

3.1.2 전기품질 분석 알고리즘 정립

전기 품질을 감시하기 위해서는 배전계통에 공급되고 있는 전압, 전류 등을 적절하게 변환하여 프로세서에 입력되어야 한다. 현재 배전자동화용 단말장치는 자동화개폐기로부터 전압과 전류를 입력받고 있다. 전압의 경우 상-대지간에 13,200V 가 걸리는 경우 이를 캐패시터를 이용하여 변환하여 수 V 정도로 낮추어서 FRTU에 입력되도록 하고 있으며, 전류의 경우도 변류비가 1000:1인 CT를 자동화개폐기 북싱에 내장하여 아주 작은 전류값으로 변환 한 후 이를 다시 전압값으로 바꾸어 FRTU에 입력시키고 있다. 전기 품질을 감시하는 프로세서는 바로 이러한 전압, 전류 공급원을 가지고 전기의 품질을 분석해야 한다. 전기 품질 감시 항목이 정해지면 마이크로프로세서에서 이를 어떻게 분석할 것인지 각각의 감시 항목별 분석 알고리즘을 정하여야 한다.

3.1.3 실시간 전기품질 감시 프로세서 개발

현재의 배전자동화용 FRTU는 입력되는 전압 및 전류의 파형을 한 주기 당 16샘플링 정도로 분해하여 해석하도록 설계되어 있지만 순간적으로 변하는 전기의 품질을 해석하기에는 부족하다. 따라서 전기 품질을 감시하는 마이크로프로세서는 최소한 64샘플링 내지 128샘플링 정도로 빠르게 분해하여 해석하는 프로세서가 선정되어야 한다. 이때 사용하는 프로그램 Tool은 시장에서 쉽게 접할 수 있는 범용의 Tool로서 값이 싸고 향후의 유지보수 시에도 추가 비용이 들어가지 않는 것을 선정할 예정이다.

3.1.4 실시간 전기품질 분석 소프트웨어 개발

마이크로프로세서와 Tool이 선정되면 앞에서 정립된 알고리즘을 이용하여 전기 품질을 분석하는 프로그램을 개발한다. 여러 가지 감시 항목에 대한 프로그램을 설계하되 각각의 전기 품질 항목들이 유기적으로 몰려 돌아가는 프로그램이 되어야 하며, 분석된 파형은 적당한 범위를 정하여 저장하며, 해석결과를 적당한 크기의 파일로 저장된다. 또 이 값을 통신네트워크를 통해 전송할 수 있도록 적당하게 가공되어야 한다. 또, 측정 데이터를 메모리에 저장하여 관리하다가, 주장치의 명령이 있을 경우 이를 해석하여 해당 데이터를 재전송하는 기능이 구현되어야 한다.

3.1.5 이상 파형 MMI 화면표시 인터페이스 개발

전송된 전기 품질 감시 파형이나 값들은 배전자동화 시스템의 MMI 화면에서 다시 운용자가 볼 수 있도록 원래 상태로 재현되어야 한다. 사용하는 프로그램 언어는 C++을 사용하여 기존의 배전자동화 프로그램과 호환이 되어야 하며, 별도의 Tool을 사용하지 않음으로서 경제적인 유지보수가 가능해야 한다. 개발된 MMI 화면표시 프로그램은 배전자동화 응용 프로그램에 수용되게 될 것이다. MMI에 표시된 데이터는 데이터베이스에 저장되어야 하며, 운용자의 명령에 따라 적절한 보고서 형태로 출력이 가능하다.

3.2 상시개방점 최적화

배전 계통 재구성은 계통내의 연계 개폐기와 구분 개폐기의 위치 및 상태의 변화를 이용하여 배전 계통의 구조를 변경하는 것이다. 배전 계통의 재구성은 전력 손실 감소, 선로간의 부하 불 평형 시정, 정전 구간의 축소 등의 목적에 의해 시행된다. 이는 배전 계통의 운전 중 운전조건의 변화 및 과부하의 발생에 의한 것으로 계통의 전체 손실을 감소시키고 부하 평형의 측면에서 매우 중요하다. 배전 계통 재구성의 초기 연구는 분지 한계법(Branch and Bound)으로 모든 개폐기를 닫은 상태의 망

배전계통으로 시작해서 연속적으로 개폐기를 열어가며 계통의 손실을 계산하는 방법이었다. 분지 한계법은 최적해의 유도가 기대되는 부분으로 나누는 분지(Branch)와 각 분지된 부분에서의 해의 한계(Bound)를 통하여 탐색하는 기법이다. 배전 계통의 재구성 문제에 이 기법을 이용하여 많은 연구가 진행되었지만 모든 개폐기를 닫아 망 구조를 시작하는 분지 한계법은 계통의 크기가 커지면 고려할 부분이 커지고 상대적인 선로 손실 차이를 어떻게 정하느냐에 따라서 계산 값이 크게 달라지기 때문에 대규모 배전 계통에 적용하기 어려움이 많은 알고리즘의 한계가 있었다[4.3]. 본 연구는 분기 교환법(Branch Exchange)을 기반으로 배전계통 재구성 문제를 연구하였다. 분기 교환법은 배전계통에서 구분 개폐기와 연계 개폐기의 쌍을 선택하여 개폐기의 상태를 변경함으로써 계통의 구성을 바꾸는 방법으로, 이 기법은 현실적으로 수용할 만한 해를 제공해 주지만 최종 계통 구성이 초기의 개폐기 상태에 영향을 받기 때문에 국부해(local minimum)에 빠지는 단점을 갖고 있는 어려움이 있었다. 현재 많은 연구자들은 조합적인 최적화 문제에 좋은 해를 제공하는 시뮬레이티드 어닐링(simulated annealing) 알고리즘, 전문가 시스템(expert system) 등을 이용하여 배전 계통의 재구성 문제를 연구하였지만 각각 알고리즘의 한계로 인하여 적용에 어려움을 겪어 왔다. 최근에는 배전 계통 재구성에 적용되는 알고리즘으로는 여러 가지의 알고리즘을 조합하는 하이브리드 형 알고리즘으로, 각각의 알고리즘의 장단점을 상호 보완하여 알고리즘의 효율성을 높이고 있다. 이러한 알고리즘들을 이용하여 배전 계통의 재구성 문제를 포함한 전반적인 배전계통 운용문제에 많이 적용되고 있다. 본 연구는 현실적으로 수용할 만한 해를 제공한다는 점과 다른 알고리즘에 비해 해가 빠르게 수렴한다는 점에서 하이브리드 방식에 적용할 수 있는 분기 교환법을 사용한다.

배전 계통은 네트워크로 구성되어 있는 환경을 스위치의 개폐로 방사상으로 만들어 구성되어 있다. 그렇기 때문에 스위치의 개폐상태에 따라 전력 손실의 차이는 크게 날 수 있다. 이에 배전 계통을 최소 손실 점에 맞추어 구성하는 것이 중요하다. 그러나 배전계통의 부하는 빨리 변하기 때문에 처음에 맞추었던 최소 손실점이 계속 최소 손실점이 될 수 없다. 따라서 상황에 맞는 배전 선로의 재구성(Reconfiguration)이 필요하게 된다. 배전 계통은 방사상이기 때문에 계통의 방사상 구성원칙을 지키는 것이 중요하다. 또한 <그림 1>에서 개방점 스위치인 S1은 선로 F1과 F2 사이에 쌍을 이루고, S2는 F2와 F4 사이에 쌍을 이룬다. 이와 같이 하나의 쌍에서 방사상 구성원칙을 지키면서 스위치를 이동하면서 손실이 최소화되는 곳을 찾는다. 이것을 통하여 2가지 조건을 찾을 수 있다.

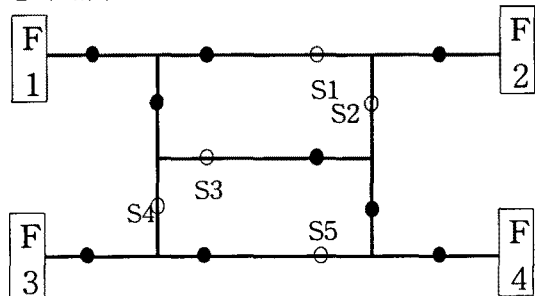


그림 1. 배전계통 스위치의 예

○ 하나의 쌍의 손실이 줄어들면 전체의 손실이 줄어든다.

○ 하나의 쌍이 방사상이 만족이면 전체도 방사상 구상원칙이 만족된다.

이와 같은 조건을 만족하도록 계속 스위치를 개폐하면서 진행하다가 더 이상 손실점이 줄어들지 않으면 끝난다. <그림 2>는 분기교환법의 알고리즘 흐름도이다.

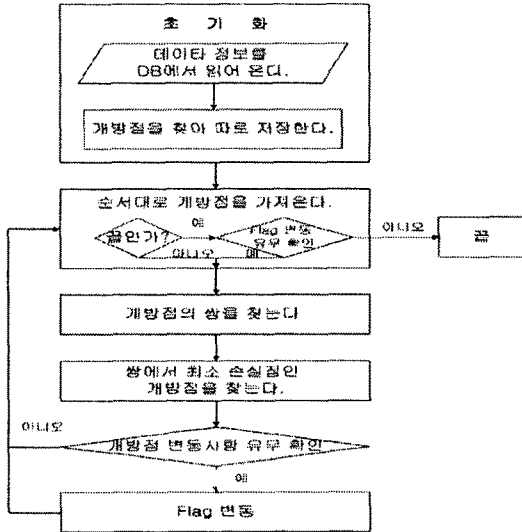


그림 2. 분기 교환법 알고리즘 흐름도

3.3 배전계통 복구능력 및 보호능력 평가

배전계통 운용에 있어서 계통의 운전조건 및 부하조건 위반 발생시 이를 해결하기 위한 적절한 방안과 실행방법 제시가 요구되며, 계통이 정상상태에 있을 경우 현재 계통의 운전여건을 앞으로 발생할 사건들로부터 대비하여 개선하기 위한 계획을 수립하고 실행하는 기법을 필요로 한다. 배전 계통은 방사상으로 운용되므로 배전계통에서 고장 발생시 이를 해결하기 위해선 고장이 발생한 구간을 분리하고, 건전한 정전구간을 이웃한 연계선으로 절제하여 계통을 복구하는 것은 매우 중요한 문제이다. 이를 위해서 각각의 선로들은 일정량의 공급여유용량을 가지고 운용되어진다. 현재 한전의 배전선로의 회선당 허용 용량은 평상시 10,000[kVA], 비상시 최대공급용량 14,000[kVA]로 운영하고 있으며, 배전선로는 회선당 3분할 3연계를 기준으로 한 선로당 3.5대의 자동화 개폐기가 설치되고 있다. 하지만, 이러한 공급여유용량이 확보하는 계통 운용은 선로 이용률을 저하시키는 직접적인 원인이 되며 전력시스템에서 우선시되는 안정적인 전력공급이라는 문제와 상충된다. 최근 개발된 배전자동화 시스템의 도입으로 인하여 계통의 온라인 정보를 근거로 한 실제 계통의 상태를 모니터링하고 계통의 위반(violation state) 또는 정전상태 발생시 이에 대한 정보를 효율적으로 제공하고 발생한 일련의 사건들에 대한 원격제어 및 운용계획 설정이 가능하게 됨으로써 앞에서 언급한 전력의 안정적인 공급과 계통선로의 이용률 향상이라는 서로 상충된 문제에 대한 접근이 가능하게 되었다. 현재 배전계통에서의 고장 발생시 발생하는 정전구역을 최대한 짧은 시간내에 계통의 운전조건 위반이 없는 새로운 계통으로 복구하고 이를 실행하기 위한 적절한 스위칭 순서를 결정하는 복구 절차 문제(restoration strategy)에 대한 해결방법은 다음과 같이 4가지로 분류된다.

- 직관적인 방법을 이용하는 Heuristic Approach
- 배전운영자의 전문지식을 이용하는 Expert System
- 빠른 계산시간의 Mathematical Programming
- Soft Computing (신경회로망, 유전알고리즘, 퍼지 로직 등)

본 연구에서는 배전계통에서 발생할 수 있는 상태들을 정의하고 계통에 고장발생시 고장 구간의 최소화를 위한 고장 구간의 분리 및 건전한 정전구간에 대한 복구 절차(service restoration)에 앞서 현재의 배전계통이 고장발생시 어떤 임의의 선로에서 계통의 복구 가능성 여부를 결정지을 수 있는 복구능력(restoration capability)을 수치화한 복구능력 평가 지수를 제시할 예정이다.

지금까지 설명된 복구도와는 다른 개념으로 현재의 배전계통에 고장이 발생하였을 때 어떤 임의의 선로에서 계통의 복구 가능성 여부를 결정지을 수 있는 복구능력(restoration capability)을 수치화한 복구능력 평가 지수를 제시한다. 배전 계통의 공급신뢰도에 가장 큰 영향을 미치는 요소 중의 하나는 고장 발생 시 상황을 정확히 판단하여 고장구간을 최소화하는 보호기능으로서 이는 OCR, Recloser, Sectionalizer, Fuse 등의 보호기기에 의하여 실현되고 있다. 이들 보호기기들의 동작값들은 이웃한 기기들과 보호협조를 이루도록 조정되어야 하는데 이들의 조정 및 협조점들은 정해진 운전 상황, 즉 특정한 고장상황 및 계통운용 상태 등을 기준으로 검토되고 있으므로 계통구성의 변경 등 운전상황의 변동 시에는 요구되는 보호기능을 충족시키지 못할 수가 있다. 이 경우 정전구간이 넓어지고 고장 복구시간이 오래 걸리는 등 공급신뢰도를 크게 저하시키는 원인이 된다. 보다 신뢰도 높은 배전 계통의 운용이 이루어질 수 있게 하기 위해서는 계통의 운전상태 변화에 따라 보호기기들의 동작치를 자동적으로 최적의 값으로 변화시켜 항상 최적의 보호 Scheme이 확립될 수 있도록 하는 적응보호시스템의 개념의 도입이 요구된다. 고정된 운전상황을 기준으로 하는 종래의 보호시스템의 고정 협조 개념은 부하의 변동과 계통구성의 변경 등 운전상황의 변동 시에 요구되는 변동기능을 충족시키지 못할 수 있는 명확한 한계점을 갖고 있다. 보호기기의 정확한 동작이 이루어지지 않을 경우 정전구간이 넓어지고 고장복구 시간이 오래 걸리는 등 공급신뢰도는 크게 저하시키게 되며 그 결과로 야기되는 피해는 매우 클 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 계통의 운전상태 변화에 따라 보호기기들의 동작치를 최적의 값으로 변화시켜 항상 최적의 보호시스템이 확립될 수 있도록 하는 새로운 적응보호시스템의 개념의 도입이 절대적으로 필요하다. 이러한 최적 보호시스템 확립을 위한 배전 계통의 객관적 성능지표로서 보호도(Protectability) 개념을 제시한다. 보호도란 보호계통의 각 평가지수들에 대한 보호능력을 평가하는 새로운 방법으로서 평가에 필요한 속성들을 파악하여 계층적 평가모형을 제시하고, 특정 결합 룰을 이용하여 각 속성에 대한 지수들의 합으로 나타낸 것이다. 따라서 현재 계통에 설치된 보호기기들의 성능을 평가할 수 있고 계통에 설치된 보호기기들의 성능을 평가할 수 있는 객관적인 성능지표로 사용될 수 있다.

[참고 문헌]

- [1] 전력연구원, "배전자동화용 응용프로그램 개발 및 시스템간 연계에 관한 연구 최종보고서", 2002. 12
- [2] 전력연구원, "배전자동화 기반의 배전계통 최적운전 기법 개발 분기보고서", 2003. 5
- [3] Pennwell, "Distribution Automation Solutions for Success" DitribuTECH 2001 USA, 2001. 2