

고장에지를 위한 지능형기기 기반 배전운영시스템

(Intelligent distribution equipment based distribution management system
for fault prediction)

이학주* · 김주용 · 추철민 · 김준일

(Hak-Ju Lee · Ju-Yong Kim · Cheol-Min Chu · Joon-Eel Kim)

Abstract

Various database and analysis system has been used for the cost effective maintenance of distribution facility but it is not effective because of the lack of interconnection among these systems. In order to overcome this problem this paper proposes reliability centered maintenance system based on the on-line monitoring of distribution system through intelligent distribution equipment. This system is made by the interconnection of distribution automation system, asset management system, failure analysis system and failure mode effect analysis system.

1. 서론

배전기자재를 효율적으로 고장 발생이전에 유지 보수하고 교체하기 위해 다양한 시스템이 운영 중에 있으나, 이들간의 데이터 연계가 부족하여 단편적이고 확실적인 방법으로 유지보수 업무가 수행되고 있다. 이러한 문제점을 개선하고 미래 배전계통 운영시스템인 스마트 배전운영시스템에 탑재되어 운영될 수 있는 신뢰도 기반 온라인 배전기자재 유지보수 기법 개발을 위해 현재 사용 중이거나 개발되고 있는 배전지능화시스템, 자산관리시스템, 고장원인분석시스템 및 고장모드 파급효과 분석시스템의 데이터 연계방법과 운영방법을 제안하였다. 그리고 진단센서를 내장한 지능형 배전기기를 활용한 고장에지시스템 구축 방법에 대해 검토하였다.

2. 본론

2.1. 현재의 배전운영시스템

국내외 전력시장의 개방과 전력수요 증가의 둔화에 따라 전력사들은 경영효율 향상을 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 그중에서도 전력설비의 경제적인 투자계획 수립은 설비 투자를 최소화하고 효율적으로 수행하기 위해 매우 중요한 사항이다. 또 전력 수요자들의 고품질 전력에 대한 요구가 증가함에 따라 전력설비의 신뢰도는 그 어느때 보

다 중요한 요소로 관리되고 있다. 그러나 현재까지 전력설비들은 시간에 따른 유지보수 개념인 TBM(Time Based Maintenance)과 고장빈도에 따른 EBM(Event Based Maintenance) 전략에 의해 운영되어왔으나 최근들에는 전력설비의 열화상태를 고려한 CBM(Condition Based Maintenance)과 신뢰도를 기반으로 하는 유지보수 전략인 RCM(reliability centered maintenance)기법을 적용하기 위해 노력 중에 있다. 한편 배전지능화시스템 개발과 함께 전력설비가 진단센서를 내장하게 됨으로써 현장에 설치된 기자재의 열화상태에 대한 정보를 실시간으로 수집가능하게 되었다. 또 배전설비 고장에 대한 원인분석을 위한 고장원인분석시스템과 고장별 파급효과를 분석할 수 있는 고장모드와 파급효과 분석시스템의 개발이 진행 중에 있다. 그리고 이와는 별도로 배전기자재의 투자계획수립을 목적으로 자산관리시스템을 구축하여 운영하고 있다. 이와 같이 배전기자재에 대한 유지보수와 투자계획 수립을 위한 다양한 시스템이 개발중이거나 활용중에 있으나, 이들간의 효율적인 연계방법과 데이터 활용에 대한 검토가 부족한 실정이다.

이상과 같이 현재 배전기자재의 유지보수나 교체 우선순위는 단순히 사용기간과 고장발생건수를 근거로 이루어지거나 주기적으로 수행하는 현장 열화진단 결과를 근거로 결정되고 있으며, 배전 기자재와 관련된 각종 데이터를 효과적으로 연계되지 못함에 따라 투자계획의 신뢰도가 낮고 유지보수 비용이 높은 반면에 고장률은 크게 개선되지 못하고 있다.

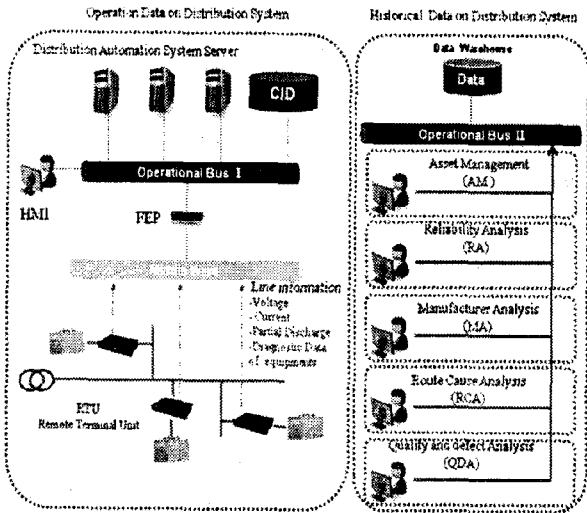


그림 1. 현재의 배전운영시스템
Fig.1. Current distribution management system

2.2. 신뢰도 기반 배전운영시스템

신뢰도를 기반으로 한 유지보수방법은 설비의 특성 및 운영환경에 따른 설비의 중요도와 고장파급효과를 고려하여 가장 효율적이고 경제적인 유지보수 기법을 결정하는 것이다. 최근 국내에서는 지역별로 환경조건을 고려하여 유지보수하거나 배전계통 신뢰도, 수용가측 신뢰도, 계통 신뢰도를 평가하여 유지보수 계획을 수립할 수 있는 자산관리 시스템을 개발하고 적용 중에 있으나, 고장데이터의 정확성 부족 및 실시간 데이터 갱신체계가 미흡하여 실질적인 활용에는 한계가 있다.

한편 지리정보와 함께 배전계통 및 설비의 정보를 보유하고 각종 계통과 관련된 이력, 점검데이터, 고장데이터 등이 신배전정보시스템(NDIS)에서 관리되고 있어, 배전선로 유지보수 및 운영시 이 데이터를 활용하고 있다.

그러나 선로 운영 및 유지보수와 관련된 데이터의 실시간 갱신이 효과적으로 이루어지지 않아 이 데이터를 활용하는 타 시스템의 신뢰도도 높지 않은 상태이다.

그러므로 NDIS의 설비데이터, 고장데이터와 배전자동화 시스템으로 전송되는 각종 기기의 상태 정보를 활용하여 배전기자재를 신뢰도성능중심 유지보수 시스템을 운영할 필요가 있다. 이를 위해 배전자동화 시스템으로 전송되는 각종 기기 상태 정보는 각 기기별 고장율과 고장시 계통 신뢰도 영향을 고려하여 유지보수 여부를 결정하는데 사용하고, 유지보수는 RCA 데이터 분석을 통한 고장모드를 바탕으로 PM(Preventive Maintenance) 법을 결정할 수 있을 것이다.

동일한 설비라 하더라도 고장모드와 고장 심각도, 제작사에 따라 유지보수 전략을 다르게 운영함

으로써 계통 신뢰도를 저해하지 않으면서 불필요한 유지보수 비용을 줄일 수 있을 것이다. 이러한 시스템의 구현이 가능하기 위해서는 RCA를 통한 고장모드에 대한 분석이 우선 완료되어야 하며, 그 후 각 고장모드별 FMEA를 통해 고장파급효과를 파악 가능해야 한다. 이때 각 고장파급효과는 계통의 신뢰도를 고려한 것이어야 한다. 또 각 설비의 고장모드와 고장파급효과 분석은 각 설비별로 수행 가능한 PM 방법들을 선정 가능하게 한다.

현재 구성 가능한 RCM 시스템은 지금까지 각 장비의 고장율, 계통 신뢰도, 유지보수 비용, 신뢰도 개선효과 등을 고려하여 설비별 유지보수 방법과 주기를 제시할 수 있으며, 데이터 확충을 통해 계속 보완해 나가는 형태가 되어야 할 것이다.

현재 국내에서 개발되어 운영중인 자산관리 시스템은 중장기적인 계통의 신규건설 및 교체계획 수립을 위해 각 자산의 고장율을 바탕으로 선로별 신뢰도를 산출하는 방식으로 유지보수 우선순위를 결정하고 있다. 그리고 각 기자재별 교체에 따른 신뢰도 향상 효과를 비교할 수 있도록 함으로써 담당자로 하여금 설비별 투자 우선순위 결정을 가능하게 한다.

이와 같은 자산관리 방법을 통해 각 기자재의 설치위치에 따라 고장에 따른 민감도를 계산할 수 있을 것이다. 이렇게 계산된 민감도에 따라 설비의 유지보수 방법 및 간격을 상황에 따라 다르게 결정할 수 있다.

그러나 현재 국내에서는 RCM을 효과적으로 운영할 수 있을 정도로 데이터가 축적되지 않은 상태이고, 데이터 관리체계도 확립되지 않은 상태이다. 그러므로 설비운영 및 고장에 대한 체계적인 데이터 관리방안을 마련하고 여러 시스템간의 효율적인 연계방안을 고려하여 RCM 시스템 운영체계를 구축이 선행될 필요가 있다.

그림 2는 이러한 각각의 운영시스템을 통합 연계한 분석프로세서를 나타낸 것이다. 이러한 통합 연계 프로세서를 통해 실시간 신뢰도 기반 유지보수 시스템을 구현하기 위해서는 먼저 배전지능화 시스템에서 배전기기로부터 열화 데이터를 취득하고 이 데이터가 미리 설정된 이상유무 판단기준과 비교하여 이상 징후로 판단되면, 고장 영향 분석프로세서로 실측 열화 데이터를 전송한다.

열화데이터를 전송받은 고장영향분석 프로세서는 해당기기의 기능정의, 고장유형분석, 시스템에서의 고장영향분석하고 이러한 분석결과에 따라 고장영향에 따라 분류하고 원인을 분석하여 시스템 상에서의 위험도를 판정하여 대책을 수립하는

절차를 진행한다.

이후 고장률 분석 프로세서를 진행한다. 해당기기와 관련한 과거 이력데이터, 환경조건 등의 데이터가 NDIS에 존재하지 않을 경우에는 지능형 배전기기에서 검출된 열화데이터를 이용하여 기기의 열화분석을 수행하고 해당기기의 이력데이터가 존재할 경우 고장영향분석프로세서에서 고장유형분석을 수행하여 다중고장모드 유무를 분석하여 다중 혹은 단일 고장모드를 분류하여 고장률 산출프로세스를 수행한다. 최종적으로 시스템 신뢰도 평가프로세서에서 산출된 고장률 및 검출된 열화 데이터를 이용하여 해당기기의 평균수명을 산출하고 이후 산출된 평균수명을 바탕으로 고장영향 평가프로세서에서 위험도 순위평가를 수행하며 동시에 시스템 신뢰성을 평가하며 한다. 평가된 시스템 신뢰성은 비용분석을 위한 정전비용 평가를 하여 경제성 분석에 이용한다.

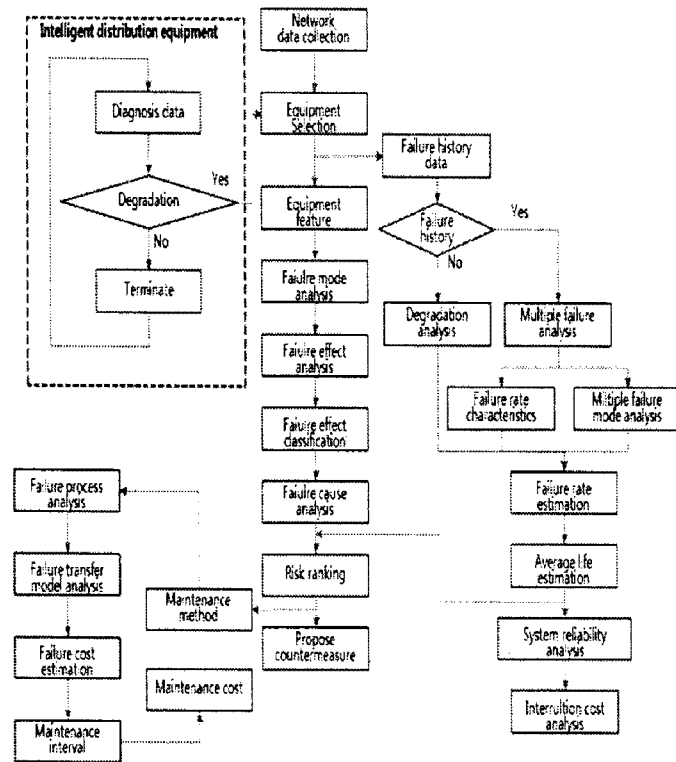


그림 2 신뢰도 기반 유지보수 프로세스
Fig.2. Reliability centered maintenance process

배전지능화시스템은 모든 기기에 대해 적용 가능한 유지보수 방법을 내장하고 있어서 신뢰도 기준에 만족되지 않을 경우 이를 개선할 수 있는 유지보수 방법을 제시할 수 있어야 한다. 특히 신뢰도 기준이 매우 불량하여 신속한 조치가 필요한 경우에는 해당기기를 선로에서 자동분리한 후 유지보수 하는 방법을 제시할 수도 있다. 이를 위해 고장영향분석 프로세서에서 산출되는 위험도 순위

선정 결과를 이용하여 시스템에서 설비의 고장발생에 따른 위험도를 바탕으로 선(先) 유지보수가 필요한 후보군 혹은 선(先)작업 대상군을 결정하고 결정된 설비의 고장과정을 분석하여 고장전이 모델을 결정한다. 이렇게 결정된 모델에서 고장정도, 열화정도에 따라 전이되는 고장모드를 다르게 하여 결정된 모델에서 각 전이정도에 따라 비용을 도출하고 가상의 운전기간동안 각각 동적모델해석을 통해 최소비용이 도출되는 유지보수 기간을 산정한다. 이렇게 결정된 기간에서 해당기에 적용되는 작업 후보군의 비용을 고려하여 최소비용을 적용할 수 있는 보수작업의 경제적 비용을 산출한다. 이렇게 도출된 결과들은 배전지능화 시스템에 미리 설정된 해당기기 및 선로 신뢰도 기준과 비교하여 유지보수 여부를 결정한다.

한편 제시된 방법으로 해당기기나 선로를 유지보수 한 후에는 유지보수이력을 NDIS 시스템에 해당기기의 이력데이터, 상태정보 등을 갱신하도록 하고 이 갱신된 데이터로 다시 신뢰도 평가를 실시한 후 유지보수 효과를 확인 할 수 있도록 한다.

2.3. 고장에지시스템

배전선로에는 외란을 측정할 수 있는 다양한 종류의 센서가 설치되고 있다. 그러므로 이러한 센서로 취득한 데이터를 축적하고 패턴분석을 통해 고장징후를 사전에 예지할 수 있다. 이를 위해서는 그림 3과 같은 데이터 통합관리가 필요하다. 2.2절에서 언급한 신뢰도 기반 배전운영시스템도 이와 같은 개념으로 제안된 것이다.

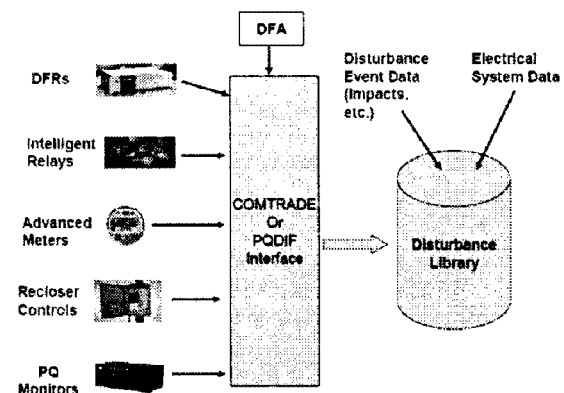


그림 3 지능형기기 기반 통합데이터 관리시스템(EPRI)
Fig.3. Distribution data integration system(EPRI)

하지만 이러한 방법 보다 더 진보된 방법은 지능형기기에 설치되는 센서의 정밀도를 향상시키거나 주요개소에 고정밀 전압 전류 센서를 설치하는 것이다. 고정밀 전압전류 센서는 계통에서 발생하는 미세 외란 신호까지도 검출 가능하고 이러한

데이터를 장기간 축적함으로써 고장사례별 패턴을 도출할 수 있다. 또한 선로단위나 선로 구간별 외란의 원인을 정확하게 파악할 수 있다. 특히 배전 기기의 열화 및 기능 저하는 장시간에 걸쳐서 이루어지고, 이 과정에서 측정가능한 전기적 변화가 발생하므로 고성능 센서를 통한 외란신호의 정밀한 측정으로 기기 고장을 사전에 예지할 수 있다.

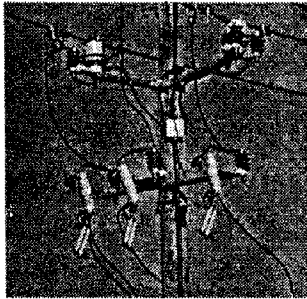


그림 4. 선로에 설치된 전압/전류 센서(EPRI)
Fig.4. Current/Voltage sensor(EPRI)

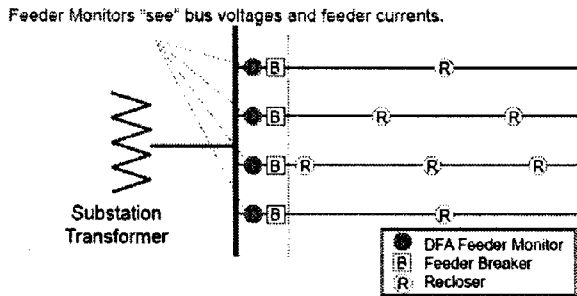


그림 5. 선로 전력품질 관리시스템(EPRI)
Fig.6. Power quality monitoring system for feeder(EPRI)

그림 4는 선로에 설치된 전압전류 센서를 나타낸다, 그림 5는 Feeder 단위로 설치되는 전력품질 감시시스템을 나타낸다.

3. 결론

본 논문에서 제안하는 신뢰도 기반 배전운영시스템은 정전발생 시 정전원인 및 특성을 분석하여 가능한 복구방법들을 도출하며 열화진단센서를 내장하여 선로와 기기의 상태정보를 취득할 수 있는 지능형 배전기기로부터 기기의 진단결과를 취득하고, 이 결과를 설비의 운영이력데이터를 이용한 신뢰도 평가에 반영한 후 동일한 분석결과라 하더라도 전체 선로의 신뢰도에 미치는 영향 및 경제성을 고려하여 유지보수 여부를 결정할 수 있다.

또 배전운영시스템에서 정전발생 시 정전현상 및 특성을 분석하고 설비의 운영이력데이터를 관리하며 신뢰도 평가 결과에 따라 유지보수를 수행

할 경우 그 조치 결과를 취득하여 데이터를 갱신하며, 기기 고장발생 시 고장에 의한 정전 특성 분석 및 고장원인과 원인별 고장 파급정도를 저장하고 선로 순시점검 및 조치 결과, 이력데이터 보관 및 업데이트를 통하여 배전계통 신뢰도 평가가 현재 상태를 정확히 반영할 수 있도록 한다.

그리고 수집되고 업데이트되는 정보를 통해 고장발생유형분석, 고장전이모델, 고장률 및 RAMS 분석, 고장발생 시 피해비용, 고장발생 추세분석이 가능하며, 저장된 데이터 및 갱신된 데이터 등을 이용하여 기본 신뢰도 지수 및 가능한 RCM 수행 관리 정보를 산출하고 분석하는 것을 수행한다. 또 분석된 신뢰도 평가 결과를 경제성 및 자산관리, 노선별 신뢰도, 제작사별 분석을 수행하여 운영자에게 배전계통을 운영하는 계량적인 신뢰도 평가 결과물을 제시한다. 이것은 배전계통의 전반적인 운영정보 및 설비관리정보를 계량적으로 수치화하여 배전운영자에게 신뢰도 평가방안 및 배전자산 관리방안, 경제성 분석방안 그리고 제조사별 품질 순위안 등을 제시하고 배전계통의 신뢰도 상태를 보여주고 문제발생 시 대책안을 제시할 수 있을 것이다.

이러한 신뢰도 기반의 배전운영시스템 구축과 함께 기기내에 설치되는 전압전류 센서의 정밀도 향상과 Feeder 단위로 설치되는 전력품질 측정기의 데이터가 축적될 경우 선로의 고장원인 파악과 고장예지가 가능성은 크게 향상될 것이다.

참고 문헌

- [1] L. Bertling, "A Reliability-Centered Asset Maintenance Method for Assessing the Impact of Maintenance in Power Distribution Systems," IEEE Trans. on Power Systems, vol. 20, pp. 75-82, Feb. 2005.
- [2] P. A. Kuntz, "A Reliability Centered Optimal Visual Inspection Model for Distribution Feeders," IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 16, pp718-723, Oct. 2001.
- [3] T. Nakagawa and K. Yasui, "Approximate calculation of optimal inspection times," Journal of the Operational Research Society, vol. 31, pp. 851-853, Sept. 1980.
- [4] P. Espie et al., "Multiple Criteria Decision Making Techniques Applied To Electricity Distribution System Planning," IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., Vol. 150, Sep 2003.
- [5] N. Ozay, A. N. Guven, A. Buyuksemerci, M. Fettahlioglu, "Design and Implementation of a Feeder Automation System for Distribution Networks," IEEE Power Tech'99 Conference, Aug 1999.
- [6] M. Rabinowitz, "Power Systems of the future(part 1)," IEEE power engineering review, pp5-16, Jan 2000
- [7] Balzer, G.; Orłowska, T.; Strnad, A.; Schmitt, O. Lehmer, D. "Reliability Centered Maintenance Strategy for M.V. Substations," ORED 995