공무 국외출장 결과 보고서
(2019 Western Protective Relay Conference 참가)

2019. 11. 19

계통운영처
계통보호팀

작성자 : 대리 나영호(☏8645)

Ⅰ. 출장개요

1. 출장기간 : `19. 10. 20 ~ `19. 10. 26 (5박 7일)

2. 출장지 : **미국 워싱턴주 스포케인** (Spokane, Washington State)

3. 참석자 : **계통보호팀 팀장 유영식, 대리 나영호**

4. 출장 목적

ㅇ 해외 보호계전분야 적용기술 및 신기술 동향 파악

ㅇ 전 세계 보호분야 전문가들과 기술교류 및 인적 네트워크 구축

※ WPRC (Western Protective Relay Conference)

○ 美 워싱턴주립大學이 주관하고, 전 세계 전력회사 및 보호계전기 제작사, 관련 연구소들이 참여하여,

○ "전력계통 보호분야" 논문발표, 국제회의 등을 통하여 상호 기술교류 및 협력 증진을 위한 국제 전문가 컨퍼런스임

5. 주요일정

일 자	내 용	비 고
10/20(일)	· 16:25 인천공항 출발 · 현지도착	미국 워싱턴주 스포케인
10/21(월) ~ 10/24(목)	· WPRC 등록 및 컨퍼런스 참석 (10개 세션, 50개 주제발표)	
10/25(금)	미국 출발	
10/26(토)	16:40 인천공항 도착	

Ⅱ. 제46차 WPRC 컨퍼런스 주요내용

1. 총 참가인원

□ 전력업계 엔지니어 및 교수 약 500여명 참석

2. Session별 논문발표(세부내용 붙임 참조)

□ 10개 Session, 총 50편 논문 발표

□ 주요 발표 논문

○ 보호계전 신기술 및 보호협조 개선 사례

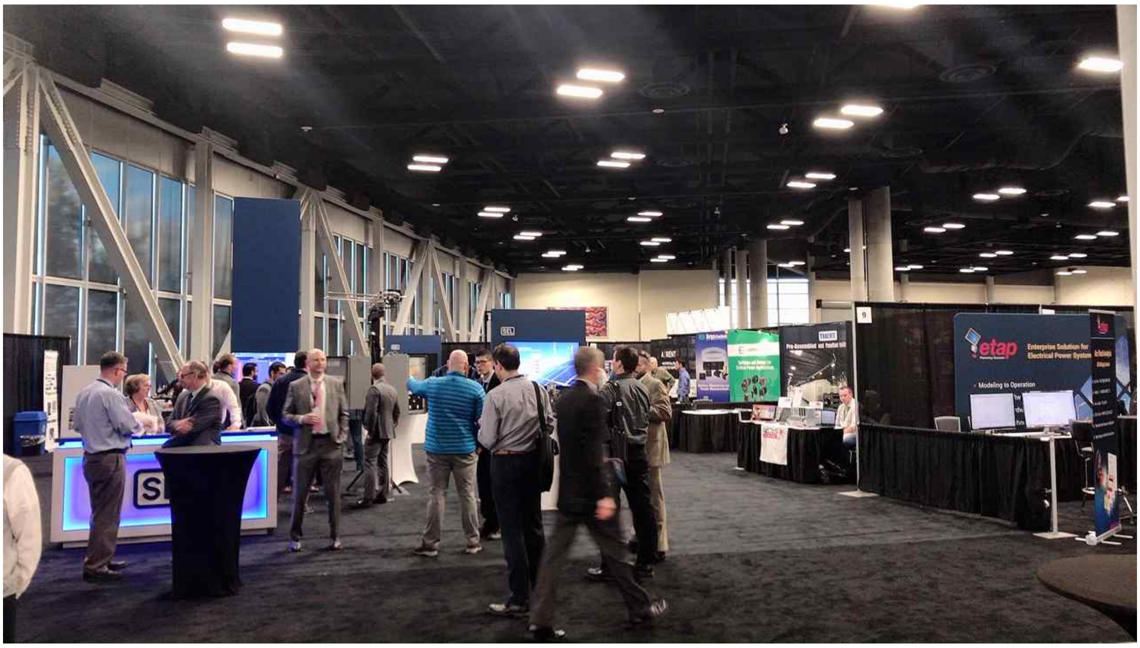
○ 광역계통 보호시스템 구현 기술

○ 계전기 특성에 따른 오동작 사례를 통한 대책 방안

3. Vendor Showcase 방문 및 기술교류

□ 약 10여 회사가 부스 설치를 통하여 보호 신기술 소개

□ ABB, SEL, GE 부스를 방문하여 CAPE, 보호계전기의 신기술 동향 등을 파악할 수 있었음



[그림 1] Vendor Showcase Exhibitor

4. 컨퍼런스 세부일정

일 시	시 간	SESSION	주요 발표내용
10.21(월)	17:00～19:00	-	등록
10.22(화)	08:00~11:55	SESSION Ⅰ	보호계전기 복잡성을 고려한 정정 방법 등 5편
	13:15~17:10	SESSION Ⅱ	전력동요시 NERC 보호 기준(PRC-026) 등 5편
	13:15~17:10	SESSION Ⅲ	디지털계전기 특성에 대한 고찰 등 5편
	13:15~17:10	보호이론	보호계전 기술
10.23(수)	08:00~11:55	SESSION Ⅳ	캐패시터 제어 사례 등 5편
	08:00~11:55	SESSION Ⅴ	발전기, 변압기 보호 관련 CT 결정 기준 등 5편
	08:00~11:55	보호이론	보호 협조
	13:00~17:10	SESSION Ⅵ	고임피던스 고장 감지 사례 등 5편
	13:00~17:10	SESSION Ⅶ	송전선 개폐시 Pliot보호 오작동 사례 등 5편
	13:00~17:10	보호이론	모선 & 파일럿 보호
10.24(목)	08:00~11:55	SESSION Ⅷ	CVT 과도현상 원인 및 영향 등 5편
	08:00~11:55	SESSION Ⅸ	CT포화도 감지 기법 등 5편
	08:00~11:55	보호이론	발전기 보호
	13:00~17:10	SESSION Ⅹ	보호계전기 시퀀스 구성요소 등 5편
	13:00~17:10	보호이론	Event 토의

Ⅲ. 시사점

□ 올해 46회째인 500여명 이상이 참석하는 세계 최대 규모의 보호계전기 관련 학회에 참석하여 계통보호에 대한 학술적인 내용뿐만 아니라 실무 내용을 중심으로 적극적으로 토론의 장을 통해 보호의 중요성과 뜨거운 관심을 느낄 수 있었음.

□ 특히, 대학교수 등 논문보다는 현장의 실무엔지니어들의 겪은 기술적 노하우 또는 경험사례 등을 주를 이루었으며, 계통보호의 현재와 앞으로의 전망과 해외사례를 통한 최신 동향을 파악함

□ 전 세계적으로 인정받고 있는 학회지(IEEE, CIGRE, WPRC 등) 국제컨퍼런스 및 세미나 등에 적극적으로 참여하고 거래소도 논문 기고에 적극 참여하고 발표를 통하여 거래소와 보호 관련 전문가로서의 위상을 높일 수 있도록 해야 함

□ 보호 관련 회사의 부스 방문과 토론 등을 통해 전력회사, 제작사 및 계통보호 전문가들과의 교류를 통해 인적네트워크를 형성 할 수 있었음.

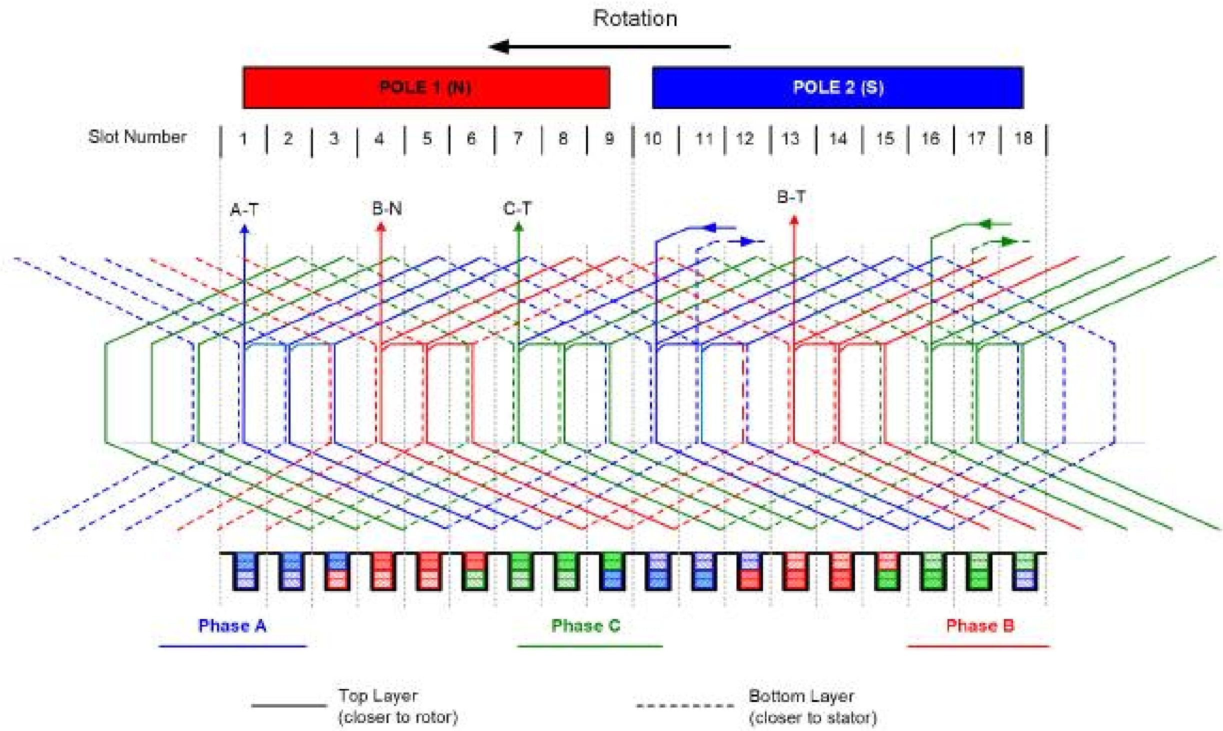
붙임1. WPRC 주요논문 요약자료

붙임2. 컨퍼런스 참석 사진

붙임1 WPRC 주요논문 요약자료

◎ Lessons Learned From Generator Destructive Testing

- 발표 : Calvin Howard, Beth Andrews, and Douglas Taylor *Avista Utilities*
- 내용 : 동부 워싱턴과 Idaho 북부의 에너지 회사인 Avista Utilities에서 스포케인 강의 수력발전 시설 중 하나 인 8.8MVA, 4kV, 48극 60Hz 발전기의 Destructive 테스트를 가을에 수행하면서 발전기 단자 전압 및 전류, 고장 위상의 분기 전류, 고장시 필드 전압 및 전류를 포함한 테스트 결과를 소개함

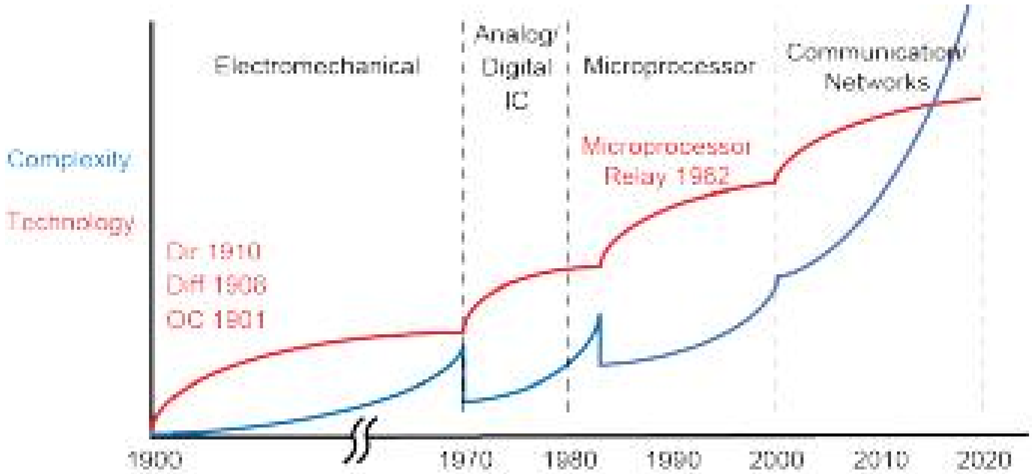


◎ Assessment of Protection Functionality and Performance with Respect to Declining System Fault Levels and Inertia due to a Significant Increase of Inverter Based Generation on National Grid's Transmission System in the United Kingdom

- 발표 : R. ZHANG, B. ELLISON National Grid United Kingdom
- 내용 : 영국 National Grid의 종래의 동기발전기에 의해 공급된 단락 전류가 전력전자 기술을 통한 신재생발전기의 비율이 증가하고 있음, 이 전력전자 기반의 발전이 확산되면서 전송 시스템 특성, 특히 시스템 고장 전류 및 관성 변화에 대한 영향을 무시할 수 없게 됨에 따라 시스템에 어떤 영향을 미치는지 소개함

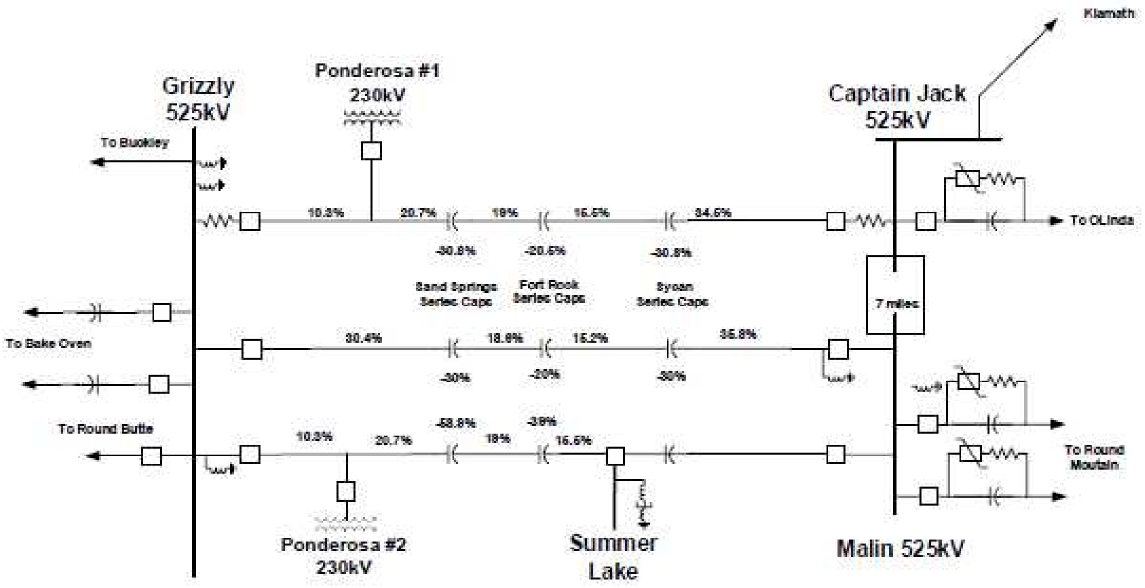
◎ Resetting Protection System Complexity

- 발표 : Edmund O. Schweitzer, III and David E. Whitehead
- 내용 : 최신 보호시스템의 Fault가 신속, 정확하게 보호되고 사람의 입력이 필요한 작업이 자동화 되었으며 여러 장비와 프로세스 등이 공유 할 수 있는 수준으로 발전되었으나 자동화와 통신의 발달로 보호시스템이 더욱 복잡해졌으며 기능의 증가로 복잡한 하드웨어 설계 및 코드 등 엔지니어가 이해하고 구성해야하는 설정이 많아져서 이러한 복잡성은 궁극적으로 시스템의 안전성을 떨어뜨린다. 이러한 복잡성으로 보호기능을 사용할 수 없게 된 요인은 6배가 증가하였다. 이러한 오류를 해결하기 위해서 보호 기능만 포함하도록 릴레이를 단순화하고 자동화 및 통신응용 프로그램을 다른 장치에 배치하는 보호시스템에 대한 설명을 나타냄.



◎ A POTT scheme, using transient directional elements, for a complex 525kV transmission corridor comprising long, heavily loaded and heavily series compensated parallel lines

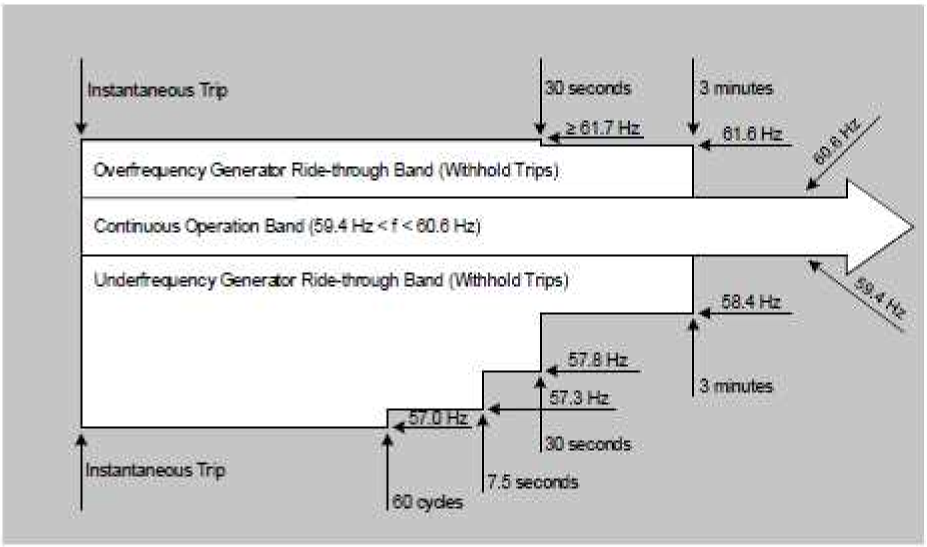
- 발표 : Mike Kockott, ABB Inc., USA
- 내용 : 송전시스템 업그레이드 비용평가 시 새로운 송전선에 대한 직렬보상의 주요 이점은 동일한 송전량 증가에 대한 투자비용을 최대 90% 절감한다는 것이다. 경우에 따라서는 송전용량을 늘리는 실용적인 방법이지만 직렬보상은 전압 및 전류 역전, 저주파 진동 등 수많은 과제로 연결된다. 이 논문에서는 새로운 보호 솔루션인 POTT(Permissive Overreach Transfer Trip)방식을 소개한다.



◎ Exploring IEEE C37.246-2017 Guide for Protection Systems of Transmission-to-Generation Interconnections

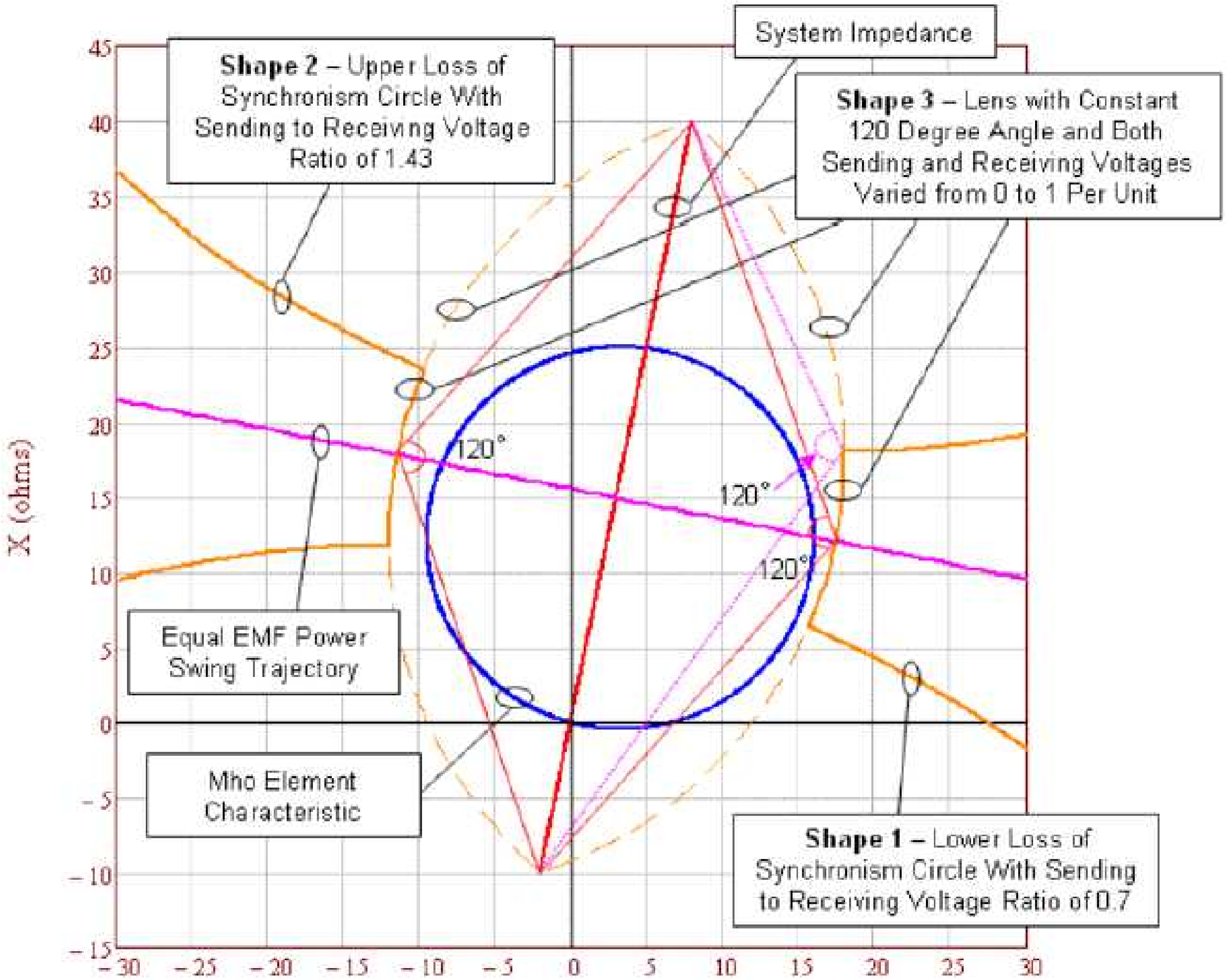
- 발표 : M. Jensen, Pacific Gas and Electric Company
- 내용 : 송전-발전 상호 연결은 정상 또는 비정상 시스템 조건에서 신뢰 할 수 있는 시스템 운영을 지원하는 안정적인 상호 연결

을 설계하는 것을 목표로 한다. 송전사업자와 발전사업자와의 협력이 중요하며 송전-발전 상호 연결 보호시스템을 위한 2017 IEEE C37.246 가이드는 보호 원리와 모범 사례를 문서화하고 설명함으로서 전력공급업체, 독립업체 및 컨설팅 서비스를 대표하는 보호엔지니어를 지원하며 이러한 상호 연결을 설계하는 데 도움을 주기위해서 개발됨.



◎ Understanding and Complying with PRC-026-1: Transmission Relay Performance During Stable Power Swings

- 발표 : John Wang, National Grid
- 내용 : NERC 표준 PRC-026-1의 목적은 고장이 아닌 조건에서 Stable power swings에 응답하여 보호 계전기가 트립되지 않도록 하기 위한 것이다. 이 표준은 부하 응답 보호계전기의 보안을 향상시키는 동시에 안정적인 고장 감지 및 신뢰 할 수 있는 단계적 트립을 유지하는 것을 목표로 함.



◎ Investigation into a double-circuit line fault using the mutual coupling impedance

– 발표 : Moritz Pikisch, OMICRON electronics Corp. USA

– 내용 : 이 논문은 Z1, Z0 및 Z0M을 측정하고 네트워크 시뮬레이션 소프트웨어를 사용하여 Fault와 관련된 전류 및 전압을 매우 정확하게 시뮬레이션 할 수 있음을 보여준다, 실제 고장의 전류와 전압이 계전기에 적용되며, 이에 따라 실제적으로 반응한다.

◎ Simplifying PRC-026 Compliance With Practical Solutions You Least Expect

□ 발표 : Pratheek Annamdevula, SEL

□ 내용 : NERC 표준인 PRC-026-1은 안정적인 Power Swing에 트립되지 않도록 BES(Bulk Electric System)의 보호시스템이 필요하다. 21릴레이의 경우, 표준은 임피던스 평면에서 불안정한 Power Swing 영역을 정의한다. 이 정의된 불안정한 Power Swing 영역 및 15Cycle 미만의 트립 내에 포함되지 않은 거리요수 특성은 완화가 필요하다. 이 논문에서는 릴레이를 교체하거나 Out-of-step Power Swing을 위한 트립을 방지하지 않고도 거의 모든 경우에 컴플라이언스를 제공 할 수 있는 Corrective Action Plans을 제공함

◎ Control House and Relay Design Considerations for EMP Resiliency

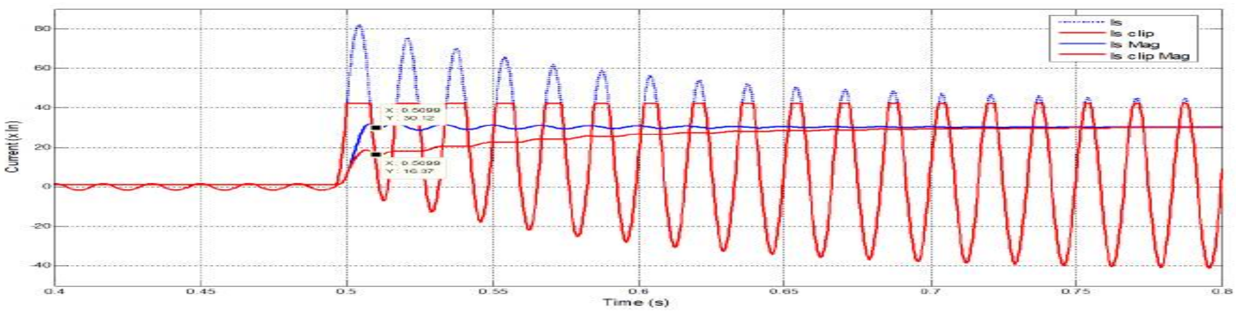
– 발표 : Curtis Birnbach, Advanced Fusion System, LLC

– 내용 : EMP(Electro Magnetic Pulse)의 위협과 전력그리드에 대한 잠재적 영향은 정부 및 전력 산업에 많은 관심을 받고 있다.

특히 EMP에 노출되는 HEMP, NNEMP, RFW, NEMP 등의 여러 가지 이벤트가 있다. 전자 장비에 대한 EMP파의 E1파는 50kV/m로 추정되는 상당한 복사장 세기를 가진 빠른 상승시간(약 1nsec)의 전기장을 방출한다. 이러한 펄스는 직접 방사선 또는 전도성 재로와 결합하여 해당 장비에 매우 높은 에너지의 전기 펄스를 전달함으로서 전기 및 전자 장비에 치명적인 손상을 일으키는 것으로 입증되었다.

◎ Challenges One May Not Expect to Face When Applying Digital Relays

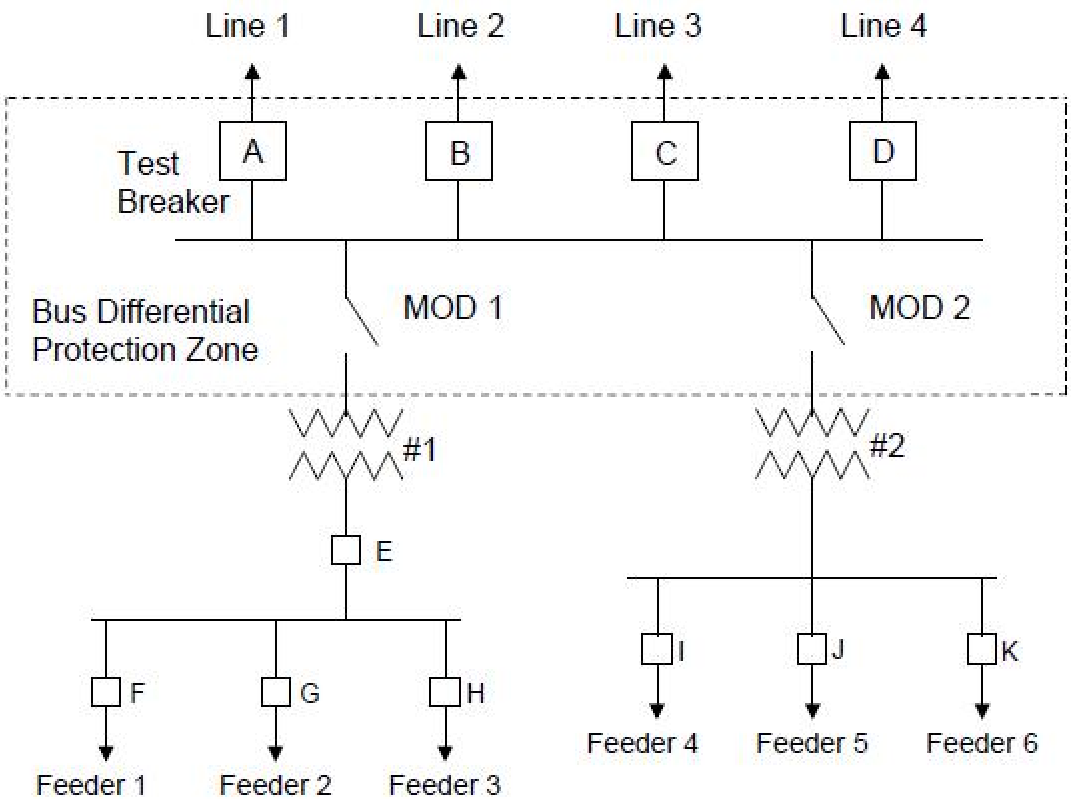
- 발표 : Miroslav Ristic, Pacific Gas and Electric Company
- 내용 : 디지털 릴레이는 E/M 및 정적릴레이와 비교하여 훨씬 더 나은 정확도 및 타이밍 특성을 제공한다. 또한 신호계전기가 어떤 신호에 반응하고 있는지, 어떤 계전기가 측정되고 있는지, 요소 작동에 대한 모든 것을 순차적으로 디지털 표시를 훨씬 잘 파악 할 수 있다. 그러나 릴레이 기술 사양 및 특성 요소에 대한 테스트 방법에 주의를 기울여야 한다. IOC, TOC, 방향성, 저주파수 또는 거리 기능의 테스트에서도 발생한다. 이 논문에서는 디지털 릴레이를 적용하고 테스트 한 실제 경험을 바탕으로 엔지니어와 기술자에게 예기치 않은 작동을 피하고 디지털 릴레이 기능, 사양 및 설정을 보다 잘 이해하는 방법에 대한 통찰력을 제공한다.



◎ Automatic High Voltage Bus Reclosing

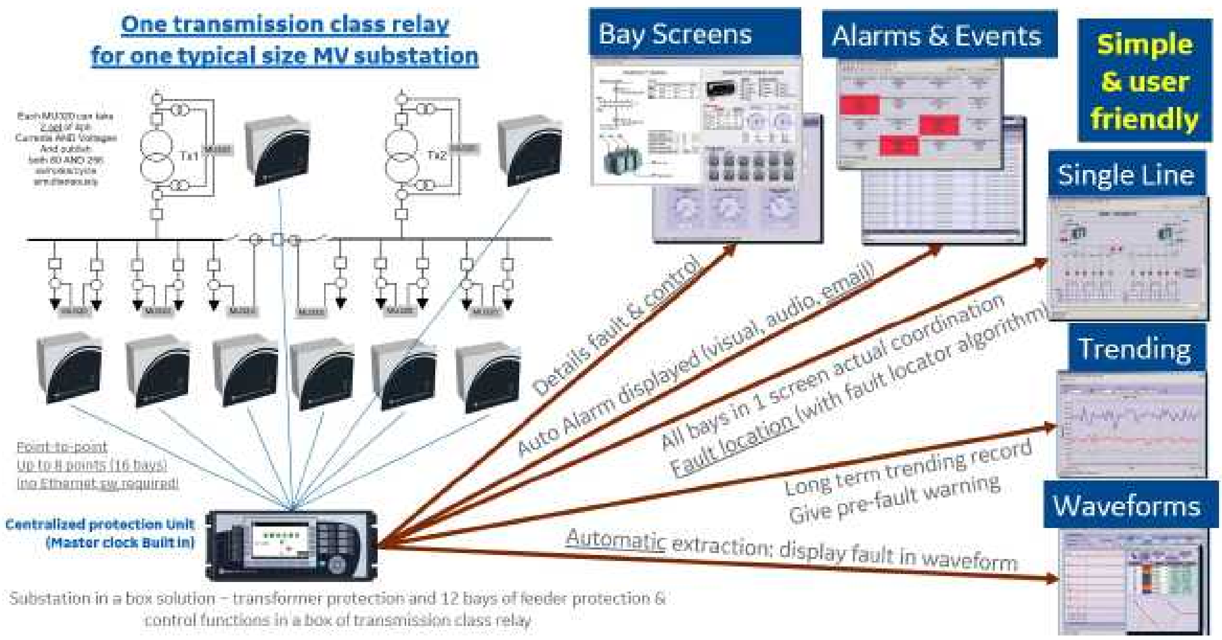
– 발표 : Steve Gooding, Georgia Power Company

– 내용 : 수년에 걸쳐 Georgia Power의 고전압 Bus 보호는 Telephone relay 로직과 저임피던스 버스릴레이와 최근 Bus test/reclosing을 사용하여 구현되었다. 이 논문에서는 마이크로 프로세서 기반의 저임피던스 버스 보호 계전기의 설치를 검토하며 Georgia Power의 115kV 및 230kV의 test/reclosing 로직을 사용하는 이유와 방법을 검토한다. 4세대와 5세대 테스트 설계는 단일 장치에서 보호 및 제어를 구현하며 SCADA에 자체 테스트 경보를 제공하고 사후 오류 분석을 위한 데이터를 제공하여 안정성을 향상시킴.



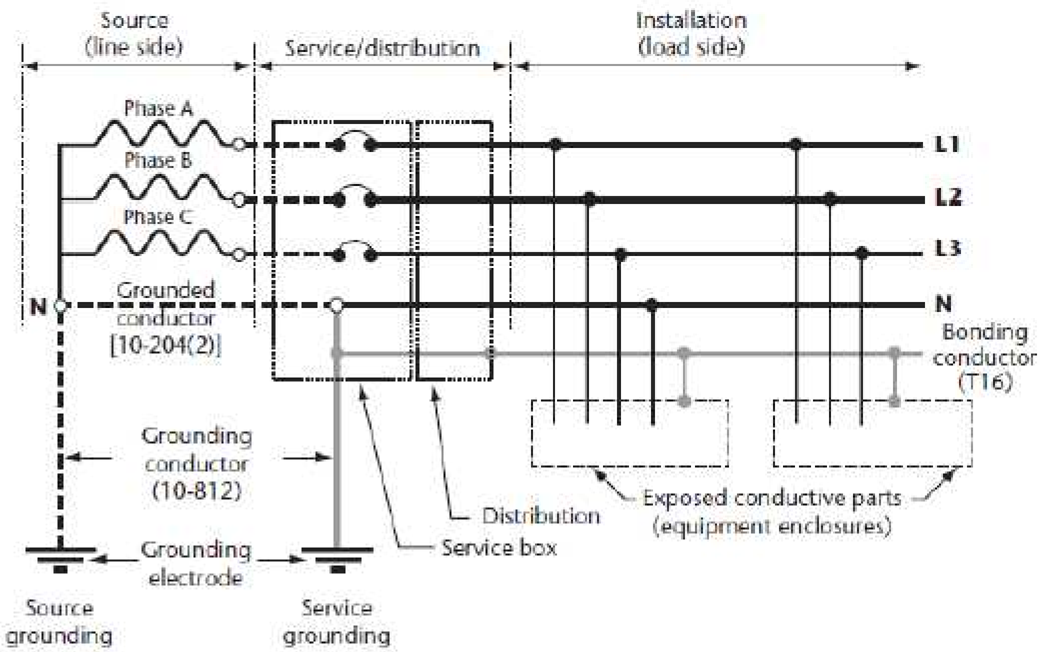
◎ A centralized protection and control system using a well proven transmission

- 발표 : Rich Hunt, GE Grid Solutions
- 내용 : Process bus의 채택이 증가하고 디지털 변전소에 대한 요구가 높아짐에 따라 변전소의 모든 보호 기능이 단일장치로 결합되는 집중식 보호 및 제어 개념에 새로운 관심이 모아지고 있다, 이 솔루션을 구현을 고려할 때 중앙 집중식 보호장치는 20년의 서비스 수명이 예상되는 하드웨어에서 모든 변전소 크기로 확장 가능한 입증 된 보호 알고리즘을 사용하고 기술적으로 성숙하고 강력한 플랫폼이 되어야 함.



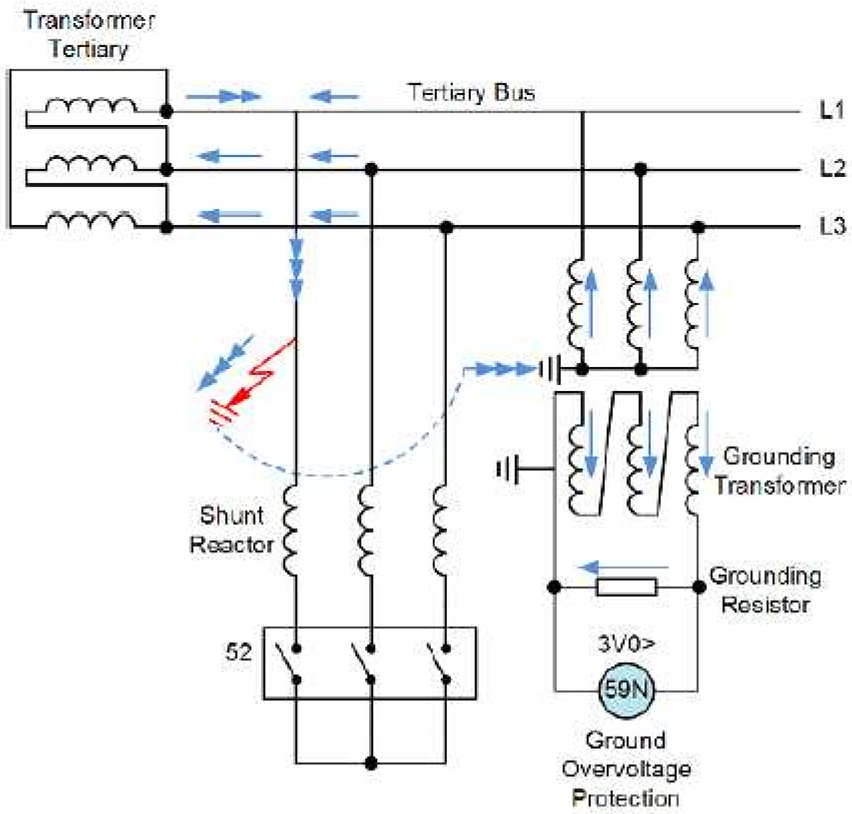
◎ Case study: Transformer Differential Incorrect Operation due to System Grounding

- 발표 : JC (Jacobus) Theron, GE Grid Solutions
- 내용 : Power system 접지는 전원시스템 설계의 핵심 구성 요소이며 보호 체계에 부정적인 영향을 줄 수 있다. 영향을 받을 수 있는 보호 기능은 위상, 중성점 및 Negative Sequence 과전류, 방향성 과전류, 지락고장, 변압기 차동보호이다. 이 논문에서는 접지된 병렬발전기가 시스템에 미치는 영향으로 인해 변압기 비율차동보호의 오작동에 대해 설명한다.



◎ SDG&E Relay Standards - Updating Tertiary Bus and Reactor Protection

- 발표 : Bill Cook, retired from San Diego Gas & Electric
- 내용 : San Diego Gas & Electric (SDG&E)는 전체 시스템에 대한 보호 체계를 업그레이드하고 문서화하는 프로젝트를 시작했다. 이 논문은 분로리액터 적용을 위한 보호 설계 방법론과 과제에 대해 논의한다 분로리액터는 고전압라인에 적용되어 페란티효과로 인한 전압 상승을 상쇄한다. 리액터는 라인이나 EHV변압기에 연결된 3차 버스에 직접 설치할 수 있다. 이 논문은 최신 계전기를 사용하는 3차 dry-type을 고려하여 보호 계획 설계의 개선 사항에 대하여 설명한다.

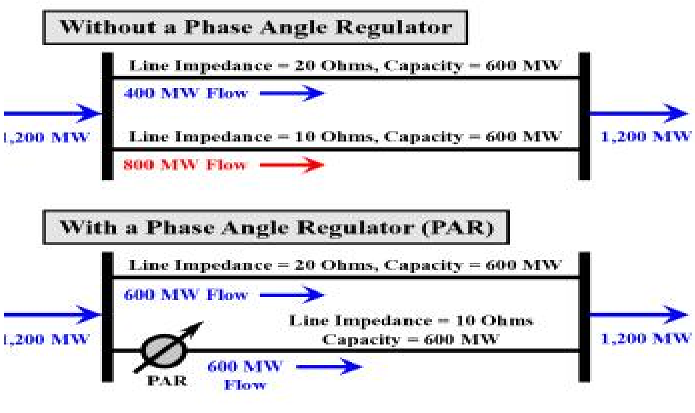


◎ Implementation of a New Algorithm to Detect Turn-to-Turn Faults in Shunt Reactors and Identify the Faulted Phase

- 발표 : Paul I Nyombi, Xcel Energy
- 내용 : 분로리액터에서 turn-to-turn fault을 계전기가 측정하는 전류 및 전압의 변화를 매우 작아서 기존 방법 이 고장을 감지하기에 충분한 감도를 갖지 않았다. 그러나 새로운 알고리즘을 통해 negative와 positive 시퀀스 전압 및 전류 측정을 위하여 분로리액터 내부 고장을 민감하게 감지하는 차동 방식을 소개한다.

◎ A Novel Technique to protect Phase Shifting Transformers: Comparitive Analysis

- 발표 : Grey Kingsley, Consolidated Edison
- 내용 : Phase Shifting Transformer(PST)는 전력시스템의 전력 흐름을 제어하도록 설계된 매우 복잡하고 고가의 장비이다. 이러한 복잡한 장치는 전체적으로 보호하기 위하여 IEEE C37.135에 명시된 거의 모든 PST사용자에 의해 구현된다. 이 방식에서는 변압기 코어 내부에 많은 내장CT가 필요하다. 이 논문에서는 PST를 위해 고안된 기존 보호 체계를 사용하여 수행한 테스트 결과가 포함되며 두 가지 보호 체계에 대한 비교 분석이 제시되어 새로운 체계를 구분하는 주요 요소를 강조한다.

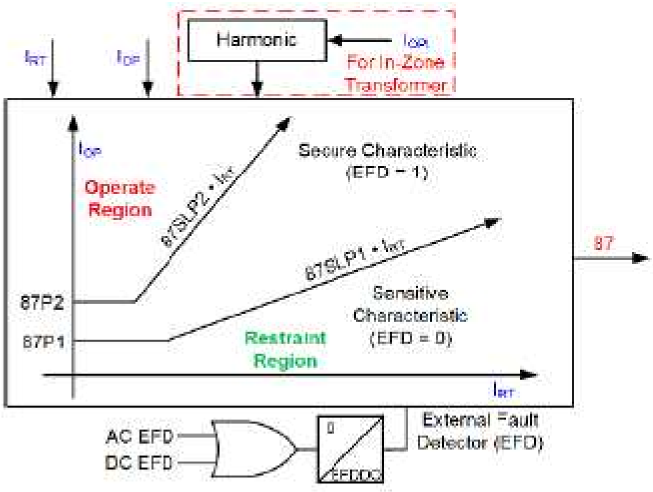


◎ Determining CT Requirements for Generator and Transformer Protective Relays

- 발표 : Ritwik Chowdhury, Dale Finney, SEL
- 내용 : 최신 계전기는 종종 CT포화에 취약한 요소를 강화하는 알고리즘이 있다. IEEE와 IEC 모두 보호계전기 어플리케이션을 제공한다. 이 논문에서는 IEEE와 IEC의 CT Sizing의 유사점과 차이점을 제공한다.

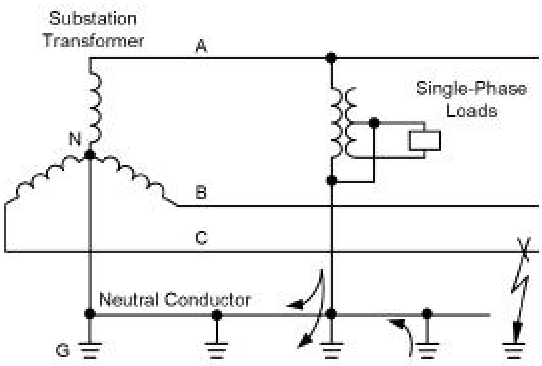
◎ CT Saturation on Transformer Energization:Ensuring Your Black-Start Generator Stays Online

- 발표 : Austin Wade, SEL
- 내용 : 발전기 차동보호를 고려할 때 적절한 CT선택이 가장 중요하다. black-start시 큰 DC offset으로 인해 변압기가 돌입전류로 인해 고정자 차동트립이 나타나거가 외부 고장시 오동작으로 인해 발생하는 오작동을 테스트하여 CT선택의 중요한 이유에 대해 설명한다.



◎ Understanding Ground Fault Detection Sensitivity and Ways to Mitigate Safety Hazards in Power Distribution Systems

- 발표 : Daqing Hou, SEL
- 내용 : 배전시스템에서 Groung fault를 감지하는 것은 매우 어렵다. 문제는 시스템 접지 구성, 부하연결 및 고장임피던스의 결합으로 인한 가용 고장전류에서 비롯된다. 집과 건물에 배전선이 근접해 있기 때문에 ground fault는 전기 접촉 또는 화재 점화로 안전적인 위험을 초래할 수 있다. 이러한 위험을 최소화하기 위해 이 논문에서는 다양한 시스템의 ground fault 감지 감도를 개선 할 수 있는 방법에 대해 설명한다.

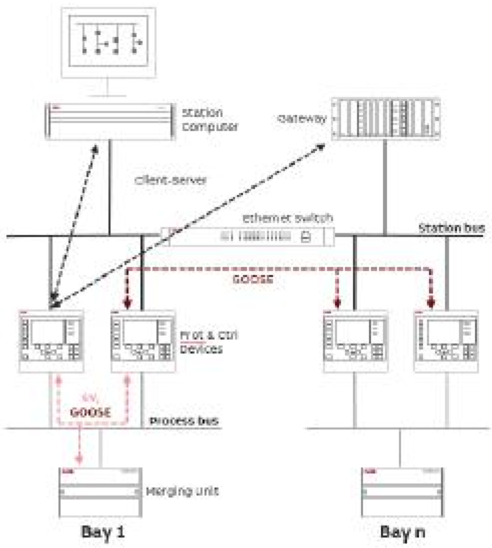


◎ Practical Experience With High-Impedance Fault Detection in Distribution Systems

- 발표 : Frank Heleniak, SEL
- 내용 : 배전시스템의 High-impedance faults에 대한 시스템 개선 사항을 통해 HIF감지 알고리즘을 향상시키는 이유에 대해 설명함

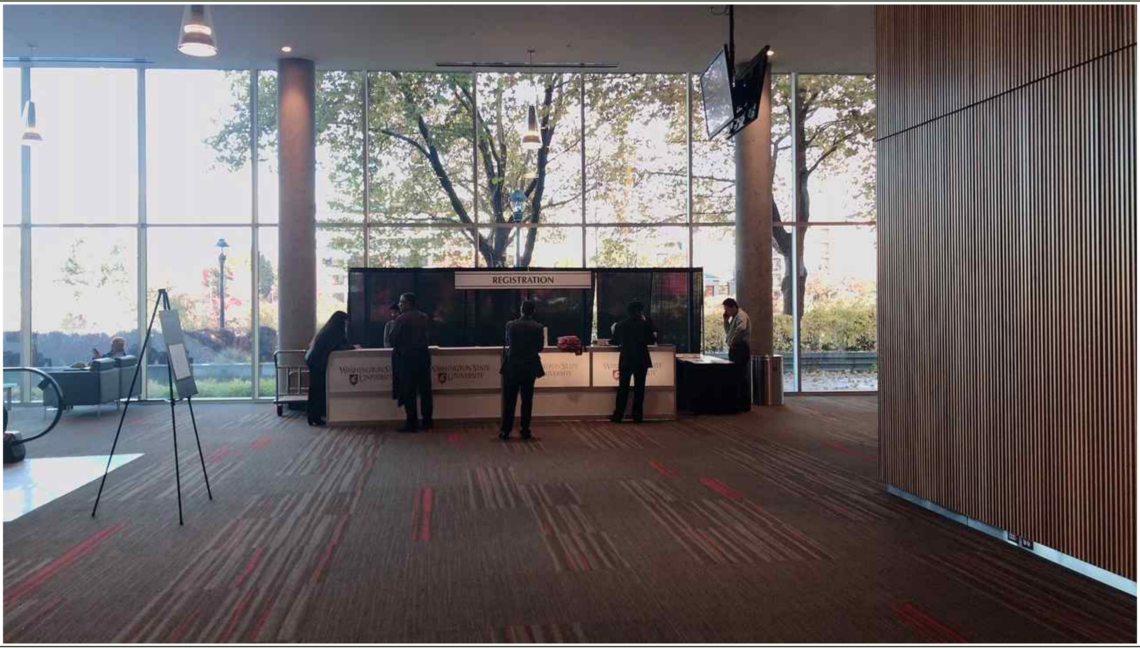
◎ Digital Substation with IEC61850 Process Bus Technology - AltaLink Case Study

- 발표 : Jack Chang, ABB
- 내용 : AltaLink는 2016년부터 최초 디지털 P&C pilot project를 개발하기 시작했다. 1단계는 예비 설계, 기술 및 제품 평가를 포함하고 2단계는 디지털시스템의 엔지니어링 및 시운전으로 구성된다. 이 프로젝트는 북미에서 최초의 138/144kV 시스템 전압 레벨에서 IEC618509-2 표준을 적용한 광섬유 통신에 대한 테스트 및 문제점에 대하여 고찰한다.

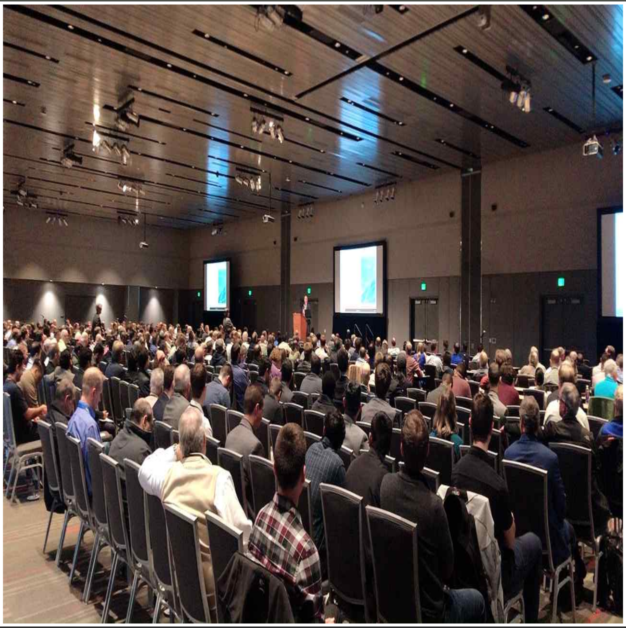


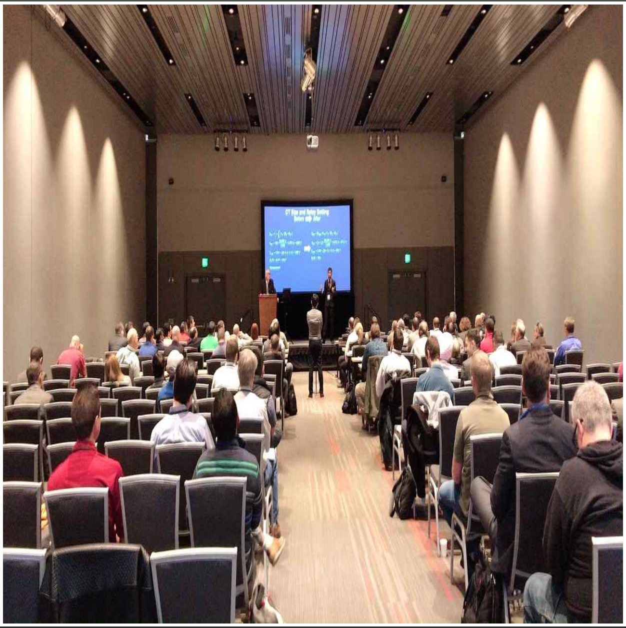
붙임2 컨퍼런스 참석 사진

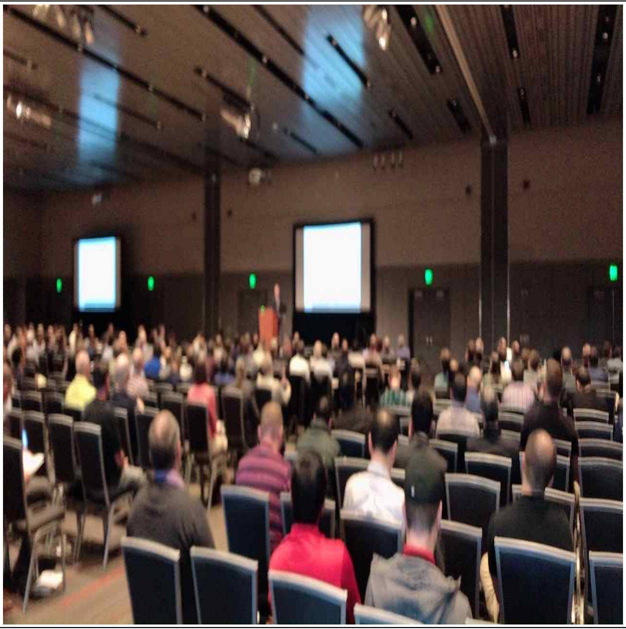
① 2019 WPRC Registeration



② WPRC SESSION 사진







③ WPRC Vendor Showcase 사진