변전소 내 주변압기 사고 발생 시 배전계통 연계점 이동을 통한 복구 알고리즘

홍준호*, 이승재*, 최면송*, 임일형*, 김태완*
명지대학교 차세대 전력기술 연구센터*

A Restoration Algorithm using Moving the tie Switch in Distribution System in case of Fault Occur in Power system Substation MTR

Jun-Ho Hong*, Seung-Jae Lee*, Myeon-Song Choi*, Il-Hyung Lim*, Tae-Wan Kim*
Myoungji University Next-generation Power Technology Center*

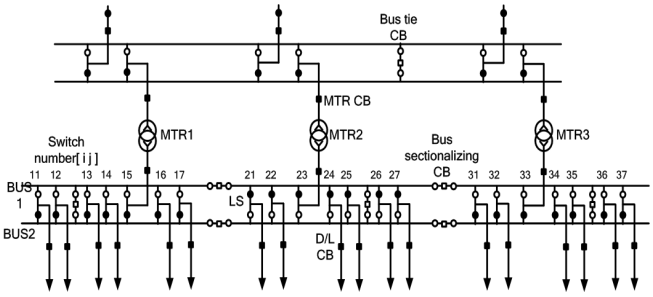
Abstract - In this paper proposes a new algorithm of efficiency outage restoration using a outage load switching to a healthy MTR a fault occurrence at a MTR. In addtion, proposed algorithm includes a outage restoration method which keeps MTR optimal capacity with reorganization of distribution network 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.

1. 서 론

지금까지는 변전소에서의 사고 발생 시 모선의 재구성을 통한 정전 복구 등의 다양한 연구들이 진행되어왔는데, 이러한 방법은 주변압기 사고 시의 정전부하들을 건전상의 운용중인 다른 변압기에 부담하는 방식이다. 이러한 기존의 방식들은 heuristic 탐색법, 패턴인식 기법, clustering 기법 등의 알고리즘 등을 이용한 모선 재구성 방법을 제안하여 최적의 시간에 최고의 효율을 발생하도록 하였다[2-5]. 하지만 비교적 간단한 변전소 구조에 대하여 필요 이상의 복잡하고 어려운 알고리즘을 사용하였으며 복구해에 대한 신뢰도 확보를 위한 오퍼레이터의 판단에 대하여 어려움이 수반되었다. 그리고 변전소 내의 사고 복구 시 건전상의 변압기 여유용량이 부족 할 때 생기는 불가피한 정전구역에 대하여, 사고가 발생한 주변압기의 복구 시까지 기다리는 방법밖에 없다는 취약함을 가지고 있다. 이러한 문제는 국내의 변전소와 배전계통의 운영이 서로 분리되어있기 때문에 변전소 내 사고 시에는 배전계통에서 별다른 조치를 취 할 수가 없기 때문이라고도 할 수 있다. 하지만 배전자동화의 해외진출을 위해 변전의 SCADA와 배전의 DAS (Distribution Automation System) 통합운영에 대한 연구가 진행되어왔고, 동남아시아의 배전자동화 진출 시 일부 통합운영이 될 것이다. 국내에서도 통합은 아니더라도 최소 상호 연계 운영이 될 것이다. 따라서 본 논문에서는 변전소 내의 주변압기 사고 발생 시 건전상의 주변압기로 정전부하를 절체하여 정전복구를 효율적으로 수행하는 알고리즘을 제안하였다. 또한 주변압기의 고장 시 건전한 주변압기의 여유용량 부족으로 인해 전체 정전구간의 부하를 복구 시킬 수 없을 시에는 배전계통 연계점 이동을 통해 정전부하 용량 이상의 여유용량을 확보하여 정전복구를 수행하는 알고리즘을 제안하였다. 또한 배전계통 연계점 이동을 통하여도 복구를 위한 여유용량의 확보가 불가능 시에는 부하의 우선순위를 통해 중요지역의 부하를 먼저 복구 시키는 알고리즘을 제안하였다.

2. 국내 변전소의 구조

그림 1은 본 논문에서 알고리즘 개발을 위한 예제 변전소의 단선도이며 국・내외의 변전소를 통합하여 연구 할 수 있는 대표적인 모델이다. 해당 변전소는 해당 변전소는 주변압기 3개와 2중화 모선으로 이루어져있어 변전소 내의 단일 주변압기 사고 또는 단일모선 사고 시에 대처 할 수 있는 구조로 되어있다. 각 LS(Line switch) 및 CB(Circuit Breaker)의 상태와 계측된 데이터 값들을 SCADA를 통해 모니터링 할 수 있으며 원격제어도 할 수 있는 특징을 가지고 있다. 변전소 내 완전 자동화를 위해서는 모든 전력설비들의 제어가 원격으로 가능해야 하며, 설정도 원격으로 수정이 가능해야 한다. 현재 추진중에 있는 IEC 61850 기반 변전소 자동화 시스템의 도입을 통해 디지털 변전소에서는 모든 전력설비들이 실시간감시 및 원격 제어로 완전한 자동화를 이룰 수 있을 것이다. 따라서 본 논문에서 제안하는 알고리즘들도 이러한 자동화 시스템을 기반으로 개발하였다.



<그림 1> 국내 변전소의 단선도

3. 변전소 내의 주변압기 사고 발생 시 정전 복구 알고리즘

3.1 변전소 내의 주변압기 사고 발생 시 정전 복구 환경

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 변전소 내의 MTR이 2, 3대이며 DAS와 SCADA가 통합된 시스템 또는 DAS가 SCADA로부터 특정 데이터들을 가져올 수 있는 시스템을 기반으로 개발되었다. 따라서 변전소 내의 계측데이터 및 LS 상태 정보를 얻을 수 있어야 하며, 원격으로 인출CB의 제어를 통해 그림 4에서 보이는 것과 같은 변전소내의 MTR CB, LS, Bus section CB, Bus tie CB, D/L CB 등의 모든 변전기기를 원격 제어할 수 있어야 한다. 또한 LS의 제어를 통해 변전소내에서 계통구성을 변경할 수 있어야 한다. 이는 변전소내의 기기를 제어하여 변전소 내부에서의 복구를 수행하며 복구 수행 후에도 정전되어있는 부하들을 배전계통의 재구성을 통해 최대한의 복구를 수행하여야 하기 때문이다.

3.2 여유용량 부족 시 배전계통 연계점 이동을 통한 복구 알고리즘

변전소내의 주변압기 사고 시 건전한 주변압기의 용량이 전체의 정전부하를 부담하기에 부족하다면 피더 switching 동작만으로는 전체 정전 부하를 복구가 불가능하다.

이러한 문제를 해결하고 신속한 정전부하의 복구를 위해 배전계통 재구성을 하기 위한 배전계통 연계점 이동 알고리즘을 사용하게 된다. 이때의 전제 조건은 배전계통의 연계점 이동을 통해 여유용량을 확보 할 수 있는 배전계통이여야 한다. 이는 배전계통의 SCADA와 변전소의 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 연계점 이동을 통한 복구가 이루어 질 수 있다[1].

연계점 이동은 사고가 발생한 MTR을 제외한 건전한 MTR중 여유용량이 상대적으로 큰 MTR의 피더 순으로 또한 해당 MTR의 피더 중 가장 큰 부하 순으로 실시하게 된다. 연계점이동은 식(1)의 조건을 만족 할 때까지 계속 실시 하게된다.

$$\text{연계점이동을 통해 확보되는 여유용량} > \text{정전용량+정전용량의 가장 큰 부하의 1/2 용량} \quad (1)$$

정전용량의 가장 큰 부하의 1/2의 용량을 더 확보해야 하는 이유는 정전 용량 만큼의 여유용량을 확보하여도 복구가 되지 않는 케이스가 존재하기 때문이다.

3.3 정전복구 우선순위 판단 알고리즘

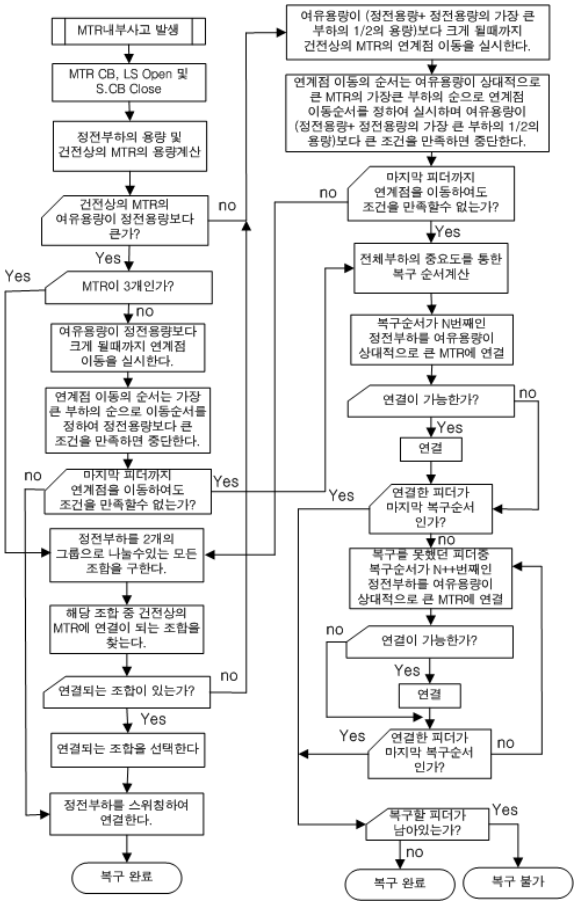
DAS와 SCADA의 운영이 결합되어 배전계통 연계점이동 알고리즘을 사용 할 수 있다 하더라도 연계점이동을 최대한으로 실시 후에도 정전 부하가 존재하게 될 수도 있다. 이때도 역시 정전복구 우선순위 판단을 통해 복구를 진행 하여야 한다.

정전복구 우선순위 판단은 주변압기 사고 시에 해당되며 주요 시설과 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(2) 과 같이 그룹의 중요도를 고려한 목적함수와 부하용량 목적함수의 합으로 정의할 수 있다.

$$J_{\max} = W_1 \times J_{list} + W_2 \times J_{RC} \qquad (2)$$

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

여기서의 가중계수는 각 목적함수의 가중치이며 그룹의 중요도를 우선시 하여야 함으로 W_1은 100으로 정의 할 수 있고 상대적으로 낮은 우선순위인 부하 복구용량의 가중계수인 W_2는 1로 정의 할 수 있다. 이는 중요도에 따른 가중계수의 변화를 통해 여러 그룹으로 나눌 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.



<그림 2> 정전 복구 Flow chart

4. 사례연구

그림 1과 같은 변전소를 대상으로 단일 주변압기 사고 시의 여러 가지 케이스로 그림2의 Flow chart와 같이 사례연구를 진행하였다. 결과 배전계통 연계점 이동을 통해 식(1)의 조건을 만족하였을 경우에는 전체 정전부하를 건전한 MTR의 switching을 통해 복구가 가능하였다. 하지만 식(1)의 조건을 만족하지 못 한 경우에는 정전복구 우선순위 판단 알고리즘을 통해 중요우선순위의 부하부터 복구가 되는 것을 확인하였다. 다음은 연계점 이동이 각 피더당 1[MVA]만 된다고 가정하여 사례연구를 진행한 것이다. 전체 정전용량 23[MVA]가 복구된 것을 확인 할 수 있다.

복구 전	정전용량=23	사용/여유/총 31/9/40	사용/여유/총 33/7/40
용량	9 3 2 6 2 1	8 6 5 6 4 2	7 6 3 4 8 6
순서	6 5 2 3 4 1	5 1 3 2 6 4	6 5 1 2 3 4
복구 후	정전용량=0	사용/여유/총 39/1/40	사용/여유/총 36/4/40
용량	9 3 2 6 2 1	7 5 4 5 3 1	6 5 2 3 7 5
순서	6 5 2 3 4 1	5 1 3 2 6 4	6 5 1 2 3 4

5. 결 론

본 논문에서는 변전소 내 주변압기 사고에 대해서 변전소 자체에서만 복구를 처리하는 것이 아니라 배전계통의 재구성까지도 고려하여 수용가에 대한 보다 높은 전력공급 신뢰도의 확보와 보다 효율적인 복구 방안을 제안하였다.

주변압기 사고발생 시 변전소 내 복구를 위한 여유용량이 부족할 경우에 대해서 배전계통 연계점 이동을 이용한 복구용량 확보 방법을 제안하였다. 이는 변전소 내 사고에 대하여 수용가에 대한 보다 높은 전력공급 신뢰도를 확보하기 위한 방법으로, 변전소뿐만 아니라 배전계통과의 연계를 통하여 보다 확실한 복구를 수행할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

또한 연계점 이동을 통해 여유용량을 확보 후 에도 복구가 불가능한 경우에 대비하여, 상황에 따른 복구 효율과 전력공급 신뢰도를 높이기 위한 복구우선순위 선정방법을 제안하였다. 향후 국내 전력자동화 시스템의 해외시장 진출을 위해서도 꼭 필요한 복구 알고리즘이 될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부/한국과학재단 선도연구센터육성사업(ERC)의 지원으로 수행되으며 (차세대전력기술연구센터), 이 연구에 참여한 연구자(의 일부)는 『2단계 BK21 사업』의 지원비를 받았음

[참 고 문 헌]

[1] 임일형, 임성일, 최면송, 이승재, 신창훈, 하복남, “배전자동화 시스템에서 전력설비 부하균등화를 고려한 피더간 연계점 최적위치선정”, 대한전기학회 논문집, 56권 5호 pp. 821-828, 2007

[2] 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

[3] 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

[4] 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

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