

배전자동화용 단말장치에서의 고장 분석

전성남*, 정연하

한국전력공사 전력연구원 송배전연구소

Fault Analysis of FRTU for Power Distribution Automation

Sung-Nam Chun, Yeon-Ha Jung

Power Transmission and Distribution Laboratory
Korea Electric Power Corporation Research Institute

Abstract - 전력공급의 안정성과 신뢰성을 높이기 위해 우리나라 배전선로에는 2002년부터 자동화가 추진되고 있으며 2010년을 기준으로 자동화 추진 대상 배전설비의 90% 이상이 자동화 설비로 교체되었다. 배전자동화는 고장의 조기검출과 고장복구 시간의 감소 등으로 배전선로의 전기 공급 신뢰도를 높인 것으로 평가되고 있지만 자동화 기기의 사용 증가로 인한 고장의 증가와 이에 따른 보수비용의 증가가 새로운 문제로 부각되고 있다. 본 논문에서는 우리나라 배전선로에서 사용되는 자동화용 단말장치에서의 고장현상에 대해 보고하고자 한다. 이를 위해 2009년부터 2009에 걸친 고장자료가 수집되었으며 이들 자료의 분석을 통해 주 고장모드를 확인하였다. 고장모드의 분석을 위해서는 제작자 및 운영자가 참여하여 FMEA(Failure mode and Effect Analysis) 방법을 사용하였으며 본 고에서는 이들에 대한 세부 내용을 기술하였다.

복잡하게 구성되어 운영 중에 있다. 전력공급의 신뢰도가 중요한 전기품질의 인자가 되면서 2000년대 초반 우리나라에서도 배전선로의 자동화 사업이 추진되었다. 배전선로의 자동화는 주로 배전선로에 설치되는 개폐기를 자동화 개폐기로 대체하여 고장의 감지와 복구를 자동 및 원격으로 제어하는 것과 관련된 것으로 2009년 말 기준으로 76,418대의 자동화 개폐기가 설치되는 것을 목표로 하고 있다. 이는 전체 사용되는 개폐기의 약 50%에 이른다. 2009년 말까지 목표 대신 개폐기의 약 71%인 5만 4천여대의 개폐기가 자동화 개폐기로 교체되었다.

2.2 배전선로용 자동화 개폐기의 구조와 기능

배전선로에 설치 운영되고 있는 자동화 개폐기의 개략적인 모습과 자동화 개폐기에서의 측정 및 제어신호의 처리 프로세스를 그림 1과 그림 2에 각각 나타내었다.

1. 서 론

산업이 고도화되고 생활수준이 향상되면서 전력공급에 있어서도 과거의 전력공급량보다는 전기품질이 중요한 관리인자가 되고 있다. 전기품질은 규정 전압 및 주파수 준수를 및 고장시간과 같은 몇 가지 지표로 관리되고 있다. 이들 지표 중 고장시간은 전기공급의 신뢰도 및 안정성과 관련된 지표로 국내외의 많은 전력회사들이 고장시간을 줄이기 위한 다양한 방안들을 강구하고 있다.

전력계통의 자동화는 정전시간을 줄이고 이를 통해 전력공급신뢰도 향상에 크게 기여한 것으로 평가되고 있다. 우리나라에서도 전력공급의 신뢰도 향상을 위해 자동화를 추진해 오고 있다. 배전분야의 자동화는 2002년에 시작되어 2010년 기준으로 자동화대상설비의 90%가 자동화 설비로 교체되었으며 2009년 기준으로 가구당 평균 정전시간을 세계 최고 수준인 13.98분으로 낮추는데 크게 기여하였다. 배전선로에서의 자동화는 선로 고장의 조기검출과 복구시간의 단축 등으로 배전선로 운영의 안정성 제고에는 크게 기여하였지만 자동화 장치의 설치량이 증가함에 따라 자동화 설비자체에서의 고장건수가 증가하고 이로 인한 수리 및 유지 관리비용이 증가하는 것으로 보고되고 있다.

본 논문에서는 배전선로의 자동화를 위해 설치 운영되는 자동화 기기의 고장현상을 분석하였다. 이를 통해 자동화 설비의 합리적 관리방안을 수립하고 궁극적으로는 전력공급 신뢰도 제고에 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 본 연구에서 FRTU의 고장자료 분석을 위해 사용한 방법론은 향후 다른 전력설비의 고장분석에도 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 본 론

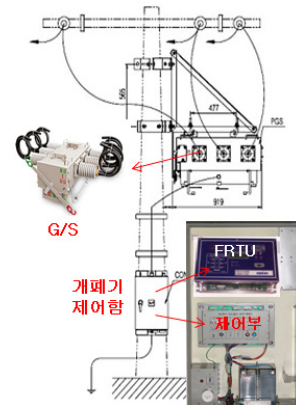
2.1 배전선로 자동화 현황

우리나라의 전력설비 용량은 2009년 말 기준으로 역 7800만 kW에 이르며 이들을 수송하기 위한 송전선로는 755 C-km의 765 kV 송전선로를 포함해 27,356 C-km에 이른다. 아울러 공칭전압 22.9 kV 이하의 배전선로는 420,257 C-km에 달하는 것으로 보고되어 있다. 표 1에는 우리나라 배전선로에 주요설비에 대한 현황을 정리하여 나타내었다.

〈표 1〉 우리나라 주요 배전설비 현황(2009)

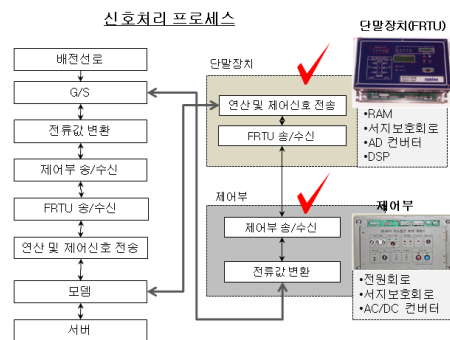
No of D/L	Pole (10 ³)	Transformer		No of Meter (10 ³)
		No (10 ³)	Capacity (MVA)	
8,544	8,219	1,961	99,630	18,271

우리나라의 배전선로는 2009년 말 기준으로 고객 호수는 1,800만 호를 넘어서며 이들에 안정적으로 전력을 공급하기 위해 8,544개 DL 이 매우



〈그림 1〉 자동화 개폐기의 설치 및 구성

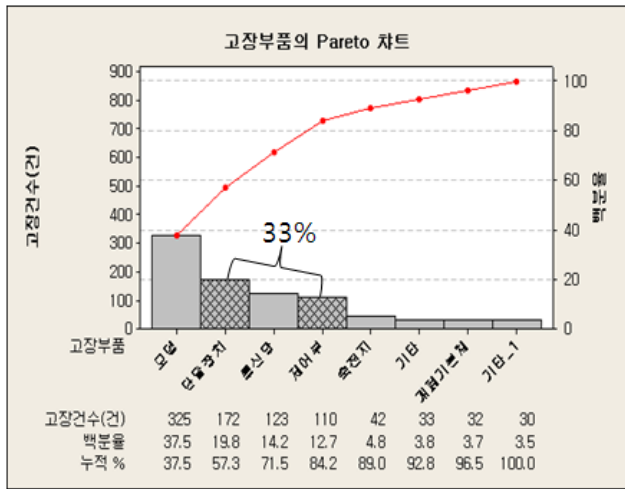
자동화 개폐기는 이전의 수동형 개폐기와 같이 배전선로에 설치되어 전력을 공급하거나 차단하기 위한 개폐의 역할을 하며 이들의 제어가 주로 전주의 하단에 설치되는 제어부에 의해 이루어진다. 제어신호의 전달과 주 장치와의 통신은 FRTU가 담당한다. FRTU와 제어부 이들에 전력을 공급하는 전원공급장치(축전지)와 통신용 모뎀 등으로 구성되어 전주의 하부 개폐기 제어함에 설치된다. 자동화 개폐기에의 세부 신호처리 프로세스는 그림 2에 상세히 정리하여 나타내었다.



〈그림 2〉 자동화 개폐기에서 신호처리 프로세스

2.3 자동화 개폐기에서의 고장

자동화 개폐기에서의 고장을 조사하기 위해 한국전력에서 2007년부터 2009년까지 3년에 걸쳐 수행한 고장복구 자료를 수집하고 이들을 분석 자료로 사용하였다. 고장자료는 먼저 자동화 제어함의 구성 모듈별 고장 발생 빈도를 파악하고 이들을 그림 3처럼 Pareto chart로 정리하여 나타내었다.



〈그림 3〉 제어함 구성 모듈별 고장에 대한 파레토 분석

제어에 구성된 세부 모듈별 고장은 모뎀, 단말장치, 통신망, 제어부 순이었으며 이들이 전체 고장의 약 80%를 차지하는 것으로 나타났다. 특히 모뎀과 통신망과 같은 통신제어부에서의 고장 발생 빈도가 높게 나타났으며 이들은 모뎀의 설정 및 사소한 이상과 통신망 공급회사의 선로 운영 안정성 결여 등과 관련된 문제로 파악되어 외부 공급업체와의 협력이 필요한 것으로 나타났다. 단말장치와 제어부에 관련된 신호처리 제어부에서의 고장은 약 33%로 이들 고장은 한국전력에서 이들 장치의 제작 규격과 운영을 담당하고 있으므로 제작 및 운영 방안의 개선이 필요한 부분으로 판단된다. 이 중 FRTU 부분의 고장이 제어부에 비해 상대적으로 많으므로 본 논문에서는 FRTU 고장에 관심을 두고 자료를 해석하였다.

2.4 단말장치 고장 분석

2.4.1 FMEA(Failure Mode and Effect Analysis)

FMEA는 고장의 심각도와 발생 가능성으로 특정 시스템 내에서 일어날 수 있는 잠재적 고장을 분석하기 위한 제품 개발 혹은 운영 관리와 관련한 절차로 정의된다. 고장모드(Failure Mode)는 사용자에게 영향을 미치는 고장이나 결함을 의미하며 영향분석(Effect Analysis)은 이들 고장으로 인해 나타나는 결과를 조사하는 것을 의미한다. FMEA를 잘 시행하면 과거의 고장자료로부터 잠재적인 고장 모드를 식별하고 최소의 비용과 노력으로 이들 고장을 줄일 수 있는 설계방안을 도출할 수 있도록 하는 장점을 갖게 된다.

FMEA는 실무에서 고장 현상을 구별하여 고장이 발생하는 부품 혹은 모듈을 식별한 후 고장의 현상을 모드로 구별하고 이들의 점정원인을 기록한다. 이후 제품에 미치는 영향을 파악하고 발생도, 영향도 및 검출도를 각 특정 척도로 평가한 후 이들을 모두 곱하여 고장관리의 우선순위를 결정한다. 고장 점정이 일정 점수 이상이 되는 부품이나 모듈들을 우선적으로 설계 및 개선대상으로 선정하며 이들에 대한 개선안을 도출하는 절차로 적용한다.

2.4.1 FRTU에 대한 FMEA 시행

본 연구에서도 FRTU의 주요한 고장모드와 이들의 영향을 분석하기 위해 FMEA를 적용하였으며 FMEA를 시행하기 위하여 FRTU 제작사 기술자 및 자동화설비 운영 기술자가 참여하는 전문가 회의를 개최하였다. 국내 FRTU 제작 3사의 설계 및 제작 엔지니어와 2개 운영사의 기술자가 참여하여 각각 고장의 현상과 잠재적 원인을 추정하고 FRTU의 세부 부품 및 하위 모듈에의 영향과 이들 부품 및 모듈의 고장시 영향에 대한 정보를 공유할 수 있도록 하였다.

이와 같은 전문가 회의를 통해 FRTU에서 고장이 빈발하는 9개의 부품 및 하위 모듈을 식별하였다. 이들 9개의 부품 및 하위모듈에 대해 각각의 기능과 고장모드를 확인하고 가능한 고장원인 및 영향을 추정하였다. 마지막으로 각 고장 모드에 대한 발생도, 영향도 및 검출도에 5점 척도(0~4)로 중요도를 할당하고 이들을 곱한 값의 크기를 비교하여 위험 우선순위 (RPN:Risk Priority Number)를 구하였다. FRTU의 FMEA 평가에 대한 세부 내용은 발표자료 기술하는 FMEA 표에 상세히 나타

내었다.

배전자동화에 사용되는 FRTU의 9개의 부품 및 하위 모듈에 대해 평가한 RPN값은 IC가 24로 가장 위험도가 높은 부품으로 나타났으며 Oscillator가 16으로 그 다음으로 나타났고 DC/DC converter와 NVRAM 및 Back up battery가 각각 12로 나타났다. 비교적 위험도가 낮은 부품은 RPN 값이 8인 LCD, CT 및 PT와 RPN 값이 6인 ADS7804인 것으로 나타났다. 이들 고장 모드의 RPN 값으로부터 확인된 부품 또는 모듈별 고장으로 인한 위험의 크기를 판별하고 이들에 대한 개선방안을 우선 순위와 함께 개선의 정도를 결정할 것인 바, 이들에 대해서는 후속 논문에서 계속하여 보고할 예정이다.

3. 결 론

배전자동화에 사용되는 자동화 설비의 신뢰성을 높위한 방안의 하나로 자동화에 사용되는 FRTU에서의 현장 고장자료로 부터 고장모드와 영향을 평가하였다. 이를 위해 FMEA 기법이 사용되었으며 이로부터 주 고장모드와 가능한 고장의 원인이 분석되었다. 본 연구를 통해 얻어진 주요한 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

- 배전자동화 설비의 운영과 관련해 나타나는 고장의 약 80%는 통신제어장치들과 신호처리 제어부들에서 발생하는 것으로 파악되었다.
- 신호처리 제어부 FRTU 장치에서의 고장모드를 전원이상, 신호감지 오류 및 제어기의 비정상 동작 등의 고장모드로 분류하고 FMEA 방법을 적용하여 가능한 고장원인을 추정하였다.
- FMEA scheme을 적용하여 FRTU 부품 및 하위 모듈에 대한 RPN을 평가한 결과 다음의 순서로 위험우선순위가 높은 것으로 나타났다.

IC → Oscillator → DC/DC Converter, NVRAM, Back up Battery → LCD, CT,PT → ADS7804

FRTU에서 고장을 줄일 수 있도록 FMEA를 통해 추정된 가능한 고장원인과 고장간의 관계를 평가 중에 있으며 이들의 확인 후 개선안을 도출하여 고장 저감 방안을 도출할 예정인 바 이들은 후속되는 보고에서 계속해 발표할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] S. Kazemi, M. Fotuhi-Firuzabad and R. Billiton, "Reliability assessment of an automated distribution system," *IET Gener. Transm. Distrib.*, 2007, 1(2), pp.223-233, 2007.
- [2] Rigler, D.M., Hodgkins, E.R., and Allan, R.N., "Quantitative reliability analysis of distribution system: automation," *Power Eng. J.*, 1999, 13(4), pp.201-204, 1999.
- [3] Wikipedia, "Failure mode and effects analysis," http://en.wikipedia.org/wiki/Failure_mode_and_effects_analysis, 2011.
- [4] Korea Electric Power Corporation, "2010 practice in power distribution in KEPCO", p. 3-4, pp.107-123, 2011.
- [5] Minitab Inc., "Minitab for windows", Pearson college, 1995..