

상시개방점 양단전압 측정값을 이용한 배전선로 루프운전 가능 여부 판단 방법

(Loop Current Calculation based on Voltage Angle Difference at Tie Switch
for Switching Plan Validation in Distribution System Operation)

손주환* · 임성일**

(Juhwan Son · Seongil Lim)

Abstract

Distribution systems are operated in radial structure, but temporal loop structure could be founded the live load transfer. Main purposes of reconfiguration of distribution network are load balancing, loss minimization and voltage drop maintaining. In the loop structure, huge loop current can be flowed between two substations in case of large voltage angle difference. Protection devices of distribution line can be triped by this huge loop current. So, precise calculation of loop current is very important for secure switching. This paper proposes a novel calculation method of loop current using the voltage angle differences measured at the tie switches. Feasibility of the propose method has been verified by various case studies based on Matlab simulation.

Key Words : Loop current calculation, Distribution system reconfiguration, Power flow calculation

1. 서 론

배전계통을 운전할 때 가장 중요한 것은 고장이 발생하였을 때 신속히 고장을 인지하고 고장구간을 계통으로부터 분리하여 안정적으로 전원을 공급하

는 것이다. 따라서 이러한 고장처리를 원활하게 처리하기 위해 배전계통은 정상상태일 때 개방상태로 운전되는 상시개방점을 이용하여 방사상 구조로 운전하고 있다. 상시개방점의 위치에 따라 배전선로의 선로 손실, 부하균등화, 복구능력 등 많은 요소들이 결정되기 때문에 상시개방점은 한곳에 계속 위치하는 것이 아니라 부하균등화[1-2] 손실최소화[3-5] 등의 이유로 상시개방점의 위치를 변경하며 운전한다. 상시개방점 변경 시 정전 없이 안정적으로 전원을 공급하기 위해 상시개방점을 투입하여 배전선로를 일시적으로 루프구조로 만든 후 변경하고자 하는 상시개방점을 개방하여 다시 방사상 구조로 만

* Main author : Dept. of Electrical Engineering,
Kyungnam University, Ph.D. Candidate
** Corresponding author : Dept. of Electrical Eng.,
Kyungnam University, Professor
Tel : 055-249-2630, Fax : 0505-999-2161
E-mail : slim@kyungnam.ac.kr
Received : 2015. 3. 16
Accepted : 2015. 6. 11

들어준다. 상시개방점을 투입하여 루프구조가 될 때 두 모선의 전압 위상차가 크면 과전류가 흘러 보호 기기가 동작할 수 있기 때문에 상시개방점 투입 여부를 판단하는 문제는 배전계통 운전 시 매우 중요하다.

기존 상시개방점 투입 여부는 조류계산을 이용하여 판단하였으며 배전계통 조류계산에 관한 연구는 활발히 진행되어 왔다. 방사상 배전계통 조류계산에 관한 연구로는 포워드-백워드 스위프 알고리즘을 이용한 방법[6], 백워드-포워드 스위프 알고리즘을 이용한 방법[7]이 선행되었다. 루프 배전계통 조류계산에 관한 연구로는 GBP(Generator Brake Point)와 LBP(Loop Brake Point)를 이용한 방법[8], 가우스 알고리즘을 이용한 방법[9], 뉴턴 알고리즘을 이용한 방법[10]이 선행되었다. 선행된 루프 배전계통 조류계산 알고리즘들은 일반적인 송전계통 조류계산 알고리즘을 이용하고 있다. 따라서 두 개의 발전기 모선 중 한 모선을 슬랙모션으로 모델링하고 나머지 한 모선을 유효전력과 전압을 기지값으로 하는 발전기 모션으로 모델링하고 있으며, 이때 유효전력 값은 방사상 구조일 때의 유효전력을 그대로 사용하고 있다. 하지만 상시개방점이 투입되어 루프구조가 되었을 때와 방사상 구조일 때는 부하 중점이 틀러지기 때문에 방사상 계통에서 측정된 데이터를 이용하여 계산된 유효전력을 조류계산에 이용하는 것은 적합하지 않다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 배전선로 상시개방점 양단에서 측정되는 전압 위상각차를 이용하여 루프가 되는 두 선로의 인출 단 전류를 계산하여 상시개방점 투입 여부를 판단하는 방법을 제안하고 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2.1장은 기존 루프운전 가능여부 판단 방법에 대해서 설명한다. 2.2장에서는 상시개방점 양단에서 측정되는 전압 위상각 정보를 이용하여 두 선로의 모션 전압 위상각 차이를 추정하는 방법에 대해 설명한다. 그리고 배전 계통 모델링 방법과 인출 단 전류를 계산하는 방법을 설명한다. 2.3 장에서는 사례연구를 통해 제안하고 있는 루프운전 가능여부 판단 방법의 정확성을 검증한다.

2. 본 론

2.1 기존 루프운전 가능여부 판단 방법

동일 बैं크에서 인출된 두 선로가 루프로 운전되는 경우에는 배전선로 인출단이 물리적으로 동일한 모선이기 때문에 하나의 슬랙모션이 있는 계통으로 모의할 수 있다. 따라서 선로 인출 CB를 슬랙모션, 개폐기를 부하모션으로 모델링하면 송전계통에서 사용하는 조류계산으로 손쉽게 해석할 수 있다.

그림 1은 개폐기 SW₃이 투입되어 모션 BUS₁에서 인출된 선로와 모션 BUS₂에서 인출된 선로가 루프가 된 경우를 나타내고 있다. 그림 1에서 보는 바와 같이 기존 송전계통 조류계산 모델링 방법을 적용하면 선로 인출 차단기인 CB₁과 CB₂는 발전기 모션, 개폐기인 SW₁에서부터 SW₅는 부하모션 그리고 구간 SEC₁에서 SEC₅는 임피던스로 모델링된다. 선로 인출 차단기를 발전기 모션으로 모델링하면 두 개의 발전기가 연결된 계통으로 모델링된다. 일반적인 조류계산 방법에서는 두 발전기 모션 중 한 모션을 슬랙모션으로 지정하고 나머지 한 모션을 유효전력과 전압을 기지값으로 하는 발전기 모션으로 모델링한 후 조류계산을 수행한다[9-10]. 이때 발전기 모선의 유효전력은 방사상 계통에서 측정된 전압, 전류 그리고 역률 데이터를 이용하여 계산하고 있다.

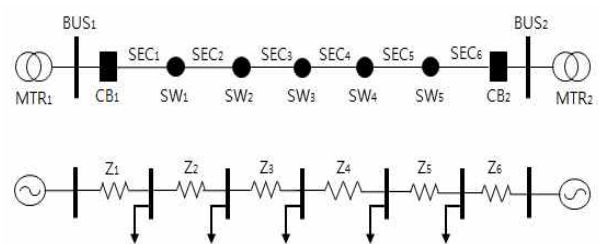


그림 1. 다른 모션 루프 모델링 방법
Fig. 1. Modeling of difference bus loop

그림 2는 방사상 구조에서 루프구조로 변경되면 부하중점이 달라져 각 모선의 전력 공급량이 달라지는 것을 나타내고 있다. 그림 1에서 보는바와 같이 방사상 구조로 운전되고 있는 경우 부하가 0이 되는 부하

중점은 상시개방점이다. 하지만 상시개방점을 투입하는 경우 부하중점이 다른 지점으로 변경되는 것을 알 수 있다. 따라서 방사상계통에서 측정된 데이터를 사용하여 계산된 유효전력을 그대로 루프구조에 적용할 경우 정확한 조류계산을 수행할 수 없다.

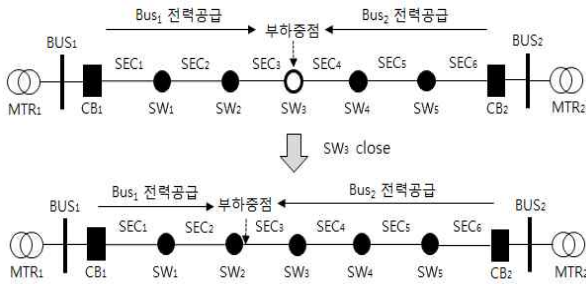


그림 2. 부하중점 변경 문제
Fig. 2. Changing problem of load center point

방사상 계통은 전원공급 루트가 하나이기 때문에 모선의 전압 위상각이 전류에 미치는 영향이 없다. 하지만 루프가 된다면 그림 3에서 보는 것처럼 전압의 위상각 차로 인해 과전류가 흘러서 차단기가 동작할 수 있다. 차단기가 동작하면 기존에 2개의 선로에서 공급 하던 전력을 하나의 선로에서 공급하기 때문에 과부하가 발생할 수 있고, 이로 인해 차단기가 동작할 수 있다. 그 결과 두 개의 배전선로가 정전이 발생할 수 있다. 따라서 방사상에서 측정된 데이터를 이용해 계산된 유효전력은 모선의 전압 위상각 차와 상관없기 때문에 유효전력을 사용해서 조류계산을 수행하면 차단기 동작여부를 확인할 수 없다.

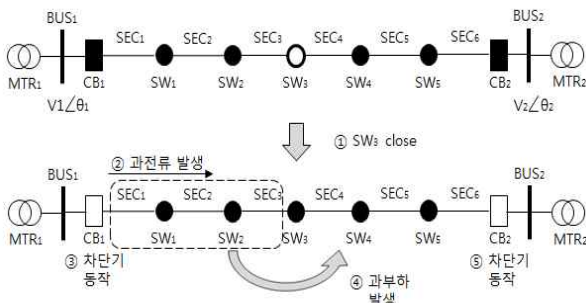


그림 3. 과전류 발생 문제
Fig. 3. Problem of occurring over current

2.2 상시개방점 전압 위상차 측정값 기반 루프운전 가능여부 판단 방법

본 절에서는 상시개방점 양단에서 측정되는 전압의 위상차를 이용하여 루프가 된 두 모선의 전압 위상차를 계산하는 방법을 설명한다. 다음으로 인출 단 전류를 계산하기 위한 배전계통 모델링 방법에 대해 설명한다. 마지막으로 계산된 전압 위상차를 이용하여 인출 단 전류를 계산하는 방법에 대해 설명한다. 그림 4는 상시개방점 양단에서 측정되는 전압 위상각 정보를 이용한 배전계통 조류계산 알고리즘의 전체 흐름도를 나타내고 있다.

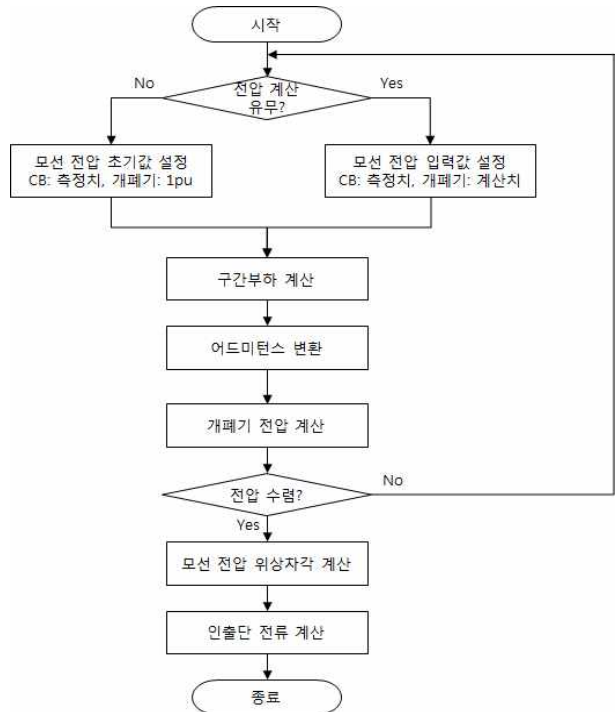


그림 4. 알고리즘 흐름도
Fig. 4. Flowchart of algorithm

2.2.1 루프선로 위상차 계산 방법

루프가 된 선로의 위상차는 다양한 방법을 이용해 계산할 수 있다. 처음으로 오프라인 전력 계통 해석 툴을 이용하여 루프계통 조류계산 수행 결과를 이용하는 방법이 있다. 배전선로의 전압 위상각은 송전계통의 발전량과 부하량, 그리고 현재 운전 중인 계통의

구성에 따라 결정되는 요소이다. 따라서 오프라인 틀을 이용해서 현재 계통의 발전량과 부하량을 입력한 후 계통을 해석한다는 것은 현실적으로 불가능하기 때문에 정확한 전압 위상각 차이를 계산하는 것은 매우 힘들다. 다음으로 루프가 되는 두 모선의 전압 위상각을 측정하는 경우이다. 측정값을 사용하기 위해서는 완전히 동일한 시점에서 측정된 정보를 사용해야 한다. 현재 시각동기를 맞춘 PMU(Phasor Measurement Unit) 설비가 개발되어 현장에 설치하고 있는 중이나 설비 설치비용 문제 등으로 인해 몇몇 중요 송전계통에 설치하고 있는 중이며 실제 배전선로에 설치되어 있는 PMU는 없다. 따라서 시각동기가 틀린 상태로 측정된 데이터를 이용하면 정확한 조류 계산 결과를 얻기 힘들다.

본 논문에서는 현재 설치되어 있는 상시개방점 양단에서 측정되는 전압 위상각 데이터를 이용하여 두 선로의 전압 위상각 차이를 계산하는 방법을 제안한다. 그림 5에서 보는 바와 같이 배전선로에 설치되어 있는 자동화 개폐기 양단의 전압의 크기와 위상각 차이를 측정할 수 있다. 이러한 자동화 개폐기는 현재 배전선로에 매우 많이 설치되어 있기 때문에 추가적인 설치비용이 불필요하다. 그리고 동일한 설비에서 측정하는 데이터이기 때문에 시각 동기가 맞는 측정값이다.

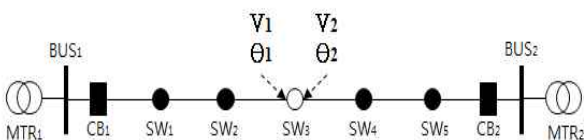


그림 5. 위상차 추정 방법
Fig. 5. Method of angle estimation

인출 선로의 전압 위상각은 송전계통의 발전량, 부하량에 의해 결정되는 요소이기 때문에 방사상 구조일 때와 루프 구조일 때 큰 차이가 나지 않는다. 따라서 현재 방사상 구조일 때 인출 선로와 상시개방점의 전압 위상차를 계산한다. 그림 5에서 차단기 CB1은 슬랙모선 그리고 개폐기 SW1, SW2, SW3을 부하모선으로 모델링한 후 일반적인 방사상 조류계산을 수행하

면 차단기 CB1과 개폐기 SW3의 전압 위상차를 계산할 수 있다. 그리고 차단기 CB2에서 인출되는 배전선로도 차단기 CB1과 동일한 방법으로 조류계산을 수행하면 차단기 CB2와 개폐기 SW3의 위상차를 계산할 수 있다. 따라서 차단기 CB1과 차단기 CB2의 전압 위상각 차이는 식 (1)로 표현할 수 있다. 식 (1)에서 θ_{12} 는 차단기 CB1과 차단기 CB2의 전압 위상차를 나타내고 있으며, θ_{tc1} 과 θ_{tc2} 는 각각 방사상 계통 조류계산으로 계산된 차단기 CB1과 상시개방점 SW3의 위상각 CB2와 상시개방점 SW3의 위상차를 나타내고 있다. 그리고 θ_{tm1} 과 θ_{tm2} 는 상시개방점 SW3 양단에서 측정된 전압의 위상각을 나타내고 있다.

$$\theta_{12} = (\theta_{tc1} - \theta_{tc2}) - (\theta_{tm1} - \theta_{tm2}) \quad (1)$$

2.2.2 계통 모델링 및 인출단 전류 계산

그림 6은 배전계통에서 측정되는 데이터들을 나타내고 있다. 그림 6에서 보는바와 같이 배전계통에서 사용할 수 있는 데이터로는 변전소 인출 CB에서 측정되는 전압, 전류, 전압과 전류의 위상차 정보와 자동화 개폐기에서 측정되는 전압, 전류, 전압과 전류의 위상차 데이터이다. 변전소 인출 CB에서 측정되는 모든 데이터는 변전소 내부라는 안정적인 환경에서 측정되는 데이터이기 때문에 측정오차가 매우 적다. 하지만 자동화 개폐기들은 자연환경에 노출되어 있어 약간의 측정오차가 발생하는데 특히 전압의 경우 측정오차가 매우 크다. 본 논문에서는 전압 측정 오차의 영향을 최소화하기 위해 자동화 개폐기에서는 전류 측정값과 전압과 전류의 위상각차 측정값을 이용한다. 인출 차단기에서는 전류, 전압 그리고 전류와 전압의 위상각차 측정값 모두 이용한다.

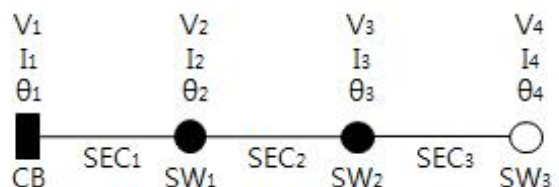


그림 6. 배전계통 측정 데이터
Fig. 6. Measurement of distribution networks

그림 7에서 구간 SEC₁의 부하는 차단기 CB₁의 유효 전력과 무효전력에서 SW₁의 유효전력과 무효전력의 차로 계산할 수 있다. 차단기 및 각 개폐기의 유효전력과 무효전력 계산은 식 (2)와 같고, V_k, I_k, θ_k는 각각 k번째 개폐기에서 측정되는 전압, 전류, 전압과 전류의 위상차를 나타내고 있다. 단 이때 차단기의 전압은 측정값을 그대로 사용하고 개폐기에서 측정되는 전압은 모두 1PU로 가정하여 차단기와 개폐기의 유효전력과 무효전력을 계산한다. 차단기와 개폐기의 유효, 무효전력을 계산하면 구간부하는 식 (3)을 이용해서 간단하게 계산할 수 있다. 식 (3)에서 P_{ssi}와 Q_{ssi}는 i번째 구간의 전원측 개폐기의 유효전력과 무효전력을 나타내고, P_{lsi}와 Q_{lsi}는 i번째 구간의 부하측 개폐기의 유효전력과 무효전력이다.

$$P_k + jQ_k = \sqrt{3} V_k I_k \cos\theta_k + j \sqrt{3} V_k I_k \sin\theta_k \quad (2)$$

$$P_{li} + jQ_{li} = (P_{ssi} - P_{lsi}) + j(Q_{ssi} - Q_{lsi}) \quad (3)$$

실제 배전계통의 각 구간에는 많은 수용가가 주상변압기로 연결되어 있다. 따라서 부하를 한 곳에 집중되어 있는 중앙 집중형 부하로 모델링하는 것보다는 균등 분포 부하로 모델링하는 것이 합리적이다. 그러나 배전계통의 특성 상 주상변압기 단위로 부하를 측정하는 것은 현재 계통 실정상 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 그림 7에서 보는 바와 같이 계산된 구간 전체의 부하를 양분하여 구간 양단에 각각 연결되어 있는 것으로 모델링하였다.

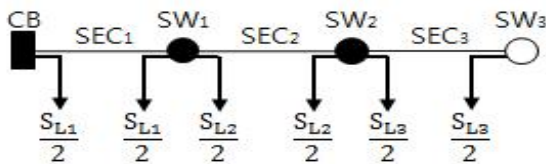


그림 7. 구간부하 모델링
Fig. 7. Modeling of section-load

그림 8은 배전계통의 구간과 부하를 각각 직렬 임피던스와 어드미턴스로 모델링한 등가 회로를 나타내고 있다. 구간의 임피던스 값은 구간의 선종과 공장에 따

라 결정되는 값이기 때문에 알 수 있는 값이다. 어드미턴스의 경우 어드미턴스가 연결되어 있는 지점의 전압은 차단기에서 측정되는 전압 또는 1PU로 대체된 개폐기 전압이기 때문에 알 수 있는 값이다.

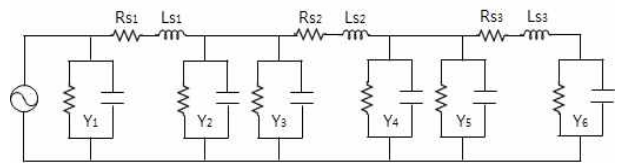


그림 8. 임피던스-어드미턴스 등가회로
Fig. 8. Equivalent circuit for Impedance-admittance

따라서 어드미턴스가 연결된 지점의 전압과 실제로 사용되는 유효, 무효전력을 알 수 있기 때문에 어드미턴스 값은 식 (4)를 이용하여 계산할 수 있다. 식 (4)에서 Y_i는 i번째 어드미턴스 값을 나타내고, P_i와 Q_i는 각각 i번째 어드미턴스에서 소모되는 유효, 무효 전력을 나타내고 있으며, V_i는 i번째 어드미턴스가 연결되어 있는 지점의 전압을 나타내고 있다.

$$Y_i = \frac{P_i}{V_i^2 \cos\theta} + j \frac{Q_i}{V_i^2 \sin\theta} \quad (4)$$

그림 9에서 V₁과 I₁은 차단기에서 측정되는 전압과 전류이기 때문에 알 수 있는 값이고 Y₁은 구간부하를 어드미턴스로 변환한 값이기 때문에 알고 있는 값이다. 따라서 어드미턴스 Y₁이 연결되어 있는 지점의 전압 V₁과 어드미턴스 Y₁의 값을 알고 있기 때문에 어드미턴스로 흐르는 전류 I₁₁을 계산할 수 있다. 따라서 I₁과 I₁₁을 알면 키르히호프 전류법칙으로 I₂를 알 수 있고, I₂를 알면 R_{s1}과 L_{s1}에서 발생하는 전압 강하를 계산할 수 있기 때문에 키르히호프 전압법칙으로 V₂를 계산할 수 있다. 기존에 V₂와 V₃의 초기값을 1PU로 설정하였기 때문에 실제 계산한 전압과의 차이가 발생한다. 따라서 계산된 전압을 사용하여 구간부하를 계산하고 어드미턴스 값을 계산하는 과정을 반복 수행하면 전압이 더 이상 변화하지 않고 수렴되는 값을 알 수 있다. 이때의 어드미턴스를 배전계통의 최종 부하 어드미턴스 값으로 결정한다.

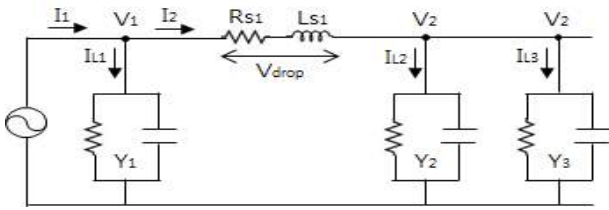


그림 9. 어드미턴스 계산
Fig. 9. Calculation of admittance

그림 10에서 임피던스와 어드미턴스 그리고 전원 V_1 과 V_2 의 값을 알면 가장 큰 전류가 흐르는 지점인 I_1 과 I_2 를 중첩의 원리를 이용하여 다음과 같이 계산할 수 있다. 가장먼저 V_2 를 단락시킨 후 I_1 을 계산하고 다음으로 V_1 을 단락시킨 후 I_2 을 계산한 후 두 값의 합으로 I 에 흐르는 전류를 계산할 수 있다. I_2 도 I_1 과 동일한 방법으로 계산할 수 있다.

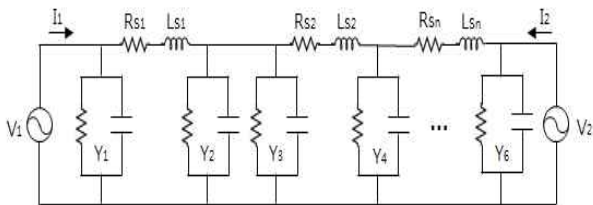


그림 10. 배전선로 전류 계산
Fig. 10. Calculation of current in the distribution line

2.3 사례연구

본 논문에서 제안하는 루프운전 가능여부 판단 방법의 유효성을 검증하기 위해 방사상 계통일 때 모선의 위상각 변화에 따른 유효전력의 변화량을 시뮬레이션하여 방사상 계통 유효전력 데이터가 루프운전 조류 계산의 입력 데이터로 적합한지 확인하였다. 그리고 루프가 되는 두 선로의 위상각 차이를 변화해 가며 제안하는 인출단 전류 계산을 수행하였다. 그림 11은 사례연구에 사용한 예제 계통을 나타내고 있다. 예제계통은 2개의 서로 다른 변전소에서 인출된 두 개의 배전선로로 구성되어 있다. 예제 계통의 모든 구간의 전력선과 중성선의 선종은 ACSR-032mm로 모델링하였으며, 각 구간의 공장과 부하는 표 1과 같다.

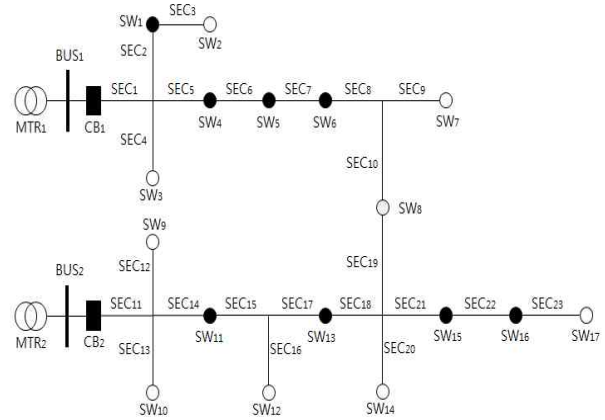


그림 11. 예제 계통
Fig. 11. The test system

표 1. 구간 정보
Table 1. Information of section

구간	P_load(kw)	Q_load(kvar)	공장(km)
SEC ₁	880	301	1.2
SEC ₂	370	146	2.5
SEC ₃	2058	722	4.2
SEC ₄	658	206	2
SEC ₅	324	115	1.2
SEC ₆	427	129	2.6
SEC ₇	330	96	2.8
SEC ₈	93	29	0
SEC ₉	252	94	4.7
SEC ₁₀	826	260	5.5
SEC ₁₁	213	81	1.8
SEC ₁₂	861	306	2.3
SEC ₁₃	107	39	0.5
SEC ₁₄	764	234	2.3
SEC ₁₅	985	361	2.6
SEC ₁₆	604	178	2.6
SEC ₁₇	107	37	1.7
SEC ₁₈	752	272	2.1
SEC ₁₉	962	362	2.2
SEC ₂₀	80	26	0.8
SEC ₂₁	1067	408	2.9
SEC ₂₂	968	321	2
SEC ₂₃	343	131	1.9

표 2는 방사상 구조에서 모선의 위상각이 변화할 때 배전선로 인출 지점의 유효전력 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다. 표 2에서 보는바와 같이 선로 인출 지점의 유효전력은 모선 전압의 위상각 정보와 상관없이 일정한 것을 알 수 있다. 따라서 방사상 계통에서 계산된 유효전력 데이터를 그대로 루프 조류계산에 적용하면 모선전압의 위상각차이와 상관없이 항상 동일한 값으로 계산된다는 것을 알 수 있다.

표 2. 모선 위상각에 따른 유효전력 변화
Table 2. Active power variation for bus angle

위상각		유효전력	
모선1	모선2	모선1	모선2
0	0	1.47MW	2.05MW
0	5	1.47MW	2.05MW
0	10	1.47MW	2.05MW
0	15	1.47MW	2.05MW
5	0	1.47MW	2.05MW
10	0	1.47MW	2.05MW
15	0	1.47MW	2.05MW
5	-5	1.47MW	2.05MW
10	-10	1.47MW	2.05MW
-5	5	1.47MW	2.05MW
-10	10	1.47MW	2.05MW

표 3. 모선 위상각에 따른 전류 변화
Table 3. Current variation for bus angle

모선 위상차	전류	
	모선1	모선2
-15	159A	308A
-10	139A	242A
-5	155A	176A
0	198A	110A
5	254A	44A
10	316A	27A
15	382A	91A

표 3은 모선의 위상각을 변화해가며 제안한 알고리즘을 이용하여 인출단 전류를 계산한 결과를 나타내고 있다. 표 3에서 보는바와 같이 모선의 위상각 차이

가 커질수록 선로 인출단의 전류가 커지는 것을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 자동화 개폐기 양단에서 측정되는 전압의 위상차 정보를 이용하여 두 모선의 위상각차 정보를 계산하고 이 데이터를 이용해서 인출단 전류를 계산하여 상시개방점 투입여부를 판단하는 방법을 제안하였다. 그리고 사례연구를 통해 기존에 사용하던 방사상 구조일 때의 유효전력을 사용하는 것보다 위상각 정보를 사용하는 것이 루프구조 해석 시 더 유용함을 검증하였다. 본 논문에서 제안하는 상시개방점 투입 여부 판단 방법을 배전계통 운전 시 적용한다면 보호계전기 오동작 없이 효율적으로 연계점을 변경할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임.
(NO. 2013R1A1A2011724)

References

- [1] Y. L. Ke, "Distribution feeder reconfiguration for load balancing and service restoration by using G-nets inference mechanism," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 19, pp.1426-1433, July. 2004.
- [2] M. W. Siti, D. V. Nicolae, A. A. Jimoh, "Reconfiguration and Load Balancing in the LV and MV Distribution Networks for Optimal Performance," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 22, pp.2534-2540, Oct. 2007.
- [3] F. V. Gomes, S. Carneiro, J. L. R. Pereira, M. P. Vinagre, P. A. N. Garcia, L. R. de Araujo, "A New Distribution System Reconfiguration Approach Using Optimum Power Flow and Sensitivity Analysis for Loss Reduction," IEEE Trans. Power Syst, vol. 21, pp.1616-1623, Nov. 2006.
- [4] E. M. Carreno, R. Romero, A. Padilha-Feltrin, "An Efficient Codification to Solve Distribution Network Reconfiguration for Loss Reduction Problem," IEEE Trans. Power Syst, vol. 23, pp.1542-1551, Nov. 2008.
- [5] A. Augugliaro, L. Dusonchet, M. G. Ippolito, E. R. Sanseverino, "Minimum losses reconfiguration of MV distribution networks through local control of tie-switches," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 22,

- pp.2534-2540, Oct. 2007.
- [6] U. Eminoglu, M. H. Hocaoglu, "Distribution Systems Forward / Backward Sweep based Algorithms: A Review and Comparison Study," *Electric Power Comp and Sys*, vol. 37, pp.91-110, May, 2009.
 - [7] G. W. Chang, S. Y. Chu, h. I. Wang, "An Improved Backward/Forward Sweep Load Flow Algorithm for Radial Distribution Systems," *IEEE Trans. on Power Syst*, vol. 22, pp.882-884, May, 2007.
 - [8] M. H. Haque, "A general load flow method for distribution systems," *Electric Power Syst Research*, vol. 54, pp.47-54, April, 2000.
 - [9] T. H. Chen, M. S. Chen, K. J. Hwang, P. Kotas, A. E. Chebli, "Distribution System Power Flow Analysis - A Rigid approach," *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 6, pp 1146-1152, July, 1991.
 - [10] H. L. Nguyen, "Newton-Raphson Method in Complex Form," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol.12, pp.1355-1359, Aug, 1997.

◇ 저자소개 ◇



손주환(孫周煥)

1983년 1월 24일생. 2009년 경남대학교 전기공학과 졸업. 2011년 동 대학원 첨단공학과 석사과정 졸업(석사). 현재 동 대학원 첨단공학과 박사과정.

Tel : (055)298-9906

E-mail : juhwan.son@gmail.com



임성일(林星日)

1967년 7월 10일생. 1994년 명지대학교 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 석사과정 졸업(석사). 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 경남대학교 전기공학과 교수.

Tel : (055)249-2630

E-mail : slim@kyungnam.ac.kr