전기로서 재폐로 및 비동기 투입 방식을 목적으로 사용된다. 그리고, 리클로저는 계통에 일시적인 사고와 영구사고를 구분하기 위해 사용되는 보호기기로서, 동작전류는 발전기 기동전류에 오동작하지 않고 재폐로 시간은 발전기의 잔류전압 소멸시기 이상이 되도록 규정하고 있다 [7].

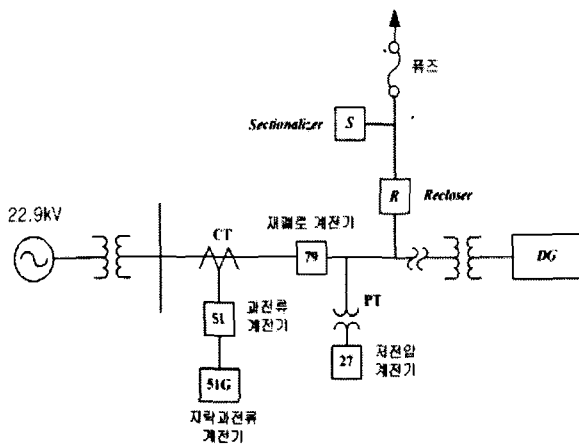


그림 1 풍력발전기가 연계된 배전계통 보호방식
Fig. 1 Protection scheme of distribution networks with wind turbine generator

3. 풍력발전단지가 연계된 배전계통 모델링

본 논문에서는 풍력발전단지가 연계된 배전계통에서의 사고를 모의하기 위하여 과도현상 해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 농형 풍력 유도 발전기를 모델링[8] 하였으며, 우리나라의 22.9kV 실계통 데이터를 이용하여 연계 배전 시스템을 구성하였다.

3.1 연계 배전계통의 모델링

풍력발전단지가 연계된 배전계통모델은 단락용량이 100 MVA, 22.9 kV의 계통으로, 일반적인 ACSR 160 mm²와 95 mm²의 배전선으로 구성하였다. 모선에는 서로 다른 부하용량을 가진 5개의 간선들로 이루어져 있고, 각 구성요소는 실계통 데이터를 이용하여 모델링되었다. 그리고 다양한 사고를 모의하기 위하여 임의의 사고지점 a, b, c를 선정하였다. 그림 2는 사고 모의에 사용된 모델 계통의 단선도이며, 표 1은 모선에 연결되어 있는 간선에 대한 최대부하와 최소부하 일 경우의 부하 용량을 나타내고 있다. 표 2는 간선 B의 노드에 연결된 각 노드에서의 부하용량을 나타내었다.

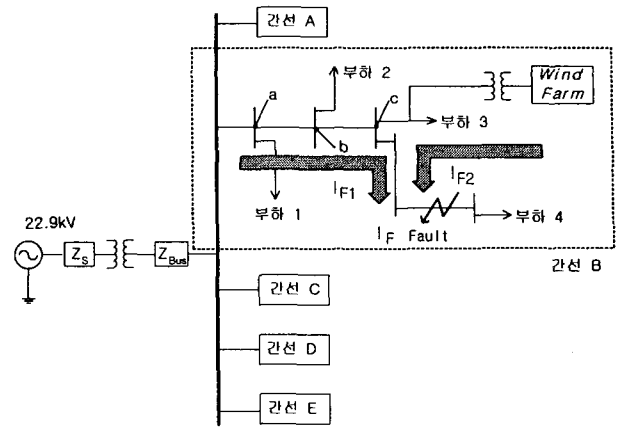


그림 2 풍력발전단지가 연계된 배전계통 모델
Fig. 2 Distribution networks model with wind farm

표 1 간선별 최대 부하와 최소 부하 시의 부하용량
Table 1 Load capacity of maximum and minimum load at each feeder

간선	최대부하		최소부하	
	MW	MVAR	MW	MVAR
간선 A	4.4	0.062	0.8	0.084
간선 B	2.5	0.035	1.0	0.105
간선 C	1.1	0.016	1.7	0.179
간선 D	5.1	0.072	1.9	0.200
간선 E	6.5	0.092	1.4	0.147

표 2 간선 B의 각 노드에 대한 부하용량
Table 2 Load capacity of each node at feeder B

부하	최대부하(MW)	최소부하(MW)
부하 1	0.56	0.24
부하 2	0.46	0.18
부하 3	0.48	0.19
부하 4	0.96	0.38

3.2 풍력발전단지의 모델링

풍력발전기는 발전방식에 따라 일반적으로 동기발전기와 유도발전기로 분류되는데 구조가 간단하고 경제적이며 견고하고 일정 범위의 슬립 영역에서 양질의 전력을 생산할 수 있는 유도발전기가 보급된 풍력발전기의 대부분을 차지하고 있다. 따라서 본 연구에서는 풍력발전기의 가장 일반적인 형태인 유도발전기 중 농형 풍력 유도 발전기를 이용하여 풍력발전단지를 구성하였다. 전력계통 과도현상 해석프로그램인 PSCAD/EMTDC에서는 동기 발전기는 물론 유도발전기 등 다양한 형태의 발전기들을 제시하고 있으며, 이중 농형 유도 발전기를 그림 3에서 나타내었다. 그림에서 우측의 A, B, C는 계통에 연결되는 3상 전원을 의미하며, 좌측 W, S, T는 발전기의 출력을 조절하는 외부 제어 단자를 표현한다. 여기서 W는 풍력 유도발전기의 회전속도를, S는 발전기 출력특성 제어 변수를, 그리고 T는 음의 값으로 유도발전기의 외부의 기계적 입력이 된다. 본 논문에서는 4대의 750 kVA 농형 풍력 유도발전기로 구성된 풍력발전단지를 모델

링하여 다양한 배전선 사고에 대한 풍력발전단지의 영향을 살펴보았다 [8].

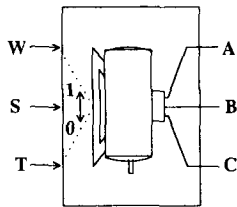


그림 3 농형 유도 발전기 모델
Fig. 3 Squirrel cage type induction generator module

4. 풍력발전단지가 연계된 배전선의 사고시 특성

배전계통에서의 사고 발생 시, 계전점 사고전류에 대한 연계 풍력발전단지의 영향을 살펴보기 위하여 그림 2에서 제시한 배전계통에서 풍력발전단지 유·무에 따라 지락사고, 단락사고 및 고 저항 사고를 모의하였다. 특히, 사고전류가 작은 고 저항 사고의 경우 사고점 저항, 사고 위치, 부하 용량 및 풍력발전단지의 용량에 따른 다양한 조건의 사고에 대하여 모의 분석하였다.

4.1 배전선 사고전류

풍력발전단지가 그림 2의 형태로 연계된 배전계통에서 사고가 발생하였을 경우, 사고점으로 유입되는 사고전류의 크기는 증가하는 것이 일반적이나 배전계통의 계전점에서의 사고전류는 풍력발전단지가 사고 전류의 일부분을 담당하므로 풍력발전단지가 설치되어 있지 않는 경우에 비하여 적게 증가하게 된다 [1]. 이와 같은 사고 특성은 중첩의 원리로 설명되어 질 수 있다. 부하 4의 근처에서 사고가 발생하여 사고 지점으로 사고전류 I_F 가 흐른다고 가정하자. 두 전원의 영향으로 사고지점의 전류는 증가하게 되지만 계전점에서의 전류 일부가 분산전원의 전류에 의해 상쇄되므로 계전점에서는 전류 크기는 상쇄된 전류만큼 감소하게 된다. 그림에서 알 수 있듯이 I_F 는 전원에서 공급하는 사고 전류 I_{F1} 과 풍력발전단지에서 공급하는 사고전류 I_{F2} 의 합으로, (1)과 같이 나타내어질 수 있다.

$$I_F = I_{F1} + I_{F2} \quad (1)$$

만약, 풍력발전단지의 용량이 커지게 되면 증가된 사고점 전류 I_F 에 대해 큰 I_{F2} 가 공급되므로 상대적으로 전원에서 담당하는 사고전류 I_{F1} 의 전류를 감소시켜 계전점에서의 전류는 더욱 적게 흐르게 된다. 따라서 풍력발전단지가 설치되거나 또는 설치된 풍력발전단지의 용량이 커짐에 따라 계전점의 사고전류는 크게 증가하지 못하게 된다. 이에 풍력발전단지가 연계된 배전선에서의 사고는 그렇지 않은 경우에 비하여 검출이 쉽지 않게 된다.

4.2 지락, 단락 사고

그림 2와 같은 배전계통 b지점에서 1선 지락, 2선 단락

사고를 모의하였다. 여기서, 풍력발전단지는 1기의 유도발전기만 운전된다고 가정하고, 0.5초에서 배전계통에 투입하고 사고는 1초에서 발생시켰다. 아래 그림에서의 계전점 사고 전류는 22.9kV 배전계통에서 담당할 수 있는 최대부하용량인 10MVA를 기준으로 하여 단위값으로 나타낸 것이다. 배전선 사고 검출용 과전류 계전기 설정치는 최대부하전류의 1.5배로 설정하였다 [9]. 아래 그림 4, 5에서 볼 수 있듯이, 풍력발전기의 연계시점인 0.5초 이후 풍력발전기의 출력증가로 부하 일부를 풍력발전기에서 담당하게 되므로, 계전점에서의 부하전류는 감소하게 된다. 그리고 1선 지락 및 2선 단락 사고 시, 풍력발전기 연계 유·무에 관계없이 사고 전류가 설정치의 5배 이상으로 증가하기 때문에 사고 검출에 있어서 문제는 발생하지 않는다.

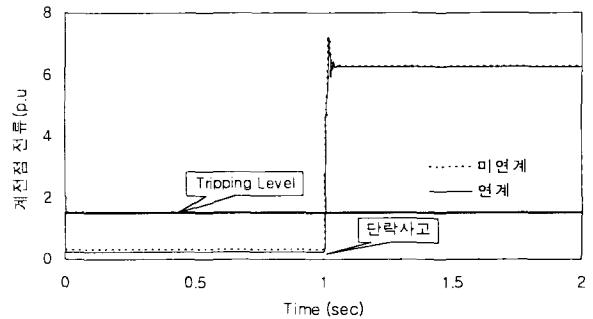


그림 4 최대 부하 시 1선 지락 사고에 대한 모의 결과
Fig. 4 Simulation results for the single line to ground fault in a maximum load condition

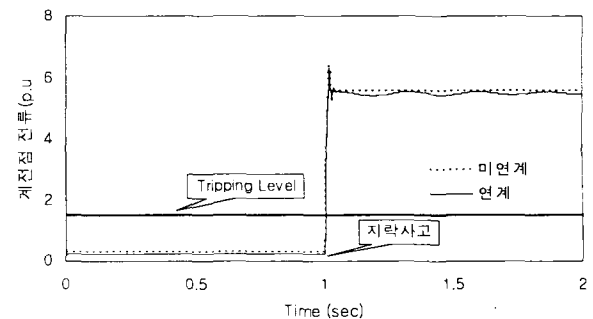


그림 5 최대 부하 시 2선 단락 사고에 대한 모의 결과
Fig. 5 Simulation results for the line to line fault in a maximum load condition

4.3 고 저항 사고

고 저항 사고는 사고 저항의 크기에 따라 계전점 전류의 크기가 심하게 변동될 수 있다. 본 연구에서는 사고발생 지점이 진흙, 모래와 자갈 등으로 형성된 곳에서의 사고로 가정하여, 사고점 저항을 25 ~ 40 Ω로 변화시켜 다양한 고 저항 사고를 모의하였다 [10]. 계통조건이 1선 지락, 2선 단락 사고일 경우와 같도록 구성하고 사고점 저항과 사고 위치 및 계통 부하의 크기를 달리하여 고 저항 사고를 모의하였으며, 또한 풍력발전기의 용량을 변화시키면서 이들이 계전점 사고전류에 미치는 영향을 살펴보았다.

A. 사고 저항별 계전점 사고 전류

그림 6에서 9까지는 최대 부하와 최소 부하의 조건에서 사고점 저항의 크기 변화에 따른 계전점 사고 전류의 변동을 모의한 결과이다. 사고지점 a에서 사고 저항의 크기가 35Ω과 37Ω인 고 저항 사고를 모의 비교하였다. 그림 6은 최대부하조건을 갖는 배전계통에서 사고 저항의 크기가 35Ω일 때의 배전선 사고로, 풍력발전단지 연계 유·무에 관계없이 모두 사고전류가 설정치를 초과하여 사고로 검출된다. 그러나, 그림 7에서와 같이 37Ω의 사고 저항을 가지는 고 저항 사고는 풍력발전단지가 연계되어 있지 않으면 사고검출이 가능하지만, 풍력발전단지가 배전계통에 연계 운전되고 있을 경우는 사고 검출이 불가능해 진다. 그림 8, 9는 최소 부하로 운전되는 배전계통에서의 고 저항 사고에 대한 모의 결과로서, 사고점 저항이 달라짐에 따라 최대부하 시와는 다른 사고 검출 특성을 나타낸다. 35Ω의 사고 저항을 가정할 때, 풍력발전기가 연계 운전되고 있는 경우에는 최대부하조건 때와는 달리 부하전류의 크기가 작아 사고 검출이 어려워진다. 그리고 사고 저항이 37Ω인 경우에는 풍력발전기 연계 유·무에 관계없이 사고 검출이 불가능한 특징을 가진다.

B. 사고 지점별 계전점 사고 전류

A절에서와 같은 최소부하의 계통 조건을 갖는 배전선에서 사고 저항 사고가 발생하였을 때, 사고 발생 지점에 따른 계전점 전류의 변동을 그림 10과 11에 나타내었다. 사고 지점을 그림 2의 a, b, c로 가정하고, 사고점 저항이 32Ω인 경우의 고 저항 사고를 모의하였다. 그림에서 알 수 있듯이 풍력발전기가 연계 운전되어 있지 않을 경우, 전원에서 가까운 곳에서 사고가 발생하면 사고 검출이 가능하지만, 전원에서 먼 거리에서 발생한 사고와 풍력발전단지가 연계되었을 경우에 대해서는 계전점 전류가 크게 증가하지 않으므로 사고 검출이 쉽지 않다. 반면 풍력발전기가 연계 운전되고 있다 할지라도 사고 발생지점이 전원단에 가까우면, 선로 임피던스의 영향이 작아 사고를 쉽게 검출 할 수 있다.

풍력발전단지의 연계 유·무, 부하용량과 사고점 저항 및 사고 발생 위치의 조건을 달리했을 경우의 배전선 고 저항 사고에 대한 검출 결과를 표 3, 4에 요약하였다. 표에 의하면 풍력발전단지가 연계 운전되고 있으며, 적은 부하용량과 큰 사고점 저항을 갖고, 전원측에서 먼 거리의 배전선에서 사고가 발생하면, 계전점의 사고전류가 설정치 이하로 흐르는 경우가 발생하므로 사고 검출에 어려움이 있다는 것을 알 수 있다.

C. 풍력발전단지 용량별 계전점 사고 전류

풍력발전단지의 발전용량에 따른 계전점 사고전류의 특성을 살펴보기 위하여 그림 2의 a 지점에서 사고 저항이 30Ω인 고 저항 사고를 발생시켰다. 여기서, 풍력발전단지를 구성하고 있는 풍력발전기의 총수는 4기이며, 1기당 발전용량은 750[kVA]으로 하였다. 그림 12, 13에서 알 수 있듯이, 풍력발전단지가 연계 운전되지 않을 때와 1기와 2기의 풍력발전기를 계통에 연계운전하고 있을 때에는 배전선 사고 검출이 어렵지 않으나, 4기의 풍력발전기가 연계 운전되고 있을 경우는 배전선 사고 검출이 어려워진다. 배전선 사고 발

생시, 풍력발전단지의 발전 용량이 커서 풍력발전단지가 담당하는 부하의 양이 많아지게 되면, 계전점에서의 전류는 더욱 크게 감소되어 사고 검출이 불가능한 경우도 발생할 수 있게 된다. 그리고 다른 사고 조건의 경우와 마찬가지로 계통부하의 조건이 사고검출에 많은 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

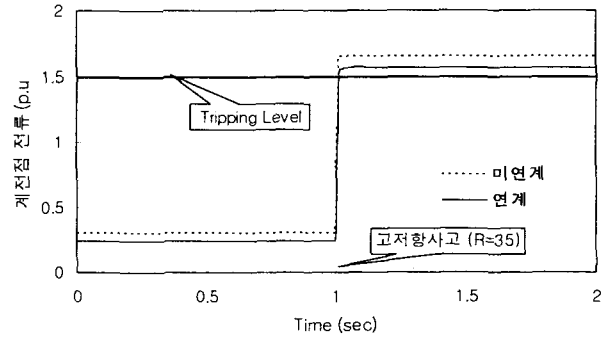


그림 6 최대 부하 시 고 저항 (35Ω) 사고에 대한 모의 결과
Fig. 6 Simulation results for the high impedance fault (35Ω) in a maximum load condition

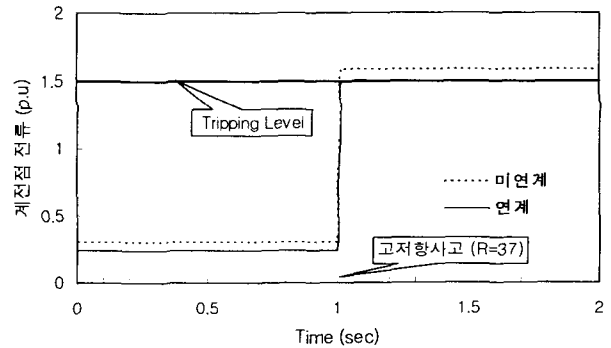


그림 7 최대 부하 시 고 저항 (37Ω) 사고에 대한 모의 결과
Fig. 7 Simulation results for the high impedance fault (37Ω) in a maximum load condition

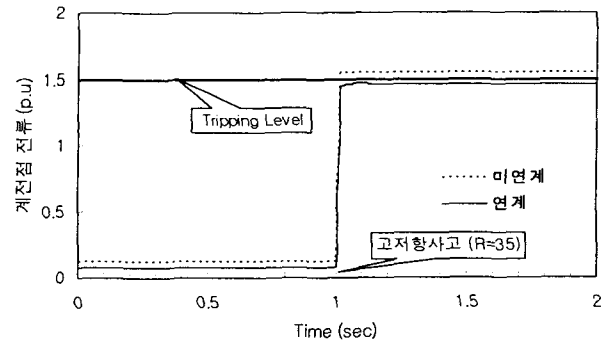


그림 8 최소 부하 시 고 저항 (35Ω) 사고에 대한 모의 결과
Fig. 8 Simulation results for the high impedance fault (35Ω) in a minimum load condition

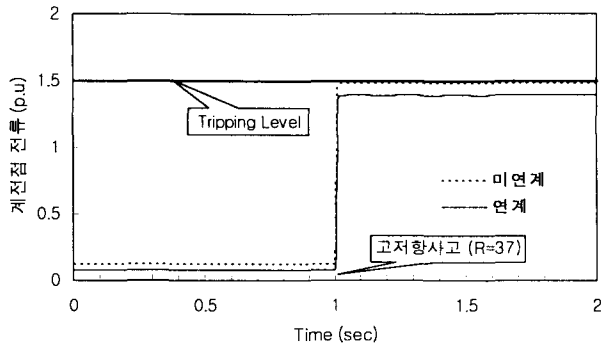


그림 9 최소 부하 시 고 저항 (37Ω) 사고에 대한 모의 결과
 Fig. 9 Simulation results for the high impedance fault (37 Ω) in a minimum load condition

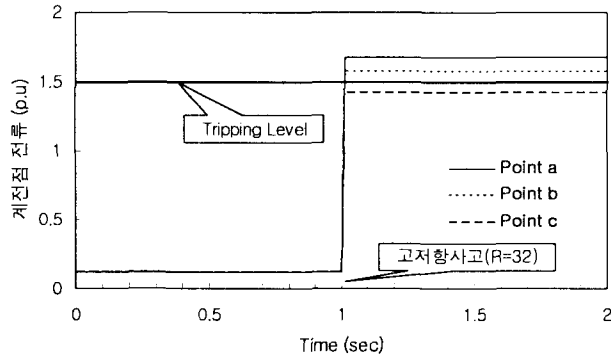


그림 10 풍력발전단지 미연계 시 사고 지점별 고 저항 사고 모의 결과
 Fig. 10 Simulation results for the high impedance fault according to the fault position in the power line without wind turbine generator

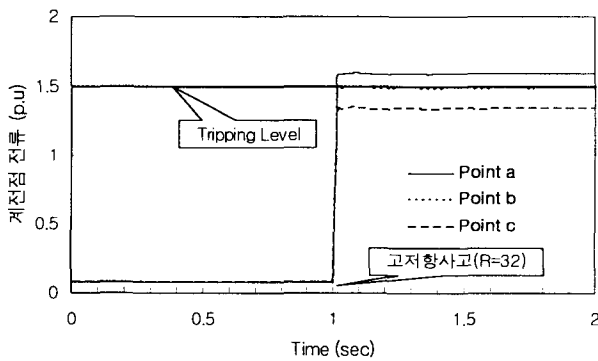


그림 11 풍력발전단지 연계시 사고 지점별 고 저항 사고 모의 결과
 Fig. 11 Simulation results for the high impedance fault according to the fault position in the power line with wind turbine generator

표 3 최대 부하 시 사고 저항, 위치에 따른 고 저항 사고 검출 여부 모의 결과

Table 3 Simulation results for the high impedance fault detection according to the fault impedance and position in a maximum load condition

사고 저항	사고지점	풍력발전단지 미연계시	풍력발전단지 연계시
31Ω	a	○	○
	b	○	○
	c	○	×
33Ω	a	○	○
	b	○	○
	c	×	×
35Ω	a	○	○
	b	○	×
	c	×	×
37Ω	a	○	×
	b	×	×
	c	×	×
39Ω	a	○	×
	b	×	×
	c	×	×

표 4 최소 부하 시 사고 저항, 위치에 따른 고 저항 사고 검출 여부 모의 결과

Table 4 Simulation results for the high impedance fault detection according to the fault impedance and position in a minimum load condition

사고 저항	사고지점	풍력발전단지 미연계시	풍력발전단지 연계시
27Ω	a	○	○
	b	○	○
	c	○	×
29Ω	a	○	○
	b	○	○
	c	×	×
31Ω	a	○	○
	b	○	○
	c	×	×
33Ω	a	○	×
	b	○	×
	c	×	×
35Ω	a	○	×
	b	×	×
	c	×	×

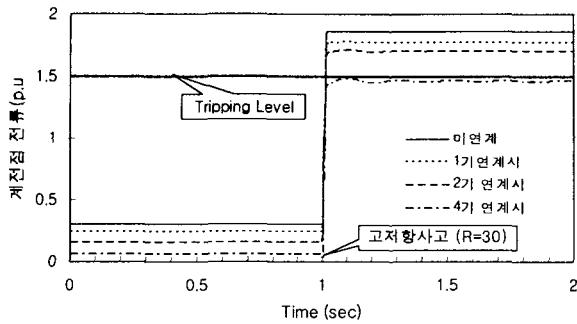


그림 12 최대 부하 시 풍력발전단지의 용량별 모의 결과
 Fig. 12 Simulation results according to the capacity of wind farm in a maximum load condition

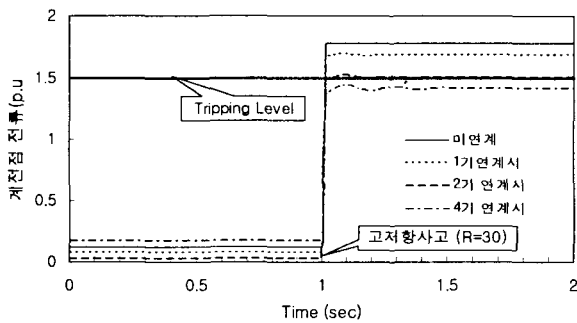


그림 13 최소 부하 시 풍력발전단지의 용량별 모의 결과
 Fig. 13 Simulation results according to the capacity of wind farm in a minimum load condition

5. 결 론

본 논문에서는 풍력발전단지가 연계 운전되고 있는 배전계통에서 사고가 발생하였을 경우, 이들 풍력발전단지가 배전선 사고검출에 미치는 영향에 대하여 기술하였다. 우리나라의 22.9 kV 실계통 데이터를 이용하여 연계배전시스템을 구성하고, 과도현상 해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC에서 제시한 750 kVA 농형 풍력 유도 발전기를 계통에 투입하여 다양한 사고모의를 수행하였다. 일반적인 지락, 단락사고는 풍력발전단지 설치 유·무에 관계없이 사고전류가 설정치보다 크게 나타나므로 쉽게 이를 검출할 수 있다. 반면, 큰 용량의 풍력발전단지가 연계되어 있고, 사고점 저항이 크며, 그리고 부하용량이 작은 경우에는 계전점 사고전류의 증가가 적어 사고검출이 쉽지 않게 된다. 선로 임피던스의 영향이 큰 부하말단에서 발생한 사고의 경우에도 위와 유사한 사고 검출 특성을 갖는다. 따라서 배전선에서 발생한 사고를 검출하기 위해 이용되는 보호 계전기들은 이러한 풍력발전단지의 사고전류에 대한 영향을 충분히 고려하여 설치 운영되는 것이 바람직하다고 생각된다.

향후에는 본 연구의 결과를 기반으로 배전계통에서 연계 운전되고 있는 풍력발전단지의 영향을 고려하여 배전선 사고에 능동적으로 동작할 수 있는 적응형 보호 계전 기법에 대한 연구를 진행할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 및 한국과학재단의 ERC 프로그램을 통한 지원으로 이루어졌으며 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Philip P. Barker, Robert W. de Mello, "Determining the Impact of Distributed Generation on Power Systems: Part1- Radial Distribution Systems." IEEE, No. 0-7803-6420-1/00, 2000
- [2] Thomas Ackermann, Goran Andersson, Lennart Soder, "Electricity Market Regulations and their Impact on Distributed Generation." IEEE, No. 0-7803-5902-X/00, 2000
- [3] W. J. S. Rogers, "The Parallel Operation of Generating Plant within a Regional Electricity Company's Distribution Network." IEE Colloquium on "The Parallel Operation of Generating Plant within a Public Electricity Network." Chester, UK, Feb. 1991, pp. 1-9.
- [4] Jiang Fan and S. K. Salman, "The Effect of Integration of Wind Farms into Utility Network on Voltage Control Due to the Co-ordination of AVC Relays." Proceeding of the 4th International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management, APSCOM-97, Hong Kong, November 1997.
- [5] Salman K. Salman and Ibrahim M. Rida, "Investing the Impact of Embedded Generation on Relay Settings of Utilities' Electrical Feeders." IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 16, No. 2, April 2001.
- [6] A. F. Sultan, G. W. Swift, D. J. Fedirchuk, "Detecting Arcing Downed-wires Using Fault Current Flicker and Half-cycle Asymmetry", IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 9, No. 1, January 1994.
- [7] 한국전력공사 계통운영처, "타사 발전기 병렬운전 연계선로보호업무 지침" 1996. 8.
- [8] Manitoba HVDC Research Centre, " EMTDC V3 User's Manual"
- [9] 한국전력공사, "변전설비 현장 Guide Book", 2001
- [10] R. J. Gustafson, R. Pursley, V.D. Albertson, "Seasonal Grounding Resistance Variations on Distribution Systems", IEEE Transactions on Power Delivery, vol.5, No.2, April 1990.

저 자 소 개



장 성 일 (張 成 一)

1971년 8월 30일생. 1996년 강원대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정

Tel : 033-254-0312, Fax : 033-241-3775

E-mail : sijang@kwnu.kangwon.ac.kr



김 광 호 (金 光 鎬)

1966년 1월 17일생. 1988년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1995년~현재 강원대학교 전기전자정보통신공학부 부교수. 2001년~현재 차세대전력기술 연구센터

Tel : 033-250-6298, Fax : 033-241-3775

E-mail : khokim@kangwon.ac.kr