

SCADA에서의 설비 오조작 방지를 위한 방사상계통 자동판별시스템 개발

論 文
57-1-1

Development of Automatic Judgement System of Radial T/L System for Preventing Power Device's Wrong Control in SCADA

田東勳[†] · 金泰元^{*} · 沈鼎雲^{**} · 金建中^{***}
(Dong-Hoon Jeon · Tae-Won Kim · Jeong-woon Shim · Kern-Joong Kim)

Abstract - In this paper, we proposed the method judging whether transmission system is radial system or loop system using simple set theory. And we proposed the method judging whether power device's operation causes of blackout or not. Using proposed method, we developed automatic judgement system of radial system for preventing power device's wrong control in SCADA. Finally, we simulated a variety of case study using SCADA simulator with developed system, and verified reliability of the result and performance of developed system.

Key Words : SCADA, RCC, SCC, Loop T/L System, Radial T/L System, Set Theory

1. 서 론

변전소 원방감시제어 시스템(SCADA : Supervisory Control & Data Acquisition system)은 송변전과 관련된 전력설비를 원격에서 감시, 제어하고, 설비운전 데이터를 원격에서 취득, 분석, 처리함으로써 전체 전력시스템의 안정적 운영을 도모하기 위한 자동화시스템이다. 우리나라의 경우에는 한국전력공사에서 지역별 11개의 지역급전소(RCC : Regional Control Center)를 기반으로 하는 41개의 급전분소(SCC : Sub-SCADA)를 운영하고 있다. RCC, SCC를 포함하는 SCADA 시스템은 담당지역 변전소내 전력설비의 운전데이터 및 동작상태 등 취득되는 포인트값을 이용하는 단순 감시, 조작기능만을 수행하고 있는데, 보통 담당지역의 계통정보를 공유할 수 없다.

한편 정전고장 발생시 신속한 복구가 가능한 환상계통(Loop T/L System)은 고장전류 저감차원에서 불가피하게 모선 또는 선로분리를 통해 선택적으로 방사상계통(Radial T/L System)으로 운전될 수 있는데, 이러한 상황은 계통운영자가 담당지역을 포함한 주변지역 계통정보를 충분하게 인식하지 못할 경우 시스템적인 정전 방지방안이 갖추어져 있지 않은 SCADA 시스템에서 단순히 선택-조작으로 수행되는 차단기 등 전력설비의 오조작이 방사상으로 운전중인 변전소에 대한 전체 정전으로 파급될 소지가 있다.

따라서 SCADA 시스템은 체계적인 전력설비 오조작 방지방안을 갖추어야 할 필요가 있으며, 담당지역에서 취득되는

포인트값만을 이용한 단순 감시, 조작뿐만 아니라 거시적 관점에서 주변지역과의 정보공유를 통해 담당지역을 포함한 주변지역을 감시하고, 나아가서 전체 계통에 대한 파급효과까지도 분석하여야 할 필요가 있다.

본 논문에서는 간단한 집합이론을 이용하여 송전계통이 환상계통인지 방사상계통인지를 구분할 수 있는 방법을 제안하였다. 또한 제한한 방법을 이용하여 특정 전력설비의 조작이 정전을 유발하는지 여부를 판별할 수 있는 방법을 제안하였다. 제안한 방법들을 이용하여 전력설비 오조작에 의한 정전을 예방할 수 있는 방사상계통 자동판별시스템을 개발하였다. SCADA 시뮬레이터를 이용한 다양한 사례연구를 통하여 개발된 시스템의 성능 및 결과의 신뢰성을 검증하였다.

2. 본 론

2.1 SCADA에서의 설비 오조작에 의한 정전발생 가능사례

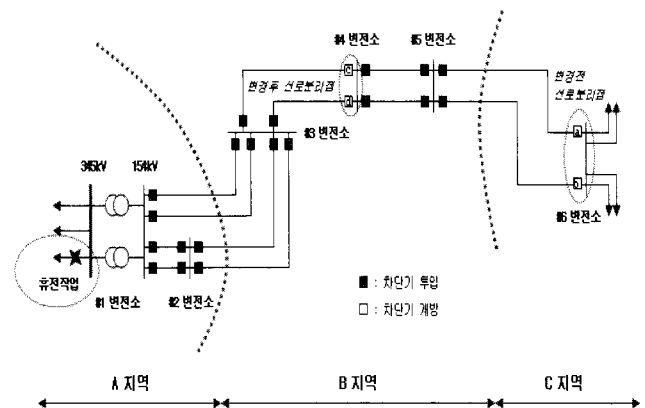


그림 1 설비 오조작에 의한 정전발생 가능사례
Fig. 1 Blackout case by power device's wrong control

[†] 교신저자, 正會員 : 韓國電力公社 電力研究院 先任研究員
E-mail : dhjeon@kepri.re.kr
^{*} 正會員 : 韓國電力公社 大田電力管理處 課長
^{**} 正會員 : 韓國電力公社 送變電處 部長
^{***} 正會員 : 忠南大學校 電氣情報通信工學部 教授 · 工博
接受日字 : 2007年 7月 31日
最終完了 : 2007年 11月 28日

그림 1에서 C 지역에 있는 #6 변전소가 고장전류 저감을 위해 선로 분리되어 A 및 B 지역과 C 지역이 방사상계통으로 운전되고 있는 상태에서 A 지역에 있는 #1 변전소에서 345kV 송전선로의 휴전작업을 실시할 경우, 계통운영자는 전력계통의 안정운영 차원에서 사전조치로 A 지역에서 B 지역으로의 조류량을 제한하고, B 지역에서 필요로 하는 전력을 C 지역으로부터 충당토록 하기 위해 C 지역의 #6 변전소에 있던 선로 분리점을 B 지역에 있는 #4 변전소로 변경 운전할 수 있다.

이러한 상황에서 #1 변전소에서의 휴전작업을 완료하고 원상태로 복귀하기 위해서는 변경된 선로분리점인 #4 변전소의 c, d 차단기를 먼저 투입하고, 변경전 선로분리점인 #6 변전소의 a, b 차단기를 차단하여야만 한다. 그러나 기기 조작순서가 반대가 될 경우 #4, 5 변전소에서 정전이 발생한다.

이러한 상황이 발생할 수 있는 원인은 EMS 운영담당자가 계통과악이 미흡하여 잘못된 조작지령을 내리고, A 지역의 SCADA 운영담당자도 B 지역의 상태정보를 알지 못한 상태에서 환상계통의 선로 분리운전에 따른 방사상계통 운전여부를 확인하지 않고 담당지역의 선로차단을 조작했기 때문인데, 근본적으로는 SCADA 시스템에 설비 오조작에 의한 정전을 방지할 수 있는 방안이 갖추어져 있지 않기 때문이다.

2.2 집합이론을 이용한 환상계통 및 방사상계통의 구분

송전선로에 설치된 차단기의 위치 및 운전상태에 간단한 집합이론을 접목시켜 송전계통이 환상계통인지 방사상계통인지를 구분할 수 있다.

그림 2에서 집합 A와 집합 B의 교집합(A ∩ B)이 영(0)이 아닐 경우 집합 A와 집합 B는 서로 연관성을 가지고 있다고 말할 수 있다.

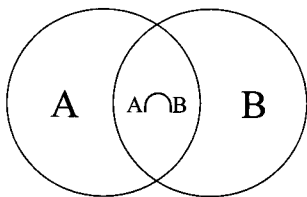
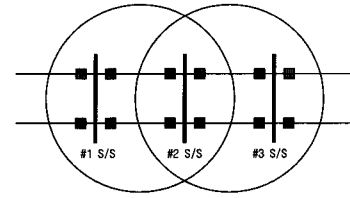


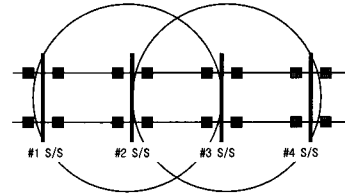
그림 2 집합이론
Fig. 2 Set theory

이러한 집합이론을 송전계통에 적용하면 환상계통은 그림 3과 같이 두 계통 집합의 교집합에 해당하는 4개 이상의 차단기가 존재하여야 한다. 단 송전계통은 동일경로에서 모두 2회선인 것으로 가정하였다. 그림 3의 a)는 모선을 기준으로 집합이론을 접목시킨 경우이고, 그림 3의 b)는 선로를 기준으로 집합이론을 접목시킨 경우이다. 방사상계통은 그림 4와 같이 두 계통집합의 교집합에 해당하는 차단기가 존재하지 않아야 한다.

$A \cap B = \emptyset$ 이면 방사상계통
 $A \cap B = \{CB \mid 4\text{이상인 짝수}\}$ 이면 환상계통



a) 모선기준



b) 선로기준

그림 3 환상계통인 경우
Fig. 3 In case of loop T/L system

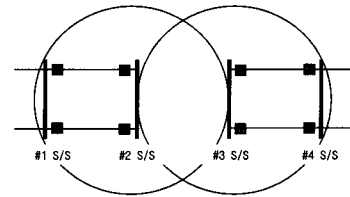
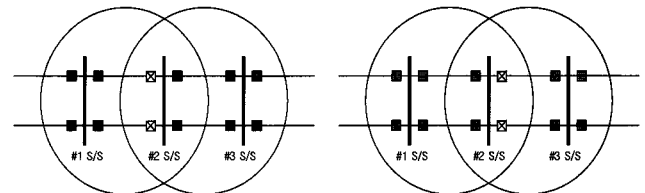


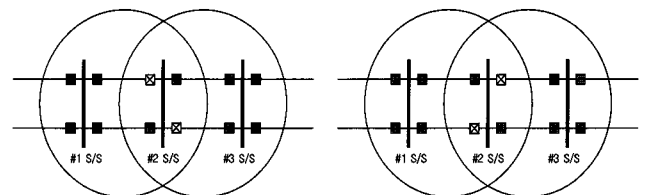
그림 4 방사상계통인 경우
Fig. 4 In case of radial T/L system

한편 환상계통이라고 하더라도 차단기의 운전상태에 따라서 방사상계통으로 간주될 수 있다. 즉 그림 5와 같이 두 계통집합의 교집합에 해당하는 4개 이상의 차단기가 존재하더라도 2개 이상의 차단기가 개방상태일 경우 방사상계통으로 구분되어야 한다. 그림 a) b) c) d)는 모선을 기준으로 한 경우인데, 실제 현장에서 c) d) g) h)와 같이 운전하는 경우는 드물다.



a)

b)



c)

d)

모선기준

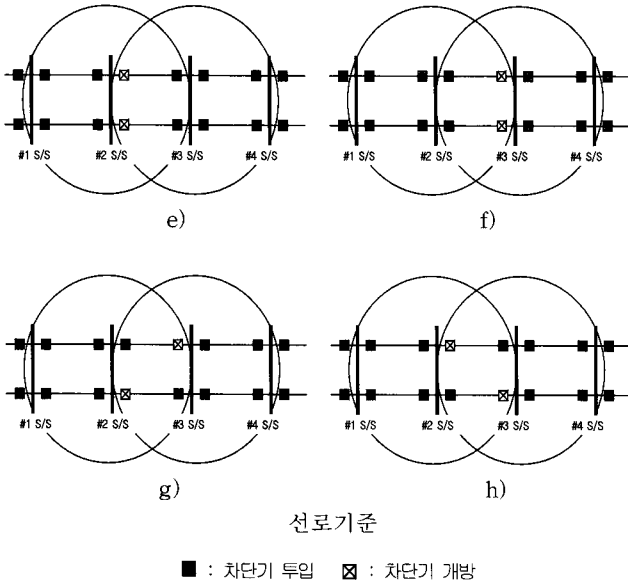


그림 5 환상계통이 방사상계통으로 구분되는 운전조건
Fig. 5 Loop system's operating condition classified radial system

2.3 전력설비 조작에 따른 정전 유발여부 판별

2.2절의 집합이론을 이용한 환상계통 및 방사상계통 구분 방법은 특정 전력설비 조작이 정전을 유발하는지 여부를 판별하는데 이용할 수 있다.

송전계통은 그림 5에서와 같이 두 계통집합의 교집합에 해당하는 4개 이상의 차단기가 존재하더라도 2개 이상의 차단기가 개방상태일 경우 방사상계통으로 구분된다. 이러한 상황에서 그림 6과 같이 두 계통집합의 교집합에 해당하는 차단기중 나머지 차단기가 모두 개방된다면 송전계통의 방사상 운전상태는 변함이 없지만 그림 6의 a)와 같은 경우에는 #2 변전소에서 정전이 발생하게 된다.

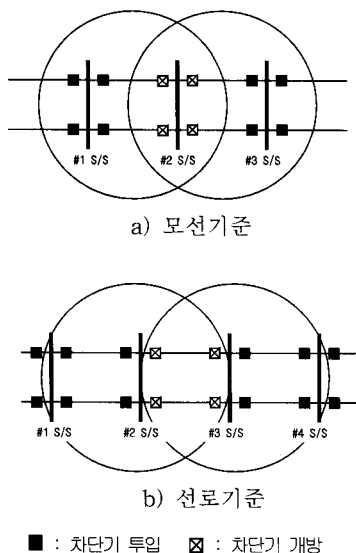


그림 6 방사상 운전상태에서 정전이 유발되는 경우
Fig. 6 Case of inducing blackout in radial operating condition

이와 같은 개념은 개방된 차단기의 위치가 서로 멀리 떨어져 있는 경우에도 동일하게 적용될 수 있다. 그림 5에서와 같이 2개 이상의 차단기가 개방되어 방사상계통으로 운전중인 송전계통에서 그림 7과 같이 멀리 떨어져 있는 동일경로상의 차단기가 추가로 개방된다면 송전계통의 방사상 운전상태는 변함이 없지만 개방된 차단기 사이의 계통이 분리되어 그림 7의 a)의 경우에는 #2~#5 변전소에서 그림 7의 b)와 같은 경우에는 #3~#6 변전소에서 정전이 발생하게 된다.

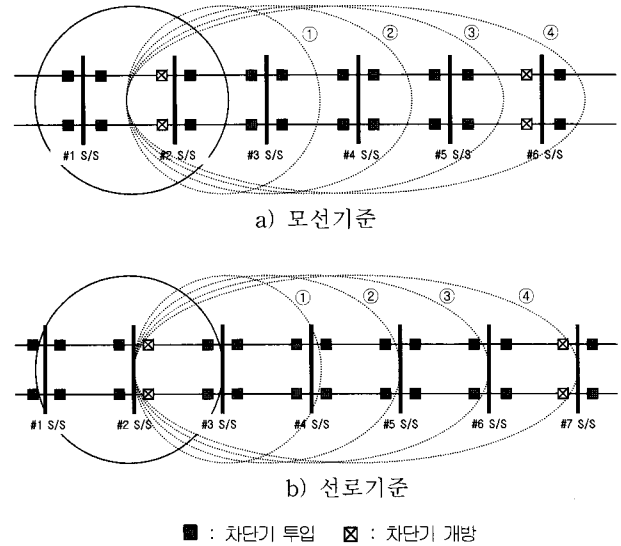


그림 7 방사상 운전상태에서 정전이 유발되는 경우
Fig. 7 Case of inducing blackout in radial operating condition

이와 같은 개념은 송전선로가 여러 경로로 분기되어 있는 경우에도 동일하게 적용하여 정전유발여부를 확인할 수 있다.

집합이론을 이용하여 송전계통을 환상계통과 방사상계통으로 구분하고, 이를 이용하여 특정 전력설비 조작이 정전을 유발하는지 여부를 판별하는 방법을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 송전계통을 환상계통과 방사상계통으로 구분한다.
 - 두 계통집합의 교집합에 해당하는 4개 이상의 차단기가 존재할 경우 환상계통으로, 그렇지 않을 경우 방사상계통으로 구분한다.
 - 두 계통집합의 교집합에 해당하는 4개 이상의 차단기가 존재하더라도 2개 이상의 차단기가 개방상태일 경우 방사상계통으로 구분한다.

- 2) 특정 전력설비 조작이 정전을 유발하는지를 판별한다.
 - 그림 7과 같이 개방하고자 하는 차단기를 중심으로 하여 양쪽방향으로 집합론을 이용하여 차단기의 개방이 정전을 유발하는지 여부를 확인한다.
 - 차단기 개방전 송전계통이 환상계통인 경우 차단기 조작이 정전을 유발하지 않는다.
 - 차단기 개방전 송전계통이 환상계통이면서, 주변지역과의 연계선로인 경우 주변지역 연계선로의 조류량과 조류방향을 확인한다. 조류가 0이 아니고 유입되는 경우에만 차단기 조작이 정전을 유발하지 않는다.

- 차단기 개방전 송전계통이 방사상계통인 경우 차단기 조작이 정전을 유발하는지를 판별하고, 정전이 발생할 경우 관련 경고메시지를 제공한다. 확인과정은 사전 입력되는 송전계통의 토폴로지 정보에 의존한다.

그림 8은 전력설비 조작에 따른 정전유발여부 판별과정을 나타낸 것이다.

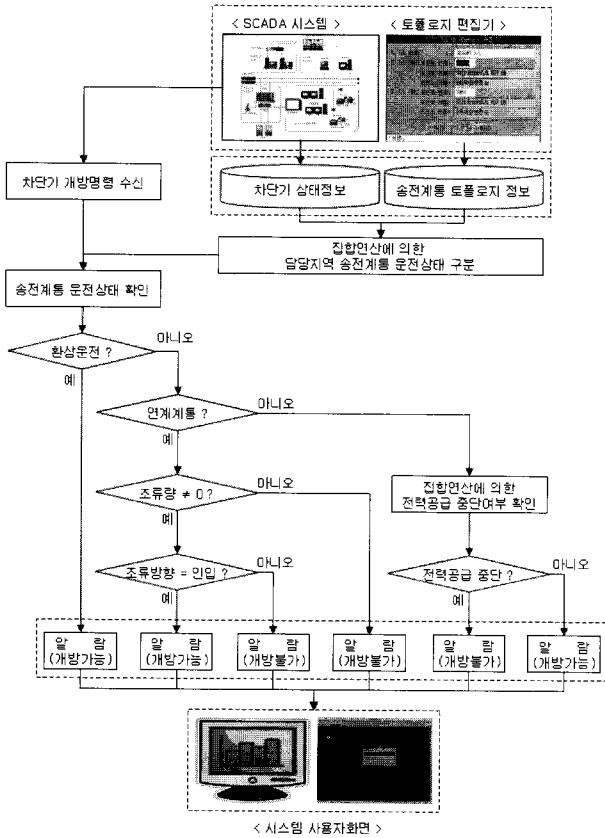


그림 8 전력설비 조작에 따른 정전유발여부 판별과정
Fig. 8 Process judging blackout's occurrence

2.4 방사상계통 자동판별시스템 개발

앞 절의 방법을 이용하여 SCADA 시스템에서 전력설비 오작동 방지를 위한 방사상계통 자동판별시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 방사상계통 판별에 필요한 차단기 상태 정보 등의 포인트 데이터를 SCADA 시스템으로부터 실시간 취득한다.

개발된 시스템은 시스템내에 별도 데이터베이스를 구축하여 변전소와 변전소간 연관관계, 변전소내 송전선로간 연관관계, 송전선로내 차단기간 연관관계 등을 시스템 운영자가 직접 입력케 함으로써 방사상계통 판별에 필요한 송전계통의 토폴로지(Topology) 정보를 확보한다. 현재 우리나라에서 운용중인 SCADA 시스템은 송전계통의 토폴로지 정보를 제공할 수 없다. 그림 9는 개발된 시스템에서 송전계통의 토폴로지 정보를 입력, 수정하는데 사용하는 편집기의 화면 예를 보인 것이다.

개발된 시스템은 SCADA 시스템으로부터 취득한 차단기

의 상태정보와 시스템내에 수작업으로 입력되는 송전계통의 토폴로지 정보를 이용하여 앞 절에서 제안한 집합이론을 이용한 환상계통 및 방사상계통 구분방법을 통해 담당지역내 방사상계통을 확인하고, 또한 환상계통의 방사상계통 운전여부를 판별한다.

개발된 시스템은 SCADA 시스템에서 차단기 개방과 같은 전력설비의 조작지령이 내려질 경우 시스템에서 판별된 방사상계통 운전정보를 이용하여 전력설비 조작이 정전을 유발하는지 여부를 판별하고, 관련 정보를 SCADA 운영담당자에게 제공함으로써 전력설비 오작동으로 인한 정전을 예방케 해준다. 그림 10은 개발된 방사상계통 자동판별시스템의 화면 예이다.

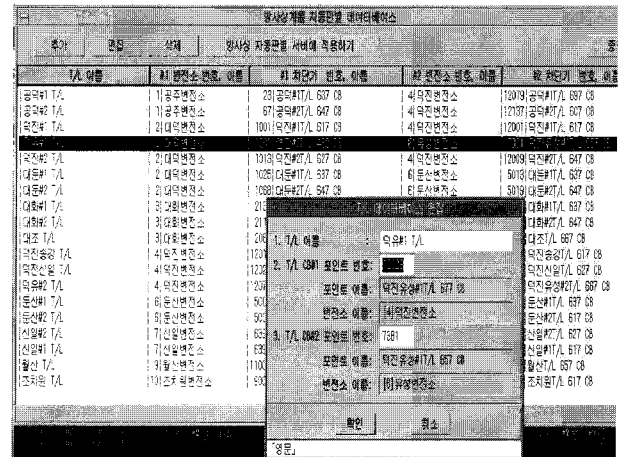


그림 9 송전계통 토폴로지 편집기
Fig. 9 T/L system Topology Editor



그림 10 방사상계통 자동판별시스템
Fig. 10 Automatic Judgement System of Radial T/L System

2.5 사례연구

우리나라 중부지역 전력계통을 원방감시하고 있는 급전분소 담당지역을 대상으로 사례연구를 수행하여 제안한 방법과 개발된 시스템의 신뢰성을 검증하였다. 실제 전력계통

에서는 사례연구를 위한 차단기의 투입 및 개방 조작이 사실상 불가능하여 사례연구 대상계통을 SCADA 시뮬레이터로 모의하고, 여기에 개발된 시스템을 연계하여 사례연구를 수행하였다. 한편 SCADA 시뮬레이터를 통해서 사례연구 대상계통에서 발생할 수 있는 거의 모든 CASE에 대한 사례연구를 수행하였는데, 본 논문에서는 이중 정전을 유발할 수 있는 대표적 CASE에 대한 결과만을 제시하였다. 실제 나머지 CASE들은 이들 CASE와 동일하거나 유사한 범주에 해당하였다.

그림 11은 사례연구에 이용한 우리나라 중부지역의 전력계통도인데, 14개 유무인 변전소로 구성되어 있으며, 신평, 전의, 신계룡, 신옥천 등 4개 변전소를 통해 주변지역과 연계되어 있다.

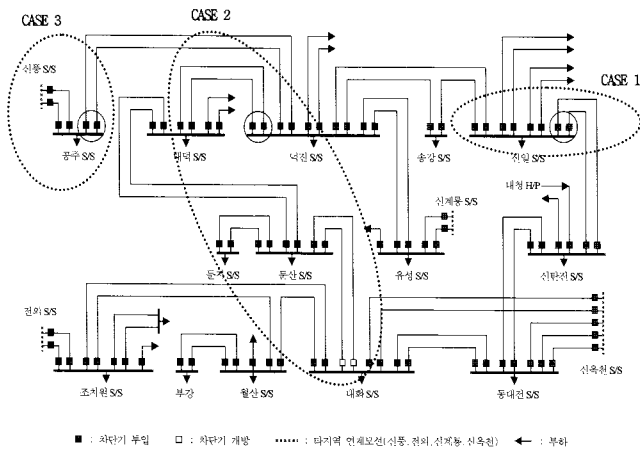


그림 11 사례연구 대상계통
Fig. 11 Sample system for case study

Case 1) 환상계통으로 운전되는 상태에서 차단기를 개방할 경우

그림 11의 Case 1에서와 같이 환상계통으로 운전되고 있는 신일 S/S에서 신일 S/S와 신탄진 S/S간 송전선로의 신일 S/S측 차단기를 개방하였다. 이러한 경우 신일 S/S는 방사상계통으로 운전되나, 덕진 S/S와 송강 S/S를 통해 신일 S/S의 부하에 전력이 공급되어 정전은 발생하지 않는다.

SCADA 시뮬레이터와 개발된 시스템을 이용하여 동일한 조건을 모의하였다. SCADA 시뮬레이터에서 신일 S/S와 신탄진 S/S간 송전선로의 신일 S/S측 차단기의 개방을 지시한 경우 개발된 시스템은 그림 12와 같이 차단기의 개방이 방사상계통 운전상태를 유발한다는 경고메시지를 제공하였다. 이러한 경우에는 정전을 유발하지 않기 때문에 실제 SCADA 시스템에서는 차단기 개방명령이 실행된다.

Case 2) 방사상계통으로 운전되는 상태에서 차단기를 개방할 경우

그림 11의 Case 2에서와 같이 환상계통으로 운전되고 있는 덕진 S/S에서 덕진 S/S와 대덕 S/S간 송전선로의 덕진 S/S측 차단기를 개방하였다. 이러한 경우 덕진 S/S는 환상

계통 운전상태를 유지할 수 있으나, 덕진 S/S 인근 대덕 S/S, 둔산 S/S, 둔지 S/S에서는 정전이 발생하게 된다. 정전 발생원인은 대화 S/S에서 대화 S/S와 둔산 S/S간 송전선로의 대화 S/S측 차단기가 개방된 상태에서는 덕진 S/S에서 덕진 S/S와 대덕 S/S간 송전선로의 덕진 S/S측 차단기 개방이 계통분리를 유발하기 때문이다.

SCADA 시뮬레이터와 개발된 시스템을 이용하여 동일한 조건을 모의하였다. SCADA 시뮬레이터에서 덕진 S/S와 대덕 S/S간 송전선로의 덕진 S/S측 차단기의 개방을 지시한 경우 개발된 시스템은 그림 13과 같이 차단기의 개방이 방사상계통 운전상태를 유발한다는 경고메시지를 제공하였다. 이러한 경우에는 대덕 S/S, 둔산 S/S, 둔지 S/S에서 정전을 유발하기 때문에 실제 SCADA 시스템에서는 차단기 개방명령이 실행되지 않는다.

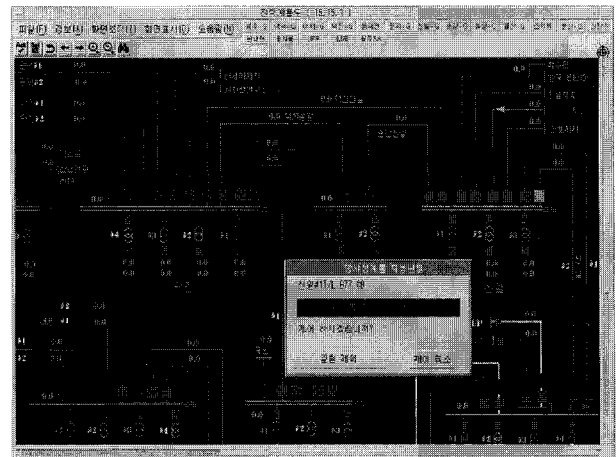


그림 12 환상 운전상태에서 차단기를 개방할 경우
Fig. 12 Result of case 1

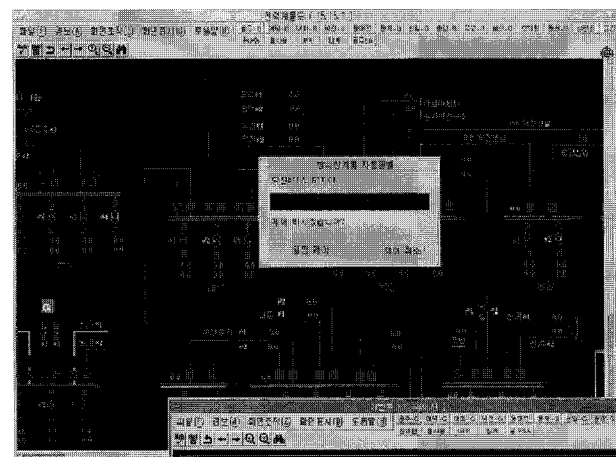


그림 13 방사상 운전상태에서 차단기를 개방할 경우
Fig. 13 Result of case 2

Case 3) 환상계통으로 운전되는 상태에서 차단기를 개방할 경우(타지역 연계)

그림 11의 Case 3에서와 같이 환상계통으로 운전되고 있는 공주 S/S에서 공주 S/S와 덕진 S/S간 송전선로의 공주 S/S측 차단기를 개방하였다. 이러한 경우 공주 S/S는 방사상계통으로 운전되나, 신평 S/S를 통해 공주 S/S의 부하에 전력이 공급될 경우 정전이 발생하지 않는다.

SCADA 시뮬레이터와 개발된 시스템을 이용하여 동일한 조건을 모의하였다. SCADA 시뮬레이터에서 공주 S/S와 덕진 S/S간 송전선로의 공주 S/S측 차단기의 개방을 지시한 경우 개발된 시스템은 그림 13과 같이 차단기의 개방이 방사상계통 운전상태를 유발한다는 경고메시지를 제공하였다.

한편 Case 3에서는 Case 1과는 달리 주변지역과의 연계 변전소인 신평 S/S로부터의 전력공급 여부가 공주 S/S에서의 정전 여부를 결정한다. 이 경우 사례연구 대상계통을 담당하고 있는 SCADA 시스템은 신평 S/S 연계지역의 계통정보를 공유하지 않기 때문에 차단기 개방이 정전을 유발하는지를 확인할 수 없다. 따라서 개발된 시스템은 주변지역 계통정보를 공유하지 못하는 SCADA 시스템의 능력을 고려하여 주변지역과의 연계선로, 즉 신평 S/S와 공주 S/S간 선로의 조류량과 방향을 확인하여 공주 S/S에서의 정전 유발 여부를 결정하는데, 즉 선로조류가 0이 아니고 조류방향이 신평 S/S에서 공주 S/S일 경우에만 차단기 개방명령이 실행된다.

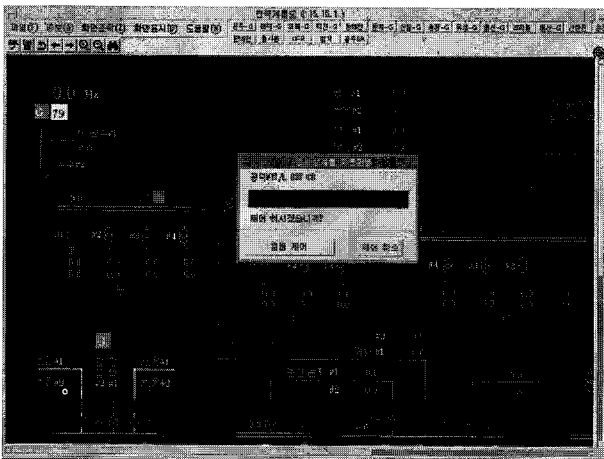


그림 14 환상 운전상태에서 차단기를 개방할 경우(타지역 연계)

Fig. 14 Result of case 3

3. 결 론

본 논문에서는 간단한 집합이론을 이용하여 송전계통이 환상계통인지 방사상계통인지를 구분할 수 있는 방법을 제안하였다. 또한 제안한 방법을 이용하여 특정 전력설비의 조작이 정전을 유발하는지 여부를 판별할 수 있는 방법을 제안하였다. 제안한 방법들을 이용하여 전력설비 오조작에 의한 정전을 예방할 수 있는 방사상계통 자동판별시스템을 개발하였다.

- ① 개발된 시스템은 방사상계통 판별에 필요한 차단기 상태 정보 등의 포인트 데이터를 SCADA 시스템으로부터 실시간 취득한다.
- ② 개발된 시스템은 시스템내에 별도 데이터베이스를 구축하여 변전소와 변전소간 연관관계, 변전소내 송전선로간 연관관계, 송전선로내 차단기간 연관관계 등을 시스템 운영자가 직접 입력케 함으로써 방사상계통 판별에 필요한 송전계통의 토폴로지 정보를 확보한다.
- ③ 개발된 시스템은 SCADA 시스템으로부터 취득한 차단기의 상태정보와 시스템내에서 수작업으로 입력되는 송전계통의 토폴로지 정보를 바탕으로 집합이론을 이용한 환상계통 및 방사상계통 구분방법을 통해 담당지역내 방사상계통을 확인하고, 또한 환상계통의 방사상계통 운전여부를 판별한다.
- ④ 개발된 시스템은 SCADA 시스템에서 차단기 개방과 같은 전력설비의 조작지령이 내려질 경우, 시스템에서 판별한 방사상계통 운전정보를 이용하여 설비 조작이 정전을 유발하는지 여부를 판별하고, 관련 정보를 SCADA 운영담당자에게 제공함으로써 전력설비 오조작으로 인한 정전을 예방케 해준다.

SCADA 시뮬레이터를 이용한 다양한 사례연구를 통하여 개발된 시스템의 성능 및 결과의 신뢰성을 검증하였으며, 현재 개발된 시스템은 우리나라 전력계통을 원방감시하고 있는 SCADA 시스템과 연계하여 전력설비 오조작 예방에 활용되고 있다. 향후 복잡, 다양한 송전계통의 토폴로지를 모두 고려할 수 있고, 주변지역과의 정보공유를 통해서 전력설비 오조작에 의한 정전방지의 신뢰성을 높여줄 수 있는 알고리즘의 개발을 추진할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 한국전력공사의 지원하에 대전전력관리처에서 주관하여 수행한 2006년도 현장기술개발과제 연구결과의 일부임.

참 고 문 헌

- [1] 전력회사의 원방 감시제어시스템의 운용 개선사례, 한국전력공사, 1986.
- [2] 최적규모의 변전소 원방감시제어시스템(SCADA) 구성, 한국전력공사, 1996.
- [3] 154kV 계통 방사상 운전방식 적용에 따른 공급신뢰도 향상방안 연구, 전력연구원, 1996.
- [4] 방사상계통 자동판별을 위한 제어 알고리즘 개발, 한국전력공사, 2007.

저 자 소 개



전 동 훈 (田 東 勳)

1966년 12월 11일생. 1991년 홍익대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 충남대 전기공학과 박사과정 수료. 현재 한전 전력연구원 선임연구원

Tel : 042-865-5873

Fax : 042-865-5804

E-Mail : dhjeon@kepri.re.kr



심 정 운 (沈 鼎 雲)

1963년 4월 11일생. 1989년 중앙대 전기공학과 졸업. 현재 한전 송변전처 부장

Tel : 02-3456-5031

Fax : 02-3456-5099

E-mail : jwshim@kepco.co.kr



김 태 원 (金 泰 元)

1963년 8월 10일생. 1988년 부산대 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 한전 대전전력관리처 과장

Tel : 042-620-2166

Fax : 042-620-2187

E-mail : suntiel@kepco.co.kr



김 건 중 (金 健 中)

1953년 2월 12일생. 1975년 서울대 전기공학과 졸업. 1977년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1985년 동대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재 충남대학교 전기정보통신공학부 교수

Tel : 042-821-5659

Fax : 042-823-7970

E-mail : kjkim@ee.chungnam.ac.kr