

안정적 전력공급을 위한 154kV 변전소 배전선로간 연계운영에 관한 연구

A Study on Loop operation of 154kV Substation Distribution line for Stable power supply

김 광 호* 손 명 권** 정 종 찬***
Kim, Kwang-Ho Son, Myoung-Gwon Jeong, Jong-Chan

Abstract

For a stable supply of electric power, periodical inspection of the electric facilities and repair of the distribution lines are required. In case of any unexpected accidents, looped operation among distribution lines may be necessary in order to supply electricity through the sound lines, separating the faulted lines.

As a result of this study, it was found that normal looped operation became impossible when phase difference of the looped distribution lines is more than 3 degrees compared with the voltage supply of the distribution lines.

Therefore, for a stable supply of electric power to Chuncheon, it is judged to be desirable that looped operation of the distribution lines coming from the same substation M. Tr Bank shall be performed in principle and in case of looped operation with the substation of different system, looped operation among the lines shall be performed after voltage regulation of the substation M. Tr Bank, maintaining similar voltages and load supply volume in order to avoid phase difference through checking the operation conditions of each substation M. Tr Banks.

And when looped operation among the distribution lines is scheduled, voltage regulation schedule has been established so far by calculating maximum supply volume through the transformer of the substation and the maximum load volume through the distribution lines but in the future, looped operation of the distribution lines shall be carried out by removing voltage difference with regulating tap or load of the surrounding transformers, with giving prior notice to the substation operators.

키워드 : 연계운영, 154kV 변전소, 배전선

Keywords : Loop operation, 154kV Substation, Distribution line

1. 서론

우리나라의 전력수요는 경제성장과 더불어 빠른 속도로 성장해 왔다. 그리고 국민생활수준의 향상, 정보화시대로 접어들어서면서 고품질의 전력수요

요구가 증대하고 있으며, 사회 전반적으로 전기에너지에 대한 의존도가 나날이 높아지고 있다. 또한 전력은 일상생활과 직접적으로 관련이 있어 전력수급 및 공급상 문제가 발생하면 각종 생활에 불편을 야기되므로 중단 없는 전력공급요구의 특징

을 갖는다.

전력공급은 발전소, 송전선로, 변전소, 배전선로 등 전기를 생산, 수송하여 소비지까지 연결하는 여러 가지 기기들을 유기적으로 결합해서 하나의 시스템(System)을 구성한다. 일반적으로 이것을 전력시스템(Power System)이라한다. 이러한 전력 시스템을 구성하는 발전소 경우 여러 곳에 발전설비가 분산되어 설치되어 있으며 충분한 공급 예비율을 확보하여 운영하고 있고, 송전선로의 경우 최소 2회선이상으로 계통을 구성하여 운영하기 때문에 송전탑 파손과 같은 중대한 고장이 발생하지 않는 한 수용가에 공급지장을 초래하지 않는다. 그러나 전력시스템에 말단에서 수용가에 직접 전력을 공급하고 있는 배전선로에 경우는 보통 방사상으로 계통을 구성되기 때문에 고장이 발생하면 전력공급 중단으로 인하여 수용가에 직접적 피해를 입히게 된다.

수용가에 안정적이고 지속적인 전력공급을 위해 배전선로의 유지, 보수 작업 중에도 전력을 공급할 수 있는 무정전 공법을 도입해서 활용 하고 있으며, 변전소 설비의 점검 및 유지보수 위해서는 공급선로를 다른 선로에 연계한 후 점검하고자 하는 설비를 휴전시키고 점검을 하게 된다.

춘천시의 전력공급현황을 살펴보면 '82년 12월 준공된 춘천 S/S와 퇴계농공단지와 석사, 퇴계, 온의 신주거지역의 전력수요에 맞추어 '98년 12월 남춘천 S/S의 준공으로 전력공급의 여유가 생김으로써 90년대 초반보다 전체적인 전력공급 안정도는 높아 졌으며, 부하 부담도 2007년 3월 현재는 춘천시 전체부하의 39%를 춘천 S/S에서 나머지 61%의 부하는 남춘천 S/S에서 공급하고 있다. 이에 따라 변전소 상호간의 배전선로(Distribution Line : D/L)연계에 대한 필요성이 대두 되었으며, 여러 번의 D/L 연계가 있었다.

그러나 배전선로 연계운전시 마다 일어나지는 않았지만 춘천S/S와 남춘천S/S 양변전소에서 공급되는 배전선로에 상호 연계를 할 경우 원인이 밝혀지지 않은 D/L CB(차단기; Circuit Breaker)의 과전류 계전기 동작에 인한 Trip이 발생 하였다. 가장 최근의 기록은 '00년 3회 중 1회, '01년 3회 중 2회 등 Trip 사고가 있었다. 이후 강원지사에서는 특별한 경우를 제외하고는 상호변전소간의 연계를 하지 않고 있다.

하지만 춘천시에 안정적인 전력을 공급하기 위하여 주기적인 변전소 기기점검 작업이나 배전선로 보수 등이 필요하며, 변전소의 모선이나 기기, 배전선로의 사고나 고장시에도 안정적인 부하를

공급하기 위해서는 현재 양 변전소간 배전선로의 상호 연계가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 춘천과 남춘천 S/S간의 배전선로 상호 연계시 D/L Circuit Breaker의 과전류 계전기 동작에 의한

Trip 원인을 규명하여 춘천시의 안정적인 전력 공급을 모색해 보고자 한다.

이와 같은 연구를 수행하기 위해서 본 논문에서는 전력계통 과도현상해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC(Power System Computer Aided Design/Electro Magnetic Transients in DC System)를 이용하여 춘천 S/S와 남춘천 S/S 전력을 공급하는 송전선로 계통, 양 변전소에 설치된 M. Tr(Main Transformer)Bank 및 상호연계가 가능한 D/L 등을 모델링하여 선로의 연계시 전류 특성등을 모의하고, 실제계에 적용시 상호 연계시 에도 안정적으로 전력을 공급할 수 있는지 여부를 알아보았다.

2. 춘천시 전력공급 계통현황

춘천시에 전력을 공급하는 송전계통을 살펴보면 북한강수계의 화천, 춘천, 소양강 수력발전소에서 발전된 전력을 수도권과 영서지역에 공급하는 계통의 중심에 있으며, 특히 춘천 S/S의 경우 소양강 H/P(Hydro electric Power)와 화천 H/P, 춘천 H/P 에서 발전된 전력을 직접 송전 받고 있는 변전소이기도 하다. 그리고 남춘천 S/S의 경우도 청평 P/S(Pumped Storage hydro electric Power Station)를 경유하는 동서울 계통의 수전단의 말단에 위치하고, 청평 P/S 에서 발전할 경우 발전량에 따라 조류의 많은 영향을 받을 수 있는 변전소이다.

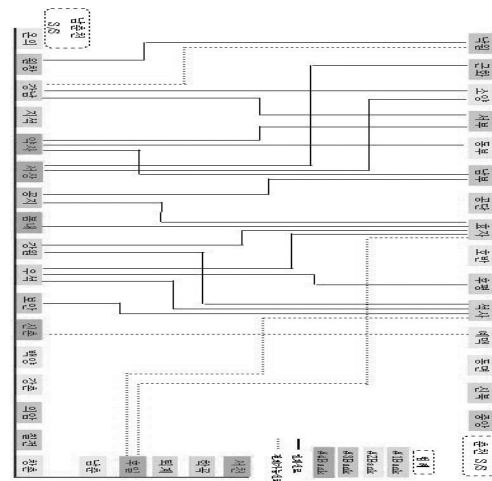


그림 2 춘천 남춘천 S/S 연계선로현황
[자료 : 한전 강원지사 SOP 2007년 03월]

* 강원대학교 전기전자공학부 교수, 공학박사
** 강원대학교 전기전자공학부 석사, 공학석사
*** 강원대학교 전기전자공학부 박사과정, 교신지자

춘천 S/S와 남춘천 S/S의 연계 및 절체가 가능 따라서 양 변전소 모두 연계된 발전소에서 발전기를 기동과 정지시 송전선 전류의 조류 흐름에 많은 영향을 받는 변전소라 할 수 있다.

한 선로를 강원지사 SOP(Standard Operating Procedure ; 표준복구절차서) 통해 살펴보면 다음과 같이 춘천 S/S를 기준으로 남춘천 S/S 와 9개 D/L을 상호 연계가 가능하고 3개 D/L 이 절체가 가능하다. 그리고 춘천 S/S 15개 D/L중 5개, 남춘천 S/S 22개 D/L중 11개 D/L 은 자체 변전소의 다른 Bank의 D/L과 연계나 절체를 할 수 있도록 선로가 구성 되어 있다. 따라서 양 변전소에서 M. Tr(Main Transformer)이나 D/L 고장시에는 변전소간의 연계는 꼭 필요하다고 할 수 있다.

춘천시의 전력공급은 39%를 춘천 S/S에서 나머지 61%의 부하는 남춘천 S/S에서 공급하고 있다. 이에 따라 변전소내 전력기기의 점검이나 배전선로 보수시 무정전 전원공급을 위한 D/L 연계에 대한 필요성이 대두 되었으며, 여러 번의 D/L 연계가 있었다. 그러나 춘천과 남춘천 S/S 양변전소에서 공급되는 배전선로에 상호 연계를 할 경우 원인이 명확히 밝혀지지 않은 D/L CB(Circuit Breaker)의 과전류 계전기(OCR) 동작에 인한 Trip 이 수차례 발생 하였다. 전력의 안정적인 공급의 측면에서 보면 D/L Loop시 Trip에 의한 정전 사고의 발생은 시민생활에 많은 불편함과 민원 발생의 소지가 있다. 따라서 춘천시의 안정적인 전력공급을 위해서 양변전소간의 Loop시 Trip원인을 규명하고 해결 하는것이 중요하다고 하겠다.

3. PSCAD/EMTDC 춘천시 전력계통 모델링

변전소간 Loop 운전시 계통상황에 따른 변화를 알아보기 위해 그림 2 과 같은 계통을 모의 하였다. A S/S, B S/S 전압, 부하, 위상이 모두 동일하다고 가정하였으며, M. Tr 1, 2차측 전압, 부하 또한 같다.

A S/S, B S/S 각각의 부하는 145 MVA로 같으며, M. Tr #1 부하는 각각 45 MVA이다. A D/L, B D/L 각각의 부하는 5 MVA이다.

춘천 S/S와 남춘천 S/S 계통은 그림3 과 같이 구성되며, 각각의 변전소는 서로 상이한 154kV 계통으로부터 전력을 공급받는다. 계통 모의에 사용된 데이터는 한전의 '07년 3월 실제 데이터를 이용하였으며, 춘천 변전소 총 부하량은 약 108 MVA 전압은 155.3 kV 남춘천 S/S 총부하량은 154 MVA 전압은 158.5 kV 이다. 배전선로간 Loop가 될 D/L은 춘천 S/S #1 M. Tr. 석사 D/L 말단과 남춘천 변전소 #1 MTr. 의 강원 D/L 말단으로 모의 하였으며, 실제 Loop 운전지점과 동일하다.

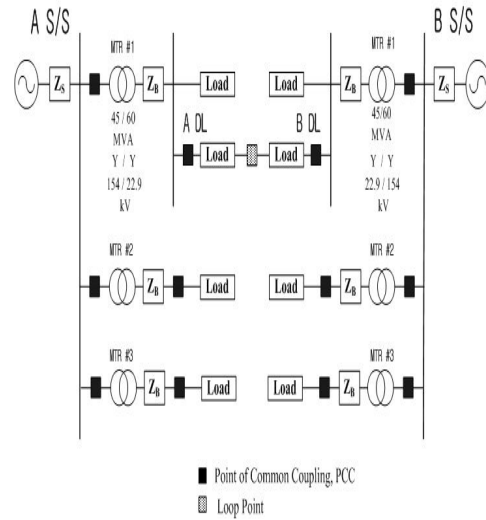


그림 3 변전소 배전선로간 Loop 단선도

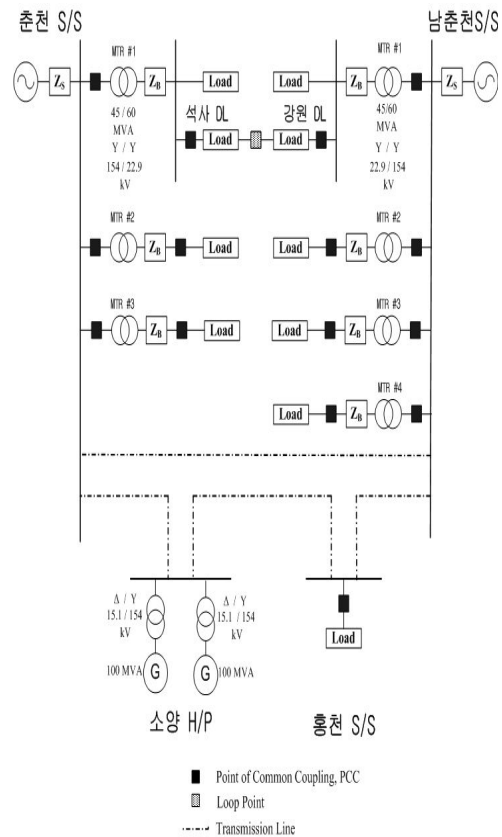


그림 4 실제 변전소 배전선로간 Loop 단선도

배전선간 Loop가 될 춘천 변전소 MTr. #1 부하량은 34.8MVA이고, 석사 D/L의 부하량은 4.9MVA 전압은 23.4kV 이며, 남춘천 변전소 MTr. #1 부하량은 약 41.8MVA이고, 강원의 D/L의 부하량은 6.7MVA 전압은 23.3kV 이다. 춘천 변전소과 연계된 송전계통인 홍천 변전소와 소양강 수력발전소를 모의하였다.

4. 배전선로간 Loop 운전 사례 연구

아래의 내용은 계통과 운영 상황 조건은 동일하나, 변전소간 위상차가 있도록 모의 한 것으로, 위상차에 따른 배전선로 Loop에 미치는 영향을 보기 위하여 모의 하였다.

4.1 배전선로간 위상차가 1°가 되도록 모의

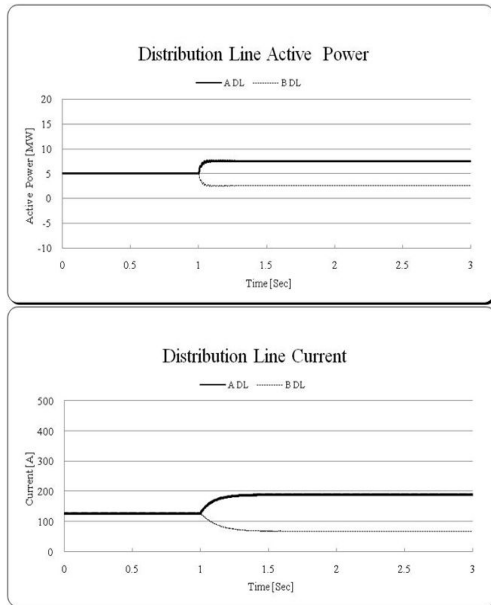


그림 5 변전소간 위상차가 1° 인 경우 배전선로 Loop 운전 모의

그림 4는 A S/S의 위상이 B S/S의 위상보다 1° 앞서는 것으로 모의 하였다. 1초에 배전선로 Loop를 실시한 결과 A 배전선로의 전력이 5 MW에서 7 MW로 증가하며, B 배전선로의 전력은 5 MW에서 3 MW로 감소한다. 이것을 통하여 A 배전선로에서 B 배전선로로 전력이 공급됨을 알 수 있다.

4.2 변전소간 위상차가 3° 가 되도록 모의

그림 5 는 A S/S의 위상이 B S/S의 위상보다

3°앞서는 것으로 모의 하였다. 1초에 배전선로간 Loop를 실시한 결과 A D/L에서 B D/L로 전력이 공급되는 것을 유효전력과 전류 그래프를 통하여 알 수 있으며, 그림 4와 비교하여 Loop로 인하여 A D/L에서 B D/L 를 공급하는 전력량 또한 늘어나 A D/L의 유효전력이 5 MW에서 12.5 MW로 증가한다. 또한 A D/L 선로의 전류가 300A를 초과 하므로, 과전류계전기로부터 Trip 신호 발생하여, 차단기가 개방되므로, 그림 4를 그림 5와 비교하면 위상차가 커질수록 Loop로 인한 영향이 증가함을 알 수 있고, 배전선로간 위상차가 3°이상이면 배전선로에 정상적인 연계운전이 불가능하다는 것을 보여주고 있다.

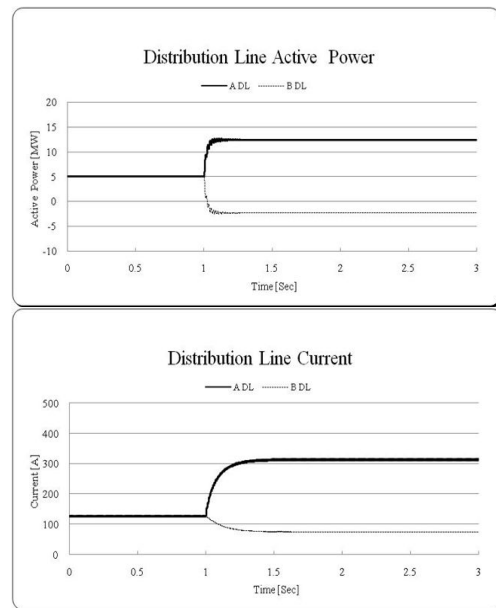


그림 6 변전소간 위상차가 3° 인 경우 배전선로 Loop 운전 모의

4.3 배전선로간 전압차가 발생한 경우 배전선로 Loop 운전 모의

A D/L의 전압은 23.8kV이며 B D/L의 전압은 22.7kV이다. 전압이외에 부하 및 위상등의 조건은 모두 동일하다. 1초에 Loop 운전을 실시한 결과 그림6의 위상 그래프를 통하여 알 수 있듯이 전압이 높은 A배전선로에 위상 뒤지게 되며, 이에 따라 전력은 B D/L에서 A D/L 이로 공급됨을 알 수 있다. 배전선로간 전압차를 가정하고 모의한 결과 위상차는 전압 크기에 의해서도 발생함을 알았으며, 배전선로 전압이 낮은 쪽의 위상이 앞서게 됨을 알았다.

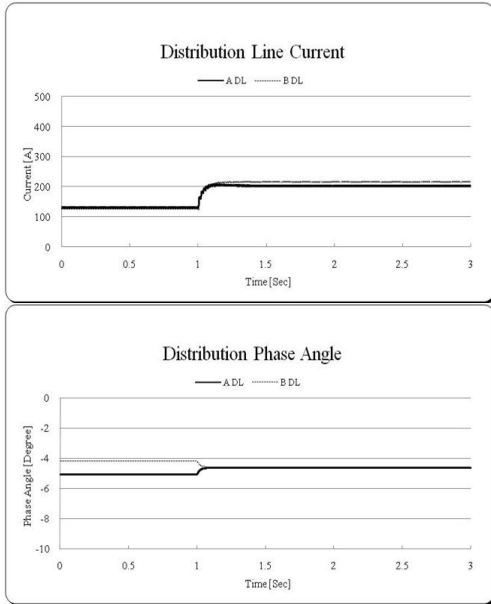


그림 7 배전선로간 전압차가 발생한 경우 배전선로 Loop 운전 모의

4.4 변전소간 부하차가 발생한 경우 배전선로 Loop 운전모의

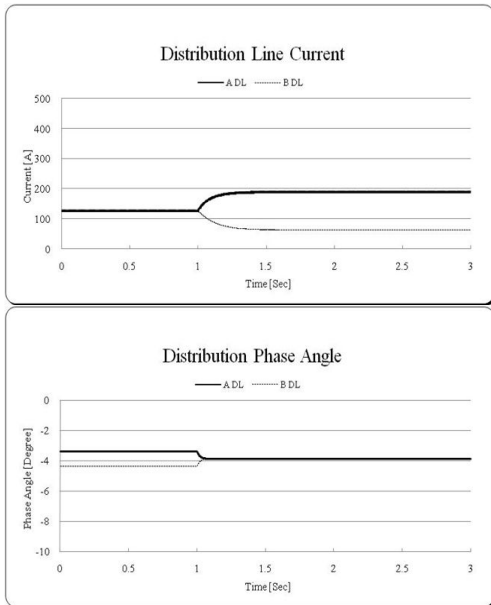


그림 8 변전소간 부하차가 발생한 경우 배전선로 Loop 운전 모의

A S/S의 부하는 170MVA, B S/S의 부하는 130MVA로 40MVA차이가 발생하도록 모의 하였으며, Loop운전을 하게 될 A S/S, B S/S 각각 #1 M. Tr의 부하는 45MVA로 동일한 조건에서 1초에 배전선로 Loop운전을 실시한 경우 그림 7을 보면 알 수 있듯이 변전소간 부하차에 의해서도 배전선로의 위상차가 발생한다. 또한 부하량이 큰 A S/S에 위상이 B S/S에 위상 보다 뒤지므로, 배전선로에 위상 또한 배전선로에 위상 또한 A D/L가 뒤지게 되어 1초에 Loop 운전을 한 경우 B D/L로부터 A D/L로 전력이 공급된다.

4.5 주변압기간 부하차가 발생한 경우 배전선로 Loop 운전모의

A S/S의 #1 M. Tr 부하가 B S/S의 #1 M. Tr. 부하보다 5 MVA 작도록 모의 하였으며, 각각의 M. Tr. 에 연결된 A D/L, B D/L의 부하는 5 MVA로 동일하게 모의하였다.

그림 8에서 알 수 있듯이 주변압기 부하량에 따라서도 위상차가 발생하며, 변전소간 부하차가 있는 경우와 동일하게 부하가 큰 쪽의 위상에 뒤지게 되어 전력을 공급 받게 된다. 따라서 그림 8의 경우는 A D/L에서 B D/L로 전력을 공급하게 된다.

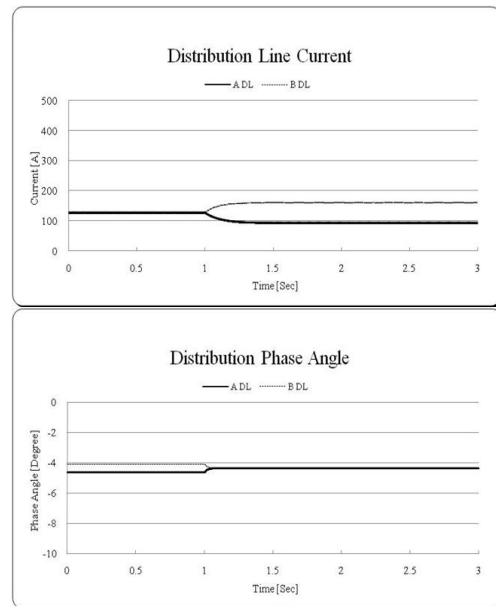


그림 9 주변압기간 부하차가 발생한 경우 배전선로 Loop 운전 모의

5. 춘천시 공급 배전선로 실계통 연계 운전 사례 모의분석

배전선로간 Loop운전 사례연구를 통하여 상위 계통의 전압 및 부하의 크기에 따라 위상차가 발생하며, 이에 의한 위상의 차에 크기에 따라 계통에 대한 영향이 비례함을 알았고, 위상에 앞서고 뒤집에 따라 전력공급 방향이 결정됨을 알 수 있었다. 배전선로의 Loop시 상기의 원인에 의한 위상차가 발생하면 위상이 앞선 쪽에서 뒤지는 쪽으로 전력공급의 흐름이 바뀔을 알았다.

실제 춘천시에 전력을 공급하고 있는 춘천 변전소와 남춘천 변전소간에 Loop운전 모의하여 보았다. 모의를 위하여 부하 및 전압과 계통 구성에 있어서 실 데이터를 사용하였다.

춘천시에 전력을 공급하는 춘천 변전소와 남춘천 변전소의 경우 154kV 계통이 상이하며, 춘천 변전소의 경우는 송전선로 기준으로 약 16km지점에 위치한 소양강 발전소가 증대한 영향을 미치고 있다. Loop 운전을 하게 될 배전선로는 춘천 변전소 MTr. #1의 석사 D/L 말단과 남춘천 변전소 MTr. #1의 강원 D/L 말단으로 모의 하였으며, 실제 Loop 운전지점과 동일하다.

5.1 소양강 발전소가 발전하지 않을 경우 배전선로 연계사례 모의 및 분석

3절의 그림 3과 같이 선로를 구성하였으며, 소양강 발전소는 발전을 하지 않는 상태에서 배전선로 Loop 운전을 모의 하였다. 이때 그림 9의 전력 그래프를 통하여 알 수 있듯 정상 상태에서는 석사 배전선로는 5.2MW의 전력을 춘천변전소 #1 M. Tr 로부터 공급받으며, 강원 배전선로는 6.7MW의 전력을 남춘천변전소 #1 M. Tr으로부터 공급받고 있으며, 춘천변전소 2차 배전 전압은 23.7 kV, 남춘천변전소 2차 배전 전압은 23.1kV로 서로 상이하다.

위 계통상황을 종합해보면 Loop 배전선로간 위상차가 발생할 수 있음을 알 수 있다. 실제 모의 결과 그림 9의 위상 그래프에서 알 수 있듯이 1.5°의 위상차를 보이며 석사 배전선로의 위상이 앞서고 있다. Loop운전은 1초에 실시한 결과 3절에서와 같이 위상이 앞서는 석사 배전선로에서 강원 배전선로로 전력을 공급하게 되며, 석사 배전선로의 전력이 9.77MW가 되며, 전류는 247A로 증가하게 되나 300A 미만이므로 정상적인 Loop 운전이 가능함을 알 수 있다.

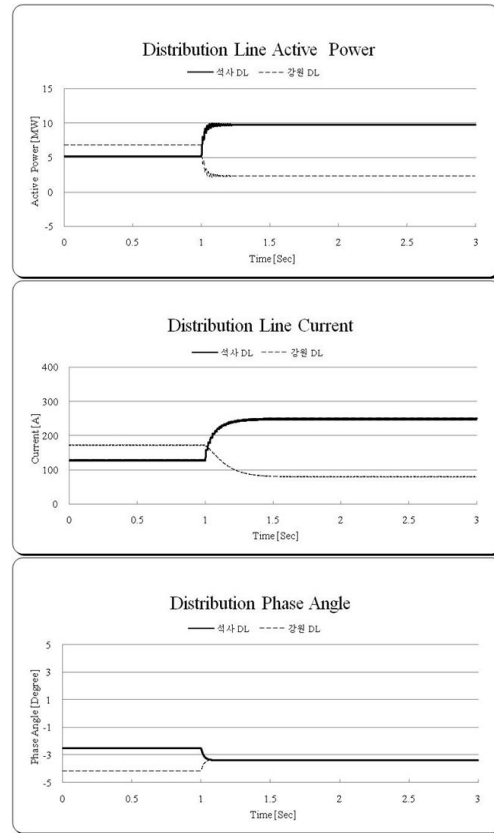


그림 10 소양강 발전소가 발전하지 않는 경우 배전선로 Loop 운전 모의

5.2 소양강 발전소가 발전할 경우 배전선로 연계사례 모의 및 분석

소양강 발전소가 발전 하는 상태에서 배전선로 Loop 운전을 모의하였다.

그림 10의 유효전력 그래프를 통하여 알 수 있듯 정상 상태에서는 석사 D/L은 5.2 MW의 전력을 춘천변전소 #1 M. Tr 으로부터 공급받으며, 강원 D/L은 6.7 MW의 전력을 남춘천변전소 #1 M. Tr. 으로부터 공급받고 있다. 춘천변전소 2차 배전 전압은 23.7kV, 남춘천변전소 2차 배전 전압은 23.1kV로 서로 상이하다. 이는 본절 (1)의 경우와 동일하며, 소양강 발전소가 발전함에 따라 그림 10의 위상 그래프처럼 5°의 위상차를 보이며 석사 D/L의 위상이 앞서고 있다.

Loop운전은 1초에 실시한 결과 석사 D/L에서 강원 D/L로 전력을 공급하게 되며, 석사 배전선로의 전력이 13.2MW가 되며, 전류는 331A로 증가하게 되므로 300A 초과로 배전선로의 과전류계전기로부터 Trip 신호가 발생하여 차단기가 개방된다. 이는 배전선로의 정상적인 정상적 운전이 불가능

함을 알 수 있다.

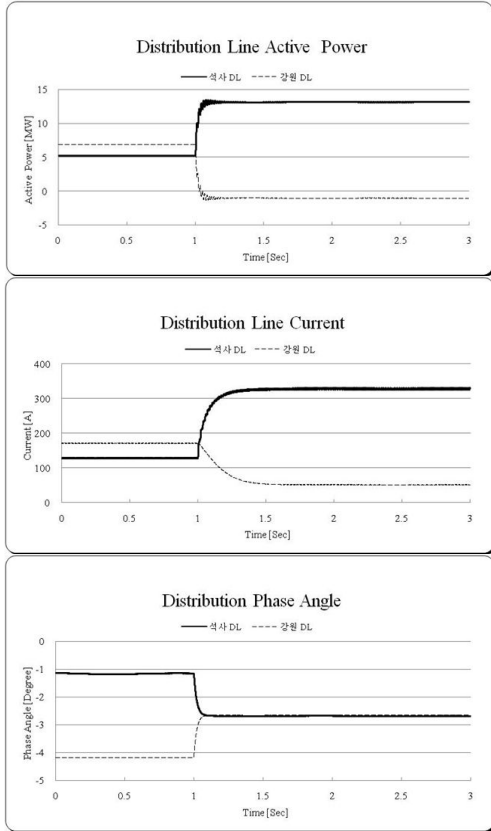


그림 11 소양강 발전소가 발전하는 경우 배전선로 Loop 운전 모의

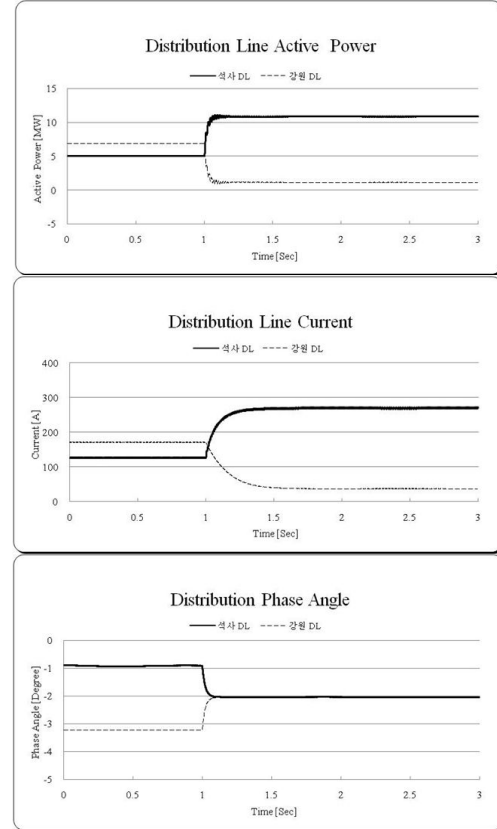


그림 12 소양강 발전소가 발전하는 경우에 연구 결과를 적용한 배전선로 Loop 운전 모의

6. 연구 결과를 적용한 실계통 연계 운전사례 모의분석

본 논문에서 배전선로간 Loop운전 사례연구를 통하여 다양한 원인으로 위상차가 발생하는 것 알 수 있으며, 그 결과를 이용하여 5절 (2)에 모델계통에 위상차가 줄어들 수 있도록 적용하여 보았다.

모의 상황은 5절 (2) 동일하며 석사 D/L 전력을 공급하는 춘천변전소 #1 M. Tr. 과 강원 D/L 전력을 공급하는 남춘천변전소 #1 M. Tr. 각각의 부하량을 동일하게 하기위해 남춘천변전소 #1 M. Tr.의 임의의 D/L을 같은 변전소의 다른 M. Tr.로 교체 하였으며, 변압기 탭조절을 통하여 석사, 강원 각 D/L의 전압의 크기 또한 오차범위안에서 동일하게 설정하여 모의 하였다.

그 결과 위상차가 3°를 넘지 않으며, 배전선로

간 연계운전 이후에도 석사 D/L의 전류가 300A를 넘지 않으므로 정상적이 연계운전이 가능하였다.

7. 결론

위와 같이 모의 결과 부하공급량 보다도 Loop되는 배전선로간 위상차가 3° 이상이 되면 배전선로에 정상적인 연계운영이 불가능하다는 것을 보여 주고 있다.

그리고 위상차가 발생하는 원인으로서는 공급변전소의 배전전압의 차이가 있는 경우, 변전소 부하의 차이, 주변압기의 부하차이 등에 의해 위상이 변화함을 알았고, 위상이 앞서는 쪽에서 뒤지는 쪽으로 전류공급이 편중됨을 알 수 있었다.

따라서 안정적인 전력공급을 위해서는 원칙적으로 같은 변전소 M. Tr Bank에서 공급되는 배전선로간의 Loop운전을 하고, 계통이 다른 변전소와 Loop 운영을 해야 할 경우에는 위상차가 생기지 않도록 각각의 변전소의 M. Tr Bank의 운전 상태를 파악한 후 전압 및 부하공급량이 비슷해지도록

변전소 M. Tr Bank 의 부하를 조정할 다음 선로 간 Loop 운전함이 바람직 할 것으로 판단된다.

전력기기의 점검이나 고장복구 등으로 인한 배전 Loop 운전 계획시 현재는 변전소의 M. Tr 로 공급할 수 있는 최대공급량과 D/L 로 공급할 수 있는 최대 부하량만 계산하여 부하절체계획을 작성하고 있는데, 앞으로는 Loop될 양변전소의 M. Tr의 탭에서 공급되는 D/L의 부하로 인한 전압 차이가 없도록 사전에 변전소 측에 요청하여 주변압기 Tap이나 부하를 조정하여 전압차이가 없도록 한 후 배전선로 연계 운전을 실시 하여야 한다.

춘천시 공급배전선로 실 계통 연계 운전 모의 분석에서 보듯이 소양강발전소의 발전을 하지 않을 경우라도 배전선로 연계 운전시 전류가 춘천 변전소나 남춘천 변전소로 편중되어 흐르며 연계할 배전선로의 부하를 각각 100A 이하가 되도록 부하를 절체 한 다음 운전하는 것이 바람직 하다.

소양강 발전소 발전시에는 발전전압으로 인하여 춘천변전소와 남춘천변전소의 위상차가 45° 이상 발생하므로, 배전선로간 연계운전을 지양하고 긴급한 상황이라면 연계운전을 하여야할 배전선로의 인출측 차단기를 개방한 후 연계 운전하여야 한다.

그리고 배전선로 신규 건설시 변전소간의 연계가 필요한지 충분한 검토가 있어야 할 것이고 배전선로간 연계운전을 하여야 할 경우라면 본 논문의 모의결과를 고려하여 춘천변전소와 남춘천 변전소 간에 연계점을 부하 상황들을 고려하여 신중히 결정하여야 한다.

참 고 문 헌

- [1] 송변전기술용어해설집, 한국전력공사 송변전처, 2001.
- [2] 유인변전소운전 기본반, 한국전력공사 중앙교육원, 2005.
- [3] 송전선로지역별 계통도, 한국전력공사 송변전처, 2007.
- [4] 변전설비현장 GUIDE BOOK, 한국전력공사 동해전력소, 2001.
- [5] 변전소 운전 길라잡이, 한국전력공사 서울전력관리처, 2002.
- [6] 최신 배전시스템공학, 대한전기학회, 2006.
- [7] 송길영, 신편 전력계통공학, 동일출판사, 2003.
- [8] 조남훈, “상정사고를 고려한 배전계통 최적연계 및 분할에 관한 연구”, 충남대학교 대학원 석사학위 논문, 2003.
- [9] 이철균, “배전자동화를 위한 정전복구전문가 시스템에 관한연구”, 광운대학교 대학원 석사학위 논문, 1996.
- [10] 문형배, “전력계통의 변전소 자동화에 대한

연구”, 서울산업대학교 산업대학원 석사학위 논문, 2006.

- [11] 김인상, “배전의 신뢰성 향상에 관한 연구”, 연세대학교 산업대학원 석사학위 논문, 1999.