

원전과 송전계통의 미국규제동향

주운표, 김복렬, **김남희**
한국원자력안전기술원

Regulatory Trend of USA on Nuclear Power Plants and Transmission System

Oon-Pyo ZHU, Bok-Yeol KIM, Nam-Hee KIM
Korean Institute of Nuclear Safety

Abstract - 2003년 8월14일 북미는 사상최대의 대정전 사고를 경험하였다. 입법과정을 통하여 전기신뢰도기구가 창설되고, 신뢰도 기준을 법제화하는 등 후속조치가 진행되었다. 미국 원자력규제기관은 송전망 관련사건 분석을 통해서 송전망사고가 점차 대형화되어, 소외전원 상실을 비롯한 발전소 교류전원상실이 안전을 위협할 수 있다는 것을 확인하였다. 비록 2003 대정전으로 인한 원전사고는 없었지만, 문제점을 인식하고, 원전연계요건을 포함한 원전-송전계통 사업자 조정 기준을 법제화하여 원전안전성을 보장하도록 하였다. 이와 같이 변화된 규제환경 및 동향과 아울러 전기신뢰도 확보를 비롯한 원전의 안전성을 확보하는 최근 미국 규제기관의 노력을 확인하여 교훈을 얻고자 한다.

1. 서 론

2003년 8월14일 단순한 수목 접촉 사고로 시작한 대정전 사고는 미국 북동부, 캐나다 남서부, 4대호 인근지역에 사상 최대규모의 피해를 입혔다. 불과 12초 동안 캐스캐이딩 현상대로 인하여 미국, 캐나다의 256개 발전소(발전기531기)-원전9기는 2분 이내-가 탈락되었다. 사고관련 미국-캐나다 테스크 포스팀은 권고 및 개선사항을 제시하였다. 연방단위에서 지역 전력사업자간의 조정을 포함한 의무적인 신뢰도 기술기준의 제정 및 시행, 독립신뢰도 관리기구의 신설, 국가신뢰도 위원회 요건강화, 신뢰도비용보상이 제시되었고, 이는 입법을 통하여 정책적으로 추진되고 있다.

2. 규제 환경의 변화

2.1 전력 계통의 규제환경의 변화와 협력사항

미국의 대규모 정전은 1965년 미국북서부, 캐나다 온타리오 지역에 당시 최대규모로 발생하였고, 1968년 연방전력위원회(FERC의 전신)는 전력조정위원회 설립을 추진하여, 국가전기신뢰도 위원회(NERC)를 설립하였다. 1975년 뉴욕 대정전의 후속조치로 연방법에 근거를 둔 신뢰도 규정이 최초로 생기게 되었고, 1981년 미국 국가신뢰도 위원회(NERC: National Electricity Reliability Council)는 캐나다의 참여로 북미 전력신뢰도 위원회(NERC: North America Electricity Reliability Council)로 확대되었다. 전력산업 구조개편과 규제 완화의 부작용으로 1996년 미 서부지역의 정전으로 서부지역 전기조정위원회에게 벌금을 물리는 협약을 추진하였다. 1997년에는 NERC가 전기신뢰도 조직이 되어야 한다는 미국 에너지성의 신뢰도 테스크 포스팀의 권고가 있었다.

2003년의 북미 사상최대 정전으로 5천만인가가 정전피해를 보았고, 개선책의 하나로 NERC가 에너지정책법 제215조의 위임(Order 672)을 받아 2005년 독립적인 전기신뢰도 기구(Electricity Reliability Organization)로 발족하고, FERC의 승인을 받았다. 또한 2006년에는 캐나다 주정부와 협약을 맺었다. 2007년에는 NERC가 공사(corporation)로 변경되어 산업체를 대표하는 독립적인 신뢰도 기관으로 위상을 변경하였고, FERC는 83개의 신뢰도기준을 승인하여 강제적인 기준(Order 693)이 되었다. 특히 원전과 관련하여 고시(Order 716)에 따라 원전관련 협조사항(Nuclear Plant Interface Coordination)을 법제화하였다.

연방정부차원에서 지역 전력사업자간의 업무조정과 관련되는 업무는 FERC(Federal Energy Regulatory Commission)에서 수행한다. FERC는 전력 뿐 아니라 천연가스, 유류의 미국 내 주 사이의 전송을 규제하는 독립적인 정부기관이다. FERC는 2005년 에너지 정책법에 근거하여 전기신뢰도와 관련된 연방수준에서 추가적인 임무를 부여받았다. FERC는 1920년도 설립된 이후, 현재 예산규모 US\$260백만이고, 인원은 1400명²⁾이다. 연방규제기관 간 원전-송전망 협력을 목적으로 NRC-FERC MOA(2004)를 체결하여, 분기별로 실무자 회의 및 합동 위원장 회의를 개최한다³⁾. FERC는 지역 전력사업자를 대표하는 독립적인 신뢰도 기관인 NERC에게 많은 업무를 위임하였고, 신뢰도 기준을 집행하도록 하였다.

NERC는 1968년도 설립된 이후, 2006년 독립적인 비영리 단체인 전기

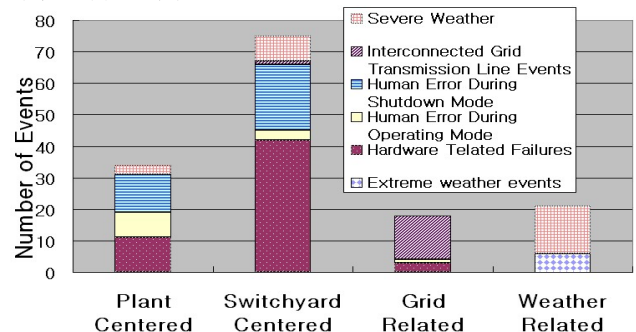
신뢰도 기구로 개편되었다. 주요 임무는 북미 전체의 송전망 신뢰도를 확보하기 위하여 신뢰도 기준을 개발하고 집행한다. 또한 송전계통의 사고를 분석하여 송전망 하부기간망에 대한 보호업무를 수행한다. 현재 예산 규모 US\$ 26백만이고, 인원은 100명이다. NRC와는 2004년 NRC-NERC MOA를 체결하였고, 2007년 갱신하여, 비상상황시 통신유지, 사건의 분석, 운전경험의 분석, 북미전기신뢰도 위원회 참여 등 협조 업무를 수행한다³⁾.

NERC(Nuclear Regulatory Commission)는 대통령의 지명을 받고 상원의 인준을 받아 임명되는 5년임기의 5명의 위원으로 구성된다. 104개의 상업용 원전, 연구-시험-훈련용 원자로, 핵주기시설, 방사성동위원소 등을 규제하고 있으며, 워싱턴에 직원의 76%, 미국 4개의 지역사무소에 24%가 근무한다. NRC는 에너지 제조법에 의하여 1974년 설립된 이래, 2004년까지 3,000명 규모를 유지하다가 규제 합리화 추세 및 원전건설신청 증가에 따라 2008년 3,700명 규모로 확대되었고, 예산은 82%가 사업자의 비용으로 충당되며, 기금은 18%로 2004년도까지 최대 US\$626백만이었으나, 2008년도에는 업무증가로 인하여 US\$926백만으로 확충되었다⁴⁾.

2.2 원전관련 송전계통 사건 분석과 예측

미국의 원전은 104개가 가동되며, 전체 발전규모의 19%를 차지하고 있다. 최근에는 원전건설 추진이 증가되고 있어 원자력 르네상스 시대를 맞이하고 있다. NRC는 전력산업 구조개편과 규제완화로 인한 영향분석 등⁵⁾⁶⁾⁷⁾을 통하여 원전소외전원상실에 대한 우려를 관련연구로 밝힌 바 있고, 1985-2003년(16년간) 송전계통 사고 600건을 분석한 결과, 규제완화로 새로운 전력주류가 형성되기 시작하였고, 원전부근의 과부하가 발생하여, 원전의 불시정지가 증가하는 경향이 있다는 것을 보고서⁸⁾에서 밝히고 있다. 그러나 2003년도 대정전사고에서 원전은 설계된 바와 같이 응동하였다. 미국원전은 9기가 정지되었으나, SBO(발전소교류전원 완전 상실)는 발생하지 않았으며, 비상디젤발전기가 가동하여 안전부하에 전원을 공급하였다¹⁾.

SBO가 원전 노심손상빈도(Core Damage Frequency: CDF)를 증가시키는 주요한 원인이며, 이는 104개 원전의 표준위험도 분석을 통하여 내린 결론⁹⁾이다. 내부사건으로는 냉각재 상실사고가 있지만, 발전소 정전사고(SBO)보다 그 영향은 적은 것으로 평가되었다. 고리3, 4호기 확률론적 위험도분석결과, SBO는 41.9%의 기여도를 보이는데 소형냉각재상실 사고는 17.06%를 차지하고 있는 것이 확인되었다¹⁰⁾. 소외전원상실 원인을 분석(그림1)해보니, 스위치야드 문제, 발전소 내부문제, 날씨의 영향, 송전망의 영향 순으로 결과나 나왔으며, 설비의 고장, 인적실수, 가혹한 기후 순이다.

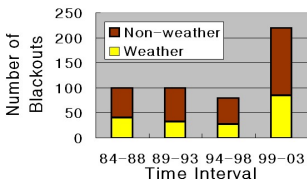


<그림 1> 원전 소외전력 상실의 원인분석

또 다른 분석⁵⁾에서 FERC가 공개한 1984-2003년의 전체 송전망 자료를 이용하여, 송전망 정전사건(그림2), 발전기정지사건(그림3), 800MW이상 부하의 탈락사건(그림4), 4시간 이상 복구사건(그림5)을 4가지로 분류하여 4년 단위로 경향을 분석해보니 1999-2003년 구간에서 급격하게 증

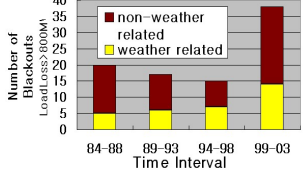
가하는 것이 보인다. 특히 사고는 점점 대형화 경향을 그림4의 800MW 부하의 탈락사건과 그림5의 회복시간 증가로 알 수 있어. 2003 대정전에 대한 직관을 제공한다.

Grid Reliability Operating Reliability 1984-2003



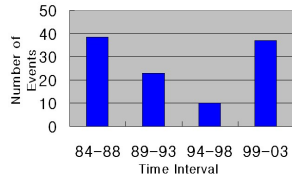
〈그림 2〉 송전망 정전사건 경향

Operating Reliability Blackouts Load Loss >800MW 1984-2003



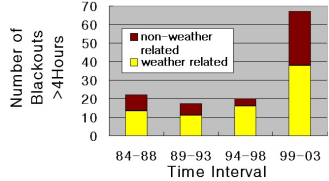
〈그림 4〉 800MW이상 부하탈락

Grid Reliability Adequacy 1984-2003



〈그림 3〉 발전기 정지사건 경향

Operating Reliability-Blackouts Recovery time >4Hour 1984-2003



〈그림 5〉 정전 회복시간

3. 규제 요건의 변화

3.1 전력 계통의 신뢰도 기구의 발족 및 신뢰도 기준제정

1977년 뉴욕 정전 이전까지 자발적 참여를 권고한 신뢰도 기준이 시행되고 있었으나, 2003년 대정전으로 인하여 강제적인 신뢰도 기준의 필요성이 대두되었고, 2006년 전기신뢰도 기구(ERO)의 창립과 함께 연방정부 수준에서 신뢰도 기준을 법제화 하였다.

FERC는 102개의 신뢰도 기준을 공포하였고, 당시 83개의 신뢰도 기준은 현재 발효 중에 있다. 현재 신뢰도 기준은 표1에서 보이는 바와 같이, 14종 103개가 승인되고, 68개는 승인검토 중에 있다. 신뢰도기준 중 보호 및 제어분야에 가장 많은 개수가 있고, 연계관련사항, 모형 및 분석, 보호 및 제어, 설비설계 및 보수, 중요하부기간 구조의 보호 등이 많이 승인되고, 분석에 대한 많은 기준들이 검토 중에 있다.

〈표 1〉 전기 신뢰도 기준의 형태와 내용

	Standards	승인	검토
1	BAL:수급균형(Resource and Demand Balancing)	7	5
2	CIP:중요기간하부구조 보호(Critical Infrastructure Protection)	9	9
3	COM:통신(Communications)	2	0
4	EOP:비상운전절차(Emergency Preparedness and Operations)	8	2
5	FAC:설비설계, 보수(Facilities Design and Maintenance)	9	1
6	INT:상호교환 조정(Interchange Scheduling and Coordination)	9	0
7	IRO:연계 신뢰도 운전 및 조정(Interconnection Reliability Operations and Coordination)	10	8
8	MOD:모형화, 자료 및 분석(Modeling, Data, and Analysis)	10	17
9	NUC:원전 연계조정 협약기준(Nuclear)	1	0
10	PER:요원의 능력, 훈련 및 자격(Personnel Performance, Training and Qualifications)	4	3
11	PRC: 보호 및 제어(Protection and Control)	17	9
12	TOP: 송전망 운전(Transmission Operations)	9	5
13	TPL: 전방 계획(Transmission Planning)	4	5
14	VAR: 무효전력 및 전압(Voltage and Reactive)	4	4
	합계	103	68

3.2 원전관련 신뢰도 기준: 원전 연계 조정기준

원전과 협력이 강조된 원전연계조정 기준(Nuclear Plant Interface Coordination, Standard NUC-001-1)은 Order 716에 근거를 두고, 미 원자력 규제기관 NRC의 검토협조를 받았으며, NERC의 이사회는 2007년 5월, 연방규제기관 FERC는 2008년10월에 승인하였다. 이 신뢰도 기준은 최종 승인 후 15개월 후 발표될 예정이다.

그 주요한 내용은 원전-송전망 운영자들 사이에 송전망의 안전 운전을 지원하고, 원전의 안전 정지 능력을 확보하기 위하여 협력 및 상호 책임 요건을 규정한다. 원전의 설계 및 허가 요건은 서면합의 형식으로 문서화한다. 상호책임요건으로 원전 운영자는 원전연계요건을 송전망운영자에게 제시하여야 하며, 송전망 운영자는 전력계통 계획, 운영 분석결과를 원전 운영자에게 제시해야한다. 특히 전력계통 운용 평가능력이 상실되었을 경우에 즉시 원전운영자에게 통보하도록 하였다. 원전-송전망의 정

지 및 보수, 설계내용, 구성, 운전제한값, 보호계통, 용량의 변경은 상호 통보하는 것을 요건화하였다.

이러한 요건의 준수여부를 감시과정을 통해서 NERC의 감독을 받게 된다. 감사 등을 통해 위반이 발견된 경우, 벌금을 비롯한 벌칙은 NERC 이사회의 조치에 따르게 된다. 추후 송전망 운영자에 대한 명확한 정의가 확립되고, 원전-송전망 운영자는 절차에 따라 등록될 예정이다 캐나다의 미국과 같은 원전허가요건을 적용받지는 않지만, 캐나다 주정부 협약에 따른 적용을 받게 된다.

4. 논의

1965년 이후 3차례에 걸친 북미지역 및 서부지역 정전사고를 계기로 규제에 대한 논의가 활발하게 진행되어, 다수의 신뢰도 기준이 법제화되고, 신뢰도 기구가 탄생되었다. 또한 원전소내의 사건분석을 통해서 원전에 소의전원상실 특히 SBO가 가장 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었고, 이를 우리나라 원전에 적용한 결과, 동등한 결론을 얻을 수 있었다. 원전 안전성 확보차원에서 1984-2003년의 공개된 송전망 관련 정전 사건을 4년 단위로 분석한 결과, 1999-2003년 구간의 정전 규모가 대형화되는 경향을 확인하였다. 2003년 대정전에도 불구하고, 원전은 설계된 바와 같이 비상디젤발전기, 대체교류 디젤발전기가 지원하는 심층방어설계에 따라 SBO사건이 일어나지는 않았다. 그러나 송전망 운전상태에 대한 커뮤니케이션 부족으로 어려움이 발생하였으며, 이에 대한 대책으로 개별적으로 송전망-원전 운영자간 협약을 맺고 보완하는 대책을 마련하였다. 이러한 협약을 규제하는 연방정부차원에서 '원전연계조정 기준'을 법제화하였으며, 2010년 말까지 시행될 예정이다.

5. 결론

미국은 대규모 정전의 교훈을 바탕으로 송전망 신뢰도를 확보를 위하여 다양하게 제도와 조치를 개선하는 정책을 추진하고 있다. 미국의 사례연구를 통하여, 이러한 노력은 전력시장 개방, 전력구조 개편에 뒤따라 발생한 대정전 보완책이라고도 할 수 있다. 특히 원전의 안전성 확보를 위하여 원전-송전망 운영자간의 조정 기준의 시행을 앞두고 우리나라도 원전과 송전망의 주변환경을 다시 검토하고, 미국의 교훈을 활용해야 할 것이다. 향후 필요한 경우, 우리나라의 원전-송전망에 미국의 사례를 적용할 경우, 원전안전성 및 송전망 신뢰도가 확보될 수 있는지에 대한 연구가 진행될 것이다.

[참고 문헌]

- 1) U.S.-Canada Power System Outage Task Force, "Final Report on the August 14, 2003 Blackout in the United States and Canada: Causes and Recommendations", April 2004,
- 2) <http://www.ferc.gov/>
- 3) Dave Andrejcek, Mark Hegerle, "Electric Grid Regulatory Perspectives: Nuclear Power Plant/Electric Grid Regulatory Coordination and Cooperation", The 21st Annual Regulatory Information Conference, March 11, 2009, Marriot Conference Center, North Bethesda, Washington DC, Federal Energy Regulatory Commission
- 4) U.S. Nuclear Regulatory Commission, "Information Digest 2008-2009", NUREG-1350, Vol.20, August 2008
- 5) J.P. Poloski, et al, and US-NRC, NUREG/CR-5750, "Rate of Initiating Events at US Nuclear Power Plants: 1987-1995", February 1999
- 6) C.L. Atwood, et al and US-NRC, NUREG/CR-5496, "Evaluation of Loss of offsite Power Events at Nuclear Power Plants: 1980-1996", November 1998
- 7) U.S. Nuclear Regulatory Commission, NUREG-1784, "Operating Experience Assessment: Effects of Grid Events on Nuclear Power Plant Performance," December 2003.
- 8) William S Raughley, "Abbreviated Version of the Draft Status Report concerning the Assessment of Grid Operating Data for sign of Change and Potential Vulnerabilities", Division of Systems Analysis and Regulatory Effectiveness Office of Nuclear Regulatory Research U.S. Nuclear Regulatory Commission
- 9) S.A Eide(INL) and D.M Rasmuson(NRC), NUREG/CR-6890, INL/EXT-05-00501, "Re-evaluation of Station Blackout Risk at Nuclear Power Plants"-Analysis of Loss of Offsite Power Events: 1986-2004, P62, December 2005
- 10) 주은표 외, "원전스위치야드 및 송전신뢰도에 관한 규제동향", 2007년도 대한전기학회 전력기술무분회 전력계통연구회 춘계학술대회 논문집 (2007. 5.18)