



배전 지능화 기술의 동향 및 기대성과

문종필 <한국교통대학교 전기공학과 교수>

채희석 <숭실대학교 전기공학부 박사과정>

김재철 <숭실대학교 부총장/본 학회 회장>

1 서론

배전계통은 전력계통의 최말단 설비이며 수용가에 직접 전력을 공급한다는 특성 때문에 배전계통에서 발생하는 외란은 대부분 수용가에 직접적인 영향을 끼친다. 따라서 배전계통에서 발생하는 외란을 분석하여 현재 및 향후 대상 계통의 전력공급의 신뢰성 및 전력품질을 평가하고 개선하는 작업 또한 오랫동안 진행되어 왔다[1-3].

최근 계속되고 있는 전력전자 및 반도체 기술의 이용을 통한 수용가 설비의 자동화 및 정보화 추세는 산업체 및 빌딩에서부터 소규모의 주택가에 이르기까지 대부분의 수용가에서 전력 외란에 민감한 정밀 전자 기기 및 반도체 스위칭 소자를 이용한 장비들의 보편적 사용을 가능하게 했다. 이와 더불어 스마트 전력계통(Smart Power Grid)의 구현을 위한 신재생 에너지 및 분산전원들의 계통 유입관련 정책들이 국가적 차원에서 수립되고 추진되어 전력 공급의 안정 및 신뢰도 확보가 중요한 문제로 대두되었다.

고품질 전력에 대한 고객들의 요구 및 국가 주도의 지능형 전력망 정책 수립에 대응하기 위한 대안으로 전력망과 정보통신 기술 간의 융·복합을 통해 전력망을 지능화 및 고도화함으로써 고품질의 전력을 공급

할 수 있는 배전 지능화 기술이 적용되고 있다[4].

1.1 배전 지능화 시스템

배전선로는 대부분 옥외의 외부환경에 노출되어 있어 자연현상이나 외물접촉 등에 의한 고장이 빈번하게 발생한다. 또한 도심지는 교통체증, 농어촌 지역 경우에는 원거리에 설치되어 있는 설비의 조작 또는 측정을 위한 이동 시간이 많이 소요되면서 전력품질의 저하가 일어나게 된다.

이러한 문제점을 해결함과 동시에 신뢰성을 확보할 수 있는 방안으로 한국전력공사는 통신망을 사용하여 배전선로의 운전 상태를 상시 감시하고, 선로 상태에 따라 개폐기를 원격제어할 수 있는 시스템을 도입하고 있는데 이러한 시스템을 배전 지능화 시스템이라 한다. 배전 지능화 시스템의 개념을 아래의 그림 1에 나타내었다.

배전 지능화 시스템의 최종적인 명령을 수행하는 설비는 개폐기 및 차단기라고 할 수 있는데, 이러한 개폐장치를 원격제어가 가능한 지능형 개폐기로 교체하는 것을 배전 지능화 사업이라고 한다[5].

한국전력공사는 배전선로에 설치되어 있는 개폐기의 지능화율을 2030년까지 90% 수준으로 향상시키

겠다는 계획을 발표하였고, 연도별 자동 개폐기 교체 기본 계획을 수립하였다[6]. 이러한 지능화 개폐기의 신설 및 교체 사업은 고장구간을 빠르게 탐색하고 절제하여 수용가에 전력을 공급함으로써 인해 배전시스템 신뢰성의 향상과 전력품질의 향상 및 정전으로 인한 경제적 손실의 절감을 기대할 수 있다. 따라서 본 기술해설에서는 국내외의 배전지능화 현황 및 동향을 파악하고 배전지능화 사업으로 인해 달성 가능하리라 기대되는 효과를 분석하고자 한다.

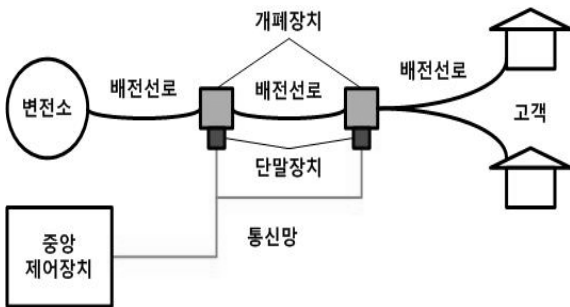


그림 1. 배전지능화 시스템 구성

2. 국내외 배전 지능화 환경 및 동향

2.1 국내 배전 지능화 환경 및 동향

국내의 배전 지능화 사업은 1990년 12월 산업자원부의 국책 연구 사업으로 “한국형 배전지능화 시스템 개발 연구”를 시작으로 시작되었다. 전력연구원, 전기연구소 및 6개의 생산업체가 공동으로 연구를 진행하여 1994년 4월에 실계통 실증연구가 진행되었다. 한국형 배전지능화 시스템의 실증연구는 강동 지점 25개의 배전선로에 설치된 125개의 개폐기를 대상으로 시범 운영되었다. 실증 연구가 성공적으로 완료되고 1997년 9월에 들어서 소규모 배전지능화 시스템을 개발하여 경기지사에 개폐기의 원격감시 및 제어가 가능한 18대가 시범 적용되면서 국내의 배전 지능화 사업은 본격적으로 시행되었다. 2001년

12월 종합 배전 지능화 시스템의 표준화를 완료하고 그로부터 약 1년 후인 2002년 12월에는 전국 174개 사업소에 배전 지능화 시스템을 구축하였다[7].

현재 국내 배전 지능화 시스템은 배전설계기준 DS-3600에 따라 지능형 개폐기와 수동 개폐기를 혼재하여 설치/운영 중에 있으며 DS-3600의 설치기준은 아래의 표 1에 정리하였다.

여기서 A지역은 대도시, 공단 등의 부하 밀집 지역 및 고신뢰성 요구지역을 의미한다. B지역은 중소도시, 대도시 외곽 지역 등을 포함하고 있으며, C지역은 기타 교외지역 등을 포함한다.

표 1. 배전설계기준

지역	구분	선로 간선		분기선의 분기점
		수동 개폐기	지능형 개폐기	
A지역		0.5km/1대	구간부하 1,600kW, 1.0km/1대	5경간 이상
B지역		1.0km/1대	2.0km/1대 구간부하 2,000kW	10경간 이상
C지역		2.0km/1대	4.0km/1대 구간부하 2,000kW	30경간 이상
운영상 필요지역		거리제한 없음		

이와 같은 기준에 의거하여 단계적으로 지능화 사업을 진행하여 2013년 현재 49%의 지능화를 달성하였다. 연도별 지능화 사업 성과는 아래의 표 2에서 다루고 있다.

표 2. 연도별 배전 지능화를 달성 성과

연도	2002	2003	2004	2005
지능화율(%)	15.40	17.95	23.05	24.65
연도	2006	2007	2008	2009
지능화율(%)	26.40	28.05	31.75	35.50
연도	2010	2011	2012	2013
지능화율(%)	40.00	45.75	47.55	49.00

2.2 국외 배전 지능화 환경 및 동향

기존의 전력시스템은 신재생에너지원의 증가시 전력품질 저하, 전기자동차 등 대규모의 새로운 전력수요에 대응하기 힘든 구조를 가지고 있다. 따라서 기존의 전력시스템에 IT 기술을 접목하여 전력망을 실시간으로 감시하고 제어하며, 양방향 통신을 통해 효율적으로 운영하는 지능형 전력망(Smart Power Grid)의 도입을 추진하고 있다.

미국에서는 2009년 오바마 정부에서 지능형 전력망 구현에 약 34억 달러의 지원을 공식적으로 언급했으며 EU에서는 온실가스 저감 및 재생에너지의 확대 보급을 목표로 하여 지능형 전력망의 보급을 추진하였다. 중국, 인도 등 신흥 국가는 급증하는 전력수요에 대응하기 위해 효율적인 전력망 구축을 전개하고 있다. 이렇게 세계의 주요 국가들은 기존의 전력계통에 대한 문제점을 해결할 수 있는 대안으로 지능형 전력 계통의 도입을 본격적으로 추진 중에 있다.

또한 IEC61850이 변전소 자동화에서 시작하여 분산전원 및 배전 지능화 분야로 점차 확대 보급되어, IEC TC 57 산하의 WG17에서는 분산형 에너지원과 배전계통에서의 IEC61850의 표준화를 주도하고 있다.

2.2.1 일본의 배전 지능화 현황

일본의 동경전력은 일본 내에서 가장 많은 전력을 공급하는 전력회사이다. 계통 구성방식은 수지상 방식을 채택하고 있으며 상시 운전용량은 5,800kW이다. 선로의 지능형 개폐기 사이 구간에 대한 부하는 약 970kW 수준으로 설치하고 있으며 한 선로는 보통 6분할 기준으로 구성이 된다. 이러한 동경전력은 배전선로 및 변전소의 부하 이용률 향상 및 건전구간에 대한 고장 복구시간을 단축, 운영인력 감축을 위해 1970년대부터 배전계통의 지능화 사업을 시작했다. 현재 동경전력의 배전망은 가공선로 및 지중선로 모

두 100%를 달성하였고 2009년 기준 호당정전시간(SAIDI)을 약 2분까지 감소시켰다. 구주전력의 배전계통은 동경전력의 배전계통 구성방법과 유사하다. 구주전력의 경우 배전지능화 사업을 동경전력보다 다소 늦은 1990년대부터 진행하였으며 현재는 동경전력과 마찬가지로 가공선로 및 지중선로 모두 지능화율 100%로 운전하고 있다.

2.2.2 아시아의 배전 지능화 현황

우리나라의 배전지능화 시스템과 유사한 대만전력(Taiwan Power Company)은 선로의 구성을 5~6분할 구간으로 구분하여 운전하며 각각의 구간 부하는 보통 990~1,480kW 수준으로 구성된다. 배전지능화시스템과 SCADA간의 통신 연계를 통한 배전선로 고장 자동 제거를 목적으로 운전하고 있다. 대만전력 역시 지능화율 100%로 운전하고 있다.

홍콩전력(HongKong Electric Company)은 11kV, 22kV의 델타방식 비접지 계통으로 계통을 운영하고 있다. 11kV 배전선로의 경우 Open-Ring 방식으로 구성하고 있으며, 이 방식은 고장구간 분리 및 건전구간으로의 송전까지 약 3분이 소요되어 현재 한국전력공사의 배전지능화시스템과 유사하다. 홍콩전력도 앞선 전력회사와 마찬가지로 1996년에 배전선로의 MV급(11kV, 22kV) RMU를 100% 지능화 완료했다.

2.2.3 유럽의 배전 지능화 현황

프랑스의 EDF사는 자체 개발한 지능화 시스템을 사용하여 배전계통을 운영하고 있다. EDF의 제어센터의 약 80%는 FDIR(Fault Detection Isolation and Restoration)기능을 적용하여 약 90% 배전선로의 고장을 자동으로 제거, 고장구간 분리부터 건전구간에 전력을 공급하기까지 평균 1분 30초로 매우 빠른 배전지능화 시스템을 보유하고 있다. 프랑스의

경우 대도시의 지중선로를 이중네트워크방식을 적용하고 100% 지능화 운전으로 전력공급의 신뢰도가 매우 높다. 그러나 가공선로에 대한 정형화된 설치기준 없이 정부와 계약한 전력공급 신뢰도 지수를 달성만 하면 되므로 대도시의 지중선로 설치 지역을 제외한 나머지 지역은 상대적으로 지능화율이 낮은 수준에 머물고 있다. 그런 점차 공급신뢰도 요구수준에 의거하여 단계적으로 지능화를 추진하고 있는 실정이다.

핀란드의 경우 약 80개의 배전회사가 20kV 델타-비접지 방식으로 배전계통을 운영하고 있다. 핀란드는 배전선로의 지중화와 더불어 지능화율을 증가시키고 있다. 현재 지역 및 배전회사에 따라 지능화율이 다소 차이가 있으나 10~50% 수준으로 전력계통의 신뢰도를 향상시키고 있다.

2.2.4 북미의 배전 지능화 현황

미국의 NSTAR사는 보스톤 일대에 전력을 공급하는 배전회사이며, 배전전압은 15kV, 25kV로 국내 계통과 유사한 Open Loop 방식을 채용하고 있다. 배전계통의 지능화는 정격전류 600A 선로는 100% 지능화를 달성했으며 현재 1,200A 선로에 대한 지능화가 100%를 목표로 추진 중에 있다. 다른 배전회사인 SDG&E사는 캘리포니아주의 3대 전력회사중 하나로 약 140만 호에 전력을 공급하고 있다. SDG&E사는 70% 수준으로 지능화를 달성하였다.

2.3 국내외 배전지능화 현황 비교

앞서 국가별 지능화율을 비교, 분석하였다. 아시아의 주요 국가들과 우리나라의 지능화율 실적을 비교하면 아래의 표 3과 같다.

해외 전력회사와 전체 개폐기를 대상으로 지능화율을 비교했을 때 우리나라의 경우 약 49%로 다른 해외 전력사에 비해 저조한 성과를 보이고 있다. 또한

배전선로의 운영 현황은 아래의 표 4와 같다.

표 3. 해외 전력회사와의 지능화율 비교

한국 전력	동경 전력	구주 전력	대만 전력	홍콩 전력
49%	100%	100%	100%	100%

표 4. 전력회사별 배전선로 운전 현황

구분	한국 전력	동경 전력	구주 전력	대만 전력
상시 운전 용량 (kW)	10,000	5,800	5,200	5,900
구간 부하 (kW)	1,600	970	500	990
선로당 지능형 개폐기 수	6	5	10	5

이렇게 우리나라는 수동과 지능형 개폐기를 혼재 사용하고, 구간부하를 크게 운영하는 것으로 인해 해외 배전회사에 비해 낮은 신뢰도를 유지하고 있다. 따라서 높은 신뢰도의 달성과 전력품질의 향상을 위해 배전 지능화 사업의 추진은 타당한 방향이라 할 수 있다.

3. 배전 지능화 사업에 따른 기대성과

본 절에서는 배전 지능화 사업에 따라서 우리나라의 배전계통의 지능화율이 100%를 달성했을 경우의 기대성과를 분석하고자 한다. 한국전력통계의 데이터를 기반으로 국내의 배전계통을 평균적으로 모델링하면 아래의 표 5와 같이 정리할 수 있다[8].

표 5. 배전선로 관련 데이터

선로 길이(km)	22.86
배전선로수(개)	9,388
분할용 개폐기수(개)	17

기술해설

위의 데이터를 기반으로 배전선로를 구성하면 아래의 그림 2와 같이 구성할 수 있다.

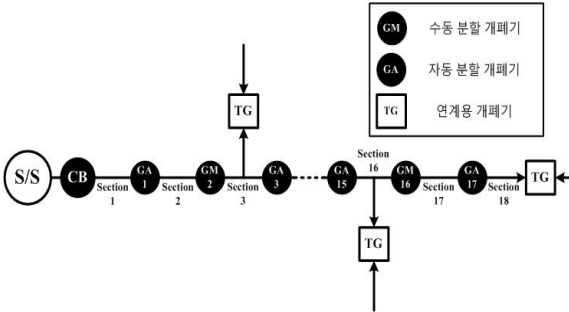


그림 2. 수지상 방식의 배전선로 모델

분석 모델에서 구간부하는 상시운전용량을 10,000kVA로 적용하고 모든 구간에 대하여 동일한 부하가 분포되어 있다고 가정했다. 또한 사회적 정전비용은 아래의 표 6과 같이 정리하였다(9).

표 6. 정전비용 데이터

(단위 : 원/kWh)

	주택용	일반용	교육용	산업용	농업용
1분	102	3,048	31,383	30,617	569
20분	2,040	6,102	90,223	60,280	62,699
1시간	6,350	16,888	142,970	98,680	307,100
4시간	24,035	72,599	248,940	187,090	784,400

배전 지능화율 향상에 따른 호당정전시간의 개선 효과를 아래의 그림 3에 나타내었다. 배전 지능화 사업에 따른 호당정전시간은 현재 저압배전계통의 고장을 제외하고 약 2.3분 정도의 수준을 달성하고 있다. 지능화율이 100%를 달성할 경우 1.68분을 달성할 수 있는 것으로 판단된다. 또한 배전설비 자체의 신뢰성이 향상될 경우 호당정전시간은 더욱 좋은 수준으로 개선될 수 있으리라 사료된다.

아래의 그림 4는 배전 지능화율 향상에 따른 정전비용의 변화를 정리한 것이다. 현재 배전 지능화율

수준인 49%에서 연간 발생하는 정전비용은 약 7,740억 원으로 분석되었다. 지능화율이 100% 달성될 경우 예상되는 정전비용은 약 6,594억 원으로 현재의 정전비용에서 약 15% 가량 절감할 수 있을 것으로 예상된다.

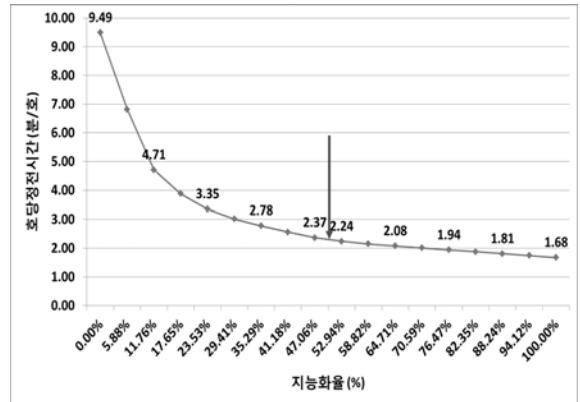


그림 3. 지능화율 향상에 따른 호당정전시간 변화추이

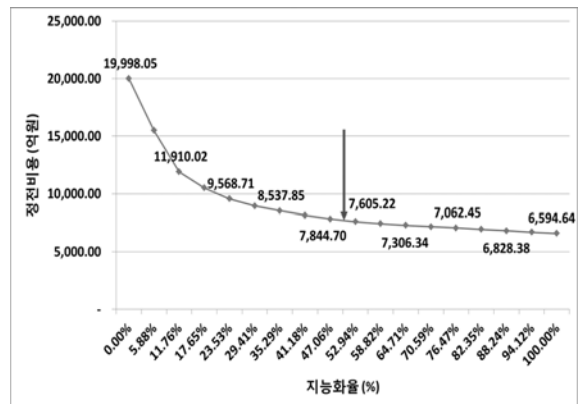


그림 4. 지능화율 향상에 따른 정전비용 변화추이

앞서 도출된 분석 결과 모두 지능화 사업 초기에는 배전 지능화로 인한 효과가 탁월하게 나타난다. 그러나 신뢰도 및 정전비용의 절감효과는 지능화가 진행될수록 점차 포화상태에 도달하게 된다. 그러나 전력산업의 특성상 사회의 기반을 마련한다는 의미에서 지능화 사업은 지속적으로 진행되어야 되리라 판단된다.

4. 결 론

국민들의 소득 증가에 따라 생활의 질이 중요하게 여겨지고 있다. 더불어 수용가의 전력설비도 대용량 및 첨단화가 진행되고 있어 고신뢰성이 보장되는 고품질의 전력공급의 요구 또한 증가되었다. 화석 연료의 고갈로 인해 현재의 전력공급 방식에 있어서 가까운 시일 안에 그 한계가 나타날 것이라 예상되어 세계 각국에서는 신재생 에너지를 전력계통에 연계하는 등의 노력이 진행되고 있으며, 이로 인해 다른 산업에 비해 안정적이던 전력산업에 큰 전환이 필요한 시점이 도래하였다.

실제 국외의 여러 나라에서 지능형 전력망 구축을 위한 연구 및 실증사업이 활발히 이뤄지고 있는 상황에 정부는 2010년 발표된 스마트그리드 로드맵, 2012년의 제1차 지능형 전력망 기본계획에 의거하여 분산전원 및 EES 등의 유입에 대비한 국가 지능형 전력망을 2030년까지 구축하고자 한다. 이러한 국내의 동향은 국제사회에서 뒤처지지 않은 올바른 정책방향이라 생각된다. 분산전원 및 EES 등의 스마트 그리드 핵심 설비들의 계통연계에 따라 전압, 전류, 주파수 등 계통 정보가 실시간으로 변경하게 되었고, 운영환경은 이러한 변화에도 대응할 수 있는 제어/감시 시스템의 구축이 필요하게 되었다. 따라서 지능형 전력망 운영체계의 기본이 되는 배전 지능화율 100% 달성 사업은 반드시 필요한 사업이라 판단된다.

참 고 문 헌

[1] T. H. Chen, W. T. Huang, J. C. Gu, G. C. Pu, Y. F. Hsu, and T. Y. Guo, "Feasibility Study of Upgrading Primary Feeders From Radial and Open-Loop to Normally Closed-Loop Arrangement", IEEE Transactions on Power System, Vol. 19, No. 3, pp. 1308-1316, Aug. 2004.
 [2] B. Pagel, "Energizing Internation Drive", Transmiss. & Distrib. World, Apr. 2000.
 [3] R. Fanna, "Closed Loop System Pilot Project", CEPSI, 2008.
 [4] R. Fanna, "Closed Loop System Pilot Project", CEPSI, 2008.

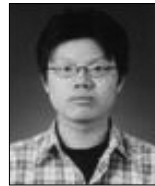
[5] 대한전기학회, "최신 배전시스템 공학", (주)복스힐, 2008.
 [6] Hee-Duk Yu, "KEPCO, To increase up to 90% about automation rate in power distribution system", Electimes, No. 2987, 2014.
 [7] 한국전력공사, "Global Top Distribution Tech. 달성을 위한 배전지능화 중장기 마스터 플랜", 2014.
 [8] 한국전력공사, "한국전력통계", 2014.
 [9] 한국전기연구원, "경쟁체제하에서의 배전계통 공급신뢰도 및 경제성 평가기법", 2004.

◇ 저 자 소 개 ◇



문종필(文鍾必)

1977년 5월 27일생, 2000년 송실대 전기공학과 졸업. 2007년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국교통대학교 전기공학과 부교수.



채희석(蔡熙石)

1984년 10월 6일생. 2011년 송실대학교 전기공학부 졸업. 현재 동 대학원 석박 통합과정.



김재철(金載哲)

1955년 7월 12일생. 1979년 송실대 전기공학과 졸업. 1987년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 송실대 부총장. 현재 본 학회 회장.