

미국, 캐나다 동부지역 대정전 사태의 교훈

— 사고원인 추정내용과 우리 나라의 대응 —

김 입 경

한국전력거래소 계통기술처 처장

1. 머리말

2003년 8월 14일 오후 4시 11분(EDT, 이하 현지시간) 미국 및 캐나다 동부지역에 대규모 정전사태가 발생했다. 이번 정전사태로 인하여 미국 뉴욕 주를 비롯한 8개 주와 캐나다 온타리오, 퀘벡 등 넓은 지역에 걸쳐 6,180만kW의 부하가 정전되었으며, 이는 우리 나라의 금년도 최대수요 4,739만kW(8월 22일)의 약 1.3배에 달하는 규모로써, 개략 5,500만 여명의 소비자가 정전에 의한 피해를 받았던 것으로 보도되었다.

세계적인 도시 뉴욕과 인근의 많은 도시들이 전기가 사라진 현대 도시의 황폐화와 공황사태를 경험하였고 미국, 캐나다뿐만 아니라 전 세계적으로 엄청난 파장을 불러일으켰다. 조지. W. 부시 미국 대통령이 직접 나서서 전력 설비의 기능향상(Upgrade) 또는 현대화의 필요성을 역설하였으며, 미국 에너지부(DOE)에 정전원인에 대한 철저한 조사를 지시하기도 하였다.

또한 의회에 강제성 있는 신뢰도 기준을 도입하기 위한 법안을 조속히 처리할 수 있도록 요청하는 등 사태의 심각성을 인식하여 재발방지를 위한 대응노력에 박차를 가하는 모습이다.

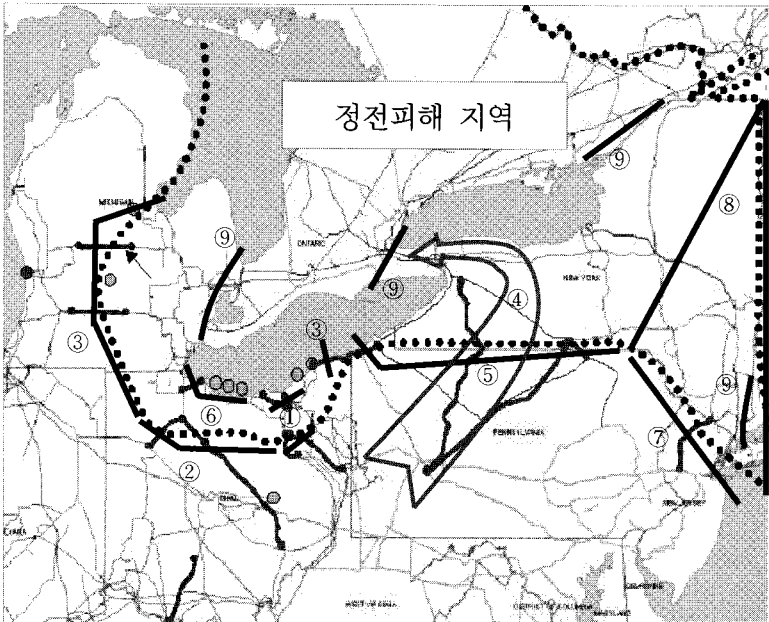
2. 사고원인 추정

사고원인에 대한 조사는 당초 북미 신뢰도위원회(NERC : North America Reliability Council)를 중심으로 진행되었으나, 정전사고 발생 약 6일 후인 8월 20일 미국 에너지부 장관과 캐나다 천연자원부 장관을 공동의장으로 하는 합동조사단을 구성하여 원인을 분석 중에 있다. 이후 설명할 고장진행 과정은 미국·캐나다 합동조사단에서 2003년 9월 12일 발표한 자료를 토대로 한 것이다.

당일 오하이오 주 인근에서는 정오부터 시작하여 산발적으로 발전기와 송전선로 고장이 있었으며 이러한 고장들이 광역정전에 영향을 미친 것으로 보인다. 다음 장의 그림은 광역정전 약 1시간 전인 오후 3시경부터 다수의 송전선로 고장에 의하여 중요한 전력공급 경로가 차단되는 과정을 흑색 실선으로 표시하였으며, 순차적으로 광역정전에 이르게 되는 시간적 흐름을 보여주고 있다.

① 3:05:41 ~ 4:08:58 PM

오하이오 주 동부로부터 북부지역으로 전력을 수송하는 3개의 345kV 송전선로가 차례로 정지된다. 이들 송전



〈정전피해 지역 및 광역정전 진행과정〉

선에 흐르던 전력이 138kV 이하의 계통을 통해 공급됨으로써 송전선로에 과부하가 발생하고, 전압이 저하되면서 오하이오 주 북부지역 일부 부하들이 자동으로 차단된다.

3:45 이후 인근에 있는 2개의 345kV 송전선로에 고장이 발생하여 추가로 정지되면서, 오하이오 주 동-북부지역 간에 전력을 공급할 수 있는 345kV 송전선로가 모두 차단된다.

② 4:08:58~4:10:27 PM

오하이오 주 북서부 지역에 있는 2개의 345kV 송전선로가 정지하고 미시간 중부에서 20만kW 출력으로 운전 중이던 발전기가 정지된다. 이로 인하여 오하이오 주 북부지역과 미시간 주 동부지역에 전력을 공급하기 위한 전력이 서쪽과 북쪽으로 우회하여 흐르면서 이들 송전선로의 전압이 저하된다.

③ 4:10:00~4:10:38 PM

약 30여 초에 걸쳐 미시간 주 남북을 잇는 경계선상의 동서로 연결된 345kV 송전선로들과 에리 호 남쪽 연안에 있는 345kV 송전선로가 연쇄적으로 정지되면서 미시간 주 동부 및 오하이오 주 북부 계통이 완전히 분리된다. 또한 에리 호 주변에서 200만 kW 이상의 전력을 공급하던 20기의 발전기들이 정지되면서, 미시간 동부와 오하이오 북부에 전력을 공급하는 나머지 송전선의 조류가 증가하고 발전력이 부족하여 전압이 크게 저하된다.

④ 4:10:38 PM

이 때부터 미시간 동부와 오하이오 북부 지역은 미시간 주와 캐나다 온타리오를 연결하는 송전선로를 통하여 전력을 공급받게 된다. 이로 인하여 인근지역 조류는 펜실베이니아에서 뉴욕, 온타리오를 거쳐 미시간에 이르는 큰 루프를 형성하게 된다.

⑤ 4:10:40~4:10:44 PM

펜실베이니아 주와 뉴욕 주를 연결하는 4개의 송전선로가 순차적으로 정지되면서 펜실베이니아 주와 뉴욕 주의 계통이 분리되었다. 이로 인하여 미시간 동부지역으로 전력을 공급할 수 있는 송전선로는 뉴욕 주와 뉴저지 주를 연결하는 송전선로와 캐나다 지역을 연결하는 송전선로가 남아있었으나 과도한 조류가 흐르게 된다.

⑥ 4:10:41 PM

북부 오하이오 계통에 연결된 발전기가 추가로 정지되

어 저주파 계전기에 의해 부하가 차단되고, 송전선로가 고장으로 정지되면서 미시간 주 동부지역과 분리되어 독립계통이 된다.

⑦ 4:10:42~4:10:45 PM

미시간 주 동부와 캐나다 온타리오를 연결하는 송전선로는 아직 연결되어 있으나 그 중 230kV 송전선로가 추가로 차단된다. 또한 뉴저지 주에 있는 500kV 송전선로가 고장으로 정지된다.

⑧ 4:10:46~4:10:55 PM

뉴욕 주와 뉴잉글랜드를 연결하는 송전선이 정지되거나 뉴잉글랜드 지역은 독립계통을 유지할 수 있을 정도의 발전력과 부하가 균형을 유지하게 된다. 또한 뉴욕 주의 송전망이 동서로 분리되어 동쪽 계통에는 뉴저지 북부 지역, 코네티컷 주 남서부 계통이 연결되어 있고 서쪽 계통에는 온타리오, 미시간 동부 계통이 연결되어 있다.

⑨ 4:10:50~4:10:57 PM

캐나다 온타리오와 뉴욕 주 나이아가라 서쪽의 계통이 분리된다. 또한 St. 로렌스 서부지역 계통이 남북으로 분리되고, 코네티컷 주 남서부 와 뉴욕 주를 연결하는 송전선로 등이 고장으로 정지되어 다수의 계통으로 분리되면서 정전이 넓은 구역으로 확산된 것으로 보인다.

아직까지 정확한 원인은 밝혀지지 않고 있으나 위에서 설명한 진행과정을 볼 때 이번 사태는 부하의 증가에 의한 것이 아니라, 다수의 송전선, 발전기 등이 짧은 시간에 연쇄적으로 정지되면서 관련 계통의 전압이 붕괴되어 발생한 것임을 알 수 있다.

송전선로에 연쇄적인 고장이 발생한 때부터 광역정전까지 약 1시간 이상이 소요된 것으로 보아 초기 대응이 미흡하였거나, 고장의 확산을 막을 수 있는 보호 장치에 문제가 있었을 것으로 추정된다. 간접적으로는 송전망 설

비의 노후화 및 투자 미흡에 원인이 있었던 것으로 보인다. 또한 각 지역 전력계통에 대한 종합적인 감시 및 제어가 어려워 고장시 대처방안 협조 등 효과적 조치가 곤란하였을 것으로 추정된다.

3. 미국과 우리 나라 환경 비교

이번 미국의 광역 정전사고로 우리 나라 국민들 중 상당수가 우리 나라의 현행 전력산업과 유사한 대규모 정전의 발생 가능성에 대해 관심과 우려를 갖게 되었다. 그러나 우리 나라의 전력산업 환경, 송전망 특성과 운영방식 등은 미국의 그것과 분명 차이점이 있다.

가. 송전부문 투자

송전부문의 투자측면에서 미국의 송전망은 대부분 민간이 소유하고 관리하므로 송전망에 대한 효율적인 투자가 어려우며, 연간 약 2% 내외의 전력수요 저성장에도 따라 송전부문의 투자가 미흡하고, 대부분 노후된 설비로 이루어져 있다.

이에 비해 우리 나라는 전체 송전망을 한전이 소유하고 관리하므로 투자재원의 확보나 관리 등이 용이하다. 아울러 송전망 설비투자 및 송전요금의 책정은 정부의 강력한 규제 하에 관리되므로 투자부족에 대한 문제의 소지가 적으며, 전력수요의 증가 추세에 따라 대부분 신규 투자된 설비이므로 신뢰성이 높은 편이다.

나. 송전망 구성

송전망 구성측면에서 미국은 서부지역, 동부지역, 텍사스지역의 3개의 독립된 전력망으로 구성되었으며, 비교적 장거리의 지역간 송전선로에 의해 느슨한 형태로 연결되어 있어, 계통운영 상황에 따라 지역간 송전량이 크게

증가하는 등의 경우는 고장이 광역으로 확산 파급될 우려가 높다. 이에 비해 우리 나라는 독립적으로 운영되는 단독계통으로써 비교적 단거리 송전선로가 다중 연결된 그물(망) 구조이며, 대표적 부하 밀집지역인 수도권외의 경우도 수도권 이외의 지역을 연결하는 6개의 송전선로에 의해 견고한 형태로 연결되어 있다.

다. 송전망 운영

송전망 운영측면에서 미국은 각 지역별 계통을 분할하여 약 15개의 계통운영자가 지역별 전력수급 및 계통운영을 담당하며, 해당 지역에 소속된 약 150개의 전기사업자가 있어 긴밀한 협조가 어려우므로 종합적인 감시와 제어가 복잡하다. 이에 비해 우리 나라는 전력거래소에 의한 운영체제로, 전체 전력계통을 효과적으로 통합하여 감시하고 제어할 수 있는 장점이 있다.

라. 전력산업 규제 및 신뢰도 관리

전력산업 규제측면에서 미국은 전력산업 규제 주체가 '연방에너지규제위원회(FERC)'와 주 단위 '공익위원회(PUC)'로 되어 있어 주체간의 이해에 따라 규제에 어려움이 있다.

신뢰도 관리를 담당하는 기관으로는 '북미 신뢰도위원회(NERC)'와 예하에 10개의 '지역 신뢰도위원회(RRC)'가 있으나, 사업자간 협의에 의하여 기준을 결정하며, 이러한 기준은 권장사항으로 강제적인 구속력이 없다. 우리 나라의 신뢰도 관리주체는 산자부(전기위)로 일원화 되어 효율적인 관리가 이루어지며, 산자부가 고시한 기준에 대하여 모든 사업자들이 의무적으로 준수하도록 되어 있다.

위에서 살펴본 바와 같이 미국이 가진 여러 가지 특성들이 이번 광역정전 사고에 직·간접적으로 영향을 미친 것으로 보인다.

4. 우리 나라의 대응

우리 나라도 1970년대 초기 발전기 고장정지 등의 원인으로 전체 계통 정전을 경험한 사례가 있으며, 1980년대 초에는 송전망이 충분하지 못하여 지역간 발전기들의 출력이나 전압이 불안정하게 동요하는 현상 등을 겪었으나 이후 지속적으로 발전설비와 송전선을 보강한 결과 견고한 송전망을 확보하여 운영하게 되었다.

우리 전력거래소는 '신뢰도/전기품질 유지기준(산자부고시)'에 근거하여 수요 변동 및 계통운영 중 발생가능성이 있는 고장을 상정하는 등 다양한 조건을 고려하고 있다. 또한 여러 가지의 가상고장을 선정하여 이에 대한 영향을 정밀하게 분석하고 고장에 대비한 대안을 수립하였으며, 고장시 대처 절차 등을 확보하고 있다.

따라서 이러한 고장이 발생하는 경우에도 전력계통이 안정을 유지할 수 있도록 충분한 대책이 확보되어 있는 상태이다.

다만 이번 미국 정전 사례에서 볼 수 있듯이 짧은 시간에 발전기를 포함하여 여러 개의 송전선로가 연쇄적으로 불시 정지되는 상황이 발생되면 광역정전 등의 영향을 완전히 배제할 수는 없다. 하지만 현실적으로 이러한 모든 경우에 대하여 전력계통이 안정을 유지할 수 있도록 하기 위해서는 천문학적인 설비투자과 전력거래 비용의 증가를 수반하게 되므로, 이처럼 신뢰도기준의 범위를 초과하는 비상상황에 대하여 다음과 같은 대비책을 수립하고 있다.

첫째, 다수의 발전기 고장시 주파수 저하에 따른 광역정전을 예방하기 위하여 주파수가 저하되는 경우 총 6단계에 걸쳐 계통수요의 41%를 차단할 수 있도록 보호장치를 설정하여 운영하고 있다.

둘째, 발전소 인근에 고장이 발생하는 경우 발전기가 불안정해짐에 따라, 안정 유지에 필요한 일부 발전기를

차단하기 위한 보호장치를 영광원자력 등 6개 발전소에 설치하여 운영하고 있다.

셋째, 발전 공급능력 부족이 예상되는 비상시 단계별로 약 1,000만kW 수준의 수요를 조절할 수 있도록 '비상시 부하조절 운영계획'을 확보하고 있다.

넷째, 우리 나라 전체 계통수요의 40% 이상이 밀집된 수도권 전력공급 안정 대책으로써 발전설비가 충분하지 못한 수도권은 다른 지역으로부터 900만kW 이상의 대전력 용통하여야 한다.

수도권으로 전력을 수송하는 고속도로와 같은 역할을 하는 송전선로는 765kV 송전선 1개를 포함한 6개 루트(12개 회선)가 있으며, 이중 송전선로 1개가 고장으로 불시에 정지되는 경우에 발전 공급능력이 부족한 수도권 지역의 전압불안정을 방지하기 위하여 수도권으로 용통할 수 있는 전력을 안정유지 범위 내로 제한하여 운영하고 있다.

다섯째, 수도권 지역에 전력을 수송하는 송전선 중 고장시 영향이 큰 765kV 송전선고장에 대비하여, 고장시 수도권 일부 부하를 자동 차단하여 고장이 광역화되는 것을 방지하기 위한 보호 장치를 설치하였다.

여섯째, 만약 이러한 대책에도 불구하고 예상치 못한 최악의 상황에 대비하여 '전체 계통 또는 광역정전시 복구계획'을 수립하여 운영하고 있다.

또한 이와 관련된 전산프로그램을 개발하여, 비상시 효율적인 대처가 가능하도록 필요한 관련 절차 등을 숙지도록 하여 초기 대처능력을 강화함으로써, 계통을 조기에 안정화함은 물론 인적실수 등에 의한 광역정전 예방을 위한 훈련을 지속적으로 시행하고 있다. 뿐만 아니라 '급전원 훈련시스템'을 활용하여 전력계통의 운전을 담당하는 급전원들에게 실용적인 교육훈련 시행함으로써 전문성을 향상시키고 있다.

5. 맺음말

전기는 빛의 속도로 송전망을 통해 움직이고 저장이 불가하므로, 실시간으로 변화하는 수요와 공급의 균형을 유지하여 전력계통을 안정적으로 제어, 운영하는 것은 매우 어려운 문제이다. 더구나 현대 사회가 점차 고도화되고 전기 에너지에 대한 의존도가 높아지면서 전력계통은 점점 규모가 거대해지고 복잡해지는 추세다.

전력계통 운영 기술의 선진국으로 자부하는 미국에서조차도 이러한 광역정전사태에서 자유로울 수 없는 것은, 물론 다른 여러 가지 원인이 복합되어 있긴 하지만, 그만큼 '현대의 복잡한 전력계통을 안정적으로 운영하는 것이 얼마나 어려운가.'하는 사실을 보여주는 사례라고 할 수 있다.

우리 나라가 여러 가지 측면에서 미국에 비하여 광역정전이 발생할 가능성이 낮긴 하지만, 다양한 환경 하에서 운영되는 전력계통이 상시 고장 위험에 노출되어 있는 현실을 간과해서는 안된다.

예상치 못한 고장이 다중으로 발생하는 경우 전력계통이 급속히 불안정해질 수 있으며, 이렇게 되면 보호 장치 등의 오동작에 의하여 고장이 넓은 지역으로 확산될 수 있기 때문이다.

우리 나라도 계통운영 과정에서 발생할 가능성이 높은 고장을 상정하여 안정유지를 위한 대책을 수립하고 있으나, 이번 사태를 계기로 보다 다각적인 상황을 고려하여 안전장치를 추가로 확보할 수 있도록 신뢰도 기준 등을 보완하고, 전력거래소의 계통운영 기능을 강화하여 비상시 계통운영에 대한 효율성을 증진할 필요가 있다.

아울러 합리적인 시장운영 체제를 구축하여 유사사태가 일어나지 않도록 지속적인 노력을 기울여야 할 것이다. ■