

# 전기설비 안정화를 위한 오동작 방지 방안

김선준\*, 어익수\*\*

\*한국전기안전공사, 호남대학교\*\*

e-mail: oksjoon@kesco.or.kr, iseo@honam.ac.kr

## The Malfunction Prevention Plan for the Electrical Equipment Stabilization

Seon-Jun Kim\*, Ik-Soo Eo\*\*

Korea Electrical Safety Corporation\*, Honam university\*\*

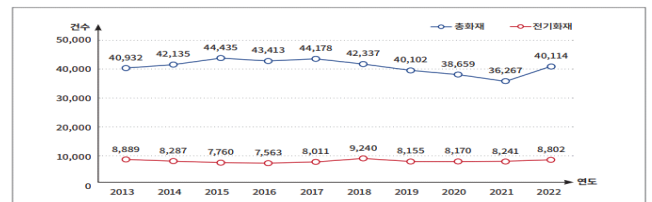
### 요약

최근, 전기설비의 최첨단화, 초대형화 되어 가고 있으며 전력산업은 그동안 경제성장을 이끌어왔고, 산업을 확대발전시켰으며, 고용기회를 창출하였고, 소비자들의 삶의 질을 향상시키는 등 말 그대로 세상의 동력 역할을 하고 있다. 여기서, 전력계통시스템은 수력, 화력, 원자력발전소에서 생산되는 전기를 송전선로와 배전선로를 통하여 수용가에 전기를 공급하고 운영하는 일련을 과정을 거치는 전원설비가 되며 전기사업자로부터 전력을 받아들이는 수전설비, 사용 전압으로 강압하는 변전설비, 발전설비나 축전지설비, 무정전전원공급장치 등의 예비전원설비, 배전설비에는 배전반의 배선차단기(MCCB) 2차측 부터 분전반이나 동력제어반까지로 직접 기기에 이르지 않는 배선인 간선과 분전반이나 제어반의 MCCB로부터 전등, 전열 및 전동기 등 직접기기에 이르는 배선인 분기회로, 전기에너지를 소비하는 사용설비(전등, 전열설비, 동력)인 부하설비, 감시 제어설비, 정보설비, 승강기 설비, 방재설비 등으로 전기설비를 분류한다. 특히 자가용 전기설비는 전기사업자와의 사이에 안전상의 책임분계점을 설정하고, 책임분계점 이후 전기설비 수용가 자신이 안전관리 담당자를 선임해서 안전책임을 다하도록 하고 있다. 현장실무를 바탕으로 각종 전기설비를 종합적, 경제적으로 운전은 물론이고 일부 전기설비에 고장 등이 있을 경우 그 파급을 방지함과 동시에 신속한 복구를 도모하기 위하여 계통을 종합적 입장에서 질서정연하게 운용을 통해 전기설비 계통의 그 본래의 의무를 다하도록 하기 위한 기능을 경제적이면서 충분한 신뢰도와 안정도를 가지고 실현하는 것을 최종 목표와 더불어 산업현장의 전기재해 및 안전사고 사전예방으로 안전한 환경 조성을 목적으로 한다. 사업장 또는 현장실무에서 일하는 모든 사람의 전기재해로부터 안전 및 보건을 확보함과 더불어 안전사고 사전 예방으로 안전한 환경 조성, 전기설비 안정화를 목적으로 전기안전 예방활동에 유용함을 확인하였다.

### 1. 서론

최근, 전기에너지는 첨단·고도화된 현대사회에서 필수적인 에너지원으로 자리매김하고 있으며 경제발전 에 따라 신재생 에너지 등 다양한 에너지원이 등장하고 전기설비의 급격한 증가, 기존 시설의 노후화가 진행되며 화재, 감전, 설비사고 등 전기재해의 위험성이 더욱 커지고 있다. 전력계통 신뢰도 및 전기품질 유지기준을 수립하고 송전용 전기설비를 갖추는데 필요한 사항을 정하는 전기사업법 제18조 및 제27조, 같은 법 시행규칙 제18조, 같은 법 시행령 제17조의 2, 같은 법 시행규칙 제21조의 2규정으로 정하고 있다. 전력계통을 구성하는 제반 설비 및 운영체계 등이 주어진 조건에서 의도된 기능을 정정하게 수행할 수 있는 정도로 정상상태 또는 상정고장 발생 시 소비자가 필요로 하는 전력수요를 공급해 줄 수 있는 적정성과 예기치 못한 비정상 고장 시 계통이 붕괴되지 않고 견디어 낼 수 있는 안정성을 갖는 신뢰도가 중요함을 규정하고 있다. 그러나 자가용 및 사업용 전기설비 소유 또는 관리

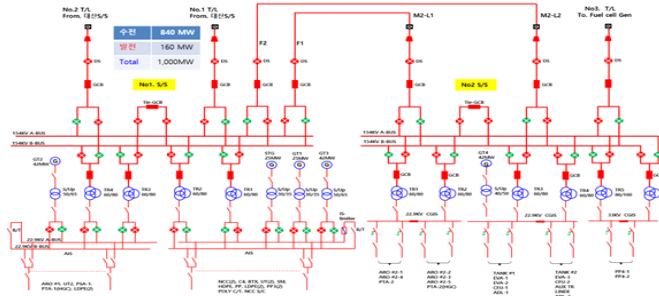
하는 배전선로, 변압기, 개폐장치, 전기저장장치 및 기타 이에 부속되는 전기설비에서 오동작 및 오부동작 등의 원인을 수반한 전기재해가 발생하고 있는 실정이다. 국내에서 발생한 2022년 화재를 원인별로 분류하면 부주의에 의한 화재가 19,666건(49.03%)으로 가장 높았고, 다음으로 전기적 요인에 의한 화재가 8,802건(21.94%), 기계적 요인에 의한 화재가 3,857건(9.62%)을 점유한 것으로 나타나고 있다.



[그림 1] 최근 10년간의 전기화재 분포

그림 1은 최근 10년간의 전기화재 분포를 나타내며 2013년의 8,889건에서 87건 감소하여 2022년에는 8,802건이 발생한 것으로 나타났으며 화재는 증가 추세를 보이고 있다. 전기설비

사고 2,781건 중 저압설비 1,651건(59.4%), 고압설비 32건(1.2%), 특고압설비 1,098건(39.5%)이 발생하였고 전기화재 점유율은 2013년도의 21.7%에서 2022년에 21.9%로 0.2%p 증가하고 있어 잠재적 위험성의 심각성을 알 수 있다. 그림 2는 전력계통도이며 철탑 34기로 154kV 2회선 병렬운전, 154/22.9kV 640MW, 154/3.3kV 200MW, GIS 19Bay, MTR 10대이다.



[그림 2] 전력계통도

표 1은 154kV 주요 전기설비 구성으로 상용발전으로 스팀터빈 20MW, 가스터빈 140MW, 비상용발전기 16,295kW, 태양광발전 451kW이다.

[표 1] 154kV 주요 전기설비 구성

구분	수전설비	발전설비		
		상용	비상용	신재생(PV)
용량	840MW	160MW	16MW	0.451MW

표 2는 송전계통 구성이며 154kV 선로 이중화(PCM), 선로 2회선 Loop 운전, 변전소 상호간 연계선로 운전하는 방식이다.

[표 2] 송전계통 구성

구분	선로종류	공장	허용전류	송전용량	비고
#1 T/L	Hi-STACIR 330mm <sup>2</sup>	7,565M	1,239A	330MW	가공선로
#2 T/L	XLPE2000mm <sup>2</sup> Hi-STACIR 330mm <sup>2</sup>	150M(가공) 7,415M	1,098A	292MW	케이블헤드(지중+가공)

표 3은 154kV 주요 전기설비 구성을 나타내며 수전설비의 핵심설비인 변압기 접지방식 최적화를 통해 하절기 장마철 낙뢰 등의 지락사고 등이 빈번하게 발생되어 변압기로 고장 전류가 유입됨으로써 보호계전기의 오동작 우려가 크고 전력 공급 불안정성이 매우 커 막대한 생산손실은 물론 급격한 공정 조건 변화로 화재, 폭발, 누출사고의 가능성이 높으며 급격한 부하변동에 따른 회전의 파손 및 진동 심화와 정전사고에 의한 공정의 플래어 발생 시 주변의 심각한 환경오염과 민원으로 각종 법적 규제를 받을 수 있어 전기설비의 철저한 사고 예방 및 전기안전 관리기술이 요구된다.

[표 3] 154kV 주요 전기설비 구성

#1 변전소	#2 변전소	154kV 계통 접지방식
MTR 4BANK 전압 154/22.9kV 용량 60/80MVA	MTR 6 BANK * 전압 154/22.9kV 용량 60/80MVA * 전압 154/33kV 용량 80/100MVA	계통접지방식 Y-Y-△ * 유효접지(직접) 前 * 유효접지(비접지) 後

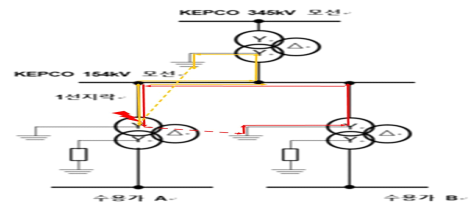
이와 같은 사유로 석유화학공장 및 유사 동종 업체의 전력공

급의 연속성은 필수적이며 타 수용가의 고장 파급에 의한 정전사고는 반드시 예방 되어야 한다. 송전계통 철탑 34기, 154kV 선로 이중화(PCM), 선로 2회선 Loop 운전, 변전소 상호간 연계선로 운전으로 구성된다. 주변압기 상시 병렬운전(2BANK), 154kV-22.9kV 이중모선 방식(Normal Closed) 변압기 및 발전기 모선 간 병렬 운전 및 단위공장 전원설비 이중화 전력공급을 하고 있으며 따라서 변압기의 접지방식을 변압기 1대로 직접접지 운전을 하고 나머지는 모두 비접지 운전으로 변경하여 불필요한 정전사고 발생요인을 없애고 고장전류를 감소시켜 기기의 수명 향상은 물론 사고시 계통 과도현상을 감소시키는 등 계통안정 운전을 실현하고 무정전 4배수를 달성하여 전기설비 운영 개선 사례를 소개하여 사업장 또는 현장실무에서 일하는 모든 사람의 전기채택로부터 안전 및 보건을 확보함과 더불어 안전사고 사전 예방으로 안전한 환경 조성, 전기설비 안정화를 목적으로 전기안전 예방 활동에 유용함을 확인하였다.

## 2. 154kV 계통 기존 접지방식

### 2.1 154kV 직접접지 운전에 따른 정전사고 리스크

154kV 직접접지 운전에 따른 정전사고 리스크에는 주변압기 1차측 직접접지 운전개소 과다 운용(11대), 유효접지조건 충족상태에서도 직접접지 운전상태 지속유지, 직접접지 운전 필요성에 대한 요구사항과 계통운영 실정이다. 전기사업자 또는 타선로의 지락 고장시 고장전류 유입으로 정전사고 초래, 전력거래소의 유효접지 조건 만족할 경우 계통특성에 맞게 선택사용 가능, 국내 154kV 수용가의 수전변압기 직접접지 운전 중 정전사고 사례 다수, 울산지역 A에너지, B오일을 포함한 다수 정유 및 석유화학 공장에서 동일형태의 정전사고를 경험하여 중성점 직접접지 필요성에 대한 문제점 및 재검토 요구가 과거에 제기 되었으며 동일 사례가 정전사고 지속 발생한다.



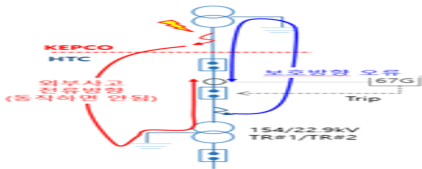
[그림 3] 수용가A의 1선 지락전류가 수용가B를 통해 귀로도

그림 3은 수용가A의 1선 지락전류가 수용가B를 통해 귀로도를 나타내며 상용발전을 하고 있는 수용가에서 1차측 중성점을 비접지로 운전하면 자기의 154kV 공급선로에서 1선 지락고장이 발생될 경우 한전 차단기는 개방되고 수용가측 차단기는 투입된 상태가 됨에 따라 1선 지락고장이 해소되지 않으며 이에 따라 건전상 전위상승으로 절연위험이 존재하므로 유효접지상태를 유지하고 1선 지락전류를 검출하여 차단기를 개방해야 하는데 이는 타선로의 1선 지락전류에 의한 50G 동작에 따른 예기치 못한 정전사고가 지속되어 이를 방

지하기 위해 수용가에서 방향성계전기(67G)를 적용하는 등의 조치를 취하였으나 극성, 오결선, 정정오류에 의한 보호계전기 오동작 정전사고가 빈번하게 지속적으로 반복되고 있는 실정이다. 여기서 수전변압기의 1차측을 중성점 직접접지를 하게 되면 한전 송전선로 또는 임의 수용가의 154kV 계통에서 발생한 1선 지락전류가 주변 수용가의 수전변압기 1차측 중성점을 통해 귀로하면서 지락보호계전기(OCGR) 또는 방향성지락계전기(67G) 오동작을 초래하여 예기치 않은 정전사고가 발생될 우려가 있으며 실제로 다수의 대신, 울산, 여수 산업단지에서 이를 경험한 것으로 알려져 있다. 또한 당사의 경우도 유사한 개념으로 구성되어 있으며 67G 오동작 정전사고 사례가 발생한 사례가 있다.

2.2 복잡한 계통 보호 운용 관리의 한계

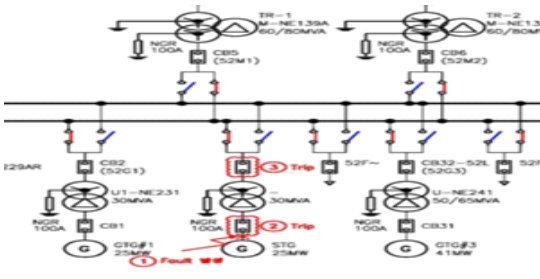
복잡한 계통 보호 운용 관리의 한계에는 대용량 전력계통의 운용관리 표준화 한계로 보호계전기의 VT, CT 및 로직 등 혼재 사용으로 작업 실수 초래 가능성 높고 계통 지락사고 발생 시 방향성계전기의 오동작으로 전체 정전사고 발생한다. 또한 모선 모선에 다수의 발전기가 계통연계 운전되어 계통 구성 복잡은 과거 보호계전기의 정정은 10년 1회 정도 수행하여 정전사고 등 맹점 발생, 대규모 계통 구성에 따른 외부, 내부사고시 계통 이상현상 등 부작용 영향 심화하다.



[그림 4] 전기사업자 송전선로 낙뢰

그림 4는 전기사업자 송전선로 낙뢰에 대한 오동작을 나타내며 보호계전기 동작 신뢰성 관리에서는 보호계전기의 입력 회로의 CT 극성, 오결선 등 정전사고 잠재요인 발생과 보호계전기 시험결과에 대한 품질평가가 역량 부족으로 구분할 수 있다.

2.3 전기설비 유지보수 관점의 업무수행의 한계



[그림 5] STG 발전기 지락 및 단락사고

그림 5는 STG 발전기 지락 및 단락 사고를 나타내며 전기설비 유지보수 관점의 업무수행의 한계는 전기설비 고장시 유지보수 업무위주의 보수공사 트러블 슈팅으로 변압기 병렬운전 조작 시 정전사고, 케이블 고장, 피뢰기 정격설계 오류 등 과거의 유지보수 형식의 업무 관행으로 업무수행 후 반복고장 발생, 설비

유지보수 중심에서 기술업무 중심으로 재편 기술관리체제 강화의 필요성이 대두되고 있다. 또한, 전기설비 법적 점검업무의 체계적 관리 미흡으로는 정기보수기간 전기설비 정전점검의 체계적 시험평가 관리 미흡, 유지보수 중심 업무 방식에서의 전력계통해석프로그램 운용부재 등으로 볼 수 있다.

2.4 전기설비 기술기준에 의한 유지관리 업무 제약  
전기안전관리법 제22조 및 같은 법 시행규칙 제30조에 의한 전기안전관리자 직무고시의 점검 한계로 전기안전관리규정 미수립, 유사 동종업체 등 입주사의 기술자간 기술협력 소통 미흡 등이 있다. 표 4는 방폭전기기계기구 부적합 조사 현황을 나타내며 방폭관리기준의 지속 변경으로 방폭 부적합 감소의 개선관리 지연으로 방폭구역 전기설비의 부적합 관리 한계, 작업안전 관련 의무 준수 사항 미비 등으로 구분된다.

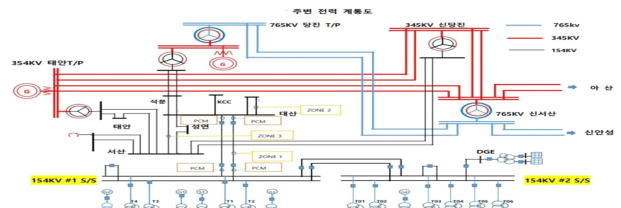
[표 4] 방폭전기기계기구 부적합 조사 현황

구분	부적합 건수(건)	부적합 점유율(%)
안전인증표지 미부착	73	49.7
명판/제원 미부착	59	40.1
주의사항(국문)미부착	56	38.1
방폭등급 확인 불가	43	29.3
최소양압 확인 불가	42	28.6
양압 눈관리 부적합	41	27.9
제조사 확인 불가	29	19.7
양압50pa이상 불만족	27	18.4
양압 상태 확인 불가	6	4.1

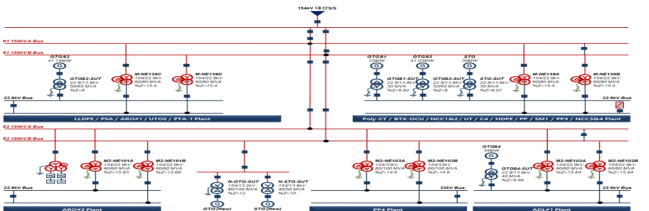
3. 154kV 계통 접지방식 개선

3.1 154kV 계통 접지방식 개선 시스템

수전변압기의 접지방식 변경을 위한 그림 6은 주변 전력계통도를 나타내며 청색 부분은 765kV(당진 T/P), 적색은 345kV(태안 T/P), 회색부분은 154kV(서산)로 구분한다.



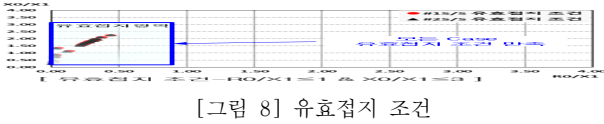
[그림 6] 주변 전력계통도



[그림 7] 154kV 변전소 전체 계통도

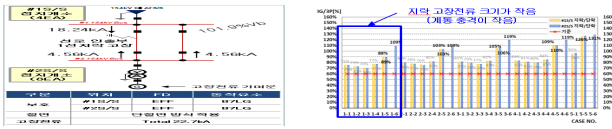
그림 7은 154kV 변전소 전체 계통도이며 적색부분은 154kV #1, #2의 A ro B BUS, 회색부분은 22.9kV BUS를 나타낸다. 주변압기 접지개소 선정 검토 결과로 석유화학공장의 접지개소 (12EA)를 나타낸다. 154kV #1 BUS과 154kV #2 BUS사이에

각각 18.24kA, 4.56kA의 고장전류로 22.7kA가 선로 인출부 1선 지락 고장시 유입된다. 절연방식도 단절연 방식과 보호 동작요소도 87LG를 적용한다. 그림 8은 유효접지조건을 나타내며 조건  $R0/X1 \leq 1$  &  $X0/X1 \leq 3$ 으로 적색 원은 #1 S/S 유효접지 조건, #2 S/S 유효접지 조건을 나타내며 모든 케이스에서 유효접지 조건을 만족하였다.



[그림 8] 유효접지 조건

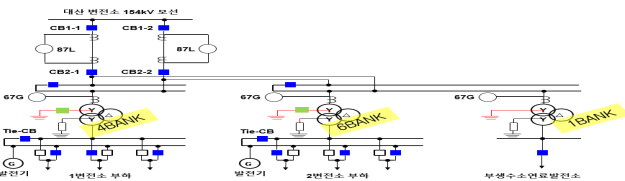
그림 9는 지락 고장전류 크기(1선 지락/ 3상 단락전류 비율 60% 이상)를 나타내며 적색부분은 기준이 되고 황색부분은 #1 S/S 지락/단락, #2 S/S 지락/단락 그래프 곡선을 나타낸다.



[그림 9] 지락 고장전류의 크기(지락/단락전류 비율 60%이상)

### 3.2 주변압기 직접접지, 비접지 운전상태

그림 10은 주변압기 직접접지, 비접지 운전 상태를 나타내며 1변전소 변압기 4대 60/80MVA, 발전기 25MW 2대, 41MW 2대이며 2변전소 변압기 60/80MVA 4대, 80MVA 2대, 발전기 30MW 1대, 수유연료발전소 변압기 52MVA 1대로 주변압기 직접접지 운전 상태이고 1차 변압기 중성점 접지선 녹색부분은 비접지 운전 상태로 구분하여 표현하였고 차단기 CB의 닫힌 상태는 파란색 사각형, 열린 상태는 흰색 사각형이다.



[그림 10] 주변압기 직접접지, 비접지 운전상태

[표 5] 유효접지계산 결과

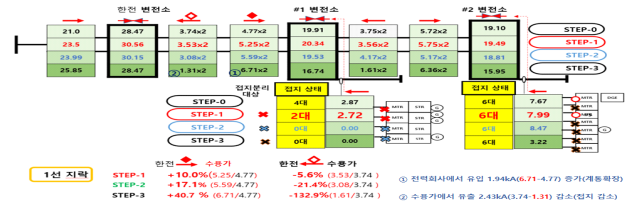
구분	$I_{3\phi}$ [kA]	ILG [kA]	ILG/I <sub>3φ</sub> [%]	Vc LG [kV]	접지 계수	Vn/E1	
154kV 그리드	37.3	직접	32	85.8	97.95	0.64 (1.11)	0.192
		비접지	28.19	75.6	103.84	0.67 (1.16)	0.272
154kV No.1 모선	27.1	직접	24.21	89.3	97.09	0.63 (1.09)	0.164
		비접지	17.35	64.0	110.27	0.72 (1.25)	0.397
154kV No.2 모선	25.7	직접	23.08	89.8	93.59	0.61 (1.06)	0.106
		비접지	16.31	63.4	110.50	0.72 (1.25)	0.397

표 5는 유효접지 계산 결과로 변압기 1차측 중성점 직접접지 및 비접지를 나타낸다.

### 3.3 변압기 계통접지 개선 후 지락전류 크기 감소

그림 10은 변압기 계통접지 개선 후 지락전류의 크기를 나타내며 전력회사에서 유입되는 1선 지락전류의 크기는 STEP-3 6.71

kA에서 수용가 측 4.77kA를 제외하면 1.94kA 증가(계통확장), 수용가에서 유출되는 1선 지락전류의 크기는 3.74kA에서 전력 회사 측 1.31kA를 제외하면 2.43kA로 감소(접지감소)로 변압기 계통접지 개선 후 지락전류의 크기가 감소하는 것을 알 수 있다.



[그림 10] 변압기 계통접지 개선 후 지락전류

개선효과는 외부 고장전류 유입차단에 의한 구내 정전사고 요인 근본 제거, 따라서 계통접지방식의 계통접지는 Y-Y-Δ에서 기존 유효접지의 직접접지(중성점과 대지 간 접지) 10대에서 변경 유효접지의 직접접지 1대와 비접지(중성점과 대지 간 비접지) 9대로 개선하여 변압기 계통접지 개선 후 지락전류 크기 감소(개선 전 지락전류 20,000A에서 16,000A로 4,000A) 변화하였다. 전기설비(변압기) 충격 완화에 의한 고장감소 및 설비 수명 연장, 변전소 소내 지락전류 감소효과로 과도이상 현상 발생억제(발전소 소내 제어계통 소손 등 트러블 감소 효과), 유해·위험물질의 누출, 폭발 등 중대산업사고를 예방하기 위한 공정안전관리제도(PSM) 최우수 P등급 유지, 화학단지 인근 민원 감소로 물적 재산피해 보상 최소화하였다.

## 4. 결론

본 논문에서는 전력용 변압기 유효접지 개선을 통한 계통 안전화를 위해 유효접지조건 계산 및 계통구성 문제 분석을 바탕으로 계통변경 추진, 전력거래소 방문 계통 안정운동을 위한 접지방식 변경 재검토 요청, 접지방식 변경에 따른 계통 보호 변경검토 및 관련 보호설비 재검증을 통해 직접접지 1대와 비접지 9대를 조합하여 유효접지 운전, 지락전류 크기 모션기준 16.74kA 감소하였다. 보호계전기의 오·부동작 자체 요인의 관리적 개선은 과거 사고사례 바탕으로 취약한 계통 보호의 운용방식의 기술 변화, 계통보호 자체시험 평가체제 구축 및 전담 전기기술 업무 신설, 보호계전기 공사, 시험진단 업무 수행에 필요한 표준작업절차서 구축하여 계통보호 정정검토와 보호계전기 시험 업무 통합화를 통한 전문화, 보호계전기 시험자 또는 동등 이상의 역량 보유자에 한해 공사감독, 계통보호 정정값의 신뢰성이 필요한 요소는 계전기 시험을 통해 확인하였다. 전기안전관리자, 설계·감리자, 시공업자 등의 교육의 목적, 전기재해 및 유사현상 발생 때에도 예방 활동에 효과적인 활용 할 수 있어 유용성을 확인하였다.

### 참고문헌

- [1] 한국전기안전공사 “전기설비 검사·점검기준”, pp107, 2021.
- [2] 한국전기안전공사 “전기안전관리법 편람”, pp223, 2022.
- [3] “석유화학공장DML 전기안전관리기법”, pp3, 2023.