2024년도

CIGRE Paris Session 참석
해외출장 결과보고서

2024. 09.

smart KPX 전력거래소

Ⅰ 출장개요

1. 출장목적

□ 2024년도 CIGRE Paris Session 참석(C2 분과)

ㅇ “전력계통 운영 및 제어” 각국 대표자 회의 참석

ㅇ “전력계통 운영 및 제어” 분야 전문가 그룹토의 활동 참석

ㅇ “전력계통 운영 및 제어” 분야 논문발표

□ GO15 사무국 회의 및 20주년 행사 참석

□ 전력망 운영기관 간 협력증진(RTE* 방문 및 견학)

* 프랑스 전력계통 운영기관(Reseau de Transport d'Electricite)

2. 출장계획

□ 출장기간 : 2024.08.24.(토) ~ 09.01.(일) [7박 9일]

□ 출장자 : 계통운영처장 최홍석, 송전운영팀 차장 김주용

□ 출장지 : 프랑스 파리

□ 소요예산 : 14,426천원(여비교통비/ 해외업무수행여비)

□ 주요 일정 및 수행업무

일 정	내 용	비고
8.24.(토)	□ 출국(인천 11:10 → 프랑스 18:30)	12h 20m 소요
8.25.(일)	□ CIGRE Paris Session 행사 참석 및 등록 □ Technical Exhibition 참석	-
8.26.(월)	□ CIGRE SC C2 워크숍 참석 □ GO15 사무국 회의 및 GO15 20주년 행사 참석	-
8.27.(화)	□ CIGRE SC C2 Technical programme 발표	-
8.28.(수)	□ CIGRE SC C2 토론 세션 참석 □ CSG 세미나 참석	-
8.29.(목)	□ CIGRE 프로그램 참석 및 논문발표	-
8.30.(금)	□ CIGRE Paris Session 행사 종료 및 귀국 준비 □ RTE 견학	-
8.31.(토)	□ 귀국(프랑스 21:00 → 인천 9.1. 15:55)	11h 55m 소요

Ⅱ 출장내용

1. Technical Exhibition 참석(08/25, 일)

□ 행사(Technical Exhibition) 개요

○ 전력산업 관련 최신기술, 장비, 솔루션 등을 선보이는 기술박람회

○ 거대한 전력기기들을 미니어처로 축소시켜 실내에 전시하며, 해당 미니어처들을 통해 설비 동작 사항과 원리들을 잘 확인할 수 있음

○ 참가 기업체들은 ISO, TSO 들에게 자사 상품 및 기업홍보에 열을 올리며, 일부 소규모 및 신규 회사는 인력 채용도 진행

□ Exhibition① - SHEMAR

○ (기업개요)

- 송변전설비 및 배전설비를 제조 및 공급하는 중국 국적의 회사로, 1996년도에 설립

- 자국 내 막대한 물량의 전력설비 공급과 꾸준한 기술 혁신을 바탕으로 근래 들어 급격히 성장하였으며, 현재 중국을 비롯한 100여개의 국가에 초고압 전력설비를 공급

- 2024 CIGRE Paris Session 행사에 가장 많은 금액을 후원한 후원사임

○ (전시상품①) CICA* Tower

* Composite Insulated Cross Arm(CICA)

- 기존의 송전탑은 1개의 Insulator를 사용하여 철탑과 송전선 간의 절연을 유지하였으나,

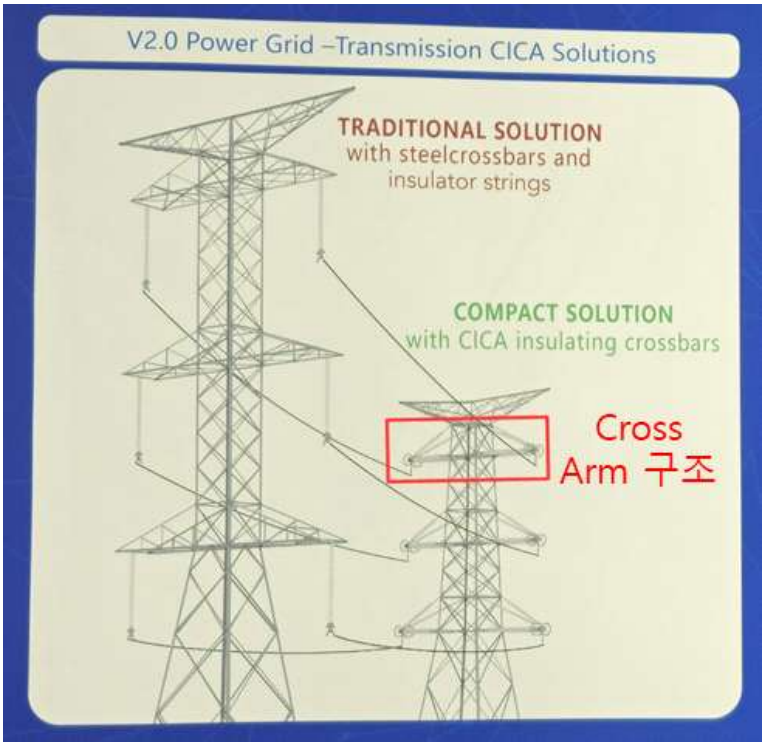
- CICA Tower 방식은 **Insulator로 Cross Arm 구조를 추가**하여 절연을 강화할 뿐 아니라 송전선로의 하중을 분산시켜 철탑을 소형*·경량화** 시킬 수 있는 방식임

* 약 20% 부피 감소

** 약 15%의 철근 및 콘크리트의 사용량이 감소

- 절연약화로 인한 송전선로 고장 확률은 기존 송전탑 대비 약 90% 이상 감소

< Cross Arm 구조 - 개요 >



< Cross Arm 구조① >

< Cross Arm 구조② >

□ Exhibition② - Sedivar

○ (기업개요)

- 절연체(Insulator) 설비 제조 전문의 프랑스 국적 회사
- HVDC 절연체에서 특히 우수한 성능을 자랑하여 HVDC 부속 설비 분야의 점유율이 매우 높음
- 투명하고 가벼운 Glass 기반의 Insulator를 주력으로 내세우고 있음 (절연 성능 : 최대 1,100kV)

○ (전시상품①) Glass HVDC Insulator

- Glass 소자로 만들어, 외관 확인만 통해서도 설비의 손상여부 및 청결상태를 확인가능
- 일반적인 Glass 소자의 경우 내구성이 취약하나, 해당 사의 제품의 경우 840kN 까지의 외력을 견딜 수 있어 매우 견고함

○ (전시상품②) Fog Profile Insulator

- 일반 Insulator 대비 더 넓은 rib*간격을 가지고 있어 오염 물질 또는 습기가 절연성능에 미치는 영향을 최소화

* rib : 절연체의 돌출된 부분들 사이의 거리를 의미하며, 해당 절연체들 간의 거리가 길수록 절연성능이 높아짐

- rib 간격을 늘리게 되면 Insulator의 크기 및 질량이 비대해져 철탑의 크기 및 강건성이 증가해야 하며, 이는 부대비용의 증가를 유발함
- Sedivar 사의 Glass 소재 Insulator들은 소재의 특성상 가볍기 때문에 넓은 rib을 가짐에도 경량화가 가능함
- RTV 실리콘* 코팅이 적용되어, 세척주기가 매우 긴 장점 또한 보유

* Room Temperature Vulcanizing 실리콘 코팅 : 절연체 표면에 실리콘을 코팅하는 기법

< HVDC Insulator >

< Fog Profile Insulator >

□ Exhibition③ - Reactive Technologies

○ (기업개요)

- 실시간 계통관성 측정, 강건성 감시 솔루션 등을 제공하는 영국 국적 회사
- 한국 출신의 어승필 박사가 Grid sonar라는 제품 개발 부서의 팀장으로 활동 중

○ (전시상품) Grid Sonar

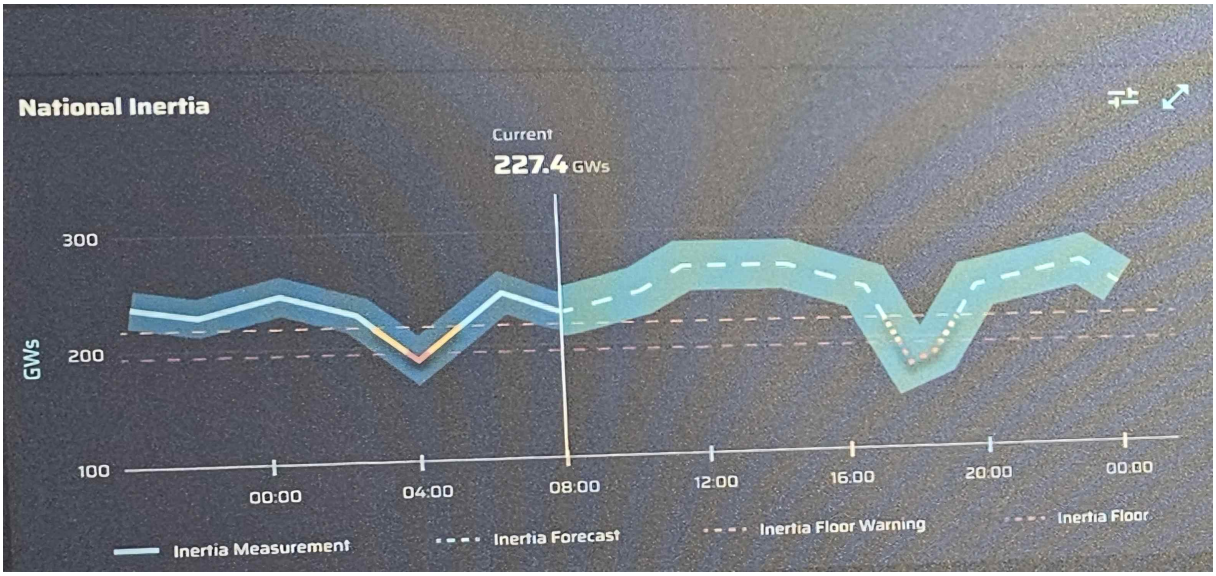
- 전력계통에 Pulse(매우 작은 외란)를 인가하고, 전력계통의 주파수 응동을 분석하여 실시간의 정확한 관성을 제공하는 장치
- 현재 사전검토를 통한 계통관성 해석은 문제점*이 매우 많으므로, 가급적 우리나라에 시급히 도입되었으면 좋겠다는 생각이 들었음

* ① 발전기 동특성 데이터의 신뢰성 문제, ② 비중앙 및 소형발전기의 운전상태 감시 누락 및 데이터 미확보 문제 , ③ 일부 부하특성 미고려 문제 등

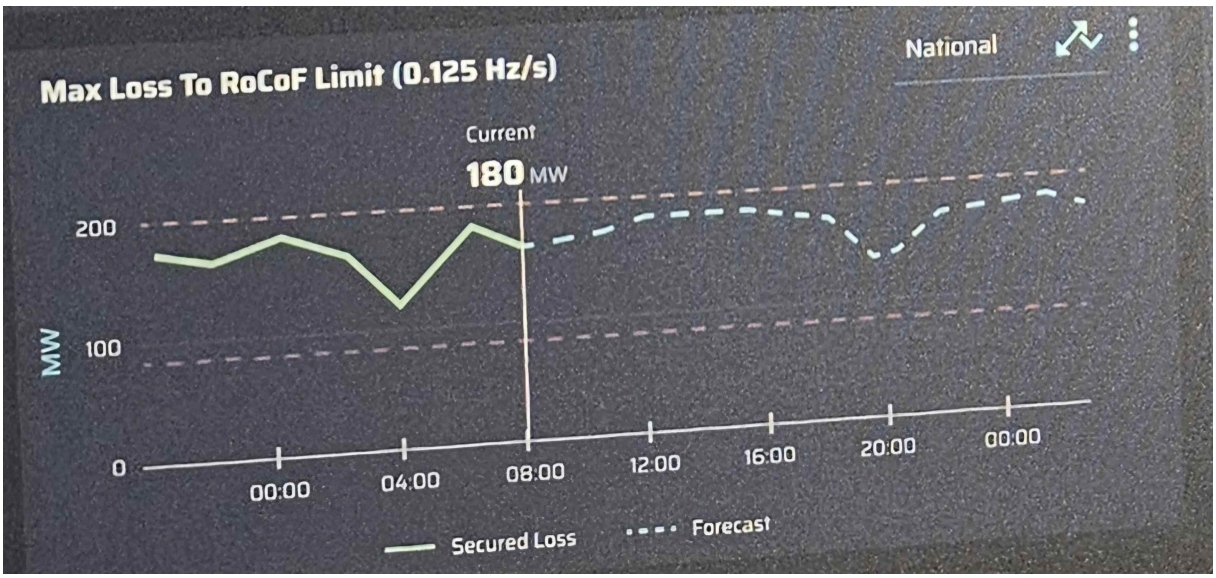
- 실시간 계통관성을 지속적으로 제공해주는 장점을 활용하기 위해서는, 우리나라의 계통 관성에 대한 철저한 사전검토*가 준비되어야 할 것임

* 우리나라 계통의 임계관성, 임계관성 미확보 시 대책사항 등

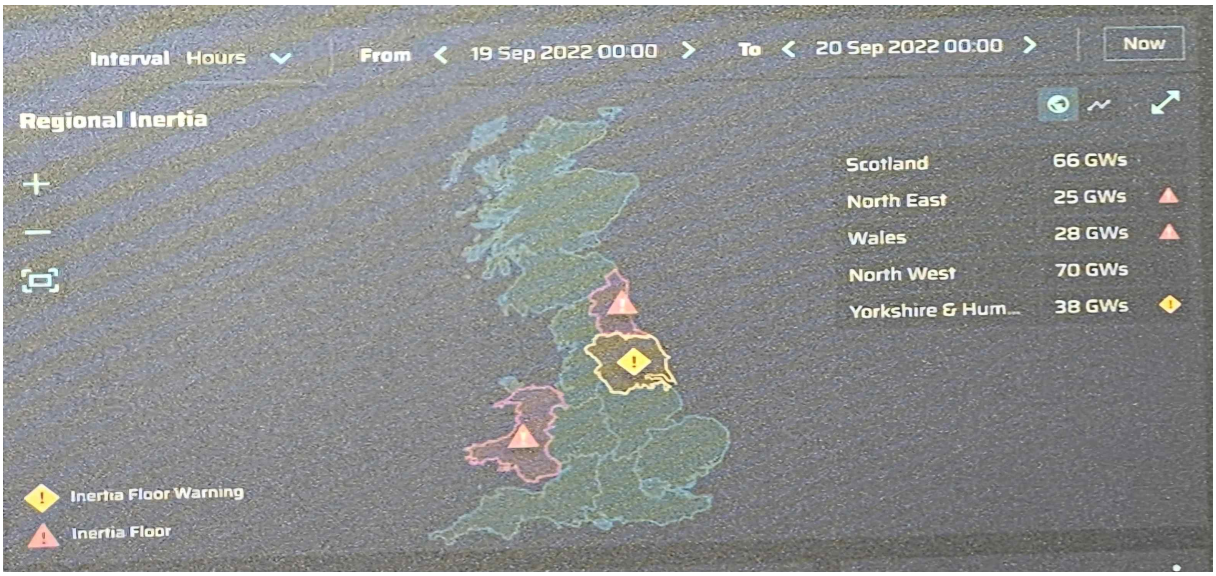
< Grid Sonar 데이터 화면 : 실시간 계통관성 추세 >



< Grid Sonar 데이터 화면 : 실시간 RoCoF 한계 감시 및 추세 >



< Grid Sonar 데이터 화면 : 지역별 관성 표시 >



□ Exhibition④ - Fraunhofer IZM

○ (기업개요)

- 유럽최대의 응용과학연구소(Fraunhofer) 산하에서 마이크로 집적회로 부분의 연구를 담당하고 있는 연구기관임
- 에너지 하베스팅 등 에너지 분야로 연구분야를 확장하여 ASTROSE 라는 에너지 사업 자회사를 창설함

○ (전시상품) ASTROSE Flyer

- 송전선로에 부착하여 날씨, 송전선로의 온도 등을 고려한 송전선로의 열적허용용량을 계산하여 관련 정보를 제공해주는 장치
- SCADA Protocol과 연계하여 활용하는 것은 물론 블루투스 통신도 이용 가능
- 송전선로의 장력, 이도 등 물리적인 데이터들도 감시하여 중앙관제 센터에 정보를 제공할 수 있음
- Dynamic Line Rating의 적용 확대 시, 매우 유망한 상품이 될것으로 전망됨

2. Large Disturbances WorkShop 참석(08/26, 월)

□ 행사(Large Disturbances Workshop) 개요

○ 각 나라의 ISO 및 유관기관에서, 실제 대규모 전력계통 외란 발생에 따른 전력계통 영향 사례와 분석결과를 발표하는 Workshop임

○ 전력계통 전문가들이 실 계통에서 발생한 사례*를 분석한 결과를 발표하는 CIGRE 정기 세션의 꽃으로 불리움

* 실제 전력계통에 의도적으로 가혹한 외란을 인가하여 실험하는 것은 매우 어려움

○ 2016년 부터는 전력시장 분과(C5)의 유사한 Workshop*과 합쳐서 진행 중

* Large Disturbance in Markets

□ Workshop① - Large Disturbances Over Last Ten Years(Impact of Power System Behaviour)

○ **(발표자)** Giorgio Giannuzi(Terna), Walter Sattinger(Swissgrid)

○ **(주요내용)**

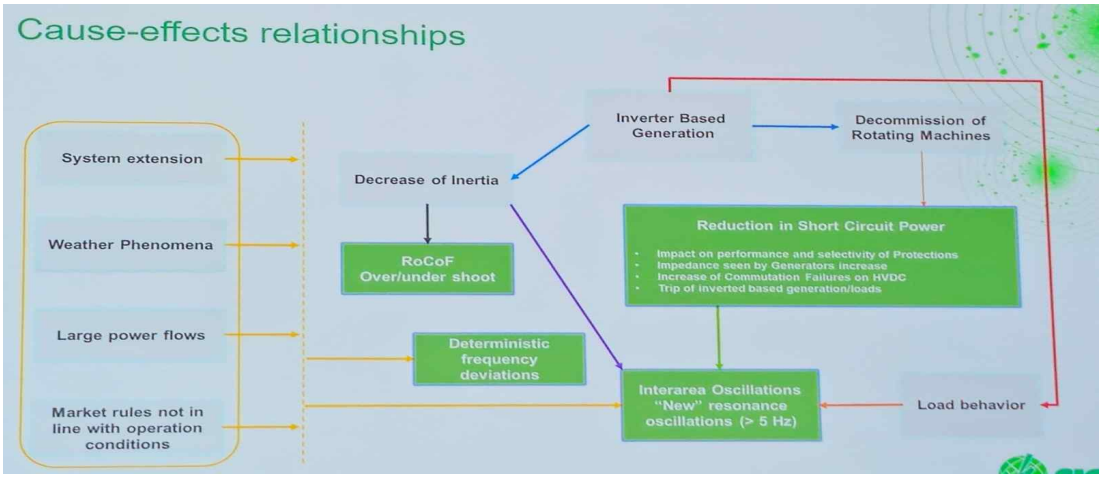
- Inverter 기반의 발전설비 증가는 계통관성과 SCR을 감소시켜 전력계통 안정성을 심각히 저해함

- RoCoF 문제는 현 시점의 Grid Forming, Synthetic Inertia 기술력으로 극복하기 어려우므로 가급적 동기조상기를 많이 확보하는 것이 중요

- 송전설비 부하율에 송전제약보다 과도안정도 등 **안정도에 의한 송전제약량이 더욱 증가할 것*임**

* 2024년 현재 대한민국 전력계통에서 발생 중

< 인버터 기반 설비 증가에 따른 전력계통 영향 체계도 >



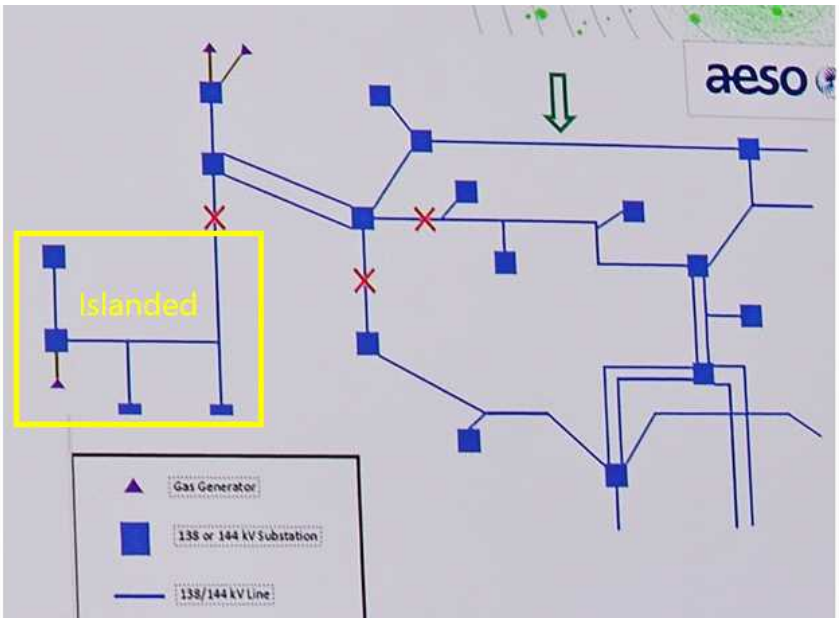
□ Workshop② - Alberta Electric System Operator(AESO) experience with 2023 wildfire events

○ **(발표자)** Iraj Rahimi(AESO)

○ **(주요내용)**

- Alberta 주는 캐나나다의 주이며, AESO는 해당 지역 계통운영기관임 (최대부하 : 12.4GW, 전원구성 : 가스(69%), 재생e(16%), 석탄(12%))
- 2023년 발생한 산불로 인해 Islanded 계통 발생하였으며, 복구 시까지 6일이 소요됨
- AESO는 해당 이벤트를 통해 발전기들의 **① Isochronous frequency control 성능확보, ② 동기 계전기의 주기적 점검, ③계통복구 절차 훈련의 중요성 등의 사항에 대해 실감했다고 함**
- 산불로 인한 선로 트립 발생 시 **SVC가 전압을 조정하려 하였으나, Subsynchronous Oscillation이 관찰되었음**
- 사후 분석결과 SVC 인근의 동기조상기가 운전 중이였을 때는 정상적으로 동작하였으나, 연기 및 재로 인해 **동기조상기가 트립**되자 Subsynchronous Oscillation이 발생함을 확인
- IBR(Inverter Based Resources)와 마찬가지로, **SVC가 성능을 발휘하기 위해서는 최소한의 SCR이 필요하다**는 결론을 내림

< 2023년 산불 발생에 따른 AESO 계통상황 >



□ Workshop③ - Causes of the disruption at Rogowiec Substation(Poland) in 2021 – challenges and lessons learned

○ **(발표자)** Krzysztof Dabrowski(PSE, 폴란드 ISO)

○ **(주요내용)**

- 2021년 5월 17일 발전소 스위치야드 현장근무자의 실수*로 1선지락 고장이 발생하였고, 보호반 미동작으로인해 BF까지 발생하여 약 3.6GW의 발전력이 탈락함

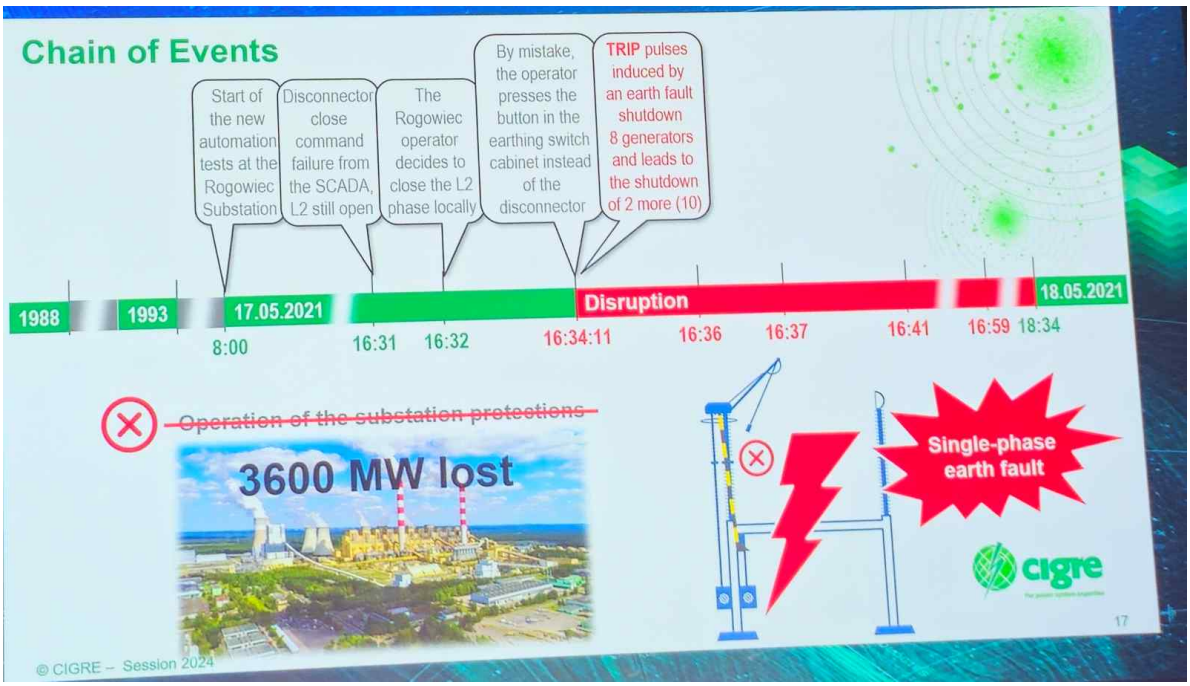
* 단로기를 투입시켜야하나, 접지 스위치 투입 버튼을 누름

- 고장 전 계통 부하는 폴란드 내 17.9GW 수준이였으나, 인접 국가들과 연계 계통을 형성하고 있어 UFR 동작은 없었음(발전력 탈락 시 유입조류 : 약 3.2GW)

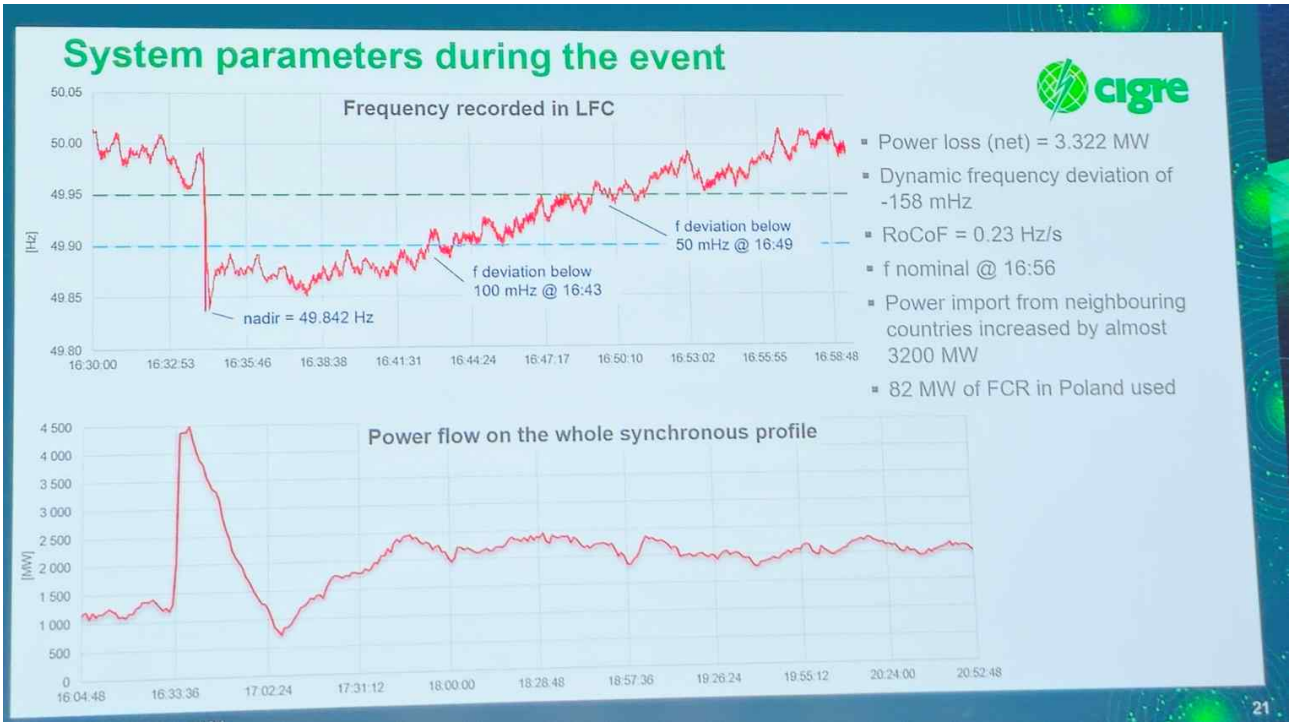
- 그러나 유럽 전 대륙(이탈리아, 포르투갈, 폴란드 등)에 걸쳐서 저주파 동요(Inter-area Oscillation)가 발생함

- PSE는 해당 사건 이후 현장근무자의 설비조작 교육, 보호반 정비 철저 등 유사사례 재발방지에 만전을 기함

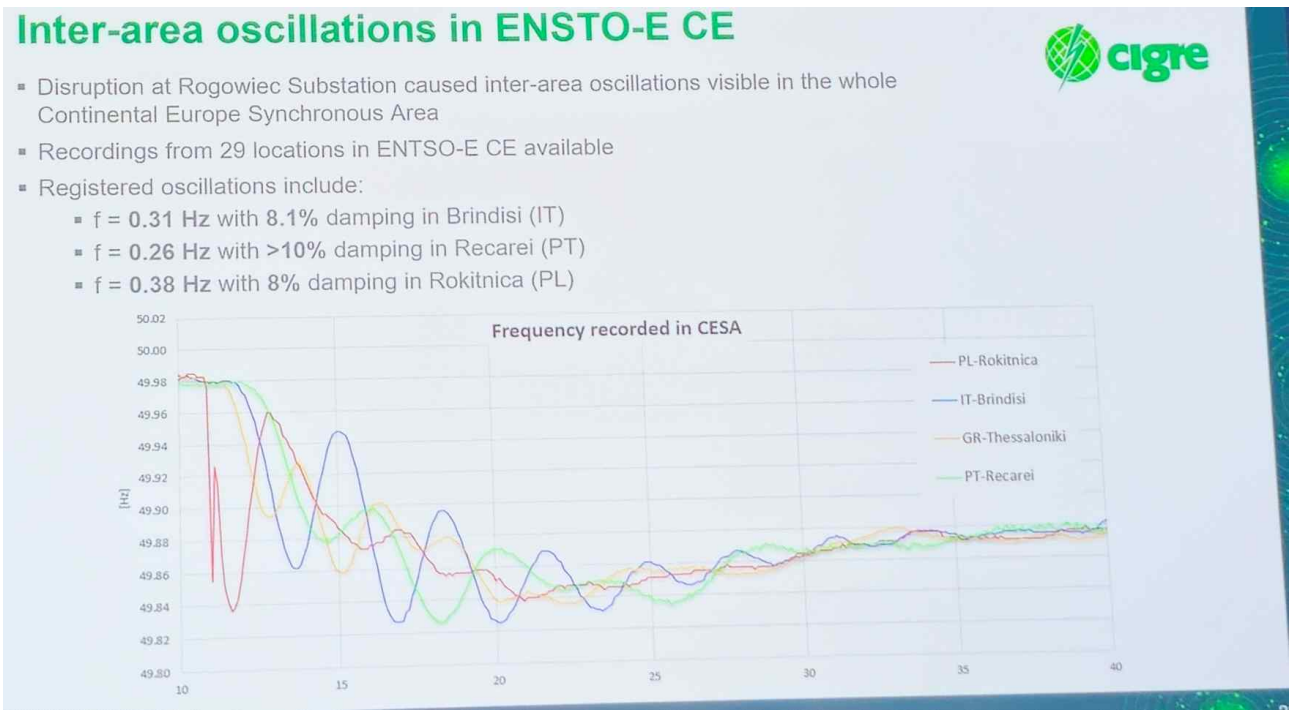
<3.6GW 발전력 탈락 인근 시간의 이벤트 내역 >



<3.6GW 발전력 탈락 시 주파수 변화 및 인근지역 조류 변화 >



<3.6GW 발전력 탈락 시 계통동요 현상 >



3. Group Discussion Meeting(Contribution) 참석(08/28, 수)

□ 행사 개요

○ 시그레 분과별 심사위원회에서, 최종적으로 승인된 논문들을 바탕으로 좀 더 고찰해볼 사항들을 사전에 질문 형식으로 답변을 공개모집 받음

○ 심사위원회는 해당 답변을 심사하여, Group Discussion Meeting(이하 GDM)이라는 행사에서 답변자에게 발표할 권한을 부여함

○ 답변이 채택될 시, GDM에서 공개적으로 발표할 자격을 획득하며, 발표하는 것을 Contribution이라고 칭함

○ 답변이 채택되지 않는 질문 등은 당일 행사에서 즉흥적으로 공개적인 답을 모집하는데 이러한 행위는 Spontaneous Contribution이라고 함

□ 발표① - 최홍석 처장

○ **(질문)** How should flexibility be developed in high RES environment, mandated or market driven?

○ **(답변)** The strategy for securing flexibility in Korea, a power island

○ **(주요내용)**

- 2023년 4월 5일 대한민국 실계통에서는 유연성 자원 18%, 경직성 전원 82%의 구성 비율을 경험하였음
- 이를 극복하기 위해 원전의 경우 최소출력 하향과 감발속도를 높이도록 주문하였고, 열공급 발전기들의 경우에도 언제든 AGC 등에 참여할 수 있는 성능 개선을 요구하였음
- 유연성 자원에 대한 전력시장 내 보상 증가 및 보조서비스 시장을 더욱 확대하기 위한 시장 개편을 도모할 것임

□ 발표② - 김주용 차장

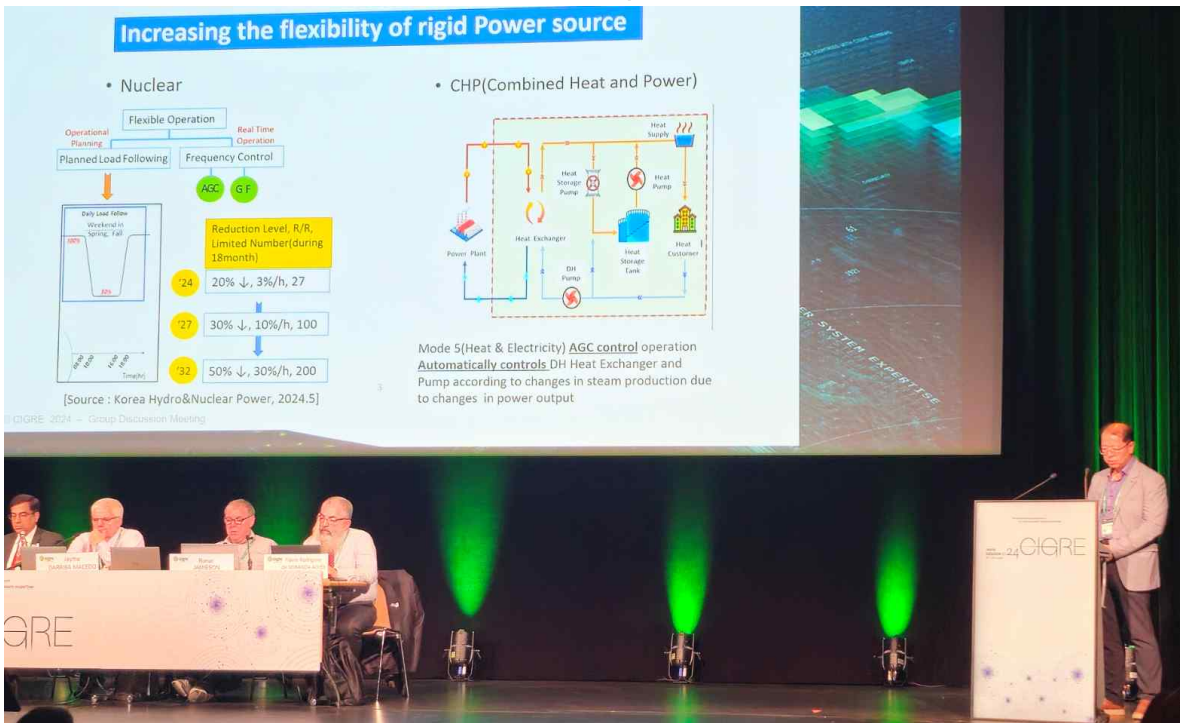
○ **(질문)** What is the biggest risk to operational strategies that is not being considered?

○ **(답변)** The importance of load characteristcs in frequency stabillity analysis

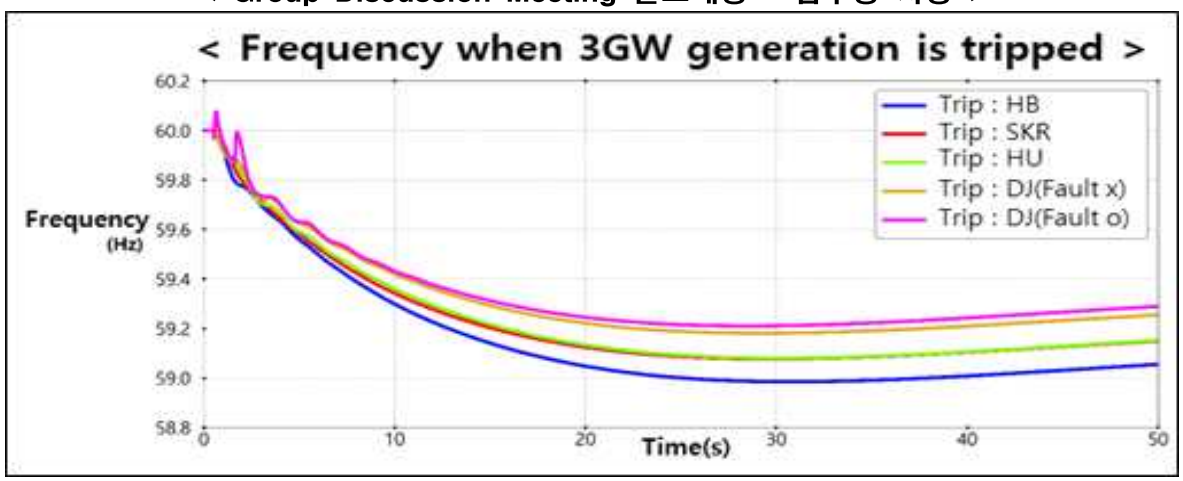
○ (주요내용)

- 대규모 발전단지의 막대한 발전력으로 인근 송전선로에 중부하를 유발할 경우, 인근지역의 전압이 하락하게 됨(SIL 초과)
- 이 때 해당 발전단지의 상당량의 발전력이 탈락하게 될 경우, 하락했던 전압은 상승하게 됨
- 상승한 전압은 정임피던스 및 정전류 부하의 크기를 증가 시켜 주파수 하락을 촉진
- 따라서, 발전력 탈락이 전력계통에 미치는 영향(전압)을 고려하여 주파수안정도 해석을 해야함

< Group Discussion Meeting 발표 - 최홍석 처장 >



< Group Discussion Meeting 발표내용 - 김주용 차장 >



4. CSG Seminar(Key Techonologies in New Power Systems) 참석(08/28, 수)

□ Seminar(Key Techonologies in New Power Systems) 개요

ㅇ CSG의 R&D 성과 및 프로젝트 실적 공유

ㅇ 참석자들 간의 친목도모

□ 주요내용

ㅇ West-to-East Power Transmission Project 소개

- 8개의 AC 선로와 11개의 DC 선로를 건설하여, 중국 서부의 막대한 재생e(58GW)를 중국 동부의 대규모 수요지로 송전하려는 project

ㅇ CSG EPRI

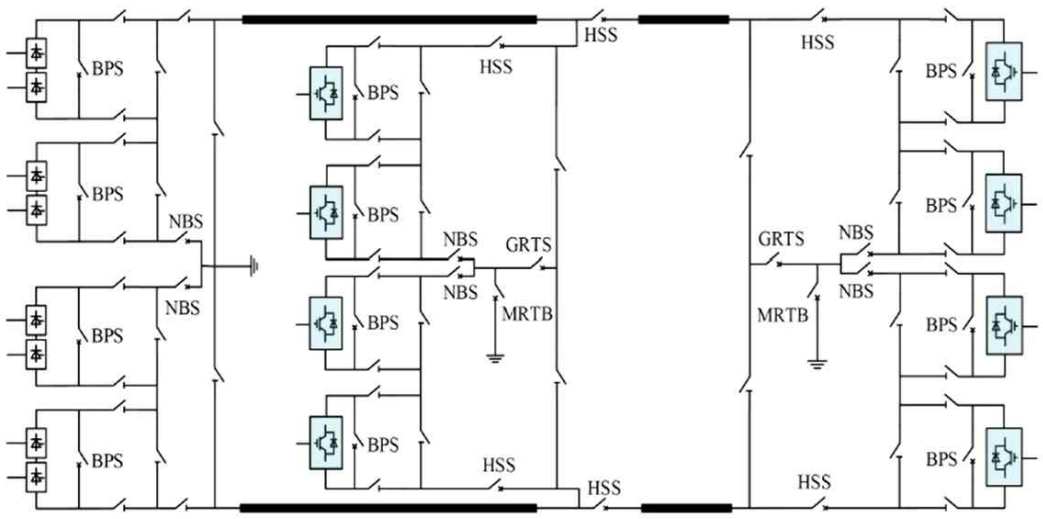
- SO 자체적으로 연구 기관을 가지고 있으며, 계통계획·운영은 물론 전력시장도 업무도 담당함

- 2024년 7월 기준 485명의 직원들이 있으며, 이들의 평균나이는 35세이고, 석·박사 비율은 89%에 이름

ㅇ Hybrid DC transmission technology

- LCC와 VSC 방식의 HVDC를 혼합한 DC송전 방식으로, 가공 HVDC 선로에 고장 발생 시 Self Clearing이 가능하여 HVDC의 신뢰도를 향상시킨 기술

< Hybrid HVDC 도면 >



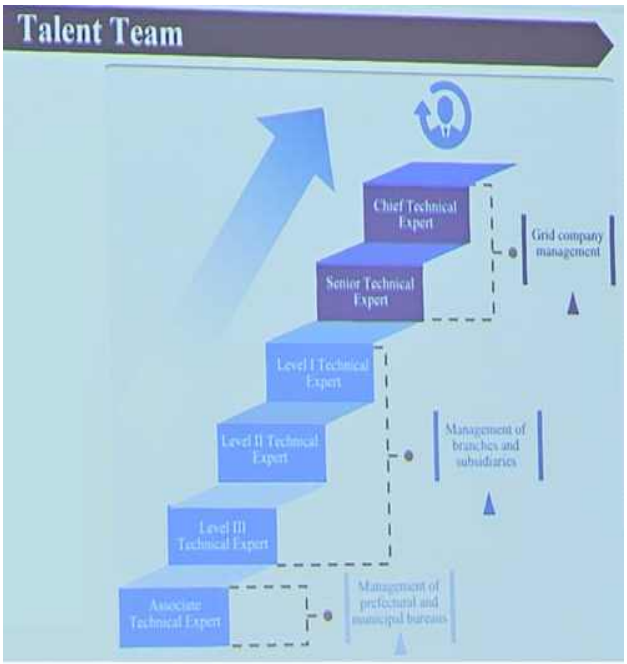
○ CSG 기술인력 구조

- **(Talent Team)** 기술직군(Techical expert)들은 기술력에 따라 등급이 부여되며, 승격 시 더 큰 조직을 관리할 수 있음

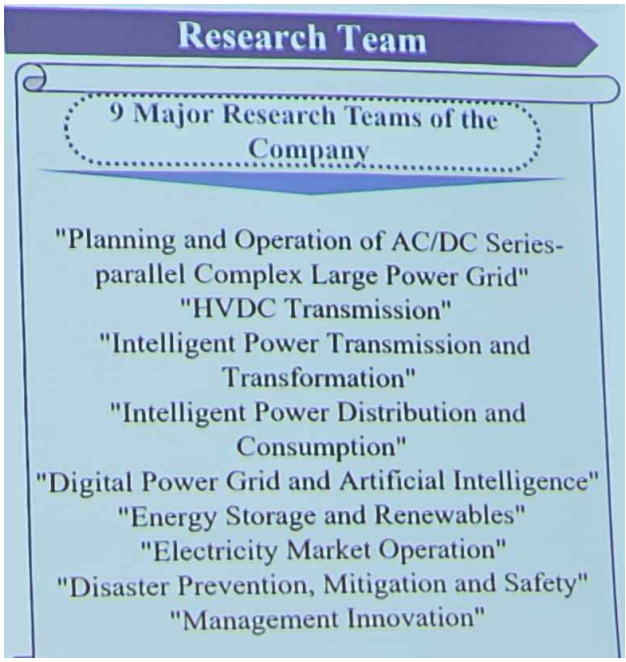
  * Associate → Level3 → Level2 → Level1 → Senior → Chief

- **(Research Team)** 9개의 주요 연구 분과가 있으며, 이들의 특허 및 논문 성과는 매년 급격히 증가

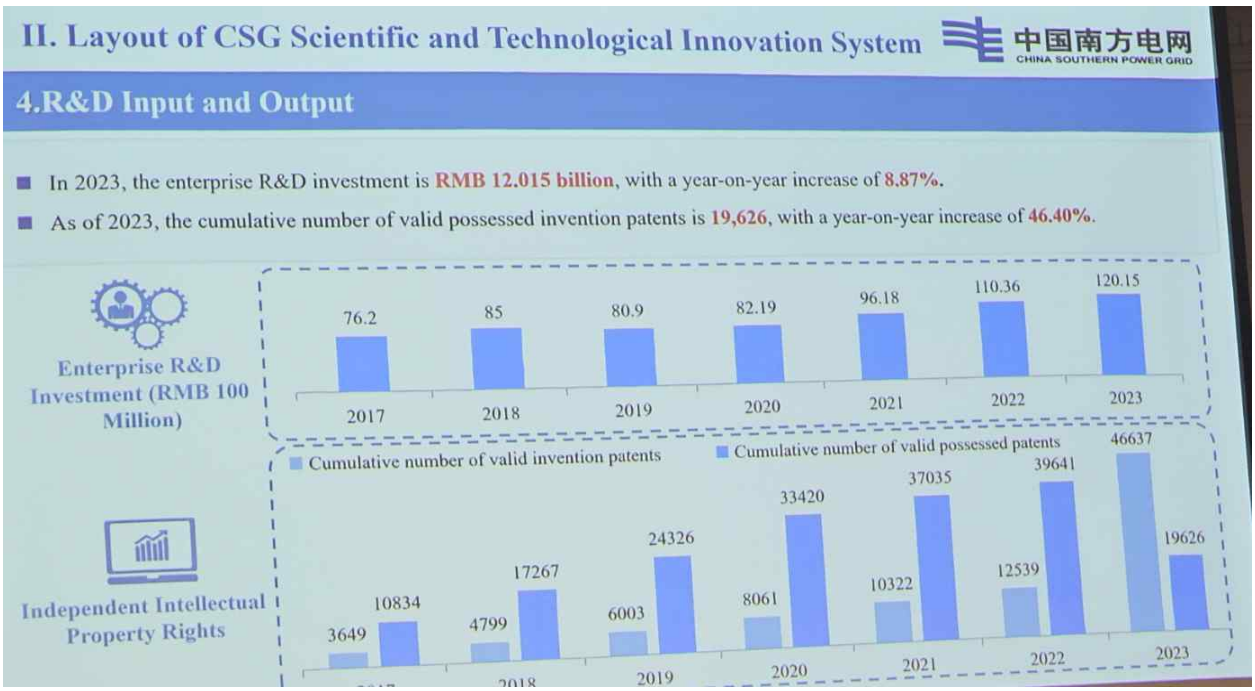
< CSG 직급 체계도 >



< CSG 연구원의 주요 연구분야 >



< CSG의 R&D 투입예산 실적 및 성과 >



□ 느낀점

○ 행사자체는 GO15 Cocktail 파티를 모방하는 듯한 느낌이 풍겼으며, 참석자의 다수가 중국인들이였고, 서로간의 친목을 다졌음

○ Seminar를 표방하였지만, CSG의 우수한 기술력을 과시하는 듯한 행사취지가 강하게 느껴졌음

○ 그러나, **다수의 대규모 전력설비 운용 경험, 자체적인 HVDC 제작 기술력, 해외 프로젝트 선점 물량, 조직관리 및 인력양성체계** 등 CSG의 객관적인 우수함을 인정할 수 밖에 없었음

○ **중국 내 송전선로 건설은 사실상 자유롭다는 내용**이 매우 인상 깊었음
→ 중국의 정치체제 특성 상, 중국 내 모든 토지는 중국정부가 소유

5. 논문발표(08/29, 목)

□ 논문개요

○ **(제목)** Challenges of Frequency and Transient Stability Arising from the Increased Renewable Energy

○ **(주요내용)**

- 국내 전력계통 내 재생e 확대에 따른 문제점*,** 및 실제 고장 발생 시 계통영향 사례

* 주파수안정도 : LVRT 성능 미확보 태양광 발전설비 과다로 인한 주파수불안정

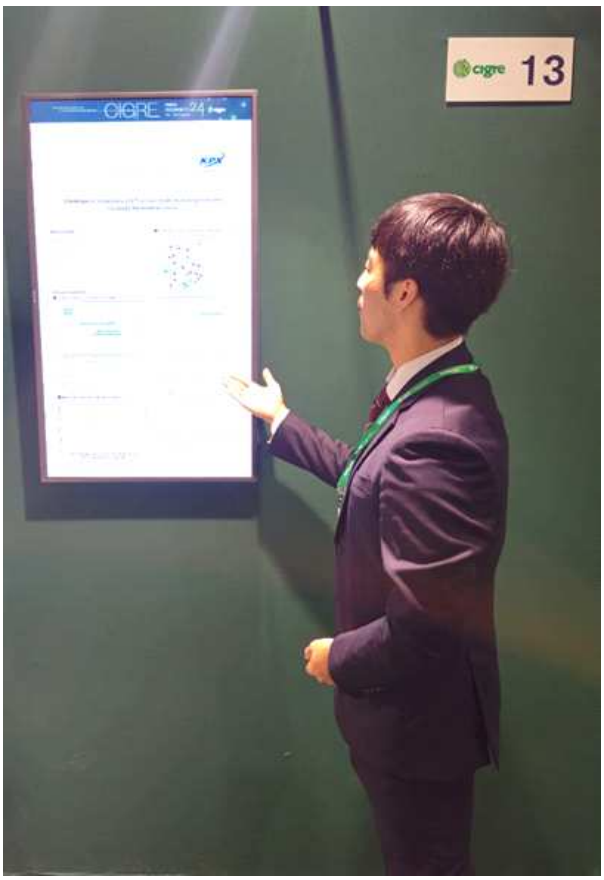
** 과도안정도 : 호남지역에 집중된 재생e 발전설비로 인한 한빛원전 과도불안정

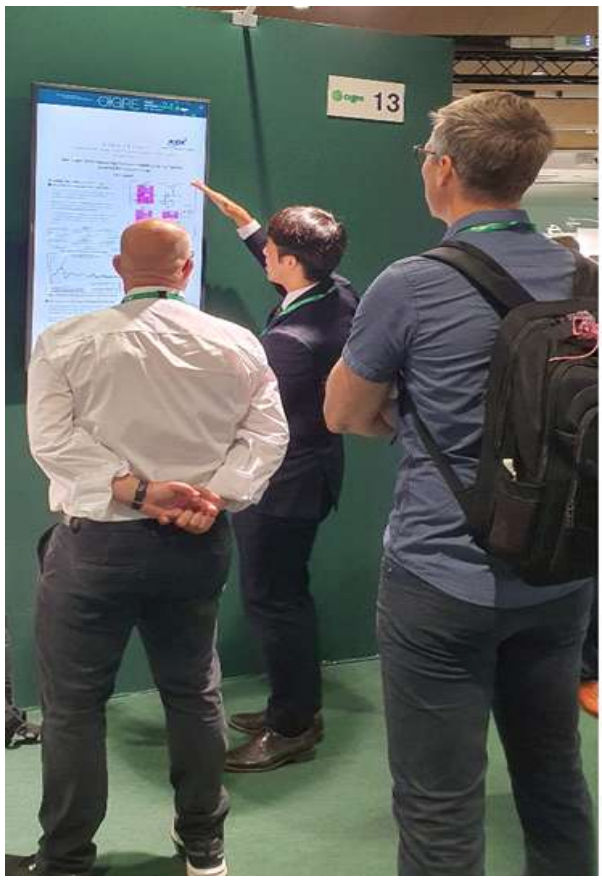
- 주파수안정도, 과도안정도 확보를 위해 수립한 운영방안

□ 주요반응

○ 재폐로 시간을 늘려 과도안정도를 향상시키는 방안에 대해서는 대다수의 청중들이 참신하다고 언급하였음

○ 영국인들의 경우, 자국계통 내 관성저하 문제가 심각하여 해당 논문에서도 관성과 관련된 이슈사항이 없는지에 대해 질문을 하였음





6. 주요논문(08/29, 목)

□ AEP's Operation Strategy for High Share of RES : Linear State Estimator and Oscillation Monitoring

○ (저자) H.Silva-Saravia, S.Whalen, B.Abu-Jaradeh, J.Koutsourais, Y.Lu, P.Nieves

○ (주요내용)

- AEP는 PJM, ERCOT, SPP 관할 계통 내에서 활동하는 유틸리티 사업자
- 기존 SCADA* 및 상태추정**으로는 계통 내 진동현상 관찰, 해석을 위한 접근이 어려움

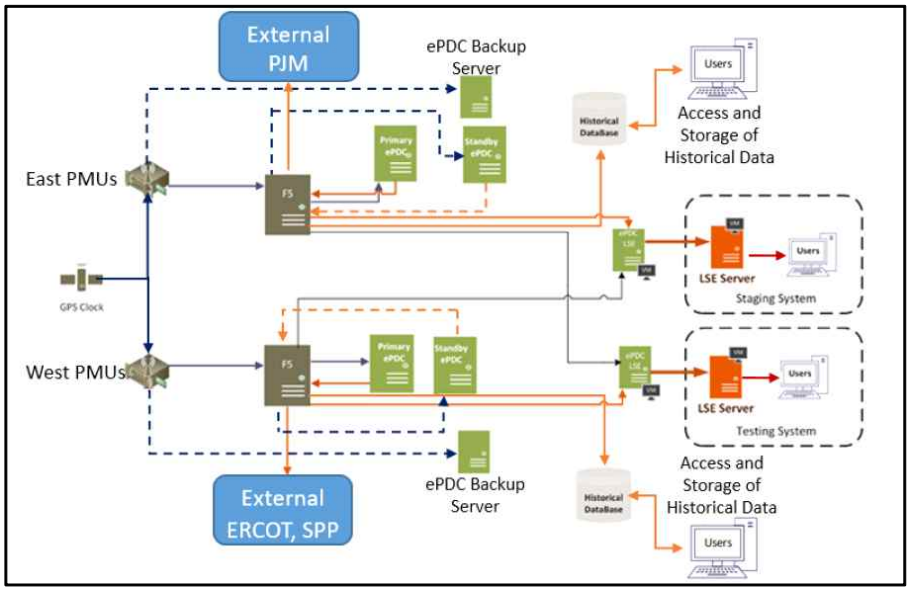
* 샘플링 주기 : 4초, ** 샘플링 주기 : 1분

- 해당 문제를 해결하기 위해 AEP는 600개 이상의 PMU(샘플링 주기 : 1/30s)를 설치하고, Linear State Estimation* 기법 도입

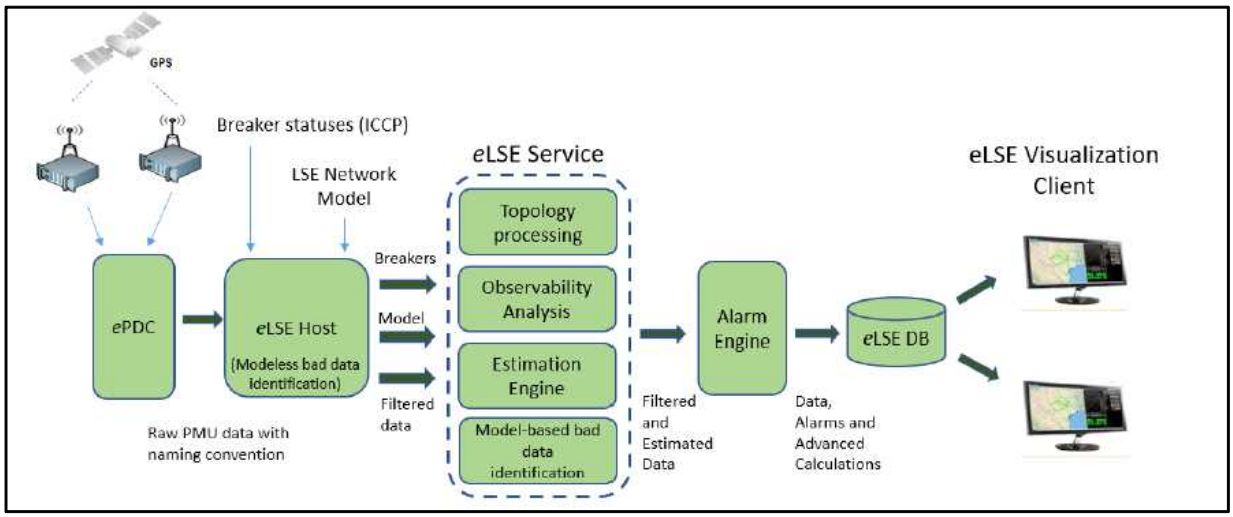
* PMU를 통해 정확한 위상각을 확보할 수 있으므로, 선형방정식을 통해 신속한 상태추정이 가능함(1/30s, PMU와 동일한 주기)

- 다수의 PMU 설치와 LSE를 통해, 실시간 계통상황 모니터링이 가능해졌으며, 이로 인해 계통 내 진동 현상의 관측가능성을 크게 향상 시킴
- 풍부한 진동 관찰 데이터들을 바탕으로 Damping 및 mode 등을 직관적인 시각화로 구현하여 관제사들의 신속한 대응에 크게 도움을 줌

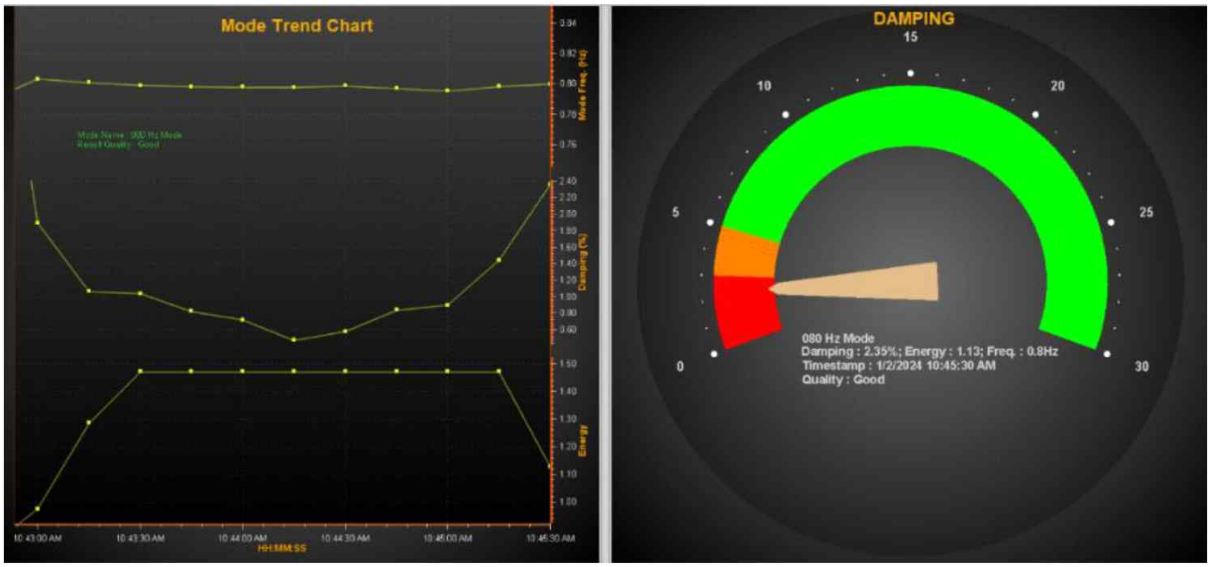
< AEP가 운영중인 PMU 구조>



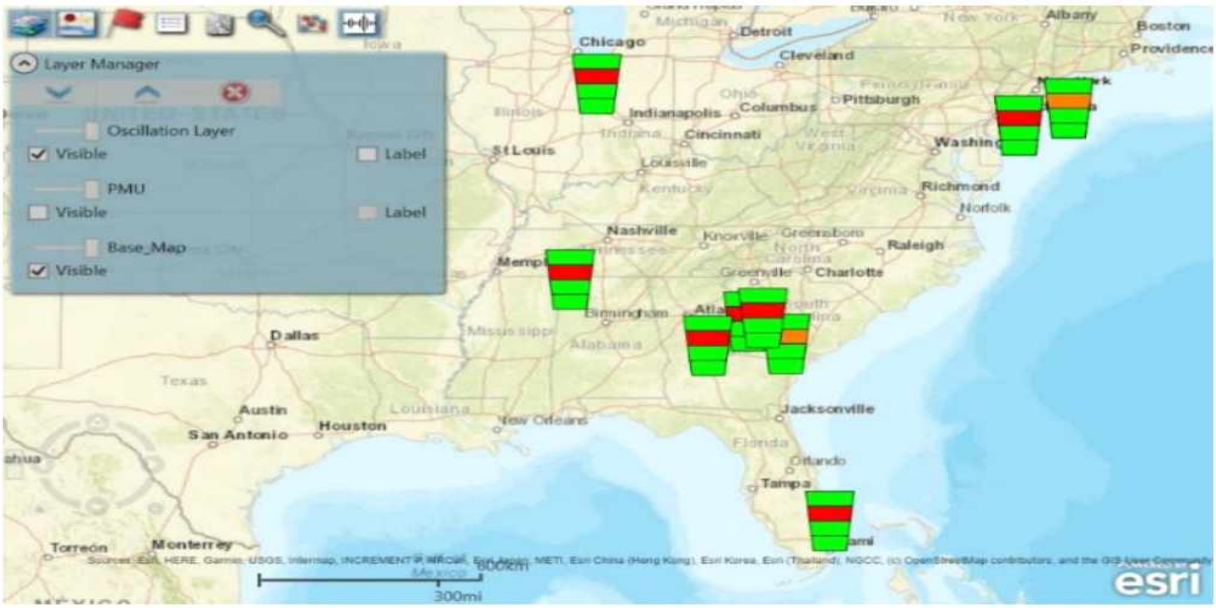
< LSE 플랫폼 및 데이터 흐름 >



< 모드 계측 및 추적기(왼쪽) 댐핑게이지(오른쪽) >



< 실계통 댐핑 표시화면(관제센터 內) >



7. RTE 견학(08/30, 금)

□ RTE(Reseau de Transport d'Electricite)란?

ㅇ 프랑스의 전력계통 및 전력시장 운영기관

ㅇ 우리회사와 동일한 역할을 회사임

□ RTE 견학내용

ㅇ **(프랑스 전력계통 일반)**

- ENTOS-E에 속한 단일국가 기준으로, 유럽 내 가장 큰 전력시스템 규모의 계통을 운영하며, **56개**의 국가 간 연계선로를 운영 중
- 최대 전력수요는 약 95GW 정도이나, COVID-19 이후 90GW 이상 실적은 없음
- 2023년 12월 31일 기준, 전설비 용량은 149.1GW이며 연평균 5.4GW 씩 증가
- 전원별 설비 설비 용량은 원자력 61.4GW, 수력발전 25.7GW, 육상풍력 22GW, 태양광 19GW, 석탄 및 가스발전 15.6GW로, 전원의 탈탄소화가 상당히 이루어짐
- 상정고장의 경우 N-1 고장만을 고려하나, **우리나라 만큼의 발전단지 밀집도가 높지 않기에 단순비교 및 프랑스 사례를 무작정 수용하는 것은 곤란**

ㅇ **(원전의 탄력운전)**

- 대다수의 원전이 주파수 추종운전이 가능하였으며, 출력유연성(증·감발)이 매우 우수하였음
- 우리나라 석탄발전기와 성능이 유사하였으며, 석탄발전기 대비 기동·정지는 불가
- 대규모 연계계통의 일원이므로, RTE 내 발전력 변동 폭이 크게 필요하지 않아* 기동·정지가 잦을 필요는 없음

* 유럽 여러국가와 연계되어 계통관성이 풍부하고, 예비력 확보가 용이하며, 자체수요가 감소하더라도 다수의 국가 간 연계선로를 통해 타 국가에 송전가능

- 발전석의 EMS 모니터에서 각 원전별 탄력운전 특성이 확인 가능하였음

ㅇ **(관제특성)**

- ENTOS-E에 속한 단일국가 기준으로, 유럽 내 가장 큰 전력시스템 규모의 계통을 운영하며, **56개**의 국가 간 연계선로를 운영 중

- 1부 당 17명의 인원으로 구성되어 있으며, 근무패턴은 평일은 3교대*, 주말 및 공휴일은 2교대**체제임

* 07시~13시, 13시~20시, 20시~07시, ** 07시~20시, 20시~07시

- 우리나라의 경우 주말 및 공휴일은 특수경부하 비상대책기간이나, 프랑스의 경우에는 주중의 부하가 높은 기간이 상대적으로 계통운영에 어려운 시기임

< RTE 관제센터 미니어처>

Ⅲ 출장소감

1. 느낀점

□ 전력계통 분야 시야 확대

ㅇ 세계 여러나라 사람을 만났으나, 피부색·언어와 관계없이 인버터 기반 전원설비의 증가에 따른 전력계통 문제점을 고민하는 동질의식을 느낄 수 있었음

ㅇ 우리나라 계통 상황에만 국한된 것이 아닌, 다양한 국가의 전력계통 상황을 학습할 수 있는 계기가 되었음

ㅇ 해외의 경우 계통해석 프로그램 전문 회사들이 다양한 프로그램을 선보였으나, 국내 회사들은 전무하였던 점이 아쉬웠음

□ 대전력분야에서의 중국의 선전

ㅇ 중국은 거대한 계통규모를 바탕으로 다수의 신전력설비 건설&운용 경험을 축적하였음

ㅇ 그 결과 독자적인 HVDC, FACTS 제작은 물론, Hybrid HVDC 분야를 선두에서 개척하는 등 신전력설비 시장에서 매우 선전 중임

ㅇ GIS, 송전선로, 변압기 등 전통적인 전력설비 분야에서도 세계시장 점유율이 상당하며, 향후 전력계통 산업에 대한 영향력이 지금보다도 더욱 커질 것으로 전망됨

□ 해외 전력계통 관제체계 선진 사례 추가확보 및 치열한 연구 필요

ㅇ 프랑스 전력계통 관제근무 체계의 경우, 근무인원, 시간, 형태 등 우리나라 관제근무 체계와 상당히 차이가 있었음

ㅇ 국가별 계통상황이 다르므로* 무작정적인 해외 사례 수용보다는 해외의 관제근무체계와 계통상황에 대한 인과관계를 명확히 분석하여 우리나라 관제체계 선진화에 녹여낼 필요가 있음을 느꼈음

* ex) 프랑스의 경우 주중 보다 주말 계통상황의 어려움이 덜하여 주말 근무 시간이 더욱 길었음

ㅇ 국내 원전도 RTE처럼 원전의 탄력운전 성능 적극확보 필