

PMU 연구개발과제를 위한 해외사례 벤치마킹

국외출장 결과보고서

2017. 4

작성자 : 계통기술팀 차장 허성일 (☎8627)

국외출장 결과 요약 보고

□ 북미계통운영기관(ISO-NE) 방문(3.20)

- PMU로 취득한 싱크로페이지 데이터 취득 및 활용 현황
 - 40여 변전소, 70개 PMUs → 7개 TOs PDC → ISO-NE PDC
 - 전력계통 동요 실시간 감시·원인분석 및 발전기 모델 검증 활용
- 주파수외란 발생시 PMU설치 발전소에 대한 모델 검증
 - 20여 발전소-계통 연계지점(POI)에 PMU 설치됨 (2014년부터 시행)
 - PMU데이터와 TSAT/ModV를 활용한 자동모델검증툴(B-PPMV) 개발
 - ISO는 모델검증만 수행하고 모델파라미터 정정은 발전회사의 몫

□ 북미 싱크로페이지 협의회(NASPI) 워킹그룹 참석(3.22~23)

- NASPI는 북미지역의 싱크로페이지 기술 보급 및 활용을 촉진하기 위해 전력회사, 표준기구 및 산학연으로 구성된 자발적 협의체임
- 산하 5개의 태스크팀(T/T)을 운영 : 실시간관제활용T/T 등
- 1년에 2번(3월, 9월) 정기모임을 개최하여 기술 및 경험 공유
- 태스크팀별 활동 실적('16.9~'17.3) 및 계획 보고
- 워킹그룹 주요 발표 내용
 - 실시간 동요 감시 등 싱크로페이지 데이터 Control Room 활용(8건)
 - 데이터네트워크 관련 NASPI Net2.0 및 클라우드 컴퓨팅 적용(2건)
 - 싱크로페이지 데이터 품질(SDQ) 분석방법 및 적용(5건)
 - GPS 단점을 극복하기 위한 Timing 신호 대안 및 백업 기술(8건)
 - PMU 외란데이터를 이용한 풍력 및 태양광 모델 적정성 검증(2건)

□ 시사점

- 북미지역 PMU 설치확대에 따른 싱크로페이지 데이터 활용도 증가
- 실시간 전력계통 동요감시 및 발전소 모델검증과 관련된 NERC 신뢰도 가이드라인은 국내에 맞게 적용가능 할 것으로 사료됨

I. 출장 개요

1. 출장목적

- ☐ PMU 연구개발과제 수행을 위한 해외사례 벤치마킹

* "PMU 데이터를 활용한 발전기 안정도 해석용 모델 파라미터 검증방법 수립(16.3~17.6)"

- ☐ 북미신뢰도기구에 따른 발전기 모델 검증 계획수립 및 운영절차 조사
- ☐ NASPI* 참석을 통해 북미계통의 PMU 운영 및 현안에 대한 기술동향 수집

※ **NASPI**(North American Synchro-Phasor Initiative, 북미싱크로페이즈협의회)

- NASPI는 북미 계통에서 PMU 기술을 사용한 응용프로그램을 개발 노력을 공유하고, 이를 기반으로 계통의 신뢰도 및 광역계통 감시 및 제어 기술을 향상하고자 구성된 협의체임
- 북미에서는 현재 계통 신뢰도 향상 및 감시 제어 목적으로 많은 수의 PMU가 설치 운영되고 있고, 이를 확대 적용하기 위해 많은 노력을 기울이고 있음
- NASPI를 통하여 각 기관의 이용사례 등을 공유하고 학계 및 연구계와 협력하여 관련 기술의 향상 및 적용을 이루어 내고 있으며, 이러한 실적을 정기적인 워크숍을 통하여 그 결과를 공유하고 있음

2. 출장내역

- ☐ 출 장 자 : 계통기술팀 차장 허성일

※ 연구과제 위탁수행기관(전기연구원) 연구진 1인 동반

- ☐ 출장기간 : '17.3.19(일) ~ 25(토) [5박 7일]

- ☐ 출 장 지 : 미국 ISO-NE(메사추세츠州), NIST(메릴랜드州)

- ☐ 주요일정

일 시	내 용	비 고
3.19.(일)	출 국 (뉴욕 경유)	인천→Holyoke(MA)
3.20.(월)	ISO-NE 방문 및 기술회의	Holyoke(MA)
3.21.(화)	이 동 (뉴욕 경유)	Holyoke(MA)→Gaithersburg(MD)
3.22(수)~23(목)	NASPI 워크숍 참석	NIST(MD)
3.24.(금)	귀 국 (워싱턴DC 경유)	Gaithersburg(MD)→인천(25일 도착)

3. 주요 접촉인물

□ 미국 ISO-NE (New England ISO)

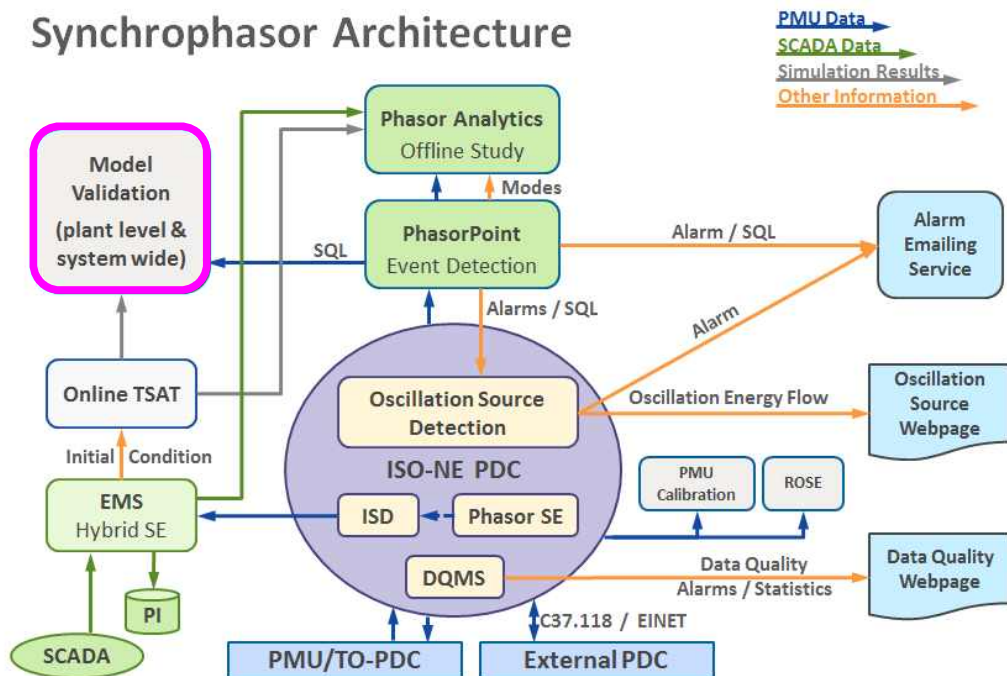
이 름	전 문 분 야
Xiaochuan Luo	Technical Manager / Business Technology
Qiang Zhang	Senior Analyst / Business Technology
Slava Maslennikov	Technical Manager / Business Technology
Scott S. Hodgdon	Project Manager / Busniess & Technology

II. 출장 수행내용

1. 북미 뉴잉글랜드 ISO(ISO-NE) 방문

○ 싱크로페이지 데이터 취득 및 흐름

- 40개의 발변전소에 총 70개의 PMU 설치되어 운영되고 있음
- PMU에서 취득된 데이터들은 7개 송전회사의 PDC 서버로 전송
- 7개의 PDC 서버로 취합된 데이터는 ISO-NE 메인서버로 전달됨



○ 컨트롤센터에서의 싱크로페이지 데이터 활용

- 실시간 계통동요(Oscillation) 감시, 알람 발생 및 통지 시스템 구축

```
----- Alarm -----
PMU data Timestamp:
PhasorPoint Alarm TimeStamp:
Detected Area: [ISO-NE]
Detected Substation: [ ]
Detected Measurement: [ ]
Signal Used: [P]
Frequency Band: [0.87-1.13 Hz]
Message: [PDX1-3 event status alarm]
Mode Frequency: [0.986 Hz]
Mode RMS Amplitude: [4.4 MW]
Mode Damping Ratio: [0.2 %]

*** Please open PhasorPoint to further investigate ***
```

- PDC로 취합된 데이터를 가공하여, 시각화 정보 및 알람 제공을 위한 **PDC 응용프로그램**으로 GE-Alstom사의 PhasorPoint나 Phasor Analytics **활용**

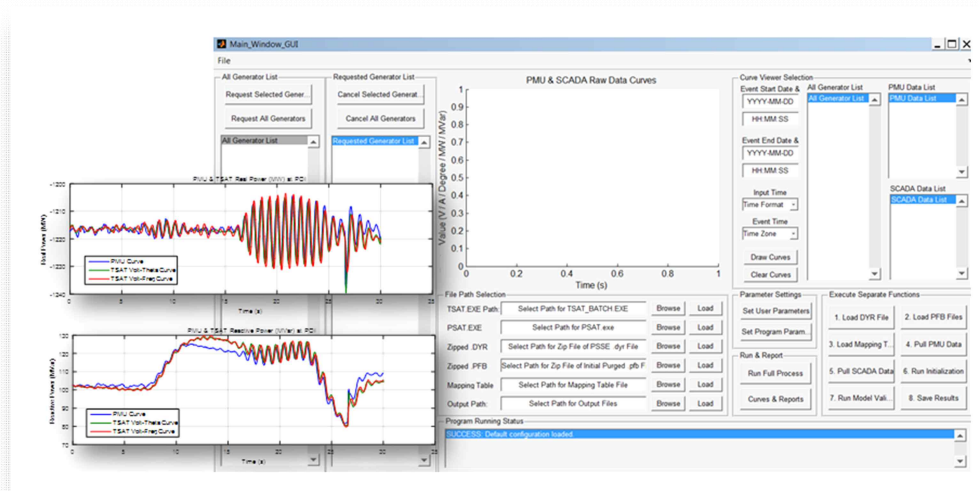
- 싱크로페이지 데이터의 정확성이 곧 응용프로그램 결과의 신뢰성과 직결되므로 **데이터 품질감시(DQMS) 체계 구축 운영**

☞ 관제센터 실시간운영지원 담당자에게 문자와 이메일로 통보

- Forced Oscillation 감지 및 원인개소 분석 결과를 담당자에게 전송
- 사고발생이후 원인분석(Post-Event Analysis) ; PMU, SCADA, DFR
- 주파수 응답특성 실시간 감시 : 계통 및 개별발전기

○ 싱크로페이지 데이터를 활용한 발전기 모델 검증(Mod26, Mod27)

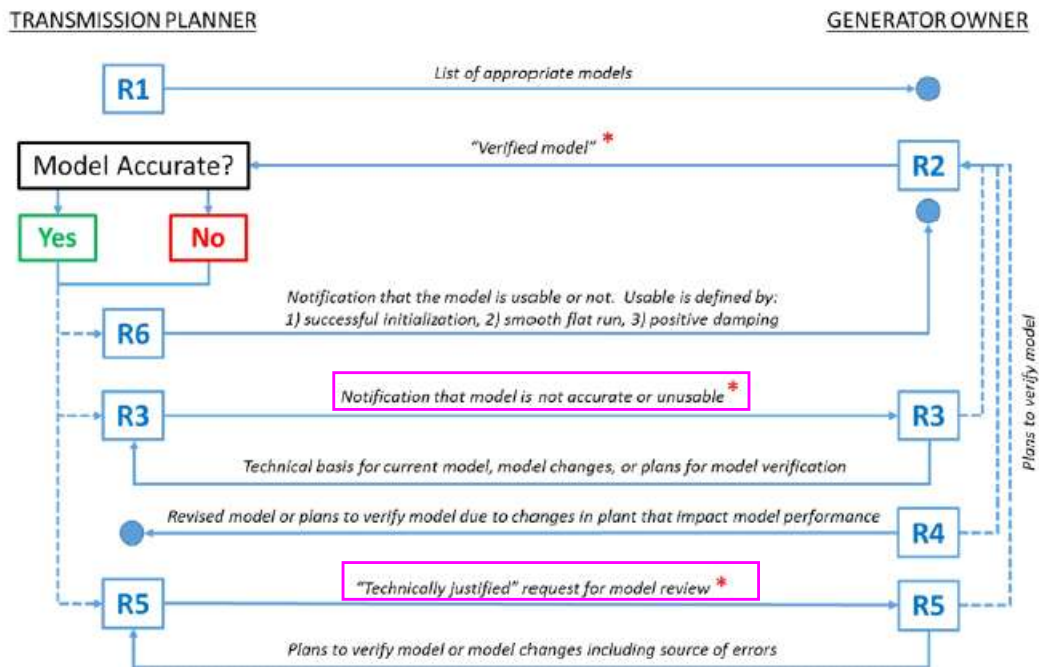
- 주파수 외란발생시마다 PMU 설치 발전소 모델 검증 시행
- PMU 취득데이터와 온라인TSAT 모의결과 비교(B-PPMV¹⁾) 수행



1) Batch Power Plant Model Validation의 약어로 Matlab 기반으로 TSAT playback 연속모의를 통해 여러 대의 발전기 모델 동시검증이 가능하도록 ISO-NE에서 자체 구축한 기능

- 모델검증 결과 기준을 벗어날 경우 발전사업자에 통보
- ☞ 외란데이터를 활용한 모델검증에 있어서 PMU 데이터 활용은 권고사항임
- 발전사업자는 검증결과 검토 후 모델정정 계획 및 수정모델 제출
- 계통운영자는 제출된 수정모델의 재검증 후 발전사업자에 통보

[NERC 신뢰도기준에 따른 발전기 모델검증 절차]



[북미지역 계통 모델 검증 적용 대상 발전기]

구분	개별발전기 단위용량 (gross nameplate rating)	동일모선에 연계된 발전기 총용량 (gross aggregate nameplate rating)
Eastern/Quebec	>100MVA	>100MVA
Western	> 75MVA	> 75MVA
ERCOT	> 50MVA	> 75MVA

[북미지역 계통 모델 검증 기준 주파수 외란]

구분	기준주파수에서 편차
Eastern	$\geq 0.05\text{Hz}$
ERCOT/Western	$\geq 0.10\text{Hz}$
Quebec	$\geq 0.15\text{Hz}$

※ 참고 : "Reliability Guideline Power Plant Dynamic Model Verification using PMUs", 2016년 9월, NERC

2. 북미 싱크로페이저 협회(이하 NASPI) WG 회의 참석

가. NASPI(North America SynchroPhasor Initiatives) 배경

- 2003년 미북동부 정전 권고사항 및 2009년 미 경기부양법(ARRA)에 의거 송전망 현대화 사업 진행
 - 북미지역 5개 계통운영기관(ISO/RTO), 7개 TSO 참여
 - 싱크로페이저 기술 개발을 위해 3억 6천만\$(약 4,200억원) 투자
 - 총 2,000여개의 PMU 설치, 북미 전체송전망의 2/3 감시 가능
- NASPI에는 이 사업에 참여하고 있는 전력유관기관은 물론 표준 제정기구(NIST), 제조사 및 학계 등의 참여
 - 싱크로페이저 기술의 보급과 활용 촉진을 위해 구성된 협의체
- NASPI산하에 전문분야별 5개의 태스크팀(T/T)을 두고 있으며, 1년에 2번(3월, 9월) 정기 모임 개최하여 기술 공유 및 경험 전파
 - Control Room Solutions(CRS) TT
 - Data & Network Management(D&NM) TT
 - Distribution(DIS) TT
 - Engineering Analysis(EA) TT
 - Performance, Requirement, Standard, and Verification(PRSV) TT

나. 2017년 3월 WG 모임

- 참석자 : NASPI 의장 Alison Silverstein외 약 150명 참석
- 회의진행순서
 - 미국기술표준국(NIST) SG 및 사이버보안팀장 기조연설
 - 북미지역 싱크로페이저 기술정책 비전 제시(에너지부, DOE)
 - GPS 시각동기 대체방안 개발(NIST/DOE) 관한 패널토의
 - 컨트롤센터에서 싱크로페이저기술의 활용사례 전파
 - 5개 Task Team별 활동 실적 및 향후 계획 발표, 전체 공유
 - 싱크로페이저 데이터 네트워크분야 기술공유

- 싱크로페이저 데이터 및 데이터 품질 감시 기법
- GPS 대체·백업으로써 시각동기화 신호 생성 및 전달 기법
- 발전기 및 전력설비 감시·진단을 위한 PMU데이터 활용 사례
- 차기 모임(9월) 안내 : 매사추세츠 스프링필드(ISO-NE주관)

3. NASPI 워킹그룹 순서별 주요 내용

가. 기조연설(Keynote Addresses)

○ 발표자

- Chris Greer(미국 NIST, 스마트그리드 및 사이버보안팀장)

○ 내용

- DOE/NIST 주관 송전망현대화 사업인 Smart Grid분야가운데 싱크로페이저 기술개발과 도전과제에 대해 발표
- 싱크로페이저 기술의 실시간 활용을 위한 시각동기화 요구사항
- 측정데이터 불확실성 개선을 위한 시험방법 및 알고리즘
- 물리적 시스템의 모델링 및 사이버보안
- 대량의 데이터 실시간 통신과 관련한 요구사항
- 시각동기화 측정데이터의 과학적 활용(Synchro+metrology) 제안
- 모델검증을 위한 PMU 응용프로그램의 한계(PMU 에러처리 등)

○ 발표자 : Michale Pensin(미국 에너지부, Advanced Grid R&D 차관보)

○ 내용 : 북미지역 싱크로페이저 기술정책 방향

- 전기는 수송, 수자원, 천연가스, 오일, 통신 및 IT 모두 연결
- 북미지역 전력시스템 변화 구동 요인 소개
 - 안전하고(reliable) 유연한(resilient) 송전망에 대한 요구 증가
 - 지역 및 국가간 전력계통의 연계 확대
 - 공급 및 수요자원의 전력시장 참여 기회 증가

- 발전원의 특성 및 원별 Mix 변화, 송전망의 노후화
- 송전망 기술의 상업화는 정책, 시장 그리고 기술의 상호작용
- 싱크로페이저 개발 및 활용 방향
 - 전력계통 광역감시 및 상황인지를 통한 정책과 기술의 혁신
 - 싱크로페이저 데이터를 활용하여 효율적이며, 신뢰성과 유연함을 갖춘 그리드 구축

나. 패넬토의(GPS 시각동기 대체를 위한 Tool 소개)

○ 발표자

- Stephen Bartlett(URSA Nav), Lee Cosart(Microsemi), John Lowe(NIST)

○ 내용

<<eLoran>>

- 지상파항법시스템에 적용되고 있는 eLoran(광역 정밀 위치·시각 동기화 어플리케이션) 소개
- 2017년 하반기부터 Smart Grid 프로젝트에 적용할 계획
- 700마일(1,100km)거리 이내에서 100나노 Sec.미만의 정확성 제공
 - 싱크로페이저 데이터의 시각동기화 요구사항은 1 μ s 이내
- 동서 4개의 Station 설치로 미국 전지역 1 μ s 이내 시각동기 가능

<<Microsemi>>

- NIST와 함께 광통신 P-to-P 시간전송 방식 시험 진행
- 150km 이내에서 26나노 Sec.

<<Harris, NIST Stanford Univ.>>

- GPS 백업신호 생성 : 인터넷, 안테나, GPS 수신기 등 조합
 - GPS 시스템 고장 등으로 시각신호 상실시 백업신호
 - 60kHz의 주파수 대역, 칩 사이즈 원자시계 활용
 - 사이버 보안, 고압변전소의 EMI 신호장애 극복 관건

<<GPA - Advanced Synchro-phasor Protocol, DOE 프로젝트>>

- 가칭 : Streaming Telemetry Transport Protocol(STTP)
- 참여 : 12개 전력회사, 14개 제작사, 5개 대학(WSU 등)
- STTP 설계목적 : 기존 통신프로토콜은 싱크로페이저 데이터 전송 부적합 (대용량 데이터 전송 등)
- 주요내용
 - Gateway Exchange Protocol(GEP) 기술 활용하여 STTP 설계
 - GEP 대비 데이터 손실 저감, 네트워크 부하 증가 처리 개선
- 개발기간 : 1단계('17.4~'18.3), 2단계('18.4~'19.3)

다. 공동발표세션(싱크로페이저 데이터 처리 및 활용 사례)

□ 제1주제 : Control Room Uses of Synchrophasor Tech.

- 제목 : 미국 서부계통(WECC)에서 Forced Oscillation의 실시간 검출(FOD) 및 원인개소 식별(SOL)
- 내용
 - 미국 서부계통 PMU/PDC 설치 및 어플리케이션 현황
 - WECC 전체 600+ PMU, 70+ PDC (2개의 컨트롤센터에 PDC)
 - 신뢰도감시기구(Peak Reliability)는 300+PMU 데이터 수신
 - PDC 응용프로그램으로 GE/Alstom의 PhasorPoint 도입운용
 - PDC 데이터(베이스) 관리를 위해 OSI사의 PI 시스템 사용
 - 워싱턴주립대(WSU)에서 개발한 동요감시시스템 시험운영중
 - 실시간 Forced Oscillation 감시 및 원인식별(RT-FODSL) 개발
 - Forced Oscillation은 로컬발전기에서 시작되지만 시스템전체 동요 야기하므로 컨트롤센터에서 실시간 감시 중요
 - PMU 데이터 이용 Forced Oscillation 검출은 1분 주기로 수행
 - 동요원인개소 분석은 SCADA 데이터 활용(∵PMU데이터로는

전체 발전소 감시데이터 커버 곤란)

- Peak는 3000개의 발전기 데이터를 ICCP로 수신
- OSL(Oscillation Source Location)은 FOD에 의해 구동됨, FOD 인지되면 SOL 수행  시험을 통해 지속적 개선 필요
- OSL은 패턴 처리 및 최대분산비율(MVR) 알고리즘 적용
- FODSL GUI는 GIS 기반으로 정보 제공

○ 제목 : 미국 서부계통(WECC)에서 동요(FO) 발생 감시 및 추적

○ 내용 : WECC 광역계통 동요모드에 영향을 미치는 FOD 식별

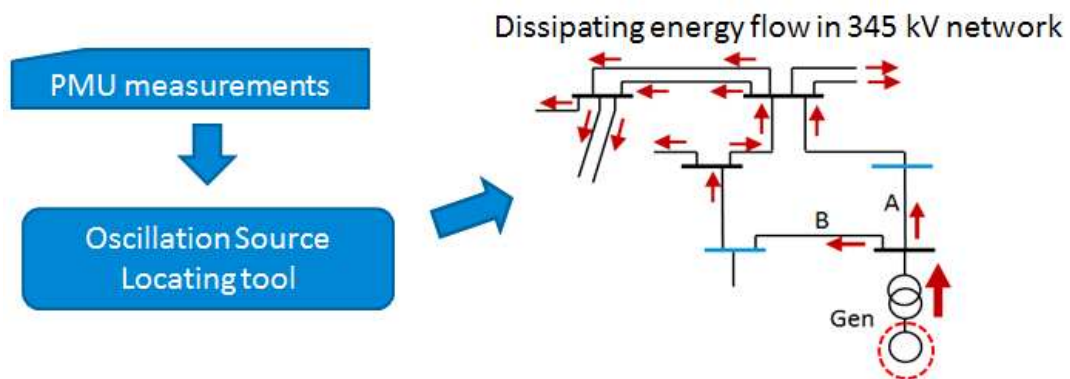
- 미국 서부계통은 장거리 연계로 인하여 2가지 동요모드 존재
 - WECC 동요모드 : A(0.25Hz), B(0.4Hz)
- Forced Oscillation 발생 위험 수준 결정 인자 도출
 - 계통제동특성(Damping Ratio), 동요발생위치, 동요모드근접
 - 3개 해당 : 심각, 2개 해당 : 주의, 1개 해당 : 관심
- 실제 WECC에서 발생한 광역계통 동요 사례 3건에 적용 검증
 - 로컬 FOD(20MW 동요)가 지역전체 동요(200MW)로 증폭됨
- Force Oscillation 인지 후 원인발생개소는 개별 발전기의 해당 시간 운전패턴 분석해서 도출

○ 제목 : ISO-NE의 Forced Oscillation(FO) 위치 식별 분석 툴 개발

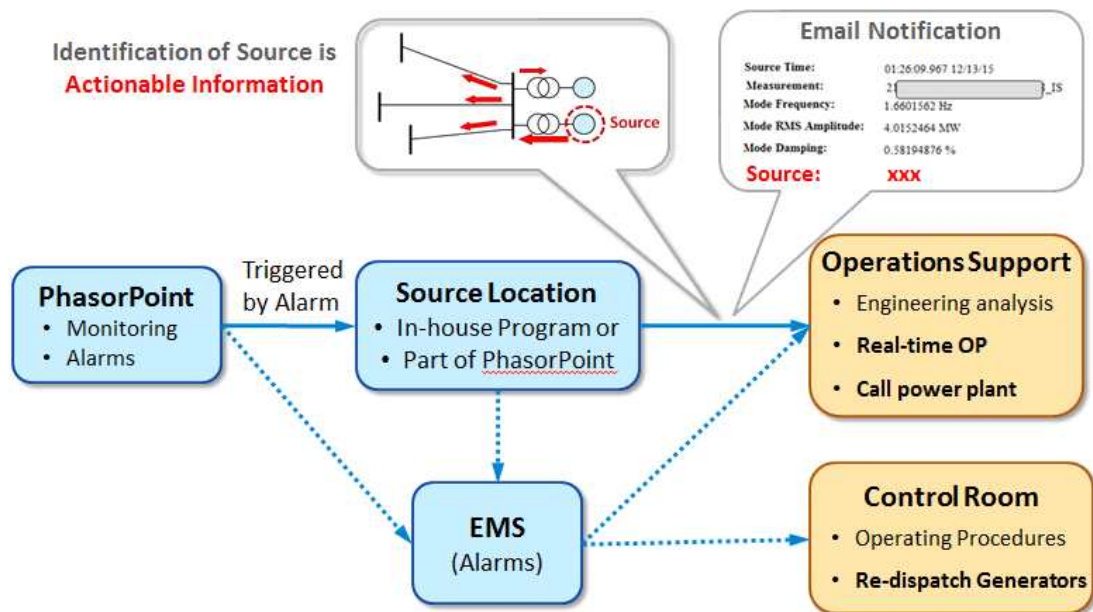
○ 내용

- 사례를 통해 PMU데이터를 이용하여 FO 인지 가능성 소개
 - 0.03Hz ~ 2Hz 동요 인지(2012~ 현재)
 - 오랜시간 지속되는 FO는 정전파급 및 설비손상 야기
 - FO(Forced Oscillation)는 대부분 발전기에서 발생
- FO 발생시간대 발전기 출력변동률이 FO 원인이라 확신 못함

- FO 원인개소 식별 방법 제안
 - 에너지함수법 & DEF(Dissipating Energy Function) 적용
 - WECC(2개), ISO-NE(30개) 실제 사례에 적용하여 방법 입증
- ISO-NE 온라인 FOD 및 OSL 툴에 구현되어 운영중
 - FOD와 OSL 2스텝으로 구성 : FO인지되면 OSL 자동구동
 - ☞ FOD(Forced Oscillation Detection), OSL(Oscillation Source Location)
 - FO인지→PMU데이터를 이용하여 DE Flow분석→소스 판별



[DE Flow 분석을 통한 동요발생개소 검출 개념도]

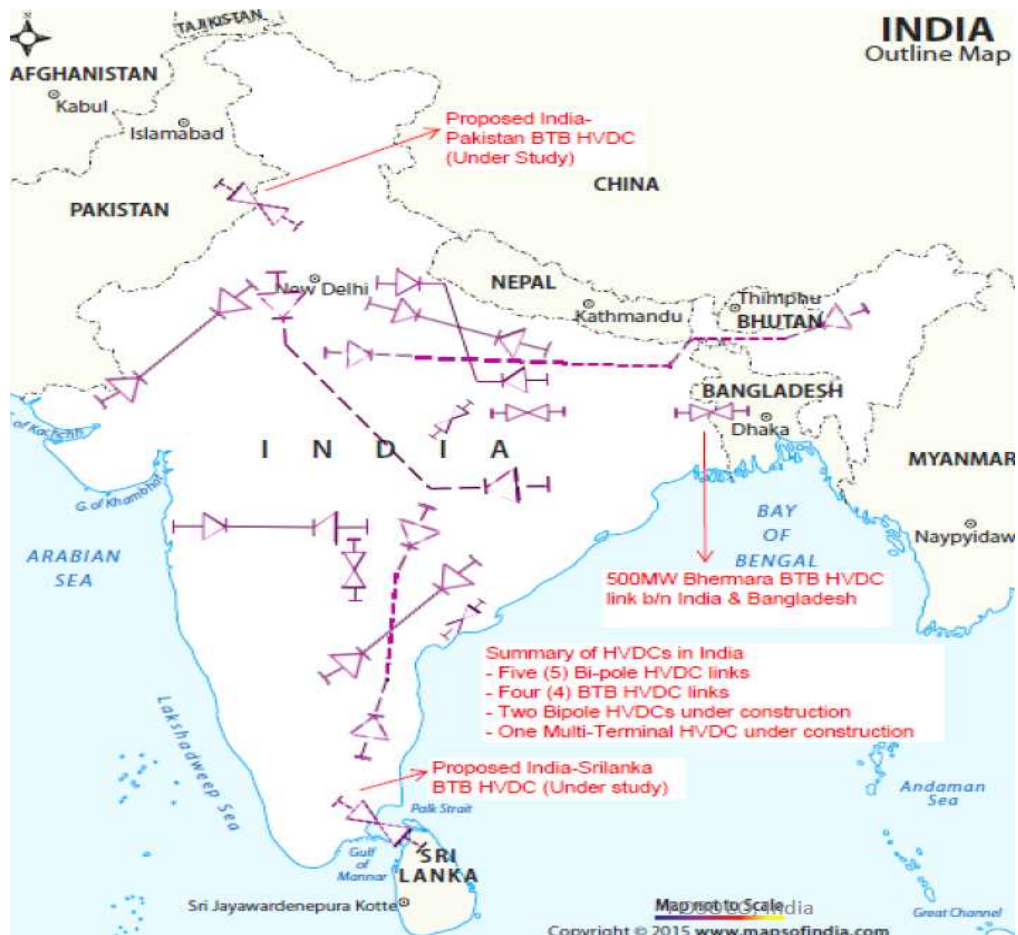


[ISO-NE의 PMU데이터를 활용한 온라인동요감시관리 Flow]

○ 제목 : 인도 전력계통에 있어서 HVDC/EHVAC 통합운영을 위한 싱크로페이지 데이터 활용(인도 POCOSO)

○ 내용

- One Frequency를 위해 DC 연계 확대에 따라 AC-DC 통합운영
 - 4개의 B-t-B HVDC, 5개의 bipole HVDC 루트 운영중
 - 다단자 HVDC 시험운영중, 2개의 HVDC 루트 추가건설중



- HVDC 운영 감시를 위해 싱크로페이지 데이터 활용 사례
 - HVDC 전력지령치 동요 발생 원인 분석
 - HVDC 변환소 인근 모선고장에 따른 HVDC 정류실패 식별
 - HVDC Pole정지와 전력지령치 근접 감시
 - 송수전단 위상차 제한치 이내 유지를 위한 HVDC 최적운전
 - 필터스위칭, 저주파공진 등 HVDC 관련 현상 검출

○ 제목 : 싱크로페이저 데이터를 활용한 계통관성(Inertia) 실시간 감시 방법(UTK 발표)

○ 내용

- 외란시 PMU로 취득된 주파수 신호 분석을 통해 관성지표 제공
 - ROCOF(Rate of Change of Frequency) $\Delta f / \Delta t$
 - 발전기 탈락량(MW) 대비 ROCOF 산정
 - ROCOF 정규화를 통해 발전기 탈락이벤트별 관성지표
- 풍력 등 대규모 신재생전원의 비중이 클 경우 제안한 방법의 유용성 검증을 위한 추가적인 연구 필요

○ 제목 : PMU취득 위상과 상태추정 계산 위상 차이 감시를 통한 전력계통 주요 변화 실시간 인지 사례

○ 내용

- PMU 위상측정치와 SE 위상계산치 비교를 통해 계통변화 감시
 - 앵글측정을 위한 동일한 기준점 설정 중요
 - EMS/SE와 PMU 위상차는 토폴로지 변화가 있을 경우 발생
 - 관제사에게 알람 제공하여 상태추정 결과 업데이트 수행
 - 전력계통의 주요한 변화 위치 인지 가능

○ 제목 : PMU 데이터를 이용한 비연가 송전선로 파라미터 추적

○ 내용

- 송전선로 양단에 설치된 PMU 측정데이터로부터 파라미터 추정
- 추정된 파라미터를 통해 계산한 조류 값과 측정한 값 비교
 - 최소자승법 등 오차발생 최소화 기법 적용
 - 3상 선로의 영상, 정상, 역상 파라미터 추정 가능
- ☞ 선종교체외에 선로파라미터가 거의 바뀌지 않으므로 동적 추정할 필요가 있는지?, SCADA 데이터로도 충분하나 PMU로 시도

□ 제2주제 : Advanced Networking

○ 제목 : 싱크로페이저 네트워크 프로토콜 NASPInet2.0 제안 배경

○ 내용

- 기존 NASPInet 프로토콜 평가 및 분석
 - 데이터버스, 게이트웨이 외 추가 요구사항
- 새로운 Spec. 개발(NASPInet2.0) : 경험에 근거 기존 Spec. 갱신
 - 신기술, 신규Usecase, 우선순위(사이버보안) 등 고려사항 추가
 - 핵심 기능, 기능클래스, 컴포넌트클래스, 통신네트워크, 시스템 레벨 아키텍처 및 보안의 표준화

☞ IEEE Power System Communication and Cyber-Security(PSCC)
통신프로토콜과 중복되는 부분 상호참조 필요

<http://sites.ieee.org/pes-pscc/>

○ 제목 : 광역 제어를 위한 Exogeni 기반 Clouding기법 적용 소개

○ 내용 : WAMS 테스트베드를 활용하여 제안한 기법 구현 및 시험

□ 제3주제 : Data & Data Quality

○ 제목 : 싱크로페이저 데이터 품질 이해와 분석

○ 내용

- 전세계적으로 500,000개의 PMU 보급, 북미에만 3,000여개
- 전력회사 측면에서 싱크로페이저 데이터 품질의 중요성 증가
- 분석데이터 46TB중 48% 불량, 52% 양호
- 데이터품질 분석 3가지 기법 : Flag기반, Data기반, Model기반
 - 모델기반으로 갈수록 처리할 양과 시간소요 많음
- 과거이력데이터를 통한 불량분석과 실시간 분석의 장단점 비교

○ 제목 : Ensemble 기반 싱크로페이저 데이터 품질 및 응용 프로그램에 미치는 영향 분석

○ 내용

- 측정 오류가 있는 PMU 데이터는 응용 프로그램에 영향을 줌, 따라서 SDQ 평가는 매우 중요함 인식
- 기존 불량데이터 평가는 하나의 방법으로 불가, 여러 가지 방법 결합 필요. Ensemble 기반의 1가지 방법 제안
- Maximum Likelihood 방법을 통한 SDQ 판별, 불량 데이터가 이벤트 감지, 부하모델링, 미소신호안정도에 미치는 영향 평가
- 제안한 방법에 대해 시뮬레이션(RTDS활용) 검증 수행
 - SDQ 평가를 통해 Bad 데이터 감지 성공률 체크
- ☞ 실제 이벤트를 이용한 충분한 사례 검증 필요함 제기

○ 제목 : 싱크로페이저 데이터 품질의 실시간 검출

○ 내용

- 캘리포니아 ISO의 PMU 데이터 불량률 : 10~17%
- 데이터 불량은 PMU 데이터 활용 어플리케이션 결과 신뢰저하
- SDQ 분석 중요, 현재 3가지 기법(Flag/Data/Model) 장단점
 - 모델기반의 경우 계산시간 과다로 온라인 감지용 적용 불가
- 데이터 기반의 온라인 PMU 불량데이터 감지방법 제안
- 불량데이터와 실제 이벤트 데이터 구별해서 판별가능
 - 불량데이터 : 데이터 잡음(High Sensing Noise), 데이터 소실, 데이터 미갱신, 이상 데이터 주입(사이버 공격) 등

○ 제목 : 학습모델을 통한 실시간 PMU 불량데이터 발견

○ 내용

- SDQ 분석을 위한 데이터 기반 기법 적용
- PMU 과거 이력데이터 학습하여 모델 구축
 - 전력계통의 비선형성과 많은 양의 데이터 처리를 위해 Neural Network 기법 적용하여 학습모델 도출
 - Univariable, Multivariable 접근법 활용
- 실시간 PMU 데이터를 학습모델을 통해 클래스 구분
 - 기후/전압저하/써지/유지보수 등 5가지 항목
- 이상행동 패턴 분석 및 예측
 - PMU 간의 Node-pair 분석사례 소개

□ 제4주제 : Time & Time Synchronization

- 제목 : 변전소PMU를 위한 GPS 시각동기화 ; 현재와 미래
- 내용
 - GPS 시간 소실과 회복 : 대부분 GPS 수신기는 20분내로 회복
 - 북미지역 PMU 데이터 연결 시스템인 FDR(Frequency Disturbance Recorder)의 경우 최대 2시간동안 GPS 신호수신 없이 구동 설정
 - GPS 신호수신 못하면 PDC로 전송되지 못하는 PMU데이터 발생
 - PDC에 사전 설정된 시간을 초과할 경우 PMU데이터 불량처리
 - 이를 대비하기 위해 New Clock & Timing 아키텍처 필요성 역설
- 제목 : Non-GPS 화이트래빗(WR) 기반 PMU 시각동기화
- 내용
 - GPS의 취약점을 극복할 대안 필요
 - 수신용이성, 보안유지, 신호잡음, 시스템고장 등
 - GPS 기반이 아닌 White Rabbit 프로토콜 적용(WRN)
 - WRN원리 : Precise Phase Measurement

- GPS-PMU와 WR-PMU가 PMU calibrator에서 결합
 - GPS-PMU와 WR-PMU 결과 비교
- GPS 신호 적용이 불가능한 곳에서 대안이 될 수 있음
- ☞ 동일 Master Clock을 갖는 단일 WRN에서는 성능이 괜찮을 수 있지만, 상호 연계되지 않는 다중 WRN에 적용은 곤란 제기

○ 제목 : eLoran 타이밍 소스를 이용한 싱크로페이지

○ 내용

- 싱크로페이지는 정확성과 신뢰성을 위해 타이밍 소스에 크게 의존
- GPS의 단점을 극복할 대안 필요
 - 수신용이성, 보안유지, 신호간섭, 시스템고장 등
- e-Loran 타이밍 시스템 소개 : 구조와 성능
- e-Loran 타이밍 소스를 활용한 FDR 소개 (UTK)
- 타이밍소스로 GPS와 eLoran 적용한 결과 비교
 - Short-term, Long-term 에러 측정, 신호소실(eLoran 없음)
 - PPS 타이밍 오차, 측정 위상 및 주파수 편차 양호
- eLoran 타이밍 신호의 안정성 및 가용성 우수

□ 제5주제 : Generators and Equipments

○ 제목 : PMU 외란데이터를 이용한 풍력 및 태양광 모델 적정성 검증

○ 내용

- 스텝(출력, 전압제어기준점) 응답시험 및 발전소 레벨의 외란데이터(전압, 주파수) 이용한 시험검증 수행

○ 제목 : PMU 측정데이터 기반의 발전소 운영감시 진단사례 소개

- 저주파 동요 및 상불평형 운전 사전 검출을 통한 예방진단

라. 태스크팀별 활동실적 보고

☐ Control Room Solutions(CRS) TT

- 동요검출 사례 등 3개의 논문소개 및 UseCase 작성

☐ Distribution(DIS) TT

- 싱크로페이저 측정데이터를 이용하여 배전망에서의 사이버공격 감지, 배전망 PMU의 하드웨어 및 펌웨어 요구사항 발굴 등 3개 논문 소개
- UseCase 작성 : MG용 PMU, 사이버보안, PMU 설치위치 등

☐ Data & Network Management(D&NM) TT

- NASPInet2.0 갱신 사유 및 내용 공유
- PMU 데이터 관리 자동화 프로세스 구축 사례 소개

☐ Engineering Analysis(EA) TT

- 싱크로페이저 데이터 처리를 위한 데이터 마이닝 기법과 툴 관련 White paper 소개
- 싱크로페이저 데이터 처리 관련 4개 논문 소개

☐ Performance, Requirement, Standard, and Verification(PRSV) TT

- PDC 표준(PC37.247) 등 싱크로페이저 관련 표준자료 업데이트 진행사항 공유

마. NASPI 워킹그룹 참석을 통해 본 PMU 주요 동향과 시사점

☐ 싱크로페이저 기술의 주요 동향

- 실시간 동요 감시 등 싱크로페이저 데이터 Control Room 활용
 - 로컬발전소 동요현상의 광역 파급 방지를 위한 노력

- 전력시스템 고유의 문제가 아닌 제어계 결함 등으로 발생하는 동요
- 전력설비 모델 검증 및 실시간 운영진단을 위한 적용
 - 주파수외란 발생시 PMU설치 발전소에 대한 모델 검증(ISO-NE, BPA)
 - PMU데이터를 활용한 신재생발전원(풍력, 태양광) 모델 검증
 - 발전기(유럽) 및 HVDC 운전감시(인도), 고장분석에 PMU 활용
- 싱크로페이지 데이터 품질(SDQ) 분석기법 개발 및 적용 활발
- GPS 단점 극복을 위한 Timing 신호 대안 및 백업 기술개발 증가
- 싱크로페이지 데이터 네트워크 구축을 위한 표준화 작업 진행
- 시사점
 - 북미지역 PMU 설치확대에 따른 싱크로페이지 데이터 활용도 증가
 - 실시간 전력계통 동요감시 및 발전소 모델검증과 관련된 NERC 신뢰도 가이드라인은 국내에 맞게 적용가능 할 것으로 사료됨

III. 출장 주요 성과

- 북미지역 계통운영기관인 ISO-NE를 방문하여 PMU 데이터 활용 상세구성 및 발전소 모델 검증 현황에 대한 정보를 수집
- 북미 신뢰도기구인 NERC의 발전소모델검증 관련 가이드라인의 세부내용(SO, TP, GO 각 기관의 역무 등)에 대한 자문
- 워킹그룹 참석을 통해 PMU 데이터 기술의 현재와 전망, PMU 데이터 활용사례 및 도전과제에 관한 최신 동향 파악

IV. 붙임 자료

- 붙임 1. ISO-NE 자료 1부
- 붙임 2. 2017년 NASPI W/G 발표자료 1부
- 붙임 3. 항공기탑승권 1부. 끝.