

풍력발전단지 연계 전용선로 보호계전방식의 향상에 대한 연구

論 文

52A-12-1

A Study on the Improved Protective Relaying Algorithm Applied in the Linked System Interconnecting Wind Farm with the Utilities

張 成 一* · 金 光 鎬** · 權 赫 玩*** · 金 大 榮[§] · 權 赫 珍^{§§}

(Sung-Il Jang · Kwang-Ho Kim · Hyeok-Wan Kwon · Dae-Young Kim · Hyeok-Jin Kwon)

Abstract - This paper describes the correction strategy of an overcurrent relay applied in the linked line for interconnecting wind farm with utility power networks in order to improve the capability of a fault detection. The fault current measured in a relaying point might vary according to the fault conditions. Generally, the current of the line to line fault or the line to ground fault in the linked line is much higher than the set value of protective relay due to the large fault level. However, when the high impedance fault occurs in the linked line, we can't detect it by conventional set value because its fault level may be lower than the generating capacity of wind farm. And, the protective relay with conventional set value may generate a trip signal for the insertion of wind turbine generators due to the large transient characteristics. In order to solve above problems and improve protective relaying algorithms applied in the linked line, we propose a new correction strategy of the protective relay in the linked line. The presented method can detect the high impedance fault which can't be detected by conventional relay set value and may prevent the mis-operation of protective relay caused by the insertion of wind farm.

Key Words : Adaptive Relaying, Protective Relay, Wind Farm

1. 서 론

전력 산업 민영화 및 대외 에너지 환경의 변화에 따라 대체에너지를 포함한 여러 종류의 분산전원들이 전력계통에 투입되고 있으며, 특히, 바람을 이용한 풍력발전은 발전비용이 낮아 큰 관심을 끌고 있다. 현재 우리나라에서는 전력계통의 영향을 고려하여 3 MVA 이상의 풍력발전단지는 22.9 kV 전용선을 이용하여 154 kV 변전소에 직접 연계시키도록 권고하고 있다. 이와 같은 풍력발전단지 계통 연계 전용선로에는 과전류 계전기(51), 지락 과전류 계전기(51G), 저전압 계전기(27) 등이 설치되어 전용선로 상에서 발생하는 사고를 검출하도록 되어 있다 [1]. 여기서, 전용선에 설치된 보호기기의 설정치는 22.9 kV 배전선로 보호 계전기와 동일하게 정정하는 것이 일반적이다. 과전류 계전기는 계전점 전류가 최대부하전류의 150 % 이상, 지락과전류 계전기는 불평형 전류가 최대부하전류의 30 % 이상으로 증가했을 경우 사고로 판단하며 사고전류의 크기에 따라 차단기 동작시간을 달리 한다 [2]. 풍력발전단지 계통 연계 전용선에서 발생하는

대부분의 지락 및 단락사고는, 사고 용량이 풍력발전단지의 발전용량에 비하여 매우 크므로, 최대부하전류의 150 %로 설정된 기존의 과전류 보호 계전 방식에 의해 쉽게 검출될 수 있을 것이다. 그리고 사고저항이 30 Ω 이하인 고저항사고의 경우에도 계통에서의 전류불평형률이 30 % 이상임으로 기존의 지락과전류 계전기들이 이러한 고저항사고들을 명확하게 검출할 수 있을 것으로 판단된다.

반면 전용선에서 사고저항이 30 Ω 이상인 고장이 발생하면, 일반배전선에서의 고저항사고와 마찬가지로 기존의 보호 계전기 설정치로는 사고 검출이 불가능하게 된다 [3]. 일반적으로 풍력발전단지 계통 연계 전용선에는 불평형 부하가 연결된 배전선과는 다르게 풍력발전단지만이 계통에 연계되어 있으므로 평상시 불평형 전류는 상당히 낮은 수준으로 흐르게 된다. 따라서 이들의 영향을 고려하여 전용선에 설치된 지락 과전류 보호계전기의 설정치를 정정한다면 기존에는 검출할 수 없었던 사고들에 대해서 보다 향상된 사고 판단이 가능하리라 생각된다. 그리고 계통 연계 전용선에 설치된 보호 계전기들이 기존의 보호 계전기 동작특성과 동일하게 갖도록 규정되었을 경우, 유도발전기와 같은 풍력발전단지는 연계 시 계통에 큰 돌입전류를 발생시킬 수 있으므로 보호기기들이 계통의 정상적인 운전상황을 사고 상태로 잘못 판단하여 오동작을 일으킬 수 있다 [4-6]. 이러한 풍력발전단지의 연계 특성은 풍력발전단지의 용량이 증가함에 따라 더욱 심하게 나타날 것이다. 이에 풍력발전단지 계통 연계 시 돌입전류에 의한 보호 계전기의 영향을 분석하여 과전류 계전기와 저전압 계전기의 동작 특성을 정정하고

* 正 會 員 : 서울대 정보기술사업단 Post-Doc.

** 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센터 副教授

*** 非 會 員 : 韓國電力公社 堤川電力管理處 課長

§ 非 會 員 : 韓國電力公社 堤川電力管理處 課長

§§ 非 會 員 : 韓國電力公社 堤川電力管理處 課長

接受日字 : 2003年 4月 18日

最終完了 : 2003年 10月 28日

전용선로의 부하구성 형태를 충분히 고려하여 지락과전류 계전기의 설정치를 새로이 정정한다면 보호기기들의 오동작을 예방할 수 있으며, 일반배전선에서는 불가능했던 30 Ω 이상의 사고저항을 갖는 고장들에 대해서도 안정적인 사고 판단이 가능하리라 예상된다.

본 논문에서는 풍력발전단지 계통 연계 전용선로 보호 계전 방식의 향상에 대하여 기술하였다. 과도현상해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 유도발전기들로 구성된 9.75 MVA 용량의 풍력단지를 모델링하고 전용선을 이용하여 22.9 kV 모선에 연결시켜 풍력발전단지 용량별 투입과 다양한 전용선 사고 등을 모의 하였다. 모의 결과, 풍력발전단지의 용량 증가에 따라 계통 투입시 돌입전류로 인하여 계전기가 오동작 할 수 있는 경우가 발생하였으며, 일반적인 전용선 지락, 단락사고는 기존의 보호 계전기 설정치를 이용하여 검출이 가능한 반면, 큰 사고저항을 갖는 전용선 고저항사고들을 일반배전선의 고저항사고처럼 사고로 판단하지 못하는 경우가 발생하였다. 이에 전용선에 설치된 과전류 계전기와 저전압 계전기의 동작특성을 풍력발전단지 계통 연계 시 계통에서 발생하는 과도상태를 고려 후 재설정하여 돌입전류로 인한 계전기의 오동작을 예방할 수 있었다. 그리고 전용선에서 발생하는 큰 사고저항을 갖는 불평형 사고를 검출하기 위해 지락과전류 계전기(51G)의 설정치를 계통 및 풍력발전단지 단지의 불평형 조건을 충분히 고려 후 정정하여 기존에는 검출이 불가능했던 사고들까지도 안정적으로 사고 판단이 가능하였다.

2 풍력발전단지 연계 계통 모델링

본 논문에서는 전력계통 과도현상 해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 농형 풍력 유도발전기들로 구성된 풍력단지를 모델링 하였으며, 연계 계통으로는 우리나라의 22.9 kV 실계통 데이터를 이용하여 구성하였다 [7].

2.1 22.9 kV 배전계통 모델링

풍력발전단지가 연계되는 배전계통은 용량이 45 MVA인 변압기와 선간전압 22.9 kV인 실계통 데이터로 구성하였다. 우리나라의 경우 풍력발전단지의 전체 용량이 3 - 10 MVA 이면 전용선을 이용하여 154 kV 변전소의 22.9 kV 모선에 연계하도록 권고하고 있으므로, 본 연구에서는 ACSR 160 mm²의 전용선으로 22.9 kV 모선과 10 km 떨어진 지점에 9.75 MVA의 풍력발전단지를 위치시키고 용량별 풍력발전단지의 운전특성 및 다양한 전용선 사고를 모의 하였다. 그림 1은 모델링된 22.9 kV 배전계통의 단선도를 나타내고 있다.

2.2 풍력발전단지 모델링

PSCAD/EMTDC에서는 동기기는 물론 유도기 형태의 회전 기기들을 제공하고 있으며, 이들은 제어기법에 따라 발전기와 전동기로 동작시킬 수 있다. 본 연구에서 모델링된 풍력발전단지는 그림 2에서와 같은 농형 풍력 유도발전기들로 이루어진 것으로 가정하였다. 그림에서 우측에 표시된 A, B,

C는 계통에 연결되는 3상 전원을 의미하며, 좌측의 W, S, T는 발전기의 출력을 조절하기 위한 외부 제어 단자를 표현한다. 여기서, W는 풍력 유도발전기의 회전속도를, S는 발전기 출력 제어 변수를, 그리고 T는 음의 값으로 유도발전기의 외부 입력을 의미한다. 농형 유도발전기의 경우 내부 용량이 주어지면 일반적인 내부파라미터를 생성하므로, 본 논문에서는 풍력발전기를 750 kVA의 용량으로 모델링하였다. 그리고 13대의 750 kVA 풍력발전기 단지를 구성하여 계통 투입시와 전용선 사고에 대한 풍력발전단지의 계통 영향을 살펴보았다. 현재 우리나라에서 운용되고 있는 대관령의 750 kVA 풍력발전단지 단지에서는 15 kW 계약 용량으로 계통으로부터 전력을 공급받고 있는데, 이 계약 용량을 9.75 MVA를 기준으로 환산하여 195 kW의 단상 부하가 A 상에 연결되어 있는 것으로 가정하였다.

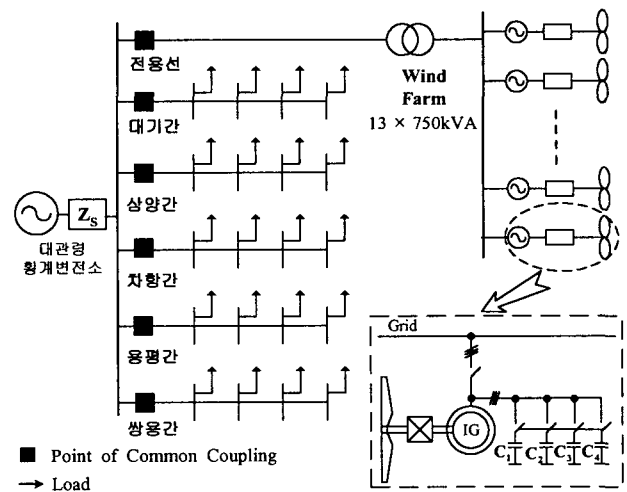


그림 1 풍력발전단지가 연계된 22.9 kV 배전계통 단선도
Fig. 1 Circuit diagram of 22.9 kV distribution networks with DG

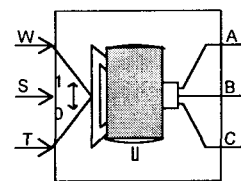


그림 2 EMTDC에서의 농형 유도발전기 모듈모듈(SQC100)
Fig. 2 Squirrel-cage type induction generator module in EMTDC(SQC100)

3. 풍력발전단지 계통 연계 전용선로의 보호 계전방식

3.1 전용선로에 설치된 보호 기기

전용선에서 발생하는 사고를 검출하기 위하여 22.9 kV 모선의 전용선 연계 지점에는 과전류 계전기(51)와 지락 과전류 계전기(51G) 및 저전압 계전기가(27) 설치된다. 그리고 풍력발전단지 단에는 과전류 계전기, 지락 과전류 계전기, 저전압 계전기, 과전압 계전기(59), 주파수 계전기(81)들이

설치되어 발전기의 단독 운전을 방지하는데 이용된다. 여기서 모선 단과 풍력발전단지 단에 설치되는 과전류 계전기는 주로 3상과 2선 단락사고에 대한 보호 책무를 가지며 지락 과전류 계전기는 1선 지락 등 3상 불평형 사고에 대한 보호 책무를 가진다. 그리고 모선 측의 저전압 계전기는 재폐로 및 비동기 투입 방지를 위한 설비이다. 전용선로에 설치된 보호기기들에 대한 단선도를 그림 3에 나타내었다 [1].

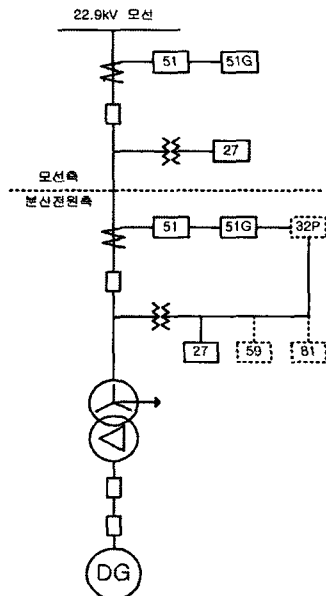


그림 3 연계 전용선 보호설비 단선도
Fig. 3 Circuit diagram of protection devices in the linked line

3.2 풍력발전단지 계통 연계 전용선로의 보호 계전 방식

본 연구에서의 전용선로 보호용 과전류 계전기는 사고 전류가 최대정격전류의 150 % 이상이 되었을 때 동작하도록 설정된 것으로 가정하였으며 지락 과전류 계전기는 중성선에 설치되어 최대 부하 전류의 30 % 이상이 되었을 경우에 동작되도록 설정하였다. 그리고 저전압 계전기는 계통 전압이 정격전압의 80 % 이하로 감소하면 동작하도록 설정하였다 [2]. 그림 4는 대관령 풍력발전단지에 연계된 형계변전소 삼양간에서의 과전류 및 지락 과전류 계전기의 TCC (Time-Current Curves)를 나타내고 있으며, 같은 동작특성을 갖는 보호계전기들이 전용선에 설치되어 있는 것으로 가정하였다. 보호 계전기들은 사고 정도에 따라 트립신호를 발생시키는 시점을 달리하며, 사고 전류와 불평형 전류가 클수록 빨리 동작하는 반한시의 동작 특성을 나타낸다. 그림에서 전류 %값은 과전류 계전기인 경우는 최대 부하전류를 100 %로, 지락과전류 계전기인 경우에는 최대부하전류의 30 %를 100 %로 환산하여 그려졌다.

4. 풍력발전단지 계통 투입 및 전용선로 사고 특성 분석

본 절에서는 PSCAD/EMTDC로 구성된 22.9 kV 배전계통을 이용하여 풍력발전단지의 계통 연계 특성과 전용선 사

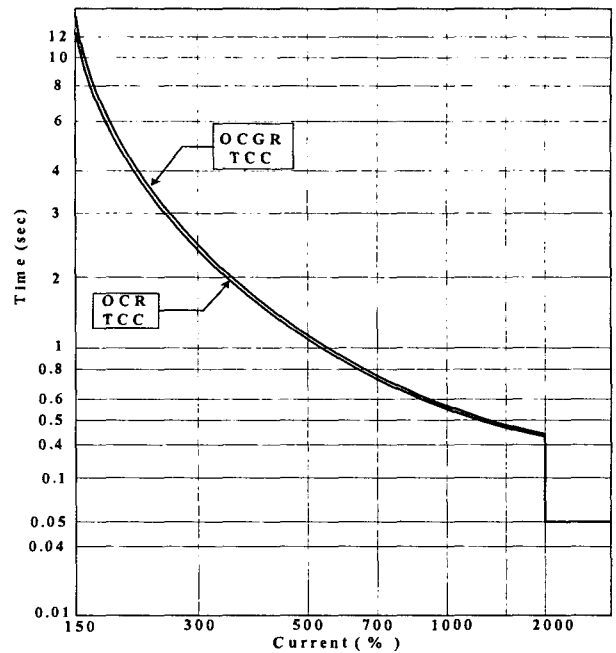


그림 4 대기간에 설치된 보호계전기의 동작특성 커브
Fig. 4 Time-current curves of the protective relay applied in Daegi feeder

고 특성을 모의 분석하였다. 풍력발전단지는 고정자의 회전 자계 속도와 유사한 동기속도에서 계통에 점진적으로 투입 되도록 제어되는 소프트 컷-인 (Soft cut-in) 기법 [8]을 이용하여 계통에 연계되도록 모의하였다. 그리고 전용선 사고 모의 종류는 지락, 단락사고 및 고저항사고로 선정하였다.

4.1 풍력발전단지 계통 연계 특성

풍력발전단지의 계통 연계 특성을 모의하기 위하여 풍력단지 용량을 3 MVA, 6.75 MVA, 9.75 MVA로 달리하여 0.5초에 계통에 투입하였다. 여기서, 풍력발전단지의 계통 연계에 대한 영향만을 고려하기 위하여 연계 후 발전기 출력 변동은 없는 것으로 가정하여 모의하였다. 풍력발전단지 투입에 따른 전용선 보호 계전점 전류, 전압과 불평형 전류를 그림 5에 나타내었다. 그림에서 계전점 전압, 전류 및 중성선의 불평형 전류는 22.9 kV 계통전압과 최대 부하 (10 MVA)를 기준으로 계산되었으며, 음의 계전점 전류는 연계 계통에서 전용선으로 전류가 흘러 들어가는 것을 의미한다. 그림에서와 같이 풍력발전단지 계통 투입시 풍력발전단지의 용량이 증가함에 따라 연계 계통에 돌입전류가 상당히 크게 발생하는데 13대의 풍력발전기를 동시에 계통에 투입하면 최대 부하전류의 187 %까지 증가하므로 과전류 계전기의 오동작을 일으킬 가능성이 크다 [9-11]. 그러나 그림 4에서와 같은 반한시의 동작특성을 가진 보호계전기는 계전점전류가 최대 부하전류의 200%까지 증가하더라도 5초 후에 트립신호를 발생하므로 큰 문제는 발생하지 않는다. 그리고 계전점 전압은 13대의 풍력발전단지가 동시에 계통에 투입되더라도 정격전압의 82.1 %로 설정치 이상이므로 저전압 계전기는 오동작하지 않을 것으로 예상된다. 계통 연계 시 계전점에서 나타나는 전압과 전류의 큰 변동 특성과는 달리

중성선에서의 불평형 전류는 1% 이하로 작게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 풍력발전단지가 삼상 평형 발전기들로 구성되어 있으며, 전용선도 3상 선로로 모델링 되었기 때문이다. 한편 풍력발전단지의 195 kW 단상 부하 전류는 변압기 1차측 중성점으로 유입되어 B상과 C상으로 전류가 흐르므로 전체적으로 중성선의 불평형 전류특성이 작게 나타났다. 만약, 변압기의 1차측 변압기 권선결선이 델타일 경우에는 단상부하로 연결된 부하 특성이 계통 불평형 전류로 그대로 나타날 것이다.

4.2 지락 및 단락사고

일반적으로 전용선의 지락, 단락사고는 사고 용량이 상당히 크므로 계전점에서 사고 전류는 설정치 이상으로 증가한다. 풍력발전단지의 용량을 달리하여 22.9 kV 모선으로부터 6 km 떨어진 지점에서의 전용선 지락 및 단락사고에 대한 모의 결과를 그림 6, 7, 8에 나타내었다. 지락 및 단락사고에서는 풍력발전단지의 용량에 따른 큰 차이 없이 사고 전류는 최대 부하 전류의 -500% 이상까지 증가하며, 전압은 정격전압의 50% 와 70% 까지 각각 감소하였다. 특히, 3선 단락사고의 경우 사고 용량이 매우 크므로 풍력발전단지의 용량에 무관하게 계전점 전압, 전류는 심하게 변동하는 것을 모의를 통하여 확인하였다. 따라서 이와 같은 전용선로의 사고들은 기존의 계전기 설정치로 검출이 가능함을 알 수 있으며 그림 4에서 제시된 TCC 커브에 의해 차단기가 동작하게 된다. 그림에서 계전점 전류의 부호가 양인 경우는 발전기가 전력을 생산하여 계통으로 공급함을 의미하고, 음일 때에는 연계 계통으로부터 전용선으로 전력이 유입됨을 나타낸다. 그리고 중성선 불평형 전류는 1선 지락 사고 시 가장 큰 증가를 보이고 있다.

4.3 고저항사고

그림 9는 풍력발전단지가 연계된 전용선로에서 고저항사고가 발생하였을 때의 사고 전류 흐름을 나타내고 있다. 사고점 저항으로 인하여 사고 용량(I_F)이 전용선에 설치된 풍력발전단지의 발전 용량(I_{DG})보다 작게 되면 사고점으로 유출되는 전류를 제외하고 나머지 전류(I_S)는 계통으로 흘러간다. 이러한 특성을 갖는 전용선로의 고저항사고는 기존의 사고 검출 설정치로는 구별이 불가능하게 된다. 본 연구에서는 전용선 고저항사고 시 풍력발전단지의 운전특성을 모의하기 위하여 전용선의 지락, 단락사고와 같은 사고 조건에서 풍력발전단지의 용량을 9.75 MVA로 구성하고 사고점 저항을 30 Ω, 70 Ω, 100 Ω으로 달리하여 다양한 고저항사고를 모의, 분석하였으며 모의 결과를 그림 10에 나타내었다. 일반 배전선로의 고저항사고는 단상 수용가에 의한 계통 불평형을 고려하기 위하여 30 Ω의 사고저항을 기준으로 구분되는데, 사고저항이 30 Ω이하인 경우에 검출이 가능하도록 보호계전기의 설정치가 규정되어지며, 30 Ω 이상의 사고저항을 갖는 경우에는 보호계전기가 동작의무를 갖지 않는다. 그림에서 실선은 사고저항을 30 Ω으로 설정한 경우의 모의 결과로써 사고 용량이 가장 크므로 계통의 전력을 소비하는 특징을 보였으며, 중성점에서의 불평형 전류도 가장 크게 나타

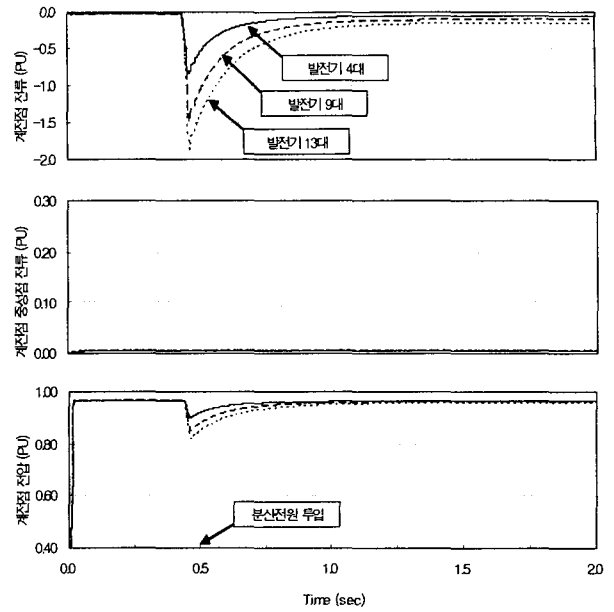


그림 5 풍력발전단지 계통 연계 시 풍력발전단지 용량별 계전점 전압, 전류 특성

Fig. 5 The characteristics of voltage and current at the PCC for the insertion of DG according to the DG's generating capacity

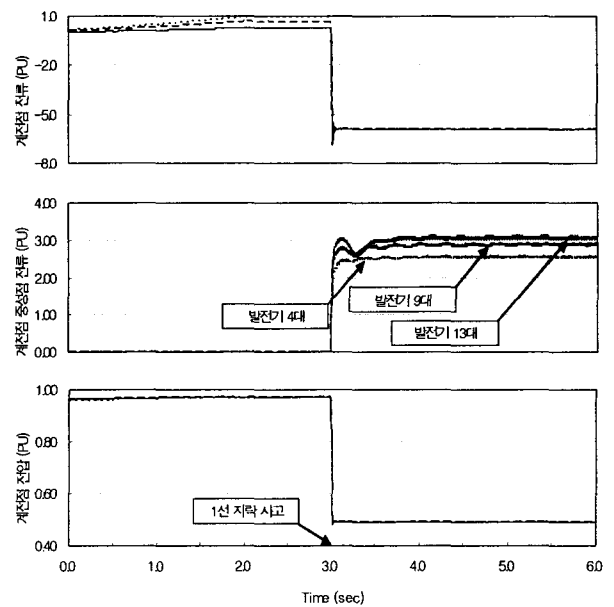


그림 6 전용선로 1선 지락 사고 시 풍력발전단지 용량별 계전점 전압, 전류 특성

Fig. 6 The characteristics of voltage and current at the PCC for the single line to ground fault in the linked line according to the DG's generating capacity.

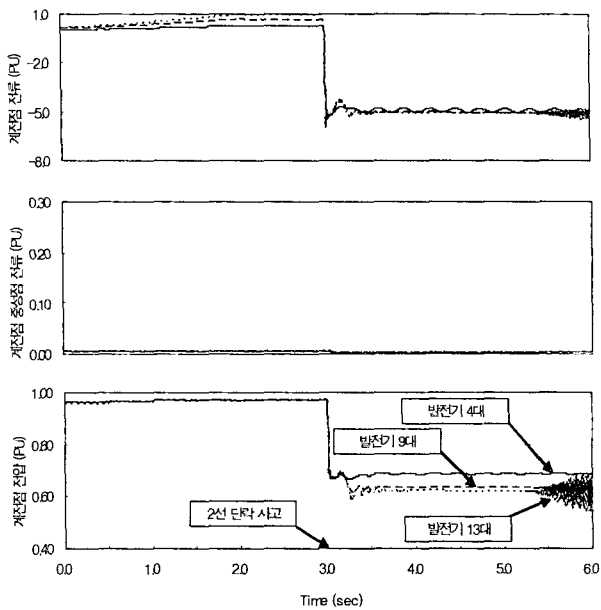


그림 7 전용선로 2선 단락사고 시 풍력발전단지 용량별 계전점 전압, 전류 특성

Fig. 7 The characteristics of voltage and current at the PCC for the line to line fault in the linked line according to the DG's generating capacity.

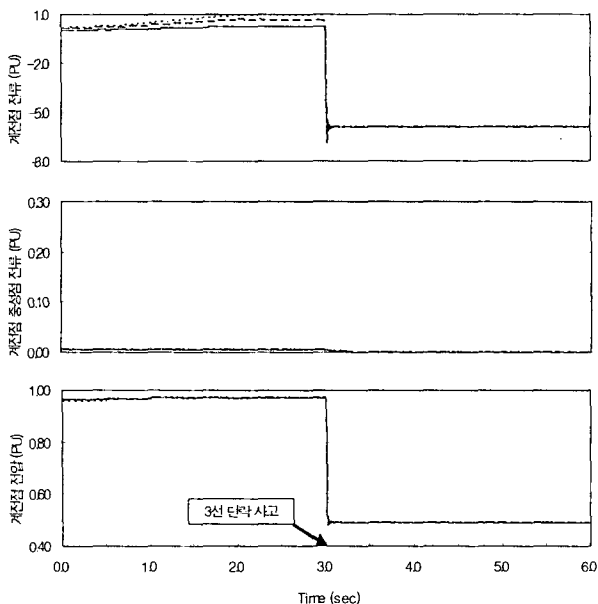


그림 8 전용선로 3선 단락 사고 시 풍력발전단지 용량별 계전점 전압, 전류 특성

Fig. 8 The characteristics of voltage and current at the PCC for the three phases fault in the linked line according to the DG's generating capacity.

남을 알 수 있었다. 30 Ω 고저항사고는 중성선의 불평형 전류가 현재의 사고 검출 설정치 이상으로 증가하므로 쉽게 검출될 수 있었다. 그러나 사고 용량이 작은 70 Ω과 100 Ω 사고의 경우에는 전술한 것과 같이 사고 용량만큼의 풍력발전단지 출력이 감소한 형태로 전력을 계통으로 공급하는 특징을 가지므로 기존의 사고 검출 설정치로는 사고 판단이 불가능하게 된다. 그리고 중성선의 불평형 전류도 사고 용량에 비례하여 크게 나타나므로 이를 이용한 사고 검출도 쉽지 않은 것을 알 수 있다.

그림 11은 100 Ω 사고저항에 대해 풍력발전단지의 발전 용량을 달리하여 모의한 결과를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 풍력발전단지 용량이 작아짐에 따라 같은 사고 용량에 대해 계전점 전류의 변화는 크게 발생하는 반면 중성선에서의 불평형 전류는 거의 일정한 것을 알 수 있었다. 본 모의에서도 사고 용량이 작기 때문에 풍력발전단지의 용량에 관계없이 계전점에서의 전류 및 중성선 불평형 전류가 기존의 설정치를 초과하지 못하므로 사고검출이 불가능하게 된다.

5. 풍력발전단지 계통 연계 전용선로 보호 계전 방식의 향상 기법

본 절에서는 연계 풍력발전단지의 운전 특성과 다양한 사고 특성을 모의 분석하여 전용선로에 설치된 보호 계전기의 새로운 설정치 정정기법을 제시하였다.

5.1 과전류 계전기(51) 및 저전압 계전기(27)

풍력발전단지의 계통 투입에 따라 연계 계통에서는 돌입 전류들이 상당히 크게 발생하며, 특히 풍력발전단지의 투입 용량이 커짐에 따라 전용선에 설치된 과전류 계전기와 저전압 계전기의 설정치보다 커질 수 있다. 그러나 돌입전류에 의한 큰 계통 전류는 일정시간 후 감소하므로 그림 4에서의 반한시 동작 특성을 갖는 전용선의 주보호 과전류 계전기로 사고와 과도상태를 확실히 구분할 수 있을 것이다. 만약, 계통 연계 시 돌입전류의 지속시간이 계전기의 반한시 동작 특성을 초과할 경우에는 풍력발전단지가 최대 용량으로 계통에 투입 되었을 때의 영향을 충분히 고려하여 계전기의 동작시간을 재설정해야 할 것이다. 과전류 계전기의 동작특성과 마찬가지로 돌입 전류에 의하여 계통의 전압강하가 심하게 나타날 수 있으므로 풍력발전단지 연계 시 계통에서 가장 심하게 일어날 수 있는 전압강하를 기준으로 기존의 저전압 계전기의 동작시간을 재설정해야 할 것이다. 그리고 풍력발전단지는 발전기 종류에 따라 계통 연계 특성이 달라질 수 있으므로 이들의 동적특성을 고려하여 계전기의 동작 설정치들이 변경되어야 할 것이다. 일반적으로 인버터 형태의 풍력발전기는 계통의 전압, 위상, 주파수와 동일한 조건에서 계통으로 연계되므로 과전류 계전기 및 저전압 계전기의 설정치를 정정 할 때에는, 연계 시 계통에서 발생하는 과도현상의 특성을 고려할 필요가 없다.

5.2 지락 과전류 계전기(51G)

평형 부하와 불평형 부하들이 혼재되어 있는 일반적인 배전계통과는 달리 풍력발전단지 계통 연계 전용선로의 경우에는, 풍력발전단지 대부분이 평형 발전기를 채택하고 있고 전용선에는 단상부하들이 연결되어 있지 않으므로 평상시 중성선에서의 불평형 전류는 매우 작게 나타난다. 이에 전용선에서의 고저항사고에 대한 사고 불평형이 그대로 중성선에서 발생하므로 사고 용량이 적은 고저항사고들도 현재의 지락 과전류 계전기의 설정치를 낮게 재설정한다면 검출이 가능할 것으로 판단된다. 지락 과전류 계전기 설정치 정정에 있어서 고려해야 할 최소한의 조건은 풍력발전단지가 연계 되어 있는 변전소 구내와 풍력발전단지 제어부 및 기타 설비에서 소비하는 전력에 대한 부분이다. 이들 용량은 풍력발전단지 건설 시 계통으로부터 전력을 수전 받는 계약 전력으로부터 정의 될 수 있다. 따라서 본 논문은 전용선에서의 고저항사고를 검출하기 위하여 지락 과전류 계전기 설정치를 풍력발전단지단 수전 계약용량을 기준으로 재설정할 것을 제안한다. 그림 12는 본 논문에서 새롭게 제안된 풍력발전단지 계통 연계 전용선로 보호기기 설정치 정정에 관한 순서도를 나타내고 있다. 여기서, $I_{set-new}$ 는 새롭게 정정된 지락 과전류 계전기 정정치[pu]를, P_s 는 풍력발전단지의 단상 수전용량[kW]을, V_p 는 상전압 [kV]을, I_{max} 는 전용선 최대부하전류[A]를 의미한다.

6. 제안된 보호계전기 정정치를 이용한 전용선 사고 검출 모의

본 연구에서는 9.75 MVA 용량의 풍력발전단지가 연계된 전용선의 보호계전기 동작 설정치 정정을 위하여 우선, 750 kVA 용량의 발전기 13대를 동시에 계통에 투입하여 계통에서 발생할 수 있는 최대 돌입전류를 모의하고, 돌입전류의 지속시간을 모니터링하였다. 모니터링 결과 그림 5에서와 같이 풍력발전단지 계통 연계 시 계통 전류가 일시적으로 사고 설정치 이상을 초과하지만 일정시간 지속되지 못하므로 그림 4에서의 TCC 곡선을 그대로 이용하여도 과도 상태

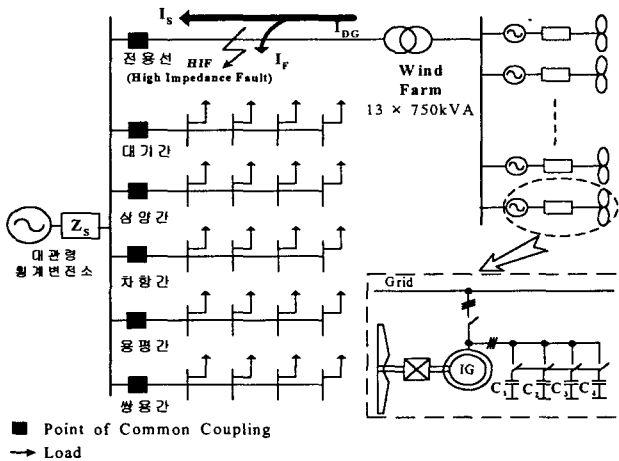


그림 9 고저항사고 시 전류 흐름 단선도
Fig. 9 The flow diagram of current for the high impedance fault

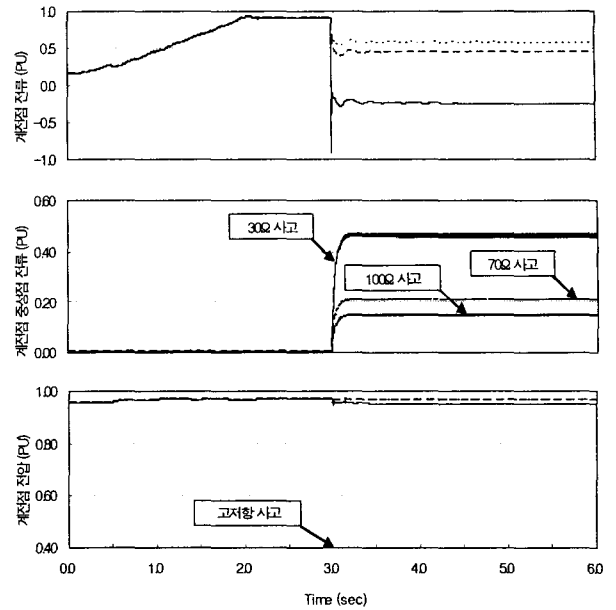


그림 10 전용선로 고저항 지락 사고 시 사고 용량별 계전점 전압, 전류 특성
Fig. 10 The characteristics of voltage and current at the PCC for the high impedance fault in the linked line according to the fault level

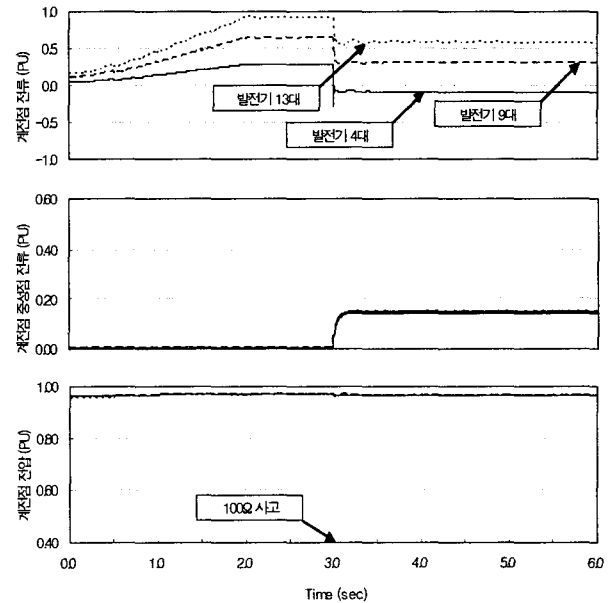


그림 11 전용선로 고저항 지락 사고 시 풍력발전단지 용량별 계전점 전압, 전류 특성
Fig. 11 The characteristics of voltage and current at the PCC for the high impedance fault in the linked line according to the DG's generating capacity

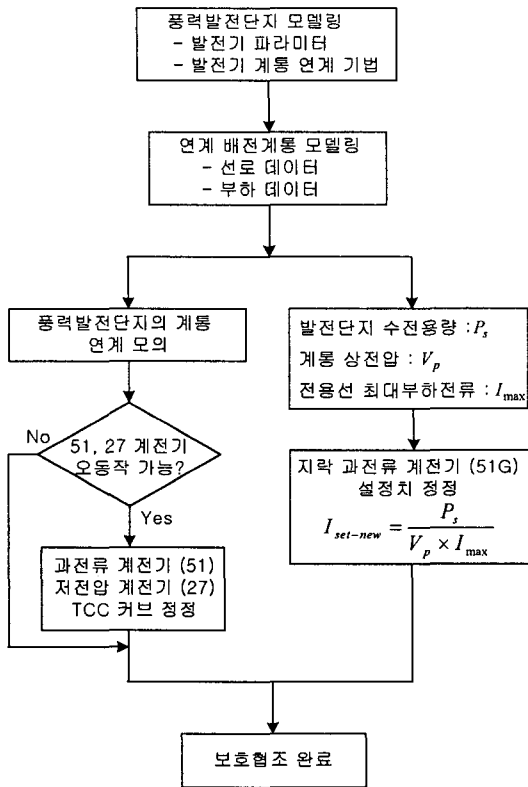


그림 12 제안된 전용선 보호기기 설정치 정정 순서도
Fig. 12 Flow diagram of the proposed correction strategy for the protective relay applied in the linked line

시 계통에서 일어날 수 있는 계전기들의 오동작을 예방할 수 있었다. 이와 같은 과전류 계전기 및 저전압 계전기 동작 설정치들은 풍력발전단지의 계통 연계 특성을 기준으로 재설정 되어야 한다. 한편, 지락 과전류 계전기의 동작 설정치는, 그림 12에 의해, 9.75 MVA 풍력발전단지에서 소비 전력인 195 kW인 단상 부하가 연결되어 있는 것으로 가정하였으므로 이 용량을 기준으로 최대부하전류의 5.9 %로 재설정 하였다.

그림 13과 14는 전용선 보호계전기의 설정치를 제안된 값으로 정정했을 때, 모선으로부터 9.75 MVA 풍력발전단지 계통 연계 전용선로 9 km 지점에서 발생한 1선 지락 사고와 2선 단락사고에 대한 사고 검출 모의 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 1선 지락사고의 경우 전용선 사고 전류와 중성선 불평형 전류가 상당히 크게 나타나기 때문에 쉽게 사고를 검출할 수 있었다. 2선 단락사고의 경우에도 전용선의 사고 전류가 3.0 pu 이상 증가하므로 전용선 보호기기들은 사고 트립 신호를 발생시킬 수 있었다. 반면 2선 단락사고의 특성상 불평형 전류의 크기가 작게 나타나므로 이를 이용하여서는 2선 단락사고는 검출 할 수 없었다. 그리고 두 종류의 사고 모두 계전점의 전압강하가 설정치 이하로 측정되므로 사고로 인식 되었다.

그림 15는 전용선 6 km 지점에서 발생한 200 Ω의 사고점 저항을 갖는 고저항사고에 대하여 연계 풍력발전단지의 용량을 달리하여 모의한 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 계전점에서의 전류는 풍력발전단지의 출력이 감

소한 형태로 측정되었고 중성선에서의 불평형 전류도 7 %로 나타났으며 사고 시 전압 강하도 거의 발생하지 않아 기존의 설정치를 이용한 사고 검출이 불가능한 것을 알 수 있다. 전술한 것처럼 일반선로에서의 지락 과전류 계전기가

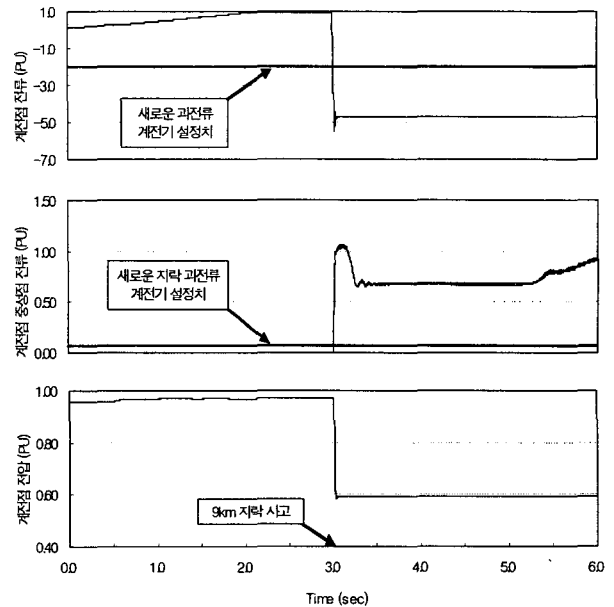


그림 13 새로운 계전기 설정치를 적용한 전용선로 1선 지락 사고 검출

Fig. 13 The detection of the single line to ground fault happened in the linked line by the newly proposed relay set value

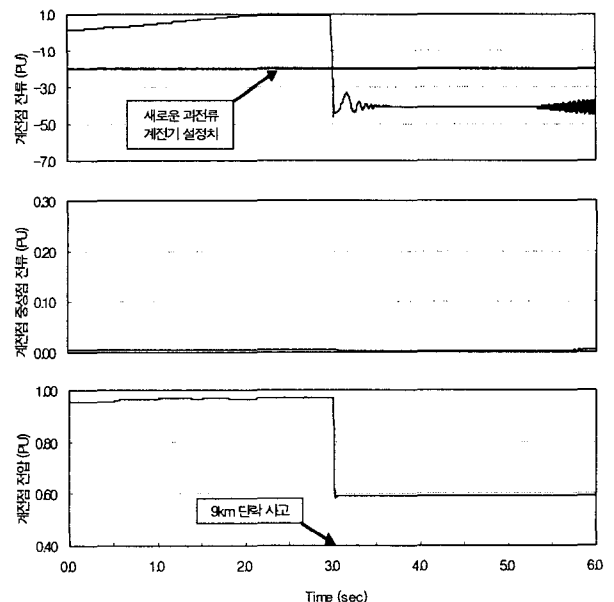


그림 14 새로운 계전기 설정치를 이용한 전용선로 2선 단락사고 검출

Fig. 14 The detection of the line to line fault happened in the linked line by the newly proposed relay set value

검출해야 할 고저항사고는 배전선에 연결되어 있는 부하 불평형을 고려하기 위하여 사고저항이 30 Ω 이하인 경우를 기준으로 설정하고 있다. 그러나 전용선로의 부하특성을 고려하여 새롭게 제안된 지락 과전류 계전기 설정치는 연계 풍력발전단지의 용량에 관계없이 이와 같이 사고 용량이 매우 작은 고저항사고까지도 검출할 수 있어 기존의 설정치를 이용한 전용선 보호 기법에 비하여 우수한 동작특성을 보이는 것을 알 수 있었다.

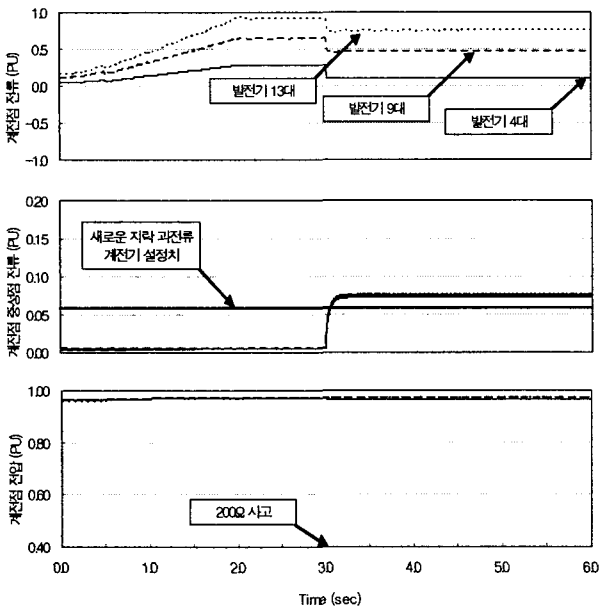


그림 15 새로운 계전기 설정치를 이용한 풍력발전단지 용량별 전용선로 고저항 지락 사고 검출

Fig. 15 The detection of the high impedance fault happened in linked line according to the DG's generating capacity by the newly proposed relay set value

7. 결 론

본 논문에서는 풍력발전단지 계통 연계 전용선로 보호 계전 방식의 향상에 대하여 기술하였다. 과도현상해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 유도발전기들로 구성된 9.75 MVA 용량의 풍력단지를 모델링하고 전용선을 이용하여 22.9 kV 모선에 연결시켜 풍력발전단지 용량별 투입과 다양한 전용선 사고 등을 모의 하였다. 모의 결과, 풍력발전단지의 용량 증가에 따라 계통 투입시 돌입전류로 인하여 계전기가 오동작 할 수 있는 경우가 발생하였으며, 일반적인 전용선 지락, 단락사고는 기존의 보호 계전기 설정치를 이용하여 검출이 가능한 반면, 큰 사고저항을 갖는 전용선 고저항사고들을 일반배전선 고저항사고처럼 검출하지 못하는 경우도 발생하였다. 이에 전용선에 설치된 과전류 계전기(51)와 저전압 계전기(27)의 설정치를 연계 풍력발전단지에 의한 최대 돌입전류 발생조건을 고려하여 한시 동작 특성을 정정하면 계통 연계 시 계전기들의 오동작을 예방할 수 있었다. 그리고 전용선에 설치된 지락과전류 계전기(51G)의 설정치를 풍력발전단지에서 수전 받는 계약 용량을 기준으

로 재설정한다면 일반배전선에서는 사고 검출이 불가능했던 사고 용량이 작은 고저항사고들도 확실히 검출 할 수 있으므로 기존의 사고 검출 계전 방식에 비하여 우수한 동작 특성을 갖는 것을 알 수 있었다.

향후에는 전용선에서와 같은 고저항사고 특성이 일반 부하들과 함께 혼재하는 공용선로에서도 일어날 수 있으므로 다양한 사고 특성과 풍력발전단지 운전 특성을 통하여 공용선로에서 발생하는 고저항사고들도 검출이 가능한 기법들을 연구할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력공학공동연구소(R-2003-0-291) 주관으로 수행된 과제임.

참 고 문 헌

- [1] 한국전력공사 계통운영처, “타사 발전기 병렬운전 연계선로보호업무 지침” 1996. 8
- [2] 한국전력공사, “변전설비 현장 Guide Book”, 2001
- [3] 장성일, 김광호, “풍력발전단지의 계통연계 운전이 배전선 보호계전에 미치는 영향”, 대한전기학회 논문지, 제 52A권 제 3호, 2003년 3월, pp. 151~157
- [4] 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
- [5] Thomas Ackermann, Goran Andersson, Lennart Soder, “Electricity Market Regulations and their Impact on Distributed Generation.” IEEE, No. 0-7803-5902-X/00, 2000
- [6] W. J. S. Rogers, “The Parallel Operation of Generating Plant within a Regional Electricity Companys Distribution network.” IEE Colloquium on “The Parallel Operation of Generating Plant within a Public Electricity Network.” Chester, UK, Feb. 1991, pp. 1-9.
- [7] Manitoba HVDC Research Centre, “ EMTDC V3 User’s Manual”
- [8] Mita-Teknik, “Technical Information - Calibration routine for WP4060 Connection Model.” 1999. 9
- [9] Paresh C. Sen, “Principles of Electric Machines and Power Electronics.” WILEY, Copyright © 1997
- [10] M. S. Sarma, “Electric Machines, Steady-State Theory and Dynamic Performance.” West Publishing Company, 1985.
- [11] 장성일, 정종찬, 김광호, “PSCAD/EMTDC를 이용한 계통 연계 풍력 유도발전기의 운전 특성에 관한 연구”, 대한전기학회 논문지, 제 51B권 제 12호, 2002년 12월, pp. 704~713

저 자 소 개

장 성 일 (張 成 一)

전기학회논문지 제 52권 제5호 참조

김 광 호 (金 光 鎬)

전기학회논문지 제 52권 제5호 참조



권 혁 완 (權 赫 玩)

1959년 1월 9일생. 1979년 충주전문대학교 전기과 졸업. 1979년~현재 한국전력공사 제천전력관리처 계통운영부 과장

Tel : 043-640-3334, Fax : 043-640-3429

E-mail : kwonhw@kepco.co.kr



김 대 영 (金 大 榮)

1960년 11월 29일생. 1986년 인천대학교 전기공학과 졸업. 1986년~현재 한국전력공사 제천전력관리처 계통운영부 과장

Tel : 043-640-3333, Fax : 043-640-3429

E-mail : ryusoo@kepco.co.kr



권 혁 진 (權 赫 珍)

1957년 5월 25일생. 2002년 삼척대학교 전기제어공학과 졸업. 1979년~현재 한국전력공사 제천전력관리처 계통운영부 과장

Tel : 043-640-3338, Fax : 043-640-3429

E-mail : kwonhjin@kepco.co.kr