

# SCADA가 통합된 배전자동화 시스템의 변전소 사고 시 복구 자동화 알고리즘

논문

58-11-5

## A Restoration Automation Algorithm on a Fault in Substation of SCADA-coordinated Distribution Automation System

홍준호\* · 임일형\*\* · 이승재\*\*\* · 김태완§ · 최면송† · 하복남§§ · 이성우§§§  
(Jun Ho Hong · Il Hyung Lim · Seung Jae Lee · Tae Wan Kim · Myeon Song Choi · Bok Nam Ha · Sung Woo Lee)

**Abstract** - It is impossible to take the instant action in the distribution system When fault occurs in a substation because operation of the substation and the distribution system are separated. However the power system automation has been studying about unity operation and co-operation between SCADA and DAS(Distribution Automation System). In this paper proposes a new algorithm of efficiency restoration using a outage load switching to a healthy MTR a fault occurrence at a MTR in united system between DAS and SCADA. In addition, proposed algorithm includes a outage restoration method which keeps MTR optimal capacity with reorganization of distribution network in case it can not restore outage state loads caused by shortage of healthy MTR remain capacity. In case that proposed sequence still can not complete restoration, this paper suggests a efficiency outage restoration with objective function included priority in outage loads. In the case studies, the proposed algorithm have been verified in 2 MTR and 3 MTR substation

**Key Words** : Substation, distribution automation, Reorganization of distribution network, Priority in loads

### 1. 서론

배전변전소는 발전소로부터 공급된 전력을 수용자에게 공급하기 위한 곳으로, 배전 계통과 직접적으로 연결되어 있다. 따라서 배전변전소에서의 사고는 배전계통의 수많은 주요시설 등의 정전을 야기하여 심각한 파급효과를 불러오게 되므로 사고의 신속한 판단 및 정전복구 수행이 필요하다.

따라서 현재의 변전소 운영자들은 SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition) 시스템을 통해 변전소 내의 전력설비들을 원격 감시 및 제어를 하여 이러한 사고발생을 미연에 방지하거나 사고발생 시 신속한 복구를 수행하고 있다[1].

보다 효율적인 변전소 사고 시 정전복구에 대해서 많은 연구들이 진행되어왔다. 주로 사고 발생 시 모선의 재구성을 통해 정전부하를 건전상태의 다른 MTR로 부담시키는 방식이다. 이러한 기존의 방식들은 변전소의 시스템 특성을 고려할 때 유일한 방법이지만, 수많은 switch들의 조합을 찾

아내기 위해 많은 시간이 소요 된다는 단점이 있다[2-3].

이러한 단점을 개선하기 위하여 측정 데이터를 통한 방법 [4], Heuristic 탐색법, 패턴인식 기법, Clustering 기법 등의 여러 알고리즘을 이용한 효율적인 모선 재구성 방법들을 연구되어왔다[5-12].

하지만 비교적 간단한 변전소 구조에 대하여 필요 이상의 복잡하고 어려운 알고리즘을 사용하였으며, 복구해에 대한 신뢰도 확보를 위한 오퍼레이터의 판단에 어려움이 있었다. 또한 변전소 내의 사고 복구 시 건전상태의 MTR 여유용량이 부족 할 때 생기는 불가피한 정전구역에 대해서는 복구가능하다는 단점을 가지고 있다.

특히 국내 변전소는 배전계통과 분리되어 운영되고 있기 때문에 변전소 내 사고 시 배전계통과 연계하여 조치를 취할 수 없다는 제약도 따른다. 최근에는 국내 전력기술의 해외진출을 위해 SCADA와 DAS (Distribution Automation System)의 통합운영 및 상호 연계운영에 대한 연구들이 진행되어 왔고, 국내 시범사업과 베트남 및 동남아시아 등 해외진출을 위하여 DAS와 SCADA의 통합운영 시스템이 설치되고 있다.

따라서 본 논문에서는 SCADA와 DAS가 통합운영이 되는 변전소환경에서 MTR 사고 발생 시 건전상태의 MTR로 정전 부하를 절체 하는 방법, 정전복구를 위한 건전상태의 MTR의 여유용량 부족 시 배전계통의 재구성을 통해 여유용량을 확보하여 정전복구를 하는 방법, 이와 같은 과정으로도 복구가 완료되지 않을 시는 정전부하의 우선순위를 가려 보다 효율적인 정전복구를 할 수 있는 방법 3단계의 알고리즘을 제안하고 있다.

\* 준 회원 : 명지대 공대 전기공학과 석사과정  
\*\* 정 회원 : 명지대 공대 전기공학과 박사과정  
\*\*\* 펠로우회원 : 명지대 공대 전기공학과 교수  
§ 정 회원 : 명지대 공대 전기공학과 연구 교수  
§§ 정 회원 : 한전 전력연구원 수석연구원  
§§§ 정 회원 : 한전 전력연구원 수석연구원  
† 교신저자, 정회원 : 명지대 공대 전기공학과 교수  
E-mail : mschoi@mju.ac.kr  
접수일자 : 2009년 8월 23일  
최종완료 : 2009년 9월 23일

본 논문의 2장에서는 국내의 변전소의 구성과 SCADA와 DAS가 통합된 시스템의 설명을 통해 변전소의 이해를 돕고, 3장에서는 변전소의 내의 사고 발생 시 정전 복구 알고리즘을 설명하며, 4장에서 알고리즘의 검증을 위한 MTR 2, 3대로 구성되어진 변전소를 통해 사례연구를 진행하였다.

## 2. 변전소의 구성

### 2.1 DAS와 SCADA가 분리된 국내 변전소 구성

국내 배전계통과 변전소는 각각 DAS와 SCADA를 통해 그림 1과 같이 각각 독립적인 운영을 하고 있다. 변전소에서 취득되는 정보나 설비들은 배전계통 운영에 활용되기 어렵고, 배전계통에서 취득되는 정보나 설비들은 변전소에서 활용하기 어려운 운영구조를 가지고 있다.

이중 SCADA를 통해 운영되는 변전소는 일반적으로 MTR 3대와 2중화 모선으로 구성되어 있으며, 각 LS(Line Switch) 및 CB (Circuit Breaker)의 상태와 계측된 데이터 값들을 원격 감시 및 제어를 할 수 있는 구조로 되어있다.

하지만 현재 국내 변전소의 자동화는 MTR 2차측의 CB, LS 등만 원격으로 제어가 가능한 일부만 이루어져 있다. 최근에 변전소의 완전 자동화 운영 시스템을 위한 디지털 변전소 연구와 시범사업이 활발하게 진행되어오고 있다. 이를 위해서는 Ethernet 기반의 통신망과 원격 자동화 감시 및 제어 설비들이 설치되어야 한다.

이 디지털 변전소는 IEC 61850기반 변전소 자동화 시스템의 도입을 통해 변전소의 완전 자동화를 이룰 수 있을 것으로 기대하고 있다. 또한 그림 2와 같이 이미 자동화가 이루어진 배전자동화와의 연계 운영에 대한 시스템 통합 방안의 연구와 관련 설비들이 개발이 진행되고 있고, 수준 높은 성과와 결과물도 제시되고 있다.

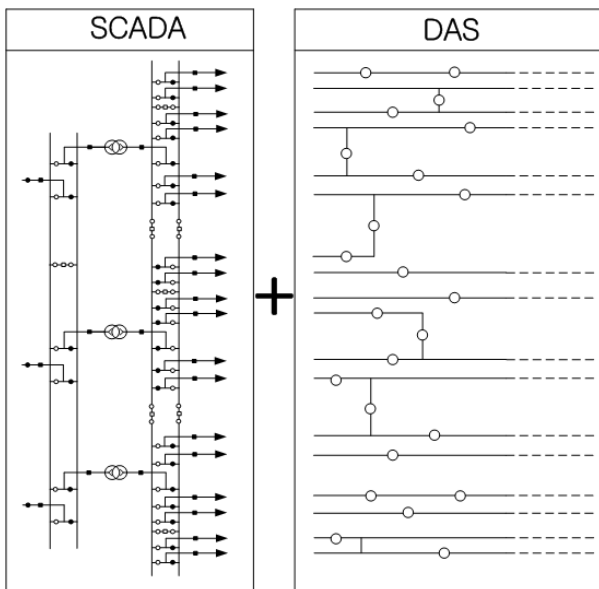


그림 1 DAS와 SCADA의 분리 운영  
Fig. 1 Separate operation of DAS and SCADA

### 2.2 DAS와 SCADA가 통합된 변전소의 구조

변전소와 배전계통의 효율적인 관리를 위해서는 변전의 SCADA와 배전의 DAS의 정보 공유를 통한 연계 운영이 필수적이다. 그림 2와 같이 DAS와 SCADA가 통합 운영되는 시스템의 변전소에서는, 기존의 DAS와 SCADA가 분리 운영 때는 하지 못했던 시스템 운영을 위한 많은 일들이 가능해진다.

배전계통의 상태에 따른 변전소에 미치는 영향에 대하여 정보공유를 통한 빠른 상태감시가 가능해질 것이고, 이를 통해 계통의 특수상황에도 신속한 조치가 가능해질 것이다. 특히 배전계통은 변전소를 통해서 공급되는 전력을 수용가에 공급하게 되므로, 변전소는 배전계통의 전력공급 신뢰도 확보를 위해서 가장 우선시되어 안정적으로 운영되어야 한다.

특히 DAS는 어느 정도의 배전계통 운영에 있어서 자동화를 이루어 운영되고 있고, 변전소 또한 디지털 변전소 사업을 통해 근시일 내에 완전한 자동화를 이룰 것으로 기대하고 있다.

변전소 사고 시 신속하고 정확한 정전복구를 하려면 배전계통과의 연계가 필수적이다. 여유용량 확보 내지는 정전부하에 대한 절제, 변전소 내에서 해결하지 못하는 부분들이 배전계통과의 연계 운영을 통해 해결될 것이다. 이를 통해 변전소의 사고발생 시 복구 능력을 향상시켜 전력공급 신뢰도를 높여 경제적 큰 이익을 얻을 수 있을 것으로 전망하고 있다.

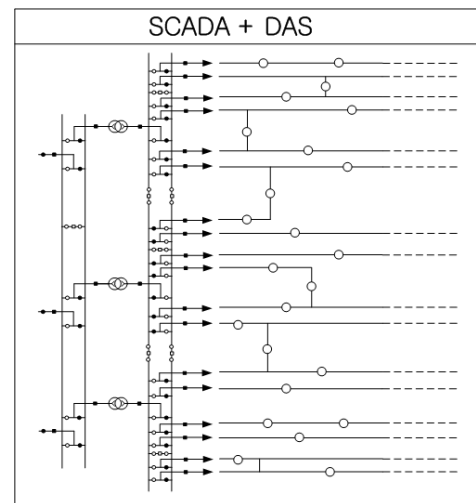


그림 2 DAS와 SCADA의 상호 연계 운영  
Fig. 2 Co-operation of DAS and SCADA

## 3. 변전소 내의 사고 발생 시 정전 복구 알고리즘

### 3.1 알고리즘 적용을 위한 고려사항 및 환경

변전소내의 MTR 사고 시 고려해야 할 점은 크게 4가지로 나타낼 수 있다. 정전용량 최소화, 신속한 복구, 여유 용량 확보, 복구용량 부족 시 부하의 우선순위 복구처리에 대한 것들이다.

첫째는 정전용량이 최소화 되어야 한다. 정전구역의 존재는 경제적 손실로 연결되기 때문이다. 이를 위해서는 변전소의 각 피더 부하가 균등하게 분포되어야 한다. 이는 배전

계통 상시연계점 선정의 목표에도 부합되므로 변전소 내에서는 이를 위한 별도의 조취를 취하지는 않는다.

둘째는 최대한 신속한 복구가 이루어져야 한다. 변압기 사고 같은 돌발 상황에는 일시적으로 대처하는 것이다. 따라서 전압최적화, 손실최소화, 복구도는 일시적인 상황이므로 크게 중요하지 않기 때문에, 복구 시 고려사항에서 보류시켜 복구 판단 및 동작 시간을 최소화 하여야 한다.

셋째는 정전부하를 감당하기 위한 여유용량이 부족한 경우다. 변전소 내의 MTR 사고 시 건전한 MTR의 용량이 전체의 정전부하를 부담하기에 부족하다면 최대한의 복구 후에도 정전부하가 존재하게 된다. 이에 SCADA와 DAS가 통합되어 상호연계 운영이 되는 계통에서는 배전계통 재구성인 각 피더의 연계점 이동을 통하여 건전한 MTR들의 여유용량을 정전부하 이상으로 확보하여 LS의 switching 동작으로 복구가 가능하다. 이는 변전소내의 사고 발생 시 DAS와 협조하여 복구 하는 것으로, 현재의 DAS와 SCADA가 분리되어 운영되는 환경에서는 불가능한 방법이다.

넷째는 여유용량 확보에도 불구하고 복구용량이 부족할 경우 우선순위에 따른 복구를 진행하여야 한다. 배전계통 재구성을 통한 여유용량 확보에도 불구하고 복구용량이 부족할 시에는 정전복구 우선순위 판단 알고리즘을 통하여 우선순위가 높은 부하부터 복구 시켜야 한다. 이는 중요도가 높은 지역의 정전을 최소화 시키며 같은 중요도에서는 용량이 큰 지역의 정전을 최소화 시켜 결과적으로 변전소 내의 사고로 인한 정전피해를 최소화 시키는 방법이다.

다섯째는 우선순위 복구 후 생기는 복구실패 지역에 대한 정전복구 방법이다. 정전복구 우선순위 판단 알고리즘을 통하여 최대한의 정전부하들을 복구 시킨 후에는 정전 부하가 존재하게 된다. 이를 최소화시키기 위해 부하 switching을 통한 여유용량 확보 알고리즘을 사용하게 된다. 이는 건전한 MTR들의 부하를 LS, Bus sectionalizing CB의 switching을 통하여 서로 이동하여 정전부하 이상의 여유용량을 확보하는 방법이다. 이를 통해 남겨진 정전부하들을 최대한으로 복구 할 수 가 있다.

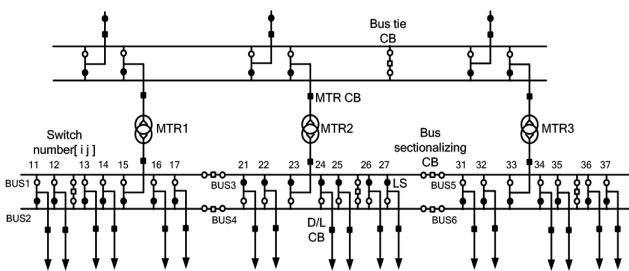


그림 3 국내 표준화 변전소 구조의 단선도(3 MTR)  
 Fig. 3 A Single line diagram of standardization substation structure in Korea(3 MTR)

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 그림 3과 같이 국내 표준화 변전소 구조를 대상으로 제안되었다. MTR은 3대 이며 2중모선의 구조를 가지고 있다. 또한 변전소 내의 계측데이터 및 LS(Line Switch) 상태 정보를 얻을 수 있어야 하며, 원격으로 인출 CB의 제어를 통해 변전소내의 MTR CB, LS, Bus section CB, Bus tie CB, D/L CB 등의 모든 변전

기기를 원격 제어할 수 있어야 한다. 또한 LS의 제어를 통해 변전소 내의 계통을 재구성할 수 있는 환경을 가지고 있어야 한다.

아직 이러한 환경과 DAS와 SCADA가 연계되는 시스템은 없다. 하지만 앞서 설명한 환경을 가진 시스템을 갖출 계획에 따라, 이러한 환경 기반의 변전소 사고발생 시 복구방안에 대한 알고리즘을 제안하려고 한다.

3.2 배전계통 연계점 이동을 통한 여유용량 확보 방안

변전소 내의 MTR 사고 시 건전한 MTR의 용량이 전체의 정전부하를 부담하기에 부족하다면 최대한의 복구 후에도 정전부하가 존재하게 된다. 이러한 문제를 해결하고 신속한 정전부하의 복구를 위해 배전계통 재구성인 상시연계점 이동 알고리즘을 사용하게 된다[1].

이때의 전제 조건은 배전계통의 재구성을 통해 여유용량을 확보 할 수 있는 배전계통이어야 한다. 이는 변전소의 SCADA와 배전계통의 DAS가 통합 운영이 되어야 하며 자동화 시스템을 통해 연계 변전소로부터 전력을 공급받을 수 있는 계통 구조를 가지고 있어야 한다. 또한 변전소 내부와 배전계통의 각종 설비들에 대한 원격제어가 가능하여야 배전계통의 재구성을 통한 복구가 이루어 질 수 있다.

배전계통 재구성의 목적은 변전소 내의 MTR 사고가 발생 하였을 때 정전부하를 건전상의 MTR로 switching 동작을 통해 이동시켜 복구하는 것이다. 하지만 건전상태의 MTR 여유용량이 전체 정전부하의 용량보다 적을 시에는 복구 후에도 정전부하가 존재하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 배전계통과 변전소의 운영이 통합되어진 시스템에서는 배전계통의 재구성을 통해 복구를 위한 MTR의 여유용량을 확보하여 복구 할 수 있다.

연계점 이동은 첫째로 정전 피더 중 용량이 가장 큰 부하에서 가장 적은 부하 순으로 진행된다. 이때 연계점 이동이 가능한 피더는 타 변전소와 연결되어 연계점 이동이 가능한 피더여야 한다. 연계점 이동은 아래의 조건을 만족 할 때까지 계속 실시하며 사고 발생 MTR의 안쪽 방향으로 이동한다.

$$\begin{aligned} & \text{건전한 MTR 여유용량의 합} > \\ & \text{전체 정전 부하용량} + \\ & \text{정전부하 중 가장 적은 부하용량의 1배} \end{aligned}$$

둘째로 사고가 발생한 MTR을 제외한 건전한 MTR중 여유용량이 상대적으로 큰 MTR의 순으로 진행되며, 해당 MTR의 피더 중 가장 큰 부하 순으로 실시하게 된다. 이는 여유용량이 상대적으로 큰 MTR의 여유용량을 먼저 확보하여 정전부하의 복구를 보다 신속히 하기 위함 이다.

건전상의 MTR의 여유용량이 정전용량보다 같거나 크면 정전부하를 건전한 MTR에 연결하여 복구하기 위해 건전한 MTR의 개수 만큼의 그룹으로 정전부하를 나누게 된다. 하지만 건전상의 MTR의 여유용량이 정전용량과 같거나 클 때에도 연결되는 조합이 없는 경우가 존재하게 된다. 그리고 건전상의 MTR의 여유용량이 정전용량보다 적을 경우가 존재하게 된다. 이때 배전계통 연계점 이동을 실시하게 된다.

예를 들어 여유용량이 정전용량보다 같거나 크게 될 때까지 연계점 이동을 한 후 조합을 찾고 큰 용량의 부하부터

복구를 하였다. 이때 남은 여유용량이 2[MVA], 3[MVA] 이며 정전용량의 부하가 5[MVA]일 시 여유용량과 정전용량의 크기가 같지만 복구를 할 수 없는 경우가 존재하게 된다. 그러므로 MTR 여유용량의 합이 전체 정전 부하용량에서 정전부하 중 가장 적은 부하용량의 1배를 더 확보해야 한다.

### 3.3 변전소 내의 사고 발생 시 정전 복구 우선순위 선정 판단 방안

변전소 내의 사고 발생 시 정전 복구 우선순위 선정 판단을 하여야 하는 이유는 다음과 같다. 첫째, 배전계통 연계점 이동을 통하여도 3.2절의 의 조건을 만족하지 못한다면 배전계통 연계점 이동 후 전체 정전 부하를 전부 복구 할 수 없다. 이에 확보한 여유용량 만큼으로 최대의 효율을 내야 하기에 우선순위가 높은 부하부터 복구 시키는 방법을 사용하여야 한다.

둘째, 동남아시아 지역의 변전소는 배전계통과 변전소의 운영이 구분 없이 통합되어있는 곳이 대부분 이다. 하지만 일부 변전소와 이 변전소에서 공급하고 있는 일부 구역에 대해서만 자동화가 적용되며, 국내의 DAS와 SCADA가 통합된 변전 및 배전 운영 시스템이 수출 되어질 예정이다. 따라서 변전소 내 사고 발생 시 복구를 위해 다른 변전소에서 전력을 공급 받을 때 일부만 시스템이 적용된다면 여유용량 확보에 한계가 발생할 수 있다.

이와 같은 환경에서는 배전계통 재구성을 통한 복구를 할 수 없으므로 변전소 내의 MTR 사고 발생 시 복구 방법은 정전부하를 건전한 MTR로 switching 동작을 통해 부하를 이동시켜 복구하는 방법만을 사용해야 한다. 즉, 배전계통의 재구성이 불가능하다. 그러므로 불가피한 정전구역 발생으로 인한 전력공급의 신뢰와 재정적 손실 최소화를 위해서는 가능한 효율적인 정전복구를 수행해야 하며, 이를 위해서는 복구 우선순위를 정하여 복구를 진행하여야 한다.

정전복구 우선순위 선정 판단은 기존 변전소 내의 중요도 선정이 되어있으면 선정되어있는 중요도를 이용한다. 하지만 중요도 선정이 되어있지 않은 변전소에서는 본 논문에서 제시한 방법을 사용하여 복구를 진행한다. MTR 사고 시에 해당되며 주요시설과 민감도가 높은 지역의 부하를 우선순위를 높게 정하여 복구시켜 해당지역의 정전을 최대한 빠르게 복구 시키는 방법이다. 이는 전력공급의 신뢰도와 경제성과 관련되어 변전소 내 사고에 의한 손실을 최소화 할 수 있다. 이러한 우선순위를 통한 최적의 복구방법을 찾는 문제는 식(1) 과 같이 그룹의 중요도를 고려한 목적함수와 부하용량 목적함수의 합으로 정의할 수 있다.

$$J_{max} = W_1 \times J_{list} + W_2 \times J_{RC} \quad (1)$$

- $W_1, W_2$  : 가중계수
- $J_{list}$  : 그룹 중요도
- $J_{RC}$  : 부하 복구용량

여기서의 가중계수는 각 목적함수의 가중치이며 그룹의 중요도를 우선시 하여야 함으로  $W_1$ 은 100으로 정의 할 수 있고 상대적으로 낮은 우선순위인 부하 복구용량의 가중계

수인  $W_2$ 는 1로 정의할 수 있다. 변압기 용량의 단위가 MVA 임을 감안 한다면 그룹 중요점수가 높은 부하의 복구 시 용량이 큰 부하보다 먼저 될 것이며 같은 그룹 중요 점수를 부여받은 부하는 부하 복구용량이 큰 순서대로 복구가 되며 가능한 많은 용량이 복구되는 의미를 가지게 된다.

이 과정의 모든 요소들은 운영자가 사전에 정의 하여야 하며, 그룹의 중요점수보다 부하 복구용량이 우선시 되는 변전소에서는 가중치의 변화만으로도 쉽게 복구의 우선순위를 바꿀 수 있다. 그림 4는 부하의 우선순위를 고려한 변전소의 모델을 보여주고 있다. 만약 MTR1에 사고가 발생 하였다면 피더의 복구 순서는 11, 13, 12, 17, 14, 16 이 될 것이다. 같은 우선순위인 11, 13 그리고 12, 17 에서는 용량이 더 큰 피더인 11, 12가 각각 먼저 복구 되는 것을 알 수 가 있다.

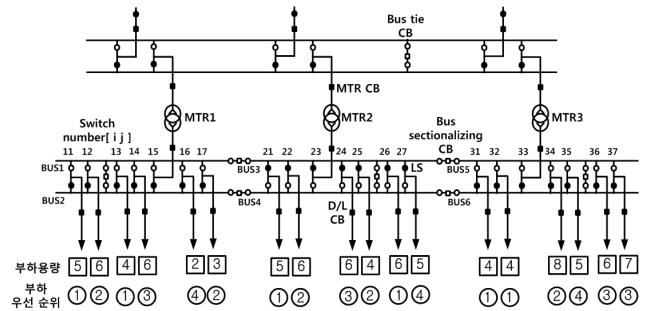


그림 4 변전소 부하의 우선순위 적용  
Fig. 4 Priority application of feeders in substation

### 3.4 부하 switching을 통한 여유용량 확보 방안

정전복구 우선순위 판단 알고리즘을 통하여 최대한의 정전부하들을 복구 시킨 후 에는 낮은 우선순위의 정전 부하들이 존재 하게 된다. 이는 건전한 MTR2대의 여유용량이 합이 정전 부하보다 크지만 각각의 여유용량이 정전부하보다 적어 복구를 하지 못하는 경우가 발생할 경우가 이다. 이때 건전한 MTR의 부하를 LS, Bus sectionalizing CB(이하 S.CB)의 switching을 통하여 서로 이동하여 한쪽의 여유용량을 정전부하 이상으로 확보한다면 남은 정전부하를 더 복구 할 수 가 있게 된다.

이때의 부하 switching에는 2단계가 있다. 1단계는 건전한 MTR에서 여유용량이 상대적으로 큰 MTR의 피더 중 여유용량이 적은 MTR로 switching하여 정전용량보다 큰 여유용량을 확보 할 수 있는 조합을 찾는 것이다.

2단계는 건전한 MTR에서 여유용량이 상대적으로 적은 MTR의 피더중 여유용량이 많은 MTR로 switching하여 해당 피더보다 큰 용량을 가지는 피더를 재 switching 할 수 있는 조합을 찾는 것이다. 이를 통해 여유용량이 많은 MTR의 용량을 더 확보하여 정전 부하를 복구 할 수 가있다. 부하 switching을 통한 여유용량 확보 알고리즘은 각각의 조건을 만족하는 조합이 있을 시에만 수행 되어야 불필요한 switching 동작을 줄일 수 있게 된다.

### 3.5 복구알고리즘 Flowchart

본 논문에서 제시하는 알고리즘은 변전소내의 사고 시 배전계통 운영과 관련 있는 변전소 2차 측 하단부터 배전계통 까지 고려한 복구 알고리즘이다. 따라서 변전소 내 사고에

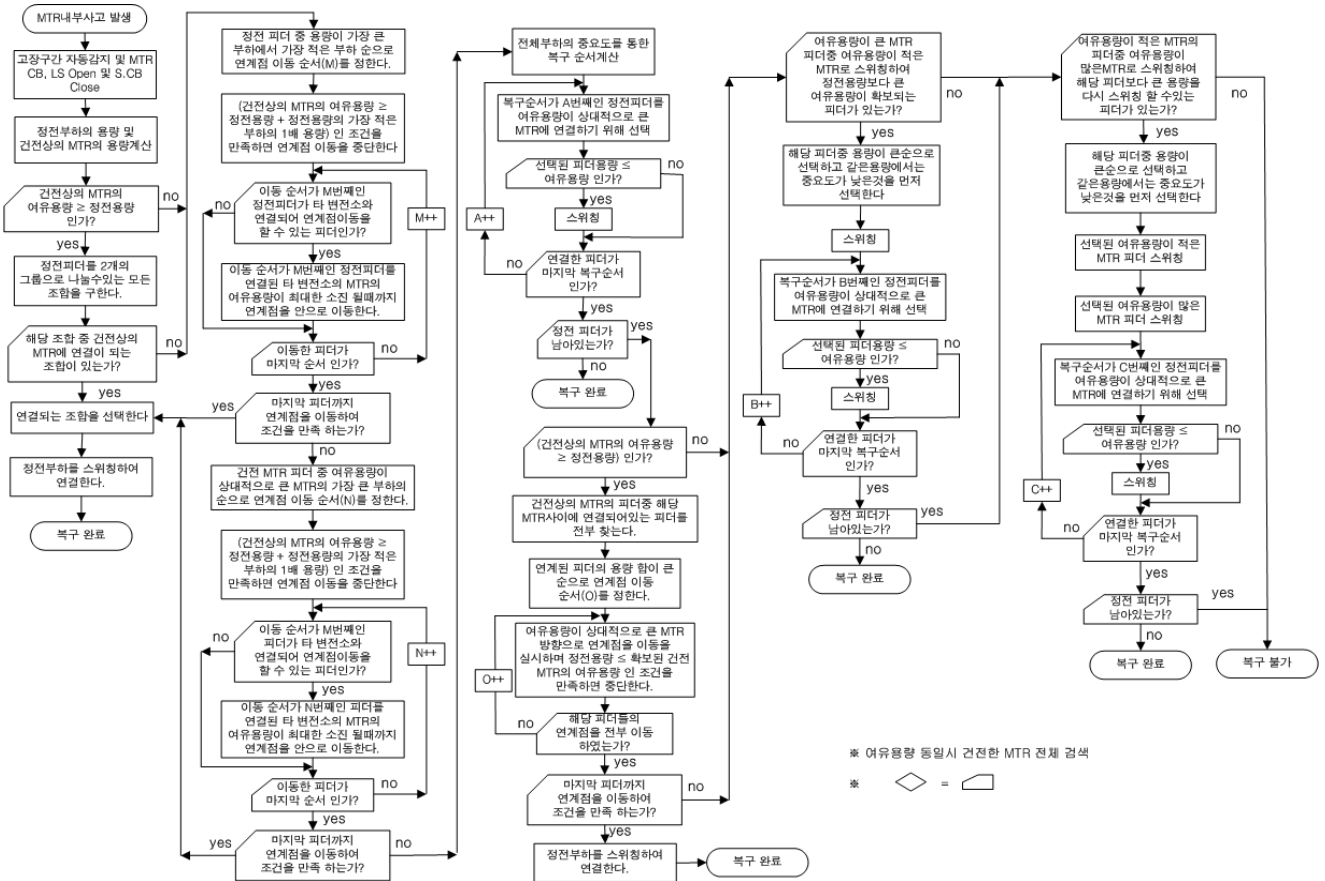


그림 5 변전소 내의 MTR 사고 시 복구 flowchart  
 Fig. 5 Restoration flowchart when a MTR fault in power system substation

대하여 MTR 사고와 모선사고 두 가지의 사고만을 고려하였다. 모선사고의 경우는 사고 모선 외의 다른 모선으로 부하를 절체하는 방법이 유일하다. 따라서 본 논문에서는 MTR 사고를 중심으로 사례연구를 하였다. 그림 5는 MTR 사고 발생 시 복구 알고리즘을 나타내기 위한 Flowchart이다.

변전소 내의 MTR 사고 발생 시 복구 절차는 크게 6단계로 진행되며 각 단계별 목표는 다음과 같다.

- 가) 변전소 구조 및 유형별 복구 가능성 판단
- 나) 고장 구간 자동으로 감지 및 MTR CB, LS, S.CB switching
- 다) 정전 부하의 용량 및 건전상의 MTR 용량 계산
- 라) 배전계통 재구성인 연계점 이동을 통한 여유용량 확보
- 마) 우선순위를 고려한 정전부하 복구
- 바) 부하 switching을 통한 여유용량 확보

가) 변전소 구조 및 유형별 복구 가능성 판단  
 변전소 내 사고 발생 시 정전복구를 위해 가장 먼저 고려해야 할 점은 해당 변전소의 구조를 파악하고 해당 유형에 대한 복구 판단이 요구된다.

그림 4와 같은 변전소 구조는 MTR가 3개에 Bus sectionalizing CB가 존재하지만 MTR가 1개 이거나 MTR가 2개이더라도 Bus sectionalizing CB가 존재하지 않는 변전소의 구조에서는 MTR 사고 시 복구를 수행 할 수가 없

다. 이처럼 변전소 내의 사고 발생 시 복구를 위해서 가장 우선해야 할 일은 Database로부터 변전소 내 계통 구성 파악을 통해서 각 사고에 대한 복구가 가능한지에 대한 여부 판단이 가장 우선시 된다.

나) 고장 구간 자동으로 감지 및 MTR CB, LS, S.CB switching

3.1 절에서 나타낸 바와 같이 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 DAS와 SCADA가 통합된 시스템 또는 DAS가 SCADA로부터 특정 데이터들을 가져올 수 있는 시스템을 기반으로 개발되었다. 따라서 변전소 내의 계측데이터 및 스위치(LS 또는 DS)의 상태정보를 얻을 수 있는 환경이며 SCADA를 통한 각 구간 별 사고를 감지 할 수 있다.

그림 4와 같은 변전소구조에서의 MTR 사고 시에는 1차 측 CB가 Open 되며 자동적으로 2차 측 CB도 Open 이 된다. 이와 같은 sequence를 가지는 사고에는 MTR 사고라 인식을 할 수 있다. 그리고 복구 진행을 위해 사고 발생 MTR의 LS도 전부 Open이 되며 S.CB는 전부 Close가 된다.

다) 정전 부하의 용량 및 건전상의 MTR 용량 계산

변전소 내의 MTR 사고 시 정전 부하량을 계산하고 건전상의 MTR의 여유용량을 계산하여 건전상의 MTR의 여유용량으로 전체 정전 부하를 부담 할 수 있는지 판단이 요구

된다. 이때 정전된 부하량은 현재의 부하량을 가지고 계산 하되 최근의 피크부하량을 고려하여야 한다. 고장 지속시간 이 얼마나 될지 모르기 때문에 최악의 상황을 고려하기 위하여 피크부하가 고려되어야 한다.

라) 배전계통 재구성인 연계점 이동을 통한 여유용량 확보  
 3.2 절에서 나타낸 바와 같이 건전상의 MTR의 여유용량 으로 전체 정전 부하를 부담 할 수 없다면 배전계통 재구성 인 연계점 이동 알고리즘을 사용하여 건전상의 MTR의 여유용량을 확보 할 수 있다. 3.2절의 조건을 만족한다면 그림 5의 flowchart와 같이 정전부하를 2개의 그룹으로 나누어 복구가 되는 조합을 찾아 복구를 진행하고 만족하지 못한다면 우선순위를 고려한 정전부하 복구를 진행하게 된다.

마) 우선순위를 고려한 정전부하 복구  
 배전계통 재구성을 통해 건전상의 MTR의 여유용량을 확보 하였음에도 불구하고 전체 정전부하를 부담 할 수 없을 시에는 3.3 절에서 나타낸 바와 같이 정전 부하의 우선순위를 고려하여 복구를 수행 하여야 한다. 이는 중요부하를 우선으로 하여 정전구역을 최소화시키기 위한 노력으로, 정전구역을 가능한 최소로 만들고 수용가에 대한 전력공급 신뢰도를 높이기 위한 것이다.

바) 부하 switching을 통한 여유용량 확보  
 3.4절에서 나타낸 바와 같이 우선순위를 고려한 정전부하 복구 후에도 정전부하가 존재한다. 그러므로 최대한의 정전 부하의 복구를 위해서 부하 switching을 통한 여유용량 확보 후 남은 정전부하의 복구를 진행한다. 이는 건전한 MTR 한쪽의 여유용량을 정전부하 이상으로 확보한다면 남은 정전부하를 더 복구 할 수 가 있기 때문이다.

4. 사례연구

본 논문에서 제안한 변전소 내의 주 변압기 사고 발생 시 복구 알고리즘 적용을 위하여 그림 4의 변전소를 대상으로 사례연구를 실시하였다. 복구 진행 과정은 그림 5의 flowchart의 sequence대로 진행하였다. 배전계통 연계점 이동은 정전 피더의 연계점 이동은 하지 않았으며, 건전한 MTR의 연계점 이동은 각 피더당 1[MVA]씩만 이동이 된다고 가정 하였다. 각 MTR의 용량은 40[MVA]라고 가정하였다.

- 1) MTR1의 사고 발생
- 2) 고장구간 자동감지 및 MTR1의 CB, LS Open 및 S.CB Close
- 3) 정전부하의 용량 및 건전상의 MTR의 용량 계산
- 4) 정전용량이 건전상의 MTR의 여유용량의 합보다 크므로 배전계통 연계점 이동 실시(피더당 1[MVA]로 가정)
- 5) 각 피더당 1[MVA]씩 연계점 이동을 가정하여 정전부하의 용량과 건전상의 MTR의 용량의 합이 같아 저서 연계점 이동을 멈춤
- 6) 정전부하를 2개의 그룹으로 나눌 수 있는 모든 조합을 구함.
- 7) 연계점 이동 후 건전한 MTR의 용량은 MTR2

(26/14/40), MTR3(28/12/40) 이므로 13, 14, 16번 피더는 MTR2에 연결하고 11, 12, 17번 피더는 MTR3에 연결

8) 복구완료(총 6번의 switching)

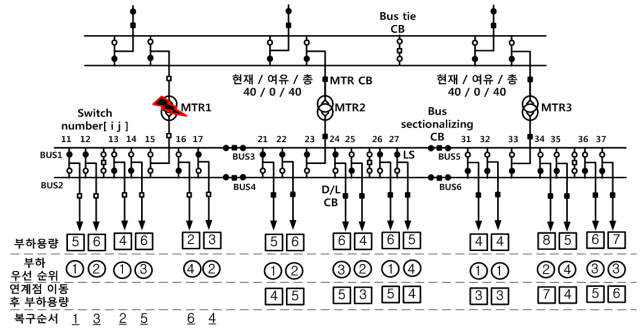


그림 6 MTR1 사고 시 복구 완료  
 Fig. 6 Restoration when MTR1 fault

- 1) MTR2의 사고 발생
- 2) 고장구간 자동감지 및 MTR2의 CB, LS Open 및 S.CB Close
- 3) 정전부하의 용량 및 건전상의 MTR의 용량 계산
- 4) 정전용량이 건전상의 MTR의 여유용량의 합보다 크므로 배전계통 연계점 이동 실시(피더당 1[MVA]로 가정)
- 5) 각 피더당 1[MVA]씩 연계점 이동을 가정하여 정전부하의 용량과 건전상의 MTR의 용량의 합이 같아 저서 연계점 이동을 멈춤
- 6) 정전부하를 2개의 그룹으로 나눌 수 있는 모든 조합을 구함.
- 7) 연계점 이동 후 건전한 MTR의 용량은 MTR1 (20/20/40), MTR3(28/12/40) 이므로 21, 24, 25, 27번 피더는 MTR1에 연결하고 22, 26번 피더는 MTR3에 연결
- 8) 복구완료(총 6번의 switching)

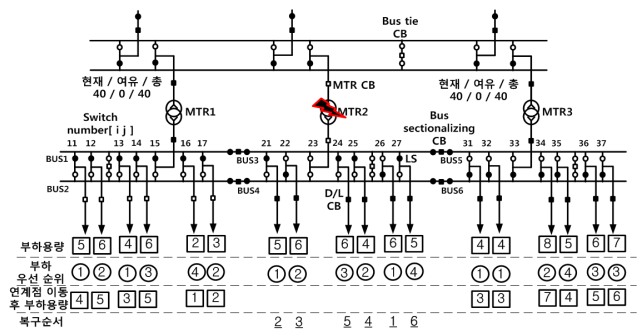


그림 7 MTR2 사고 시 복구 완료  
 Fig. 7 Restoration when MTR2 fault

- 1) MTR3의 사고 발생
- 2) 고장구간 자동감지 및 MTR3의 CB, LS Open 및 S.CB Close
- 3) 정전부하의 용량 및 건전상의 MTR의 용량 계산
- 4) 정전용량이 건전상의 MTR의 여유용량의 합보다 크므로

- 로 배전계통 연계점 이동 실시(피더당 1[MVA]로 가정)
- 5) 각 피더당 1[MVA]씩 연계점 이동을 가정하여 정전부하의 용량과 건전상의 MTR의 용량의 합이 같아 저서 연계점 이동을 멈춤
  - 6) 정전부하를 2개의 그룹으로 나눌 수 있는 모든 조합을 구함.
  - 7) 연계점 이동 후 건전한 MTR의 용량은 MTR1 (20/20/40), MTR2(26/14/40) 이므로 31, 32, 35, 37번 피더는 MTR1에 연결하고 34, 36번 피더는 MTR2에 연결
  - 8) 복구완료(총 6번의 switching)

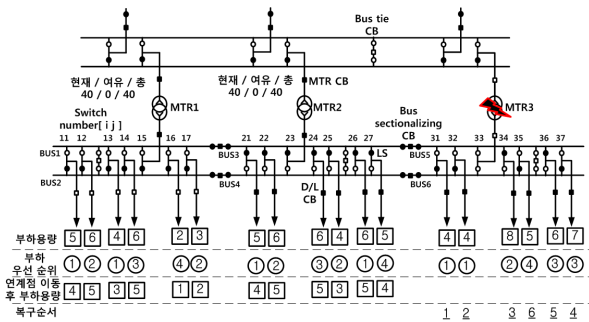


그림 8 MTR3 사고 시 복구 완료  
Fig. 8 Restoration when MTR3 fault

그림 4의 변전소의 MTR 내부사고 발생 시 본 논문에서 제안한 복구 알고리즘 적용 후 그림 6, 그림 7, 그림 8과 같이 복구가 완료 되는 모습을 볼 수 있다. 랜덤으로 각 MTR 피더의 용량을 설정 후 MTR 사고 모의 시 평균 8.4의 switching 동작에 복구가 되었다.

변전소 내에서의 사고는 단일 사고 뿐 만 아니라 상황이 악화된 경우 동시사고로 발전 할 수가 있다. MTR와 모선의 동시사고 발생 시에는 모선의 우선순위를 높게 잡아 모선을 우선시 하여 복구 하여야한다. 먼저 모선의 복구가 이루어지면 MTR 사고로 인한 정전부하들은 본 논문에서 제시하는 알고리즘을 통해 복구 할 수 가 있다. 하지만 MTR의 동시 사고나 한 MTR의 동일 모선의 동시사고에 대해서는 복구 방법이 없다.

그림 3과 같은 MTR이 3대인 변전소에서는 같은 MTR 모선의 동시 사고와 MTR1/MTR2, MTR3/MTR4, MTR5/MTR6의 동시사고를 제외한 모든 동시사고의 복구진행이 가능하다. 또한 MTR 2대의 동시 사고는 건전한 MTR이 1 대 남기 때문에 그림 5의 flowchart의 sequence에 따라 복구가 가능하다. 단 부하 우선순위를 통한 복구 수행 시에는 정전부하 전체의 우선순위를 고려해야 하며 건전한 MTR이 한 대 이기에 부하 switching을 통한 여유용량 확보 알고리즘을 수행 할 수 없다. 이와 같이 본 논문에서 제시한 알고리즘은 MTR이 2대, 3대인 변전소 전체에 적용이 되는 것을 확인 할 수 있다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 SCADA와 DAS의 통합운영 시스템에서의 변전소 내 사고 복구 방안을 제안하였다. 이는 기존의 알고

리즘과 같이 변전소 자체에서만 사고 복구를 처리하는 것이 아니라 DAS와 연계하여 배전계통의 재구성까지도 고려하여 수용가에 대한 보다 높은 전력공급 신뢰도의 확보와 보다 효율적인 복구 알고리즘을 제시 하였다.

MTR 사고발생 시 변전소 내에서 처리를 목표로 하되, 복구를 위한 여유용량이 부족할 경우에 대해서 배전계통 재구성인 연계점 이동을 이용한 복구용량 확보 방법, 충분한 여유용량 확보 실패 시 부하 우선순위에 따른 우선순위 복구 수행방법, 복구 실패 부하에 대한 정전복구 방법 순으로 알고리즘을 제안하였다.

이는 변전소 내 사고에 대하여 수용가에 대한 보다 높은 전력공급 신뢰도를 확보하기 위한 방법으로, 변전소뿐만 아니라 배전계통과의 연계를 통하여 보다 확실한 복구를 수행 할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

또한 복구우선순위 선정방법을 제안하여 전력공급의 신뢰도와 경제성과 관련되어 변전소 내 사고에 의한 손실을 최소화 할 수 있게 하였다. 그리고 부하 switching을 통한 여유용량 확보 알고리즘을 통하여 남은 정전 부하의 최대한 복구를 할 수 있다는 장점도 가지고 있다.

본 논문에서 곧 DAS와 SCADA가 통합 운영되는 시스템 환경에서의 변전소 복구에 대하여 신속하고 정확하고 효율적인 방법을 제시하였다. 이를 통해 국내 전력자동화 시스템의 변전소 운영 효율의 개선뿐만 아니라, 해외시장 진출을 위해서도 꼭 필요한 알고리즘이 될 것으로 기대된다.

### 감사의 글

이 연구에 참여한 연구자(의 일부)는 『2단계 BK21 사업』의 지원비를 받았으며, 본 연구는 산업자원부의 전력IT IDMS(Intelligent Distribution Management System) 과제의 지원으로 수행되었음

### 참 고 문 헌

- [1] 임일형, 임성일, 최면송, 이승재, 신창훈, 하복남, “배전 자동화 시스템에서 전력설비 부하균등화를 고려한 피더간 연계점 최적위치선정”, 대한전기학회 논문집, 56권 5호 pp. 821-828, 2007
- [2] K. Aoki, H. Kuwabara, T. Satoh, M. Kanezashi, “Outage State Optimal Load Allocation by Automatic Sectionalizing Switch Operation in Distribution System”, IEEE Trans on Power Delivery, Vol. PWRD-2, No.1, pp 147-155, January 1987
- [3] Jiann-Liang Chen, Yuan-Yih Hsu, “An Expert System for Load Allocation in Distribution Expansion Planning”, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 4, No. 3, pp 1910-1918, July 1989
- [4] W. H. Kersting, W. H. Phillips, “Load Allocation Based Upon Automatic Meter Readings”, IEEE/PSE Transmission and distribution conference and exposition, pp 1-7, April 2008
- [5] Jorge Pereira, J.T. Saraiva, “An integrated Load Allocation/State Estimation Approach for Distribution

networks", IEEE CNF Probabilistic Methods Applied to Power Systems, pp 108-185, September, 2004

[6] Guangzhi Li, Dongmei Wang, Charles Kalmanek, Robert Doverspikem "Efficient Distributed Reestoration Path Selection for Shared mesh restoration", IEEE/ACM trans. on Networking, Vol. 11, No. 5, pp 761-771, October 2003

[7] M. R. Irving, "Robust algorithm for load estimation in distribution networks", IEEE Trans. Distribution, Vol. 145, No. 5, pp 499-504, September 1998

[8] K. P. Wong, H. N. Cheung, "Artificial intelligence approach to load allocation in distribution substation", IEE Proceedings, Vol. 134, No. 5, pp 357-365, January 1987

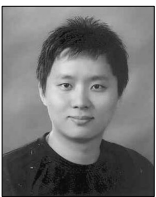
[9] K. Aoki, T. Ichimori, M. Kanezashi, "Normal State Optimal Load Allocation in Distribution Systems", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. PWRD-2, No. 1, pp 147-155, January 1987

[10] Thomas E. Carroll, Daniel Grosu, "Strategyproof Mechanisms for Scheduling Divisible Loads in Bus-Networked Distributed Systems", IEEE Transaction on parallel and distributed systems, Vol. 19, No. 8, pp 1124-1135, August 2008

[11] Yun-Seok Ko, "Design of Transformer Fault Restoration Strategy Based on Pattern Clustering Method in Automated Substation", KIEE trans., Vol. 55 No. 10 pp. 410-417, 2006

[12] 고유석, 강태규, "고도화된 자동화 변전소의 사고복구 지원을 위한 지식학습능력을 가지는 전문가 시스템의 개발, 대한전기학회 논문집, 53권 12호 pp. 637-644, 2004

저 자 소 개



**홍 준 호 (洪 峻 豪)**

1983년 1월22일생. 2008년 명지대학교 전기공학과 졸업. (학사) 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정  
 Tel : 031-336-3290  
 Fax : 031-330-6816  
 E-mail : kingdanggn@mju.ac.kr



**임 일 형 (林 一 亨)**

1979년 4월 13일생. 2005년 명지대학교 전기공학과 졸업.(학사) 2007년 동대학 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정  
 Tel : 031-336-3290  
 E-mail : sojoo2jan@mju.ac.kr



**최 면 송 (崔 勉 松)**

1967년 4월생. 1989년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 전기공학과 졸업(공학). 1995년 Pennsylvania State Univ. 방문 연구원. 1992년 기초전력공학 공동연구소 전임연구원. 현재 명지대학교 공대 전기공학과 교수.  
 Tel : 031-336-3290  
 E-mail : mschoi@mju.ac.kr



**이 승 재 (李 承 宰)**

1955년 11월 30일생. 1979년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1988년 Univ. of Washington 전기공학과 졸업(공학). 1994년 Univ. of Washington 교환 교수. 현재 명지대학교 공대 전기공학과 교수.  
 Tel : 031-336-6362  
 E-mail : sjlee@mju.ac.kr



**김 태 완 (金 泰 完)**

1970년 5월 19일생. 1994년 건국대 공대 컴퓨터공학과 졸업. 1996년 동 대학원 컴퓨터공학과 졸업(석사). 2002년 현대중공업(주) 기계전기연구소 연구원, 2006년 동 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학). 2007년 건국대 컴퓨터공학과 강의 교수, 현재 명지대학교 전기공학과 연구 교수.  
 Tel : 031-330-6819  
 E-mail : twkim@mju.ac.kr



**하 복 남 (河 福 男)**

1958년 1월 10일생. 1994년 충남대 대학원 전기공학과(석사). 2004년 충남대 대학원 전기공학과(공학), 1978년 한국전력공사 입사 이후 대전전력관리처, 광주전력관리처, 전력연구원 근무, 1988년~현재 한전 전력연구원 송배전연구소 배전 IT 처장.  
 Tel : 042-865-5930  
 E-mail : bnha@kepri.re.kr



**이 성 우 (李 聖 雨)**

1960년 3월 1일생(음). 1999년 건국대 대학원 전기공학과(공학), 1992년 전력연구원 입사. 1992~2006년 한전 전력연구원 발전연구소 근무. 2007년~현재 한전 전력연구원 송배전연구소 배전IT 부장. 배전지능화 및 배전 IT 시스템 분야 연구.  
 Tel : 042-865-5931  
 E-mail : swlee@kepri.re.kr