

배전자동화시스템의 도입이 배전계통신뢰도 향상에 기여한 사례 연구

황우현*, 배성환**
*한국전력공사 강북지점, **한국전력공사 기술기획실

A Study of Improved Efficiency of Distribution Network Reliability Using DAS

W. Hwang, S. Bae
Korea Electric Power Corporation

Abstract - 배전설비가 급증함에 따라 배전계통의 고장발생이 증가하게 되면 정전시간도 병행해서 늘어나게 되는 공급신뢰도의 문제를 보완하고자 '98년부터 배전자동화시스템을 도입하여 원격으로 고장구간을 파악하고 자동화개폐기를 제어하여 정전구간을 축소할 수 있게 되었다. 연구에서는 설비가 증가하고 있는 상황에서 배전계통의 개폐기를 어느 정도까지 자동화시켜야 배전선로의 신뢰도가 하락하게 되는지 각종 Data를 토대로 분석하여 최소치를 규명하였고, 이것은 향후 해외 전력회사의 배전자동화에서 적용할 수 있는 모델로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

1. 서 론

1990년대의 고도 경제성장에 따라 전력수요도 매년 10%가까이 증가하면서 배전계통의 적기 증설과 안정된 계통운영이 중요 현안으로 대두되었다. 배전선로는 대부분 전주에 전선로를 설치하여 고객에게 전력을 공급하고 있기 때문에 외부적 요인에 의한 고장발생 가능성에 노출되어 있다. 이로 인해 낙뢰, 태풍, 폭설 등 기상악화나 수목 또는 까치와 같은 조류가 전선로에 접촉하는 경우 정전이 발생하게 된다. 또한 전력공급용으로 쓰이고 있는 전선, 애자, 피뢰기, 변압기 등의 자연열화나, 대용량 고객의 수전설비 고장에 의해 과도전류가 배전계통으로 파급되면서 정전이 발생하는 경우도 있다. 정전이 발생하면 대단위 상가, 아파트, 병원은 물론 반도체나 화학제품을 생산하는 고객이나 IT를 기반으로 한 인터넷, 전자금융, 컴퓨터에 의한 업무처리에도 지장을 주어 산업경쟁력 저하와 국민 생활의 불편을 초래하게 되는 경우도 있다.

따라서 배전계통을 안정적으로 운전하기 위해서는 전력용 기자재의 품질향상과 적기 유지보수를 시행하여 고장발생을 사전에 차단하는 한편, 고장 발생시에는 신속히 복구하여야만 된다. '98년 이전에는 인력에 의해 고장원인을 색출하고 개폐기를 수동으로 조작하여 복구하는데 평균 1시간이상 소요되었으나 '98년 이후 배전자동화시스템이 도입되어 10분의 1로 단축되었다. 이러한 배경을 바탕으로 이번 논문에서는 배전설비의 증가와 고장발생과의 연관성을 비교하고, 배전자동화시스템의 확충이 국내 배전계통의 신뢰도 향상에 얼마나 기여하였는가를 분석하여 향후 유사한 환경의 외국 전력회사에 우리의 사례를 모델로 적용가능한 지에 대해서 검토하였다.

2. 본 론

2.1 고객호수 및 배전설비 증가 현황

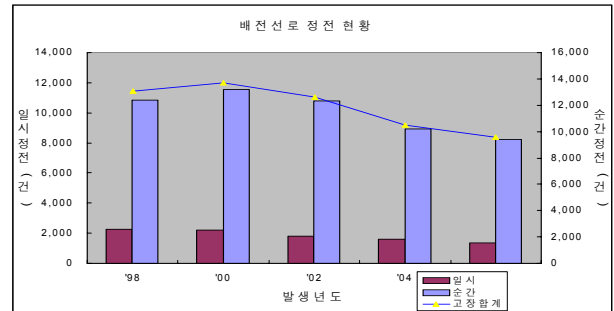
고압 배전선로는 개략 지지물(전주), 전선, 변압기와 개폐기 등으로 구성되어 있으며 전력수요의 증가에 따라 고객호수와 비례하여 매년 높은 상승률을 나타내고 있다.[4]

<표 1> 년도별 고객호수 및 배전설비 현황

구 분	'98	'00	'02	'04	'06
배전선로(D/L)	4,951	5,303	6,299	6,982	7,451
고압연장(C-km)	522,210	545,167	565,345	611,005	640,751
지지물(기)	6,031,080	6,439,229	6,875,448	7,260,781	7,608,242
변압기(대)	1,100,642	1,208,947	1,546,088	1,651,605	1,787,785
개폐기(대)	42,917	54,621	68,553	76,089	88,941
고객수(천호)	14,102	14,976	16,490	16,868	17,624

2.2 배전선로 고장정전 발생 현황

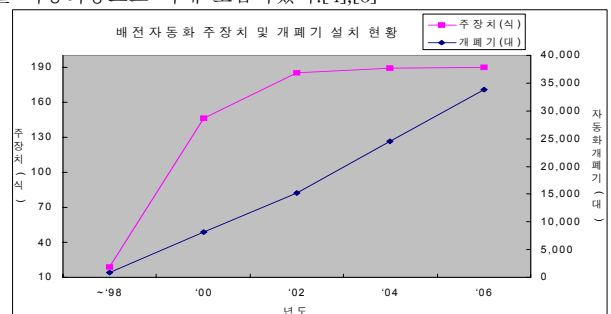
배전설비가 증가함에 따라 전력공급 중에 발생하는 배전선로의 정전 가능성도 높아지게 된다. 특히 비, 눈, 강풍 등과 같은 기상적 요인과 차량충돌에 의한 전력설비 손상, 조류에 의한 지락이나 단락고장 등에 의해 정전이 발생하며, 변압기나 피뢰기와 같은 기자재에 의해서도 정전이 되고 있다.



<그림 1> 년도별 고장정전 발생 현황

2.3 정전감소 노력과 배전자동화시스템의 도입

매년 증가하고 있는 배전설비 량에 비례해서 고장정전의 발생건수도 <그림 1>에서 보는 바와 같이 '00년도까지는 증가되었음을 알 수 있다. 이러한 고장의 감소를 위해 기자재의 품질과 외물접촉 그리고 자연열화 등이 정전의 원인이 되는 것은 적극적인 성능개선과 유지보수 투자를 확대하여 설비를 적기에 교체하고 시설설비에 대한 순시점검을 강화하여 2003년도부터 고장정전의 감소가 이루어지게 되었다. 그러나 다각도의 노력에도 불구하고 차량충돌에 의한 전선의 단선과 같은 돌발적인 원인에 의해 정전이 발생한 경우에는 인력만으로 대처하는데 한계가 있었다. 이러한 문제에 대비하고자 1990년부터 배전선로에 설치된 자동화개폐기의 On/Off 상태를 원격으로 감시하고 선로의 전압, 전류치의 계측과 개폐기의 투입, 개방 제어가 가능하며, 고장발생시에는 정전구간을 확인할 수 있는 배전자동화시스템의 개발에 착수하여 '97년에 현장실증시험을 마친 후 <그림 3>에서 보는 바와 같이 2002년까지 전국 사업장에 설치를 완료하였다. 또한 배전계통의 원격 운전율을 높이기 위해 매년 3~4천대의 개폐기를 자동화용으로 확대 보급하였다.[4],[6]



<그림 2> 연도별 배전자동화시스템 설치 현황(누계)

2.4 배전계통 신뢰도 분석

배전계통의 신뢰도향상을 위한 다양노력에 의해 고장건수와 시간이 크게 감소하였으나 국제적으로 통용되고 있는 신뢰도 분석지수 산출방식을 적용하여 비교 분석하고 그중에서도 배전자동화시스템의 도입이 신뢰도 향상에 어느 정도 기여했는지 분석하였다. 분석 지수는 전통적으로 평균 고장률, 평균 복구시간, 년 평균 정전시간을 주로 사용하여 산출한다.[1],[2],[3]

우리나라의 총 수용 호수와 매년 발생하고 있는 정전건수 및 시간을 토대로 계통평균 고장회수, 수용가 평균고장횟수, 계통평균 고장시간 그리고 수용가 평균 고장시간을 구해 배전계통의 신뢰도를 분석하고자 한다.

○ 계통평균 고장(정전)횟수
(SAIFI: System Average Interruption Frequency Indices)

$$- SAIFI = \frac{\text{총 고장발생 건수}}{\text{총 공급 수용가}} = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N_i}$$

○ 계통평균 고장(정전)시간
(SAIDI: System Average Interruption Duration Indices)

$$- SAIDI = \frac{\text{수용가의 고장지속시간}}{\text{총 공급수용가}} = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i}$$

○ 수용가 평균고장(정전)시간
(CAIDI: Customer Average Interruption Duration Indices)

$$- CAIDI = \frac{\text{수용가의 고장지속시간}}{\text{총 고장발생건수}} = \frac{\sum U_i N_i}{\sum \lambda_i N_i}$$

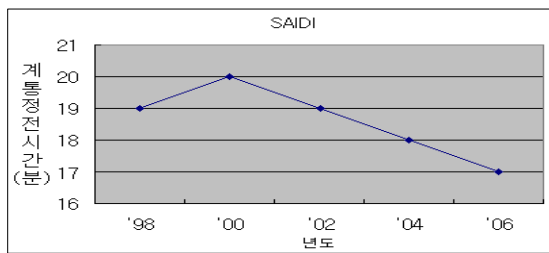
2.5 배전자동화시스템이 공급신뢰도 향상에 기여한 사례 분석

매년 발생하고 있는 고장건수와 정전시간을 토대로 연도별 SAIDI와 CAIDI를 산출한 결과는 아래 <표 2>와 같다.[5]

<표 2> 연도별 배전선로 호당 정전시간 및 횟수

구분	'98	'00	'02	'04	'06
SAIDI (분/회)	19	20	19	18	17
CAIDI (회/호)	0.38	0.37	0.46	0.34	0.39

배전선로의 신뢰도향상의 분석을 위해 배전설비와 고장건수 그리고 정전시간과의 관계성을 <표1>과 <표2>, <그림2>를 토대로 비교 분석하였다. <표1>에서 보면 배전자동화 도입 초기인 1998년도에는 4,951개 D/L을 통해 1,410만호에 전력을 공급하였고, 13,085건의 정전건수가 발생하였다. 이를 토대로 배전계통의 호당 평균 고장시간을 산출한 결과 19분으로 나타났다. <그림2>에서 보는 바와 같이 '98년말에 배전자동화시스템의 설치는 전국 175개 사업소 중 8개 사업소에서만 시범적으로 운영하였으며, 1999년부터 2000년까지 주장치를 전국의 대부분 사업장에 설치 완료하였으나 원격운전이 가능한 배전자동화개폐기의 설치율 3%에 불과해 주로 D/L과 D/L간 Tie 운전용 정도만 사용되고, 고장구간 축소에 사용되지 못해 배전계통의 신뢰도 향상에 기여한 효과가 미미했던 것으로 판단된다. 2000년도에는 배전자동화개폐기의 운전수량이 8,237대로 2년 만에 10배 가까이 증가했음에도 고장정전시간은 감소되지 않고 오히려 증가되고 있는 것을 <그림 3>에서 볼 수 있다.



<그림 3> 배전계통 평균 고장정전시간(SAIDI) 변화추이

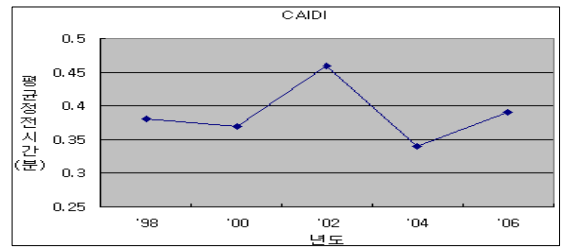
이것은 8월에 급습한 태풍 파라피룬의 영향으로 정전시간이 증가되었던 것으로 보인다. 마침내 2002년도에는 배전선로가 6,299개 D/L로 1998년 대비 27%증가하고 태풍 루사까지 내습하여 고장이 증가할 수 있는 여건이 높았음에도 정전건수는 전년 대비 12,608건으로 3.7% 감소하였고, 정전시간도 19분으로 줄어들었다. 이것은 배전자동화개폐기가 목표량 대비 41%가 설치되어 비로소 도입효과가 나타나기 시작하고 있다는 것을 알 수 있다. 결국 배전자동화 도입효과는 자동화 대상 개폐기 중 최소한 40%는 설치하여야 정전시간 감소에 기여한다는 것이 확인 되었다. 가장 최근인 2006년에는 배전선로가 7,451개 D/L로 늘어나 <표 3>에서 볼 수 있는 바와 같이 1998년과 비교할 때 1.6배 증가하여 고장이 발생할 수 있는 가능성이 그만큼 늘어났음에도 고장정전은 9,585건으로 26.7%나 감소하였다. 이것은 그동안 꾸준히 추진해 온 기자재와 시공품질의 향상 그리고 외물접촉 고장발생의 원인

인 조류구제와 수목전지, 기별점검 등 강력하고 지속적인 고장 예방활동의 결과에 기인한 것으로 보인다. 또한 전국 190개 사업장에 설치된 배전자동화개폐기가 목표대비 50%를 넘어섭에 따라 배전계통 자동화운전이 크게 향상되었고, Operator의 휴먼 에라 감소를 위한 시뮬레이션 훈련과 조작능력 향상교육을 통해 호당정전시간이 자동화 도입초기에 비해 17분으로 감소하였다. 특히 아래 표를 통해 확인할 수 있는 것처럼 자동화 도입 초기인 '98년과 작년도의 신뢰도 결정변수를 비교해보면 배전선로와 고객호수가 증가하여 배전설비의 고장요인이 늘어났음에도, 배전업무 담당 직원은 소폭 증원시킨 채 배전자동화개폐기의 수량을 38배 증가시켜 운전함으로써 정전시간을 89%로 감소하는데 크게 기여한 것으로 판단할 수 있다. 결국 경제성장에 따라 배전설비가 대폭 확충되는 시점에서 배전자동화시스템이 도입되어야만 배전계통의 공급신뢰도가 향상된다는 것이 증명되었다.[7]

<표 3> 주요 신뢰도 결정변수의 증감비(1998년/2006년)

년 도	1998	2006	증감비
배전선로(D/L)	4,591	7,451	1.6↑
고장건수(건)	13,085	9,585	0.73↓
정전시간(분/호)	19	17	0.89↓
고객호수(천호)	14,012	16,868	1.2↑
자동화개폐기(대)	896	33,785	37.7↑
배전직원(명)	5,811('02.2)	6,598('07.3)	1.1↑

<그림4>에서 보면 전기를 사용하는 고객이 경험한 정전시간도 배전계통의 정전시간과 동일한 감소 추세를 보이고 있으나 그 진폭은 배전계통의 정전시간보다 훨씬 커서 그 효과가 더 크다고 할 수 있으며, 2004년 대비 2006년의 수치가 증가한 것은 몇 차례 발생한 전원 측 정전으로 부하밀집도가 높은 대도시에서 정전 경험고객이 많아 나타난 결과로 판단된다.



<그림 4> 고객의 평균 정전 시간(CAIDI) 변화추이

3. 결 론

이번 연구를 통해 경제성장과 병행하여 배전설비가 증가하는 경우 배전선로의 정전시간을 단축하기 위해서는 개폐기 자동화를 목표량 대비 최소 40% 이상은 설치하여야 신뢰도 향상에 기여한다는 것이 규명되었다. 투자비 부담이 있어도 초기투자를 중점적으로 진행하여야 하며 이러한 결과는 자동화시스템을 도입하여 운전하려는 외국 전력회사에게 유용한 결과로 활용될 것으로 판단된다. 결국 배전자동화가 배전계통 신뢰도향상에 영향을 미친 것으로 확인되었지만 어느 정도 신뢰도를 유지하는 것이 최적인지에 대한 것과 경제적 효과에 대한 것은 본 연구에서는 검토되지 않아 추가 연구를 통해 규명해보고자 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이 범, "배전계통의 신뢰도지수 계산기법에 관한 연구", 여수대, 산업기술논문집 제10권 pp.86-93
- [2] 장정태, "배전계통의 전압관리를 위한 신기법 연구", 대불대, 논문집 제5집, pp. 767-776. 1999
- [3] 주우섭, "진주시 배전계통의 신뢰도 평가에 관한 연구" 경상대, 석사학위논문, pp 5-26, 2003
- [4] 한국전력공사, "배전설비 교육 교재" 배전처, 1998~2007
- [5] 한국전력공사, "배전설비 정전분석 및 예방대책", 배전운영처, 1998~2007
- [6] 한국전력공사, "배전자동화 워크숍", 배전처 1999~2004
- [7] 한국전력공사, '전력통계' 1998~2007