기술해설

전력계통 외란 감시기록 장치 기술동향 및 전망

손승현 · 염형선 · 김철환〈성균관대학교 전자전기공학부〉

1. 서 론

산업의 발전은 사회 전반에 걸쳐 많은 분야에서 자동화 및 편의를 제공하였고 이것은 오늘날 많은 사람들이 안락한 삶을 영위할 수 있도록 기여하고 있다. 오늘날 우리의 일상생활부터 국가 전반에 걸친 산업활동들에 이르기까지 전기 에너지가 사용되지 않는 곳이 없을 정도로 현대 시대는 전기 에너지에 대한 의존도가 매우 높은 실정이다. 이것은 비단 우리나라만의 상황이 아닌 전 세계적으로 공통된 현상이다. 증가하는 수요를 충당하기 위해서는 전력 생산량을 늘려야 하고 이는 발전 설비의 증설 및 대용량화, 송전선로의 증설 등으로 귀결된다. 증설된 선로들은 기존에 설치된 선로들과 연계되어 더욱 크고 복잡한 계통을 형성하게 되는데 이러한 계통을 'Bulk Power System' 혹은 대규모 전력계통이라 하며 대표적으로 미국의 전력계통을 예로 들 수 있다. 우리나라 전력계통의 경우에도 급격한 산업의 발전에 따라 그 규모와 복잡성이 나날이 증대되고 있는 실정이다.

이렇게 전력계통이 점차 규모가 증대되면 전력 수요량을 충족시켜 충분한 전기 에너지를 공급할 수 있다는 장점을 가지지만 그 이면에는 계통 구성의 복잡화 및 계통의 거대화에 따른 부하량 예측의 어려움, 고장 발생 시 연계 계통으로의 파급 위험성, 외란에 대한 큰 전력 동요, 광역 정전 등과 같은 위험들이 수반된다. 따라서 이러한 위험들로부터 전력계통을 보호하고 안정적인 전력 공급을 지속하기 위해 보호 계전기, 고장파급 방지시스템 등 다양한 보호기기 및 보호 시스템이 적용되고 있다.

하지만 전력계통 내에서 발생하는 모든 고장과 외란들로부터 계통을 완벽하게 보호한다는 것은 많은 어려움이 따르는 일이다. 전력계통에서 발생하는 사고들은 안정적인 전력공급에 차질을 빚어 막대한 경제적 손실을 유발할 수 있기 때문에 안정적인 계통 운영을 위해서는 발생한 고장들에 대한 원인 규명 및 대책 마련과 같은 철저한 사후 분석이 요구된다.

전력계통 외란에 대한 사후 분석을 위해서는 실시간으로 계통을 감시하며 기록한 외란 발생 전후의 감시 데이터가 필수적이다. 이처럼 전력계통을 실시간으로 감시하고 감시 데이터를 기록하는 것이 전력계통 외란 감시기록 장치들의 역할이다. 쉬운 예로, 일상생활에서 교통사고가 발생한 경우를 고려해보면, 사고 관련자들의 과실에 대한 의견이 첨예하게 대립하는 경우가 많다. 이 때 차량에 설치된 블랙박스의 기록 영상은 사고의 원인을 규명하는데 중요한 역할을 하는 자료로 활용이 되는 것과 같이 전력계통에서

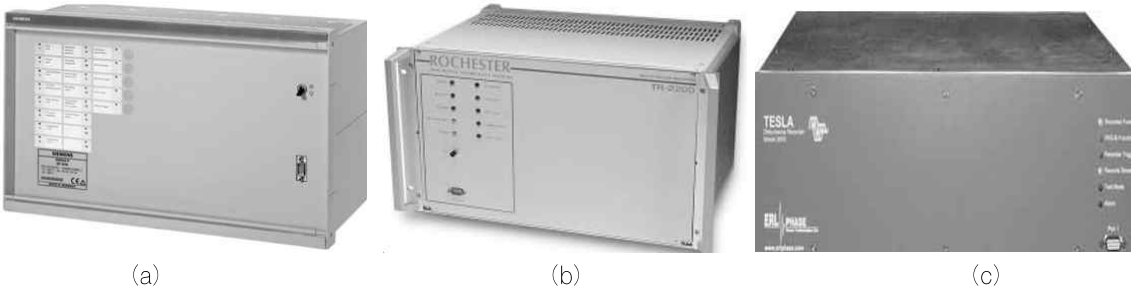
고장이 발생했을 때 블랙박스와 같은 역할을 수행하는 것이 바로 외란 감시기록 장치들이다. 본 고에서는 이런 전력계통 외란 감시기록 장치에 대한 소개와 관련된 연구 동향을 다룬다.

2. 해외 연구동향

앞서 전력계통에서 발생하는 고장에 대한 원인 분석을 위한 전력계통 외란 감시기록 장치의 필요성에 대하여 언급하였다. 전력계통 외란 감시기록 장치의 설치 및 활용에 대해서 해외에서는 이미 수년전부터 언급이 되어왔다. 미국의 경우에는 지난 2003년 8월 미국 동북부 지역에서 발생한 광역 정전의 원인 및 대책을 논의하였는데 그 결과 광역 정전 예방 및 최소화를 위한 주요 권고사항에 시각 동기화된 고장 데이터 기록장치 사용 요건 강화, 광역 정전 발생 후 분석에 필요한 자료의 수집 및 보고 요건 확립이라는 내용을 포함하는 결론을 제시하였다[1]. 또한, IEEE는 Power System Relaying Committee의 보고서 'Consideration for Use of Disturbance Recorders'를 통해 외란 감시기록 장치에 대한 기본 개념과 외란 감시기록 장치 사용 시 고려사항에 대한 정보를 제공하고 있다[2]. 그리고 북미 전력계통 신뢰도 관리기구(NERC, North American Electric Reliability Corporation)는 전력계통 외란 감시기록 장치의 설치 및 운영 기준을 포함하는 전력계통 신뢰도에 관련된 표준 'Reliability Standards for the Bulk Electric System of North America' 를 제정하였다[3]. 이 밖에, 학계에서는 외란 감시기록 장치의 외란 데이터 분석 가이드에 관한 연구가 이루어졌고[4], 산업계에서는 외란 감시기록 장치를 생산하는 기업들이 관련 연구 분야의 발전에 기여하고 있다. 그림 1은 대표적인 생산 업체들에서 개발하여 상품화한 대표적인 전력계통 외란 감시기록 장치 모델들이다. 이와 같이, 해외에서는 전력계통 외란 감시기록 장치의 역할과 중요성을 인지하여 외란 감시기록 장치의 활용 방안과 고려사항을 제시하고 이와 관련된 연구와 제품 개발이 활발히 이루어지고 있는 상황이다.

3. 전력계통 외란 감시기록 장치 [2]

전력계통 외란 감시기록 장치들은 크게 측정 및 기록 데이터 저장, 통신을 수행하기 위한 하드웨어들과 측정된 데이터를 활용한 연산 및 고장 분석과 같은 각종 기능을 제공하는 소프트웨어로 구성된다. 이 중 하드웨어는 크게 전력계통 내부에 설치된 설비들을 비롯한 계통 전반에 걸친 감시 지점의 전압과 전류를 입



(a) (b) (c)

그림 1. 대표적인 국외 업체들의 전력계통 외란 감시기록장치 : (a) SIEMENS 사의 'SiMEAS R', (b) AMENTEK 사의 'TR-2000', (c) ERL Phase Power Technologies 사의 TESLA-'3000'

력으로 받는 1) 아날로그 입력 모듈, 2) 계전기 및 차단기 접점의 상태 등을 입력으로 받는 디지털 입력 모듈, 3) 각종 연산을 수행하고 데이터를 저장하기 위한 CPU와 저장장치로 구성된다. 이 중 특히 직접적인 계통 감시를 수행하기 위해 필수적인 것이 바로 입력 모듈이다. 그림 2와 같이 외란 감시기록 장치들은 감시한 데이터를 기록하고 파형으로 출력한다.

또한 전력계통 감시기록 장치의 소프트웨어는 이렇게 측정된 전압, 전류, 위상 데이터를 바탕으로 고장점 표정, 대칭성분 계산, 고조파 분석, 전력품질 감시 등과 같은 기능을 수행하도록 구성되어 있다.

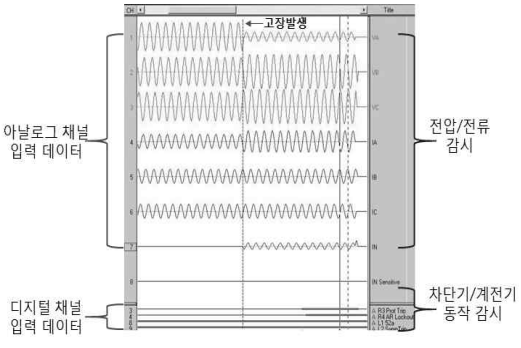


그림 2. 전력계통 감시기록 장치 데이터 출력화면

전력설비 기술의 발전에 따라 전력계통 감시기록 장치들에 관한 기술도 과거와 비교하여 괄목할만한 발전을 이뤄 현대의 전력계통 외란 감시 기록 장치들은 과거에 사용된 제품들보다 훨씬 더 많은 수의 아날로그 및 디지털 입력을 가지게 되었다. 그리하여 이전에는 감시할 수 없었던 영역까지 더 세밀한 감시가 가능하도록 꾸준히 성능이 확장되고 있다.

전력계통 외란 감시기록 장치들을 설치하여 외란 기록을 수행할 때에는 다음과 같은 사항들을 충분히 고려해야 한다.

① 감시하고자 하는 대상 이벤트
② 감시기록 장치의 특성, 성격
③ 감시 대상 이벤트 기록에 적합한 샘플링 속도
④ 감시 대상 이벤트 기록에 적합한 기동 조건
⑤ 감시기록 장치의 저장용량
⑥ 통신수단

이와 같이 설치 목적에 부합하는 특성을 가지는 감시기록 장치 선택을 위해 감시기록 장치의 사양과 성능을 충분히 고려하여야 한다. 특히, 전력계통 외란 감시기록 장치들은 수행하는 기능에 따라 여러 종류로 구분 된다. 그림 3은 전력계통 외란 감시기록 장치의 종류를 나열하고 있다. 전력계통 외란 감시기록 장치는 데이터 기록 방식에 따라 다음의 4가지 유형으로 구분되므로 설치 환경과 목적에 부합하는 감시장치를 선택하는 것이 필요하다.

① Transient Records

Transient Records란 외란 감시기록 장치가 매우 짧은 지속기간을 가지는 이벤트에 대하여 감시 및 기록 기능을 수행하는 것을 말한다. 예를 들어, 고장 발생 후 8cycles 이내에 고속으로 제거되는 고장에 대한 고장 전후의 감시 데이터를 기록하는 경우가 있다. Transient Records를 통해 외란 감시기록 장치는 감시하는 전류와 전압의 순시치를 정해진 주기로 샘플링하여 기록하고 파형으로 표시한다. 이 기록 데이터를 활용하여 외란 감시기록 장치들은 고장에 대하여 적절한 보호 동작이 수행되었는지를 판단하고 고장점 표정 기능을 수행한다.

② Change of State Records

Change of State Records 란 외란 감시기록 장치가 상태 변화를 감시하고 기록하는 것을 말한다. 주로 보호 기기들의 동작 상태나 차단기, 계전기 접점의 상태를 감시하는 것이 대표적이다. 이러한 기록 방식을 활용하는 대표적인 감시기록 장치로는 Sequence-of-Events Recorder (SER)가 있는데

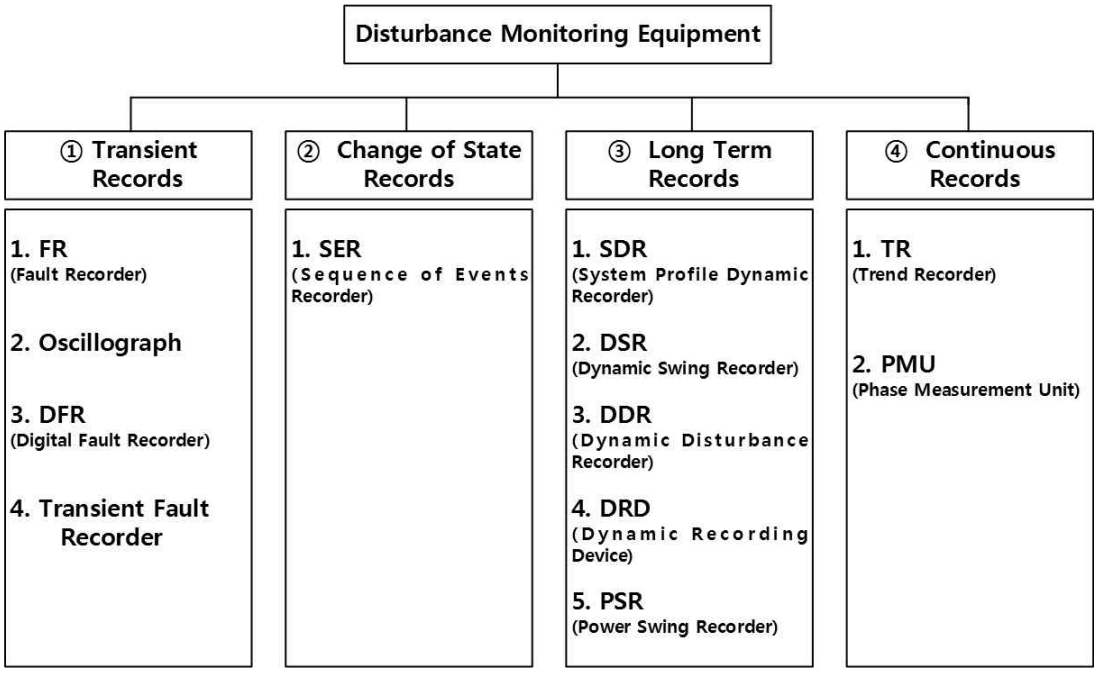


그림 3. 전력계통 외란 감시기록 장치의 분류

(출처 : IEEE Power System Relaying Committee C5 Final Report)

SER은 발생한 이벤트에 대하여 작동하는 제어 scheme 혹은 보호 기기들의 일련의 동작 과정 데이터를 기록한다. 따라서 일반적인 개폐 동작, 고장 발생 시 일련의 동작 등을 기록함으로써 각 요소들에서 적절한 동작이 수행되었는지 여부와 부동작 혹은 오동작에 대한 원인을 분석할 수 있도록 데이터를 제공한다. 최근 개발된 감시기록 장치들은 한 가지 기록 특성만을 가지지 않고 여러 기능을 동시에 수행하는 경우가 많아서, 이벤트에 대한 동작 시퀀스를 기록하는 기능이 기본적으로 내재되어 있다. 따라서 어느 정도 기기들의 동작 상태 데이터를 취득할 수 있지만 변전소 전체를 감시하는 수준의 SER을 따로 구비하지 않을 경우, 모든 기기들의 동작 상태 데이터를 분리하여 취득하기에 어려움이 있기 때문에 변전소 전체를 감시하는 SER의 설치가 권장되고 매우 유용하게 활용되고 있다.

③ Long Term Records

Long Term Records 란 외란 감시기록 장치가 비교적 긴 기록시간을 가지고 계통 안정도에 영향을 미치는 이벤트들에 대하여 감시 및 기록 기능을 수행하는 것을 말한다. 예를 들어 전력 동요, 주파수 변동 그리고 비정상적인 전압 변동 등의 이벤트에 대하여 주파수, 위상각, 계통 전압 및 전류, 유효전력과 무효전력 등의 데이터를 초당 6~60 샘플 이상으로 기록하고 1분~1시간 단위로 캡쳐하여 출력하는 형태이다.

④ Continuous Records

Continuous Records란 다른 표현으로 Steady-State Records라고도 쓰이며 외란 감시기록 장치가 비교적 안정적인 계통 운영이 가능한 곳에서 전력품질을 감시할 때 사용되는 기록 방식이다. 외란 감시

기록 장치가 수 일에 걸쳐 감시하는 데이터의 전체적인 경향(trend)과 최대/최소값, 평균값을 캡쳐하여 저장한다. 대표적으로 고조파 및 저조파, 순시전압강하(Voltage sag), 순시전압상승(Voltage swell)와 같은 이벤트를 감시하고 기록할 때 활용되는 방식이다. 이러한 기록 방식을 활용하는 대표적인 감시기록 장치로는 Phasor Measurement Units (PMU)이 있으며 PMU는 광범위한 영역의 전력계통의 전력품질을 감시 및 기록하고 저장하는 역할을 수행한다.

4. 국내 연구동향

앞서 언급한 바와 같이 미국에서는 지난 광역 정전사고 사례에 대한 조치사항으로써 전력계통 외란 감시기록 장치의 활용과 사고 후 분석을 위한 데이터 기록 및 보고의 중요성을 제시하였고 관련 규정과 표준을 제정할 뿐만 아니라 산업계에서도 외란 감시기록 장치에 연관된 기술을 꾸준히 향상시켰다. 이처럼 해외에서는 다양한 분야에 걸쳐 전반적으로 전력계통 외란 감시기록 장치에 대하여 관심을 가지고 연구를 진행해왔다. 반면에 국내에서는 전력계통 외란 감시기록 장치를 활용한 연구가 해외만큼 활발히 진행되지는 못했다. 학계의 경우에도 전력계통 외란 감시 기록장치의 기록 데이터를 활용한 논문이나 연구가 거의 전무한 실정이다. 산업계의 경우에는 국내에서 독자적인 기술로 전력계통 외란 감시기록 장치를 개발하고 상용화에 성공한 업체로써 (주)프로컴 사가 있다. 그림 4는 (주)프로컴 사에서 개발한 전력계통 외란 감시기록 장치 'PSDM-TS'이다. (주)프로컴 사의 'PSDM-TS'는 지난 2012년도에 인도네시아에서 열린 고장기록장치(Fault Recorder) 국제 경연대회에 참가하여 'AMENTEK', 'APP', 'SIEMENS' 와 같은 해당 분야에서 선도적인 역할을 하는 국외 업체의 제품들과 경쟁하여 그 성능과 기술을 인정받은 바 있다. 표 1은 (주)프로컴 사를 비롯한 현재 해당 시장을 주도하고 있는 대표적인 해외 업체들의 전력계통 외란 감시기록 장치의 사양 및 성능을 정리하였다. 앞서 데이터 기록 방식에 따라 4가지로 외란 감시기록 장치들의 성격이 구분되었으나, 표 1에서 보는바와 같이 최근의 추세는 하나의 제품에 SER, DFR, DDR, PMU 기능들을 포함한 다기능(Multi-function) 감시기록 장치들이 생산되고 있는 추세이다.

그림 4. 국내 업체 (주)프로컴 사의 전력계통 외란 감시기록장치 'PSDM-TS'

해외와 비교하여 국내의 학계나 산업계에서 수행되고 있는 전력계통 외란 감시기록 장치에 대한 관심과 연구가 무척 미미한 상황이다. 하지만 다행스러운 점은 우리나라의 전력계통 운영을 맡고 있는 한국전력거래소에서 이러한 전력계통 외란 감시기록 장치 운영 및 활용의 중요성을 인식하여 2008년에 '계통현상분석장치 운영기준'[5]을 제정하고 계통운영에 적용하고 있다는 것이다. 또한, 대학, 한국전력공사, 한국전력거래소, 발전사에 종사하는 전문가 110여명이 참여하여 전력계통 외란 감시기록 장치 설치 및 운영에 관한 기준을 비롯한 전력계통 신뢰도 기준을 우리나라의 실정에 맞게 새롭게 설립하고자 하는 활동이 대대적으로 진행되고 있다는 것은 상당히 고무적인 부분이라 할 수 있다.

최근 전 세계적으로 급부상하는 개념 중에 '빅 데이터(Big Data)' 이론이 있다. 간략히 말해, 대량의 데

표 1. 주요 업체별 전력계통 외란 감시기록장치 사양 및 기능 비교(출처 : 각 업체별 제품 사양서)

구분	제품명	입력채널 수 (아날로그/디지털)	Sampling rate	Time Synchronization	데이터 형식	수행기능
AMENTEK	TR-100+ Series (Transient Recorder)	8-32/16-64 inputs	24-192 samples/ cycle	IRIG-B	COMTRADE 지원	3상 계산 (RMS, 피크, per unit), 유효/무효전력 계산, 대칭성분 계산, 고조파 분석, 고장점 표정,
APP	APP-501 (Multifunction Recorder)	30/80 inputs	12-384 samples/ cycle	IRIG-B, Satellite clock 지원	COMTRADE 지원	3상 계산, 유효/무효전력 계산, 대칭성분 계산, 고조파 분석, 고장점 표정, 전력품질 감시, Long term records, Continuous records, Sequence of event records
EMAX	DIRECTOR DFR/DDR	8-128/16-512 inputs	96-384 samples/ cycle	IRIG-B, GPS Receiver	COMTRADE 지원	3상 계산, 유효/무효전력 계산, 대칭성분 계산, 고조파 분석, 고장점 표정, 전력품질 감시, Long term records, Continuous records
GE	DISTRIBUTED DIGITAL FAULT RECORDER	24/64 inputs	64 samples/ cycle	IRIG-B	COMTRADE 지원	3상 계산, 유효/무효전력 계산, 대칭성분 계산, 고조파 분석, 고장점 표정, Long term records, Sequence of event records
QUALITROL	BEN 6000	96-128/384 inputs	240 samples/ cycle	IRIG-B	COMTRADE 지원	3상 계산, 유효/무효전력 계산, 대칭성분 계산, 고조파 분석, 고장점 표정, 전력품질 감시, Long term records, Continuous records, Sequence of event records, PMU 기능 내포
(주) 프로컴	PSDM-TS	64/128 inputs	128 samples/ cycle	GPS Receiver	COMTRADE 지원	3상 계산, 유효/무효전력 계산, 대칭성분 계산, 고조파 분석, 고장점 표정, 전력품질 감시 Sequence of event records

이터의 집합으로부터 가치를 추출하고 결과를 분석하는 기술을 일컫는다. 전력계통 외란 감시기록 장치를 적극적으로 활용하여, 전력계통에서 발생하는 다양한 현상들에 대한 방대한 데이터를 빅 데이터 개념과 접목하는 연구를 진행한다면 단순히 고장 전후의 기록 데이터로만 남는 것이 아니라, 전력계통의 상태를 진단하고 고장을 예측하여 사전에 방지하는 의미 있는 결과를 가져올 수 있을 것으로 생각된다.

이와 같이, 앞으로 국내에서 전력계통 외란 감시기록 장치에 관한 연구가 진행되어야 할 궁극적인 방향은 기존의 기록 데이터를 활용한 고장 예측 및 방지 시스템 개발을 통한 진보된 전력계통 운영 시스템 개발을 목표로 나아가야 할 것이다.

5. 결 론

전 세계적으로 급증하는 에너지 소비에 대한 수요를 충당하기 위해 각 나라의 전력계통은 점차 그 규모가 비대해지고 더욱 복잡해지고 있다. 그로 인해 전력계통이 크고 작은 사고에 노출될 위험 역시 증가하고 있다. 다양한 보호기기 및 보호 시스템이 외란으로부터 전력계통을 보호하기 위해 적용되고 있지만 전력계통에서 발생하는 외란으로부터 계통을 완전히 보호한다는 것은 많은 어려움이 따르는 일이다. 따라서 발생한 고장에 대한 분석을 통해 원인을 규명하고 보호동작의 적정성을 판단하여 보완해감으로써 더 안정적으로 전력계통을 운영할 필요가 있다. 이러한 목적 달

성을 위해, 전력계통 외란 감시기록 장치의 적극적인 활용이 필수적이다. 전력계통 외란 감시기록 장치들의 방대한 데이터를 바탕으로 단순한 고장 분석 뿐만 아니라 더 나아가 데이터에 근거한 고장 예측 및 방지 시스템을 구축한다면 더욱 진보된, 스마트한 전력계통 운영 시스템 구축에 한 걸음 더 접근할 수 있게 될 것이다. 전력계통 외란 감시기록 장치 데이터에 근거한 고장 예측 및 방지 시스템 구축에 관해서는 해외에서도 아직 연구가 많이 진행되지 않은 분야로써, 우리가 관심을 가지고 연구를 수행한다면 이 분야에서 선도적인 역할을 수행할 수 있을 것으로 생각된다.

본고에서 언급한 바와 같이 해외의 경우와 비교하여 전력계통 외란 감시기록 장치에 대한 국내의 학계, 산업계의 연구 및 개발 활동이 미미한 실정이다. 국내에서도 해당 분야에 대한 많은 관심과 활발한 연구가 수행되길 기대한다.

참 고 문 헌

〔1〕 한국전력거래소 계통운영처, "미국 동북부지역 광역정전 분석 보고(최종)", 2004.
〔2〕 IEEE Power System Relaying Committee , "Considerations for Use of Disturbance Recorders", C5 Final Report, 2006.
〔3〕 NERC, "Reliability Standards for the Bulk Electric Systems of North America", 2013.
〔4〕 Perez. J, "A guide to digital fault recording event analysis", IEEE Conference on Protective Relay Engineers 63rd, pp. 1-17, 2010.
〔5〕 한국전력거래소, "계통현상 분석장치 운영기준", 2008.

◇ 저 자 소 개 ◇

손승현(孫承賢)
1986년 11월 4일생. 2012년 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학과 졸업. 2014년 성균관대학교 정보통신대학 졸업(석사). 2014년~현재 성균관대학교 정보통신대학 박사과정.
Tel : (031)299-4630
Fax : (031)299-4137
E-mail : sons88@hanmail.net

염형선(廉亨善)
1981년 12월 4일생. 2007년 고려대학교 전기전자전파공학부 졸업. 2006년~현재 삼성물산 건설부문 재직. 2015년~현재 성균관대학교 정보통신대학 석사과정.
Tel : (031)290-7124
Fax : (031)299-4137
E-mail : superaxe@naver.com

김철환(金喆煥)
1961년 1월 10일생. 1982년 성균관대학교 전기공학과 졸업. 1990년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 1990~1992년 제주대학교 전기공학과 전임강사. 1992년~현재 성균관대학교 정보통신대학 교수. 전력IT인력양성센터 센터장.
Tel : (031)290-7124
Fax : (031)299-4137
E-mail : hmwkim@hanmail.net