

사고위치를 고려한 분산전원의 단독운전 상태 검출에 관한 연구

(A Study on Islanding Detection of Distributed Generation Considering Fault Location)

정승복* · 김재철

(Seung-Bock Jung · Jae-Chul Kim)

요 약

분산전원의 단독운전 검출에 관한 기존의 연구들은 사고위치에 따른 다양한 상황을 고려하지 않고 조건들만 만족되면 분산전원측을 무조건 분리시켰다. 하지만 분산전원이 연계되어 있지 않은 인근선로 사고의 경우에는 인근선로측 보호기기의 동작으로 전원측으로부터 정상적인 전원이 공급되기 때문에 분산전원을 분리시킬 필요가 없다. 또한 연계선로 사고의 경우일지라도 분산전원이 즉시 분리되어야 하는 경우인지, 단독운전인지, 정상운전의 경우인지 과부하차단에 의한 보호기기 동작의 경우인지를 고려해야 한다. 본 논문에서는 이러한 고려사항들을 계통의 전력 상태 변화를 통해 구분하고 단독운전시 및 분산전원을 분리해야 되는 상황을 찾아서 분산전원을 분리시키는 단독운전 상태 검출 알고리즘을 제안하였다. 고립운전 상태 검출 알고리즘을 검증하기 위하여 PSCAD/EMTDC를 이용하여 사례별로 시뮬레이션을 수행하였다.

Abstract

This paper studies islanding detection of DG(distributed generation) considering fault location. Through the past studies, we found that islanding detection has been studied that DG disconnected when power islanding was detected by power state change and output change of DG. But, fault location was not considered. For example, fault in adjacent distribution line, fault on interconnection line fault, load shave by overload and normal operation were not considered. In this paper, We distinguish these considerations through power state change. Also, we proved islanding detection algorithm through PSCAD/EMTDC simulation.

Key Words : Distributed Generation, Islanding, Power State, Protection, Algorithm

1. 서 론

최근 산업의 발전 및 생활수준의 향상으로 전력소

비량이 지속적으로 증가하고 있다. 그러나 부지확보 문제, 환경문제로 인해 대형 발전설비의 확충이 어렵고, 민영화로 인해 다양한 형태의 소규모 분산전원에 대한 관심이 높아지고 있으며 보급의 확대가 예상된다. 하지만 분산전원을 배전 계통에 연계할 경우 전압변동, 단락용량의 증대, 보호협조, 상불평형, 단독운전등의 문제가 발생하게 된다. 단독운전(islanding)문제의 경우 선로 보수 작업원이 분산전

* 주저자 : 숭실대학교 전기공학과 박사과정

Tel : 02-817-7966, Fax : 02-817-0780

E-mail : battle88@ssu.ac.kr

접수일자 : 2004년 4월 20일

1차심사 : 2004년 4월 26일

심사완료 : 2004년 5월 31일

원의 단독운전을 인식하지 못할 경우 인명피해가 발생할 수 있으며, 보호기기 재폐로시 상불평형, 전력 품질의 저하, 계통복구의 어려움 등의 문제가 발생한다. 따라서 분산전원의 단독운전이 발생할 경우 이를 신속히 검출하여 보호기기가 재폐로를 하기 전에 계통으로부터 분리시키는 것이 중요하다[1,2]. 기존의 단독운전 검출에 관한 연구에서는 전력, 위상, 부하를 변동시키는 능동적 방법과 전력상태의 변화를 모니터링하는 수동적 방법이 있었다[3,4,5]. 기존의 연구 방법들은 사고위치에 따른 다양한 상황을 고려하지 않고 분산전원이 조건들만 만족되면 분산전원을 분리시켰다. 하지만 분산전원이 없는 인근선로 사고의 경우에는 인근선로측의 보호기기의 동작으로 정상적인 전원공급이 이루어 지므로 분산전원을 분리시킬 필요가 없다. 연계선로 사고의 경우일지라도 분산전원을 즉시 분리해야 하는 경우, 단독운전, 정상운전의 경우를 고려하고 비사고 상태의 보호기기 동작의 경우도 고려해야 한다. 본 논문에서는 이러한 고려사항들을 계통의 전력 상태를 통해 구분하고 단독운전시 및 분산전원을 분리해야 하는 상황을 찾아 분산전원을 분리시키는 단독운전 상태 검출 알고리즘을 제안하였다. 또한 PSCAD/EMTDC를 이용하여 사례연구를 하고 알고리즘을 검증하였다.

2. 단독운전 상태 검출시 고려사항

2.1 단독운전 상태검출을 위한 배전계통 모델 및 분산전원 모델

배전 계통 모델은 등가전원과 변압기, 모선, 선로, 부하등으로 구성하였다. 배전선은 22.9[kV]의 중성점 다중접지 방식의 배전계통을 채택하고 있으며 선로는 주변압기 154/22.9[kV]의 Δ-Y 결선으로 되어 있는 변압기에 연결된다. 배전선로의 보호기기의 협조체계는 차단기, 리크로저, 섹셔널라이저로 구성된다. 시스템 베이스는 100[MVA], 22.9[kV]이다. 분산전원 모델은 열병합 동기 발전기 모델을 사용하였다.

2.2 단독운전 상태 검출시 고려할 사항

과부하, 사고 등에 의해 보호기기가 동작을 할 경우 단독운전이 발생하게 되는데 단독운전에는 그림

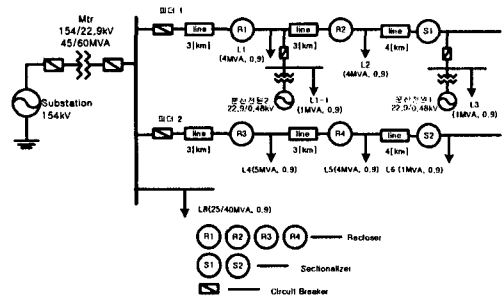


그림 1. 배전 계통 모델
Fig. 1. Distribution system model

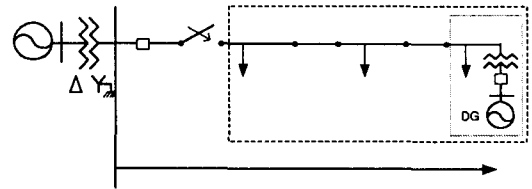
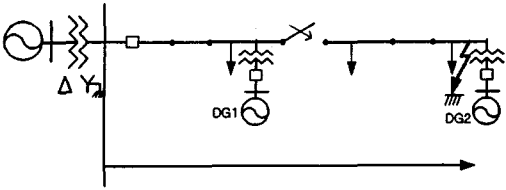


그림 2. 보호기기의 동작에 의한 분산전원 단독운전
Fig. 2. Islanding of DG by protection device

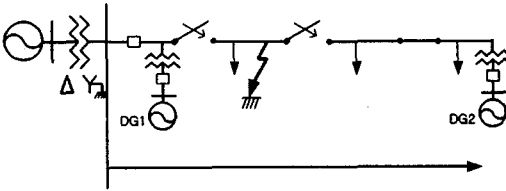
2에서 담당부하가 분산전원의 출력보다 큰 경우(점선)와 담당부하가 분산전원 출력보다 비슷하거나 작은 경우(실선)의 두가지 형태로 나눌 수 있다. 전자는 계통의 전력상태의 변화가 심하게 발생하기 때문에 전력상태 모니터링을 통해 단독운전 검출이 용이하지만 후자의 경우는 계통의 전력상태의 변화가 적어 단독운전 검출이 어렵다.

그림 3에서 보는 것과 같이 DG2 앞단에서 사고가 난 경우 보호기기가 동작을 하여 선로가 차단된 후에도 DG2에서 계속 사고 전류를 공급한다. 하지만 선로 보수 작업원이 이를 인식하지 못할 경우 인명피해가 발생할 수 있고 분산전원 및 배전계통에 악영향을 미치게 된다. 따라서 이러한 경우에는 사고가 발생한 후 분산전원을 계통에서 신속히 분리시켜야 한다. DG1 앞단에서 사고시 보호기기가 동작해도 DG1은 계속 사고전류를 공급하게 되고 DG2는 계통측의 부하를 분산전원이 단독으로 담당하는 단독운전의 상태가 된다. DG1과 DG2사이에서 사고시 DG1은 보호기기가 동작하여 사고로부터 차단되어 정상적으로 전원이 공급되는 정상운전 상태가 되고 DG2

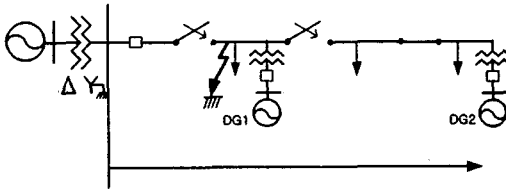
사고위치를 고려한 분산전원의 단독운전 상태 검출에 관한 연구



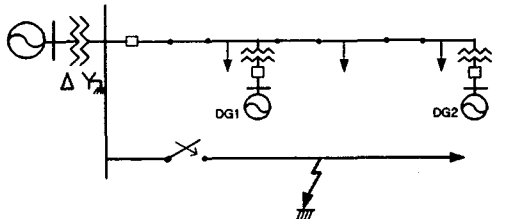
(a) DG2 앞단에서 사고가 난 경우



(c) DG1과 DG2사이에서 사고가 난 경우



(b) DG1앞단에서 사고가 난 경우



(d) 인근선로에서 사고가 난 경우

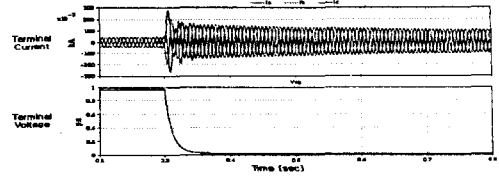
그림 3. 사고위치를 고려한 다양한 상황

Fig. 3. Various situations considering fault location

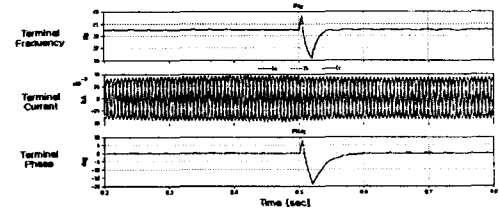
은 단독으로 담당부하에 전원을 공급하는 단독운전 상태가 된다. 인근선로에서 사고시 사고 발생후 인근 선로측 차단기에 의해서 사고가 제거되기 때문에 DG1, DG2 둘다 정상운전상태가 된다. 인근선로의 사고는 분산전원 및 계통에 대한 영향이 미미하기 때문에 분산전원을 계통에서 분리할 필요가 없다.

3. 다양한 상황에서 계통상태 변화

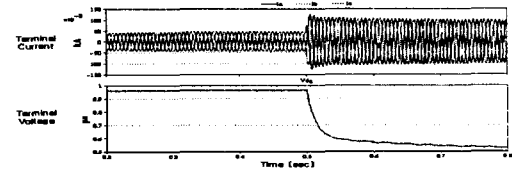
고려한 상황을 모의하기 위해서 그림 1의 계통모



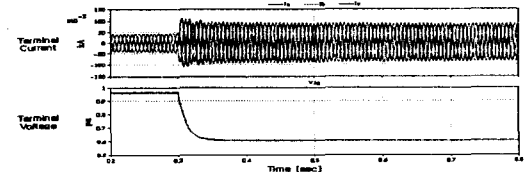
(a) 연계선로 사고의 경우



(b) 단독운전 담당부하가 작은 경우



(c) 단독운전시 담당부하가 큰 경우



(d) 인근선로 사고의 경우

그림 4. 보호기 동작전의 전력상태 시뮬레이션 결과

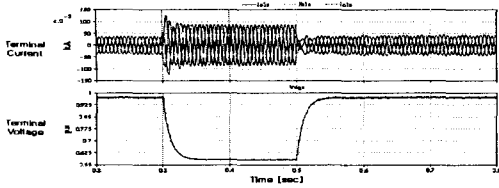
Fig. 4. The simulation result of power state before protection device pick-up

델을 위의 사항들을 고려하여 PSCAD/EM

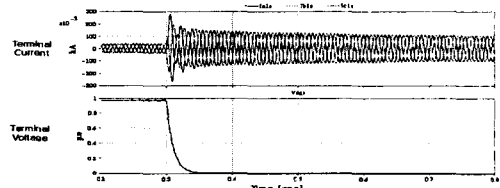
TDC를 이용하여 시뮬레이션 하였고 결과는 다음과 같다. 사고는 0.3초에서 시작된 영구 3상 단락사고이고 보호기는 0.5초에 동작한다고 가정하였다.

3.1 보호기 동작이전의 계통 상태 변화

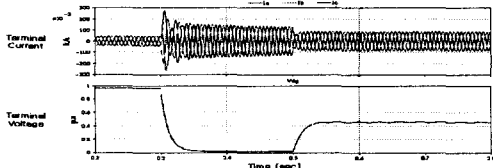
보호기의 동작에 의한 단독운전시 만약 분산전원이 공급하던 부하와 기저부하의 크기가 같은 경우면 분산전원의 단자전압, 단자전류는 큰 변화가 없다. 하지만 그림 4에서 보는 것과 같이 동기발전기는



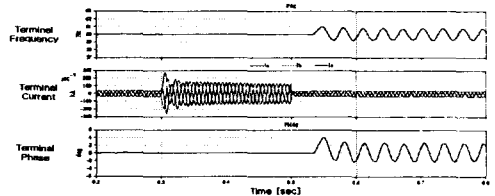
(a) 인근선로 사고 및 정상운전의 경우



(b) 연계선로 사고 - 즉시 분리의 경우



(c) 연계선로 사고 - 단독운전 담당부하가 큰 경우



(d) 연계선로 사고 - 단독운전 담당부하가 작은 경우

그림 5. 보호기기 동작후의 전력상태 시뮬레이션 결과

Fig. 5. The simulation result of power state after protection device pick-up

보호기기 동작 전에는 전원측에 동기를 맞추다가 보호기기에 의해 분리된 이후 자신의 주파수로 동작을 한다.

따라서 주파수와 위상이 흔들리는 것을 알 수 있다. 보호기기 동작에 의한 단독운전시 담당부하가 큰 경우, 연계선로, 인근선로 사고의 경우에 분산전원의 단자 전류와 단자 전압으로는 구분이 불가능하다. 인근선로 사고의 경우는 인근선로의 사고 위치에 따라서 전압과 전류값이 달라진다. 또한 단독운전 담당부하가 큰 경우도 담당부하의 크기에 따라서 사고 전류가 커지고 전압강하가 크게 발생하게 된다. 그러므로 위의 세 가지 경우는 보호기기 동작 이전의 전력 상태로는 구분이 불가능하다.

3.2 보호기기 동작이후의 계통 상태 변화

인근선로 사고와 정상운전의 경우는 보호기기 동작 후 정상상태로 회복이 되기 때문에 분산전원을 계통에서 분리할 필요가 없다. 오히려 분산전원을 분리하게 될 경우 재폐로시 상불평형, 동기화 문제로 인한 계통 및 분산전원의 손상으로 경제적 피해를 초래할 수 있다. 연계선로 사고시 보호기기 동작으로 인한 단독운전중 담당부하가 큰 경우는 보호기기 동작 후 정상전압과 정상전류로 회복이 되지 않고, 전압강하와 전류도 정상상태일 때에 비해서 커지게

된다. 연계선로 사고시 분산전원 근처에서 사고가 발생할 경우에는 보호기기가 동작된 이후라고 할지라도 분산전원은 계속 사고전류를 공급하게 된다. 단독운전시 담당부하가 분산전원 출력과 같거나 출력 이하인 경우에 전류는 정상적으로 회복되지만 주파수와 위상은 기존에 비해서 변화한다는 것을 알 수 있다. 분산전원이 전원측 주파수에 맞추어 동작하다가 사고에 의한 보호기기에 의해서 분리될 경우에 자기 주파수에 따라 동작을 하여 주파수가 변화한다는 것을 알 수 있다.

4. 분산전원 단독운전검출 알고리즘

4.1 분산전원 단독운전 검출 기준

그림 5에서 보듯이 과부하 차단 등의 상황에 의한 보호기기의 동작으로 단독운전이 발생하는 경우, 담당부하가 클 때에는 인근선로 사고와 연계선로 사고를 구분하기 어렵다. 이는 사고의 위치 및 임피던스에 따라서 전압과 전류의 크기가 다양하게 변화될 수 있기 때문이다. 하지만 담당부하가 작은 경우에는 주파수와 위상의 변화를 통해서 단독운전을 검출할 수 있다. 보호기기가 동작한 후에는 여러 가지 상황들이 발생하게 된다. 단독운전, 인근선로 사고, 연계선로 사고, 즉시 분리의 경우도 있다. 즉시 분리의

경우는 보호기기 차단후에도 분산전원이 사고전류의 공급원이므로 검출 즉시 분산전원을 계통에서 분리시켜야 한다. 사고에 따른 재폐로로 인한 단독운전시 담당 부하가 큰 경우는 보호기기 동작후에 전압은 강하되고, 전류는 일반 부하전류보다 크게 검출되는 등 전압과 전류 출력이 정상적이지 않는데, 이를 통해서 단독운전을 검출할 수가 있다. 단독운전시 담당부하가 작은 경우는 전압, 전류등의 계통의 상태 변화가 미소해 검출하기가 쉽지 않고, 사고후 동기화된 분산전원 발전기가 계통측과 동기화를 잃게 된다. 보호기기의 차단후 계통측과 연계되어 있지 않고 자체 운영되면 기존의 주파수와 위상에 변화가 생긴다. 따라서 보호기기 동작 이후 주파수와 위상이 변하게 되고, 이를 통해서 분산전원의 단독운전을 검출할 수 있다.

4.2 제안한 단독운전 검출 알고리즘

다음 그림 6은 보호기기의 동작 이전과 동작 이후의 단독운전 검출기준을 바탕으로 제안한 단독운전 검출 알고리즘이다.

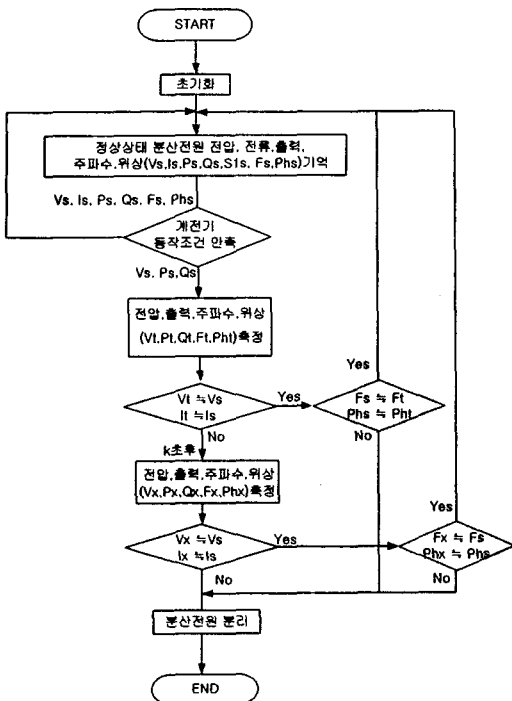
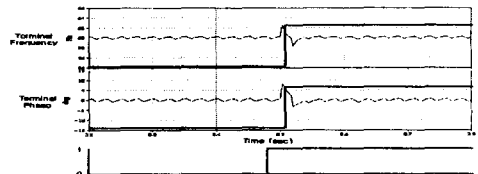
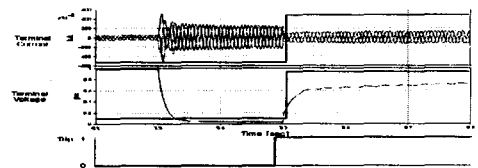


그림 6. 분산전원 단독운전 검출 알고리즘
Fig. 6. An algorithm of DG islanding detection

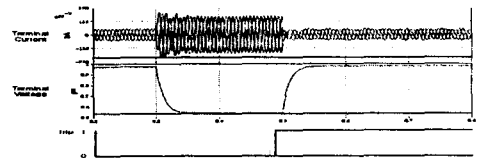
그림 6에서 V는 분산전원의 단자전압, I는 분산전원의 단자전류, P는 분산전원의 유효전력, Q는 분산전원의 무효전력, F는 분산전원의 주파수, Ph는 분산전원의 위상, Ns는 정상상태에서의 측정값, Nt는 보호기기 동작 이전의 측정값, Nx는 보호기기 동작 이후의 측정값이다.



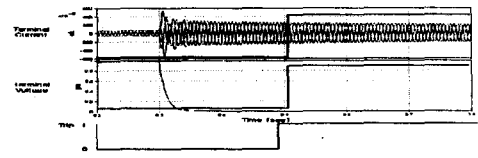
(a) 보호기기동작전 담당부하 작은 경우



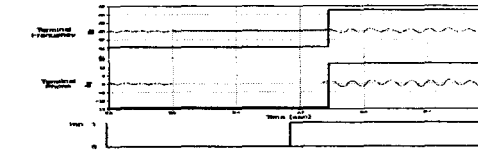
(b) 보호기기동작후 담당부하 큰 경우



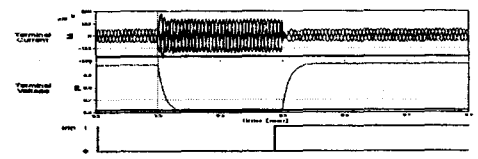
(c) 정상운전



(d) 즉시 분리



(e) 보호기기동작후 담당부하 작은 경우



(f) 인근선로 사고

그림 7. 제안된 알고리즘에 대한 사례 연구
Fig. 7. Case study for proposed algorithm

5. 사례연구

그림 7은 제안한 알고리즘의 검증을 위해서 단독 운전 검출 알고리즘을 도출한 계통상황과 다른 RBTS BUS2계통을 모델로 선정하여 알고리즘의 타당성을 검증하였다. 테스트 결과 제안한 단독운전 검출 알고리즘은 분산전원을 분리해야 할 상황과 분리하지 말아야 할 상황을 효과적으로 구분하였다.

6. 결 론

분산전원은 환경문제, 부지확보문제 등으로 인하여 확충이 어려운 대규모 전원에 비해 소형이고 환경문제를 일으킬 소지가 없다는 점에서 점차 각광을 받고 있다. 하지만 이런 분산전원을 계통에 연계하였을 경우 여러 문제가 발생하게 되는데 본 논문에서는 단독운전의 문제가 발생하였을 경우 분산전원의 계통연계시 사고위치를 고려한 단독운전검출에 대해서 연구하였다.

인근선로 사고일 경우에는 인근선로측의 차단기에 의해서 사고가 차단이 되기 때문에 분산전원의 피해가 미미하다. 오히려 분산전원을 분리시켰다가 연계시켰을 경우 상불평형, 동기화문제등으로 인해서 큰 피해가 발생하게 된다. 따라서 인근선로 사고 시에는 분산전원을 분리시키지 않고 단독운전이나 연계선로 사고 등 정상적으로 회복이 불가능한 경우에만 분산전원을 분리시킨다. 본 논문에서는 전력계통의 전압, 전류, 위상, 주파수, 출력등의 전력계통의 상태 변화를 통해 분리 상황과 비분리 상황을 분석하고 검출하는 단독운전 알고리즘을 제안하였다. 또한 제안한 알고리즘의 타당성을 검증하기 위해서 RBTS BUS2 배전계통을 PSCAD/EMTDC를 이용하여 시뮬레이션 하였다.

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초 전력연구원(01-중-04)주관으로 수행된 과제임.

References

- (1) Sung-II Jang, Kwang-Ho Kim, "Development of a New Islanding Detection Method for Distributed Resources", Trans. KIEE, Vol. 50A, No. 11, pp. 506-513, Nov. 2001.

- (2) Joon-Ho Choi, Jae-Chul Kim etc, "Advanced Protective Coordination Schemes of Utility Interconnected Cogeneration Systems", Trans. KIEE, Vol. 49A, No. 6, pp. 280-288, July 2000.
- (3) Joon-Ho Choi, Jae-Chul Kim, Seung-H Moon, "The Inter-tie Protection Schemes of the Utility Interactive Dispersed Generation Units for Distribution Automatic Reclosing" KIEE International Transactions on PE, Vol. 2-A, No. 4, pp. 166-173, 2002. 12.
- (4) O Usta, M. A. Refem, "Protection of Dispersed Storage and Generation Units Against Islanding" IEEE Electrotechnical Conference, Vol. 3, pp. 976-979, April 1994.
- (5) M.A. Redfern, O.Usta etc, "Loss of Grid Protection for and Embedded Generator", IEE Colloquium on, pp. 4/1-4/6, April 1993.
- (6) P.O'Kane etc, "Loss of Mains Detection For Embedded Generation by System Impedance Monitoring", IEE Sixth International Conference, No. 434, pp. 95-98, March 1997.
- (7) HVDC, PSCAD/EMTDC Manual.
- (8) Cooper Power System, Electrical Distribution System Protection-Third Edition, 1990.
- (9) RBilliton etc. "A reliability test system for educational purposes - basic distribution system data and results", IEEE Trans. PS, Vol. 6, No. 2, pp. 813-820, May 1991.
- (10) Peter E. Sutherland, "Protective device coordination in an industrial power system with multiple sources", IEEE Trans. IA, Vol. 33, No. 4, pp. 1096-1103, July/August 1997.

◇ 저자소개 ◇

정승복 (鄭升福)

1980년 1월 6일생. 2002년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.
E-mail : battle88@ssu.ac.kr.

김재철 (金載哲)

1955년 7월 12일생. 1979년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1983년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 숭실대학교 전기공학과 교수.
E-mail : jckim@ssu.ac.kr.