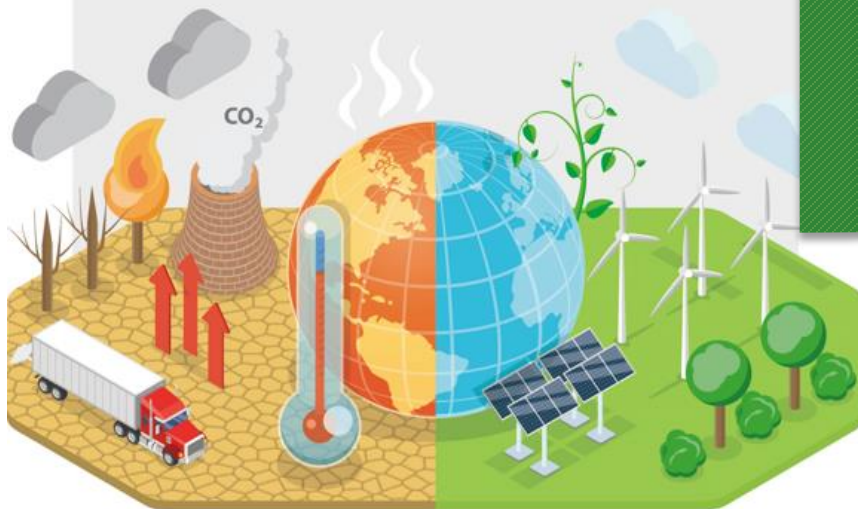


**복원력을 가진
자율 운영 전력망 센터**
Resilient Autonomous Grid Research Center



2024 Engineering Research Center [ERC]

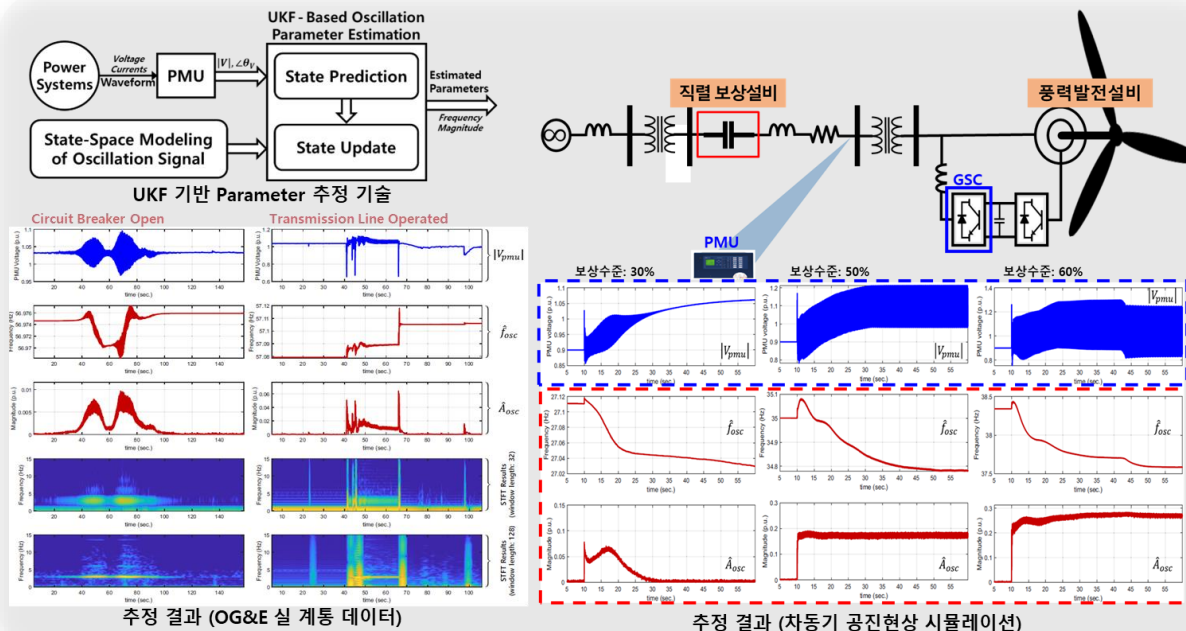
1그룹 신용준
Energy Informatics LAB

일시: 2024. 04. 25
장소: 소노캠 여수

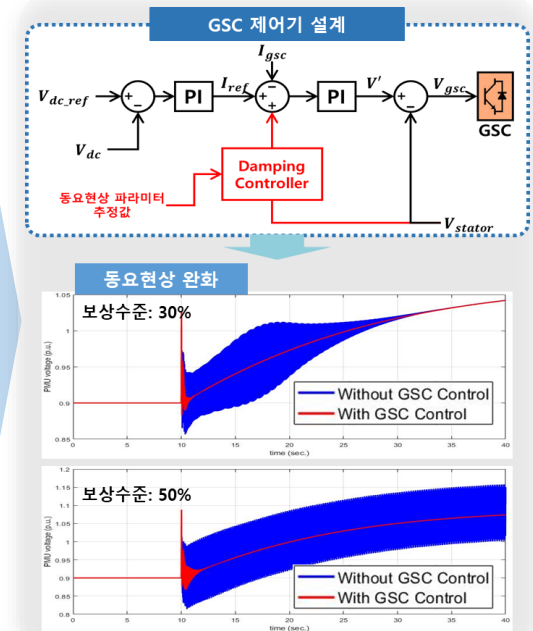
1차년도 연구 성과

PMU 기반 실시간 동요현상 파라미터 추정 기술

- UKF (Unscented Kalman Filter)를 이용한 PMU 기반 실시간 동요현상 파라미터 (frequency, magnitude) 추정
- 추정 파라미터를 이용한 풍력발전설비 GSC (Grid-Side Converter) 제어 및 동요현상 완화



[실시간 동요현상 파라미터 추정]

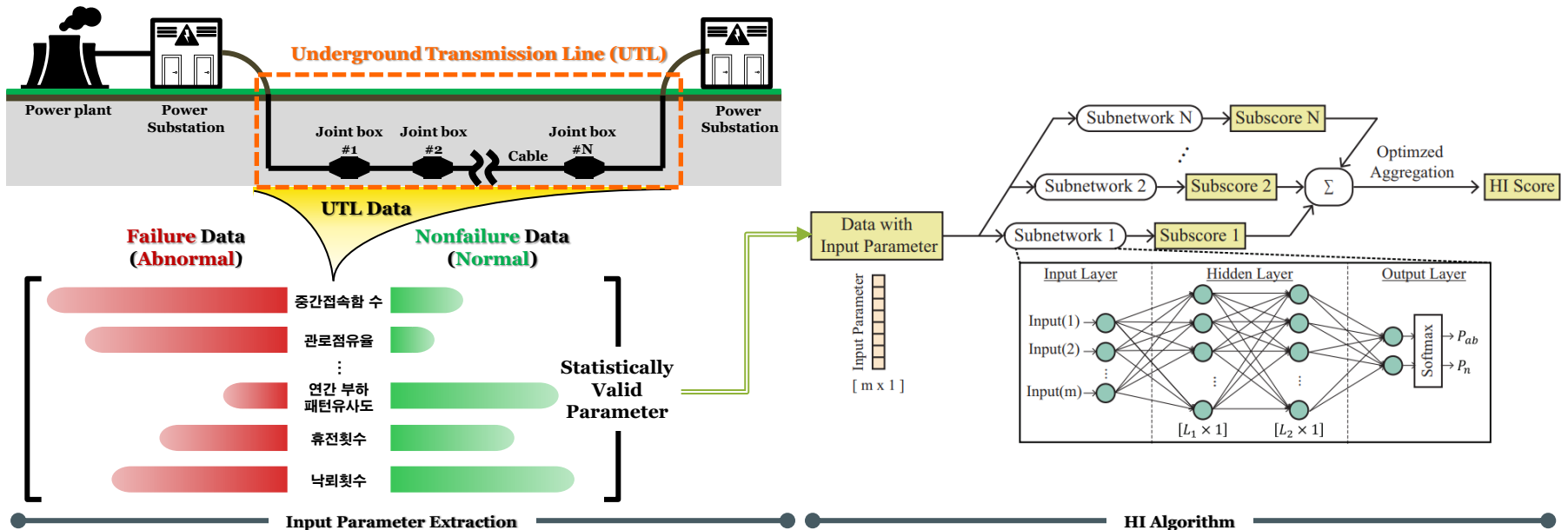


[동요현상 완화 제어]

2차년도 연구 계획

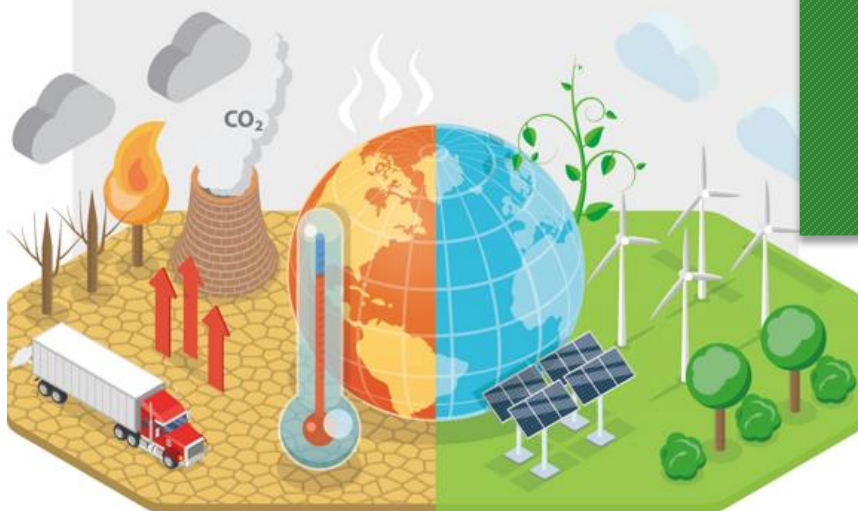
앙상블 학습 기반 전력설비 Health Index 기술 개발

- 지중송전선로 운영 실데이터를 활용하여, 실시간 고장 취약도를 나타내는 **Health Index** 개발
- 세부1 : 통계적 기법을 활용하여 고장 연관성 판별 및 유효 입력 파라미터 개발 및 검증
- 세부2 : 앙상블 학습 (Ensemble Learning) 기반 Health Index 산출 알고리즘 개발



[지중송전선로 Health Index (HI) 알고리즘 개발]

**복원력을 가진
자율 운영 전력망 센터**
Resilient Autonomous Grid Research Center



2024 Engineering Research Center [ERC]

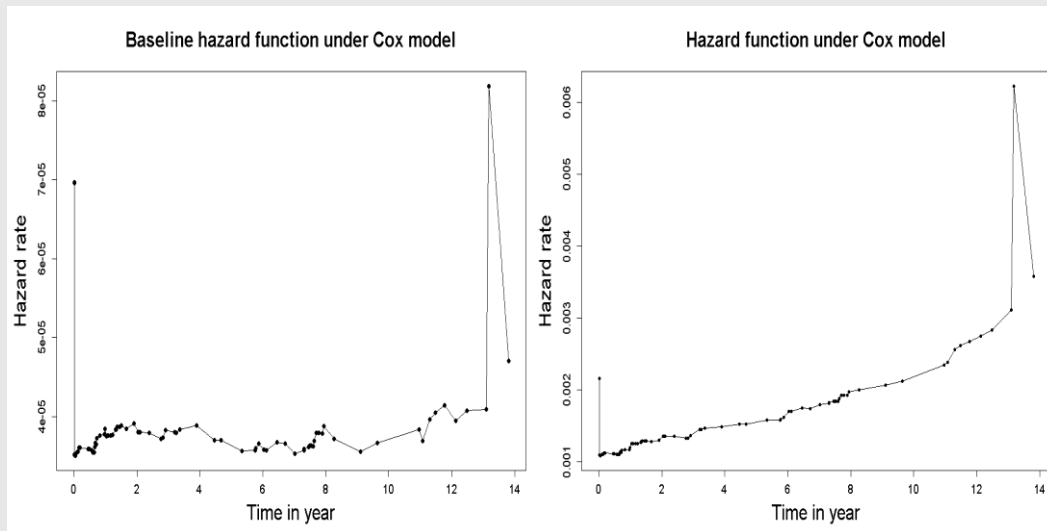
1그룹 강상욱 Survival LAB

일시: 2024. 04. 25
장소: 소노캄 여수

1차년도 연구 성과

지중송전선로의 위험도 함수 추정 및 변수 영향 평가

- Cox 모델을 이용한 위험도 함수 추정
- LASSO penalization을 이용한 지중송전선로의 고장에 영향을 미치는 유의미한 변수 파악
- 시간에 따라 변화하는 변수(부하량) 추가적으로 고려 후 해당 변수의 영향 평가
- 최적의 모델 적합 후 모델 성능 향상 달성



[Cox 모델을 이용한 지중송전선로의 위험도 함수 추정]

Full dataset		Full model	LASSO
규격	2000	0.192	0.053
	2500	0.053	0
관료정유율		1.679	1.409
길이합		0.119	0.116
회선수	1	0.152	0.162
	2	0.304	0.324
	3	0.456	0.486
	4	0.608	0.648
전압	154	Reference (baseline)	Reference (baseline)
	345	0.964	0.907
방식종	PE	Reference (baseline)	Reference (baseline)
	PVC	1.047	0.866
종단 접속함1	EBA	Reference (baseline)	Reference (baseline)
	EBG	0.289	0.253
	Others	-0.153	-0.088
종단 접속함2	EBA	Reference (baseline)	Reference (baseline)
	EBG	0.571	0.471
	Others	-0.077	0
충전속함		0.006	0.006
하중부하		0.001	0.001
최대누적부하		0.331	0.294
C-index		0.788	0.789
IBS		0.0271	0.0277
Train / Test	C-index	0.7143 (0.0473)	0.7498 (0.0418)
	IBS	0.0449 (0.0119)	0.0437 (0.0107)

[변수 선택 및 모델 성능 평가]

2차년도 연구 계획

지중송전선로의 위험도 함수 추정 및 잔존수명(RUL) 예측

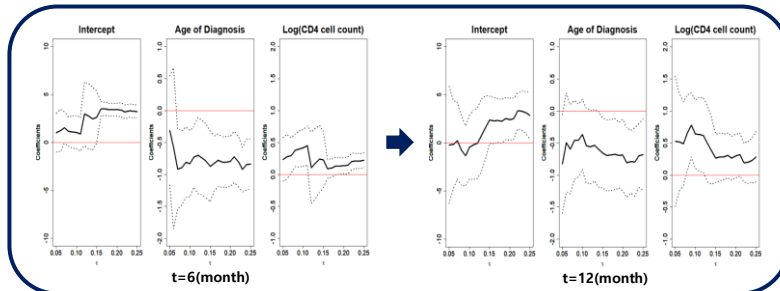
- 모수적 방법을 이용한 위험도 함수 추정
- 베이지안 방법과 준모수적 방법을 이용하여 지중송전선로의 잔존수명 예측 및 위험인자 추정
- 딥러닝 기법을 적용하여 잔존수명에 대한 예측력 향상

Quantile residual life regression model

$$\log[Q_{T-t}(\tau|T \geq t, \mathbf{W}, \mathbf{Z}(t))] = \alpha(\tau, t)^T \mathbf{W} + \beta(\tau, t)^T \mathbf{Z}(t)$$

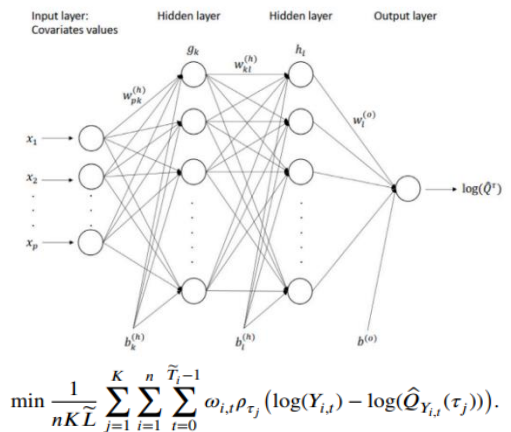
Estimating functions

$$\hat{\mathbf{S}}(\gamma; \tau) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^D \eta_{ij} I(Y_i > t_{ij}) \mathbf{U}_i(t_{ij}) \left\{ I(\log(Y_i - t_{ij}) \leq \gamma^T \mathbf{U}_i(t_{ij})) \frac{\delta_i}{\hat{G}(Y_i)/\hat{G}(t_{ij})} - \tau \right\}$$



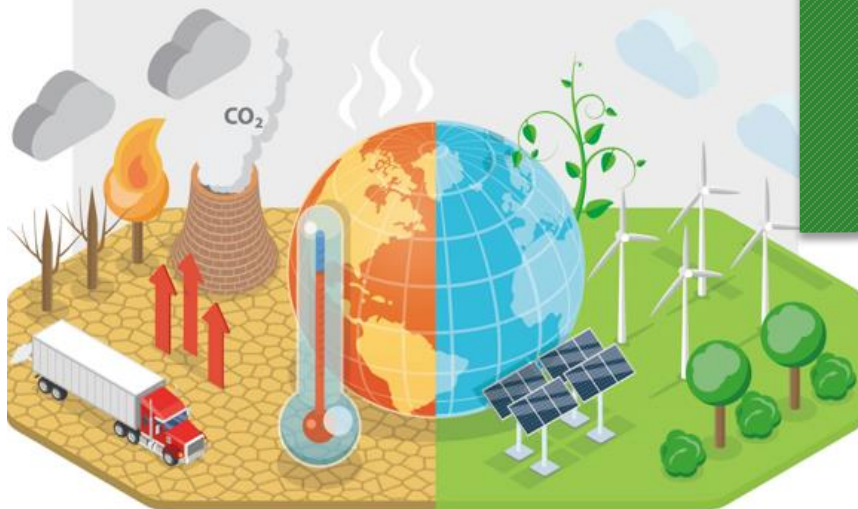
[준모수적 방법을 이용한 잔여수명 위험인자 추정]

규격
회선수
전압
방식층
...



[딥러닝을 이용한 잔존수명 예측 알고리즘 예시]

**복원력을 가진
자율 운영 전력망 센터**
Resilient Autonomous Grid Research Center



2024 Engineering Research Center [ERC]

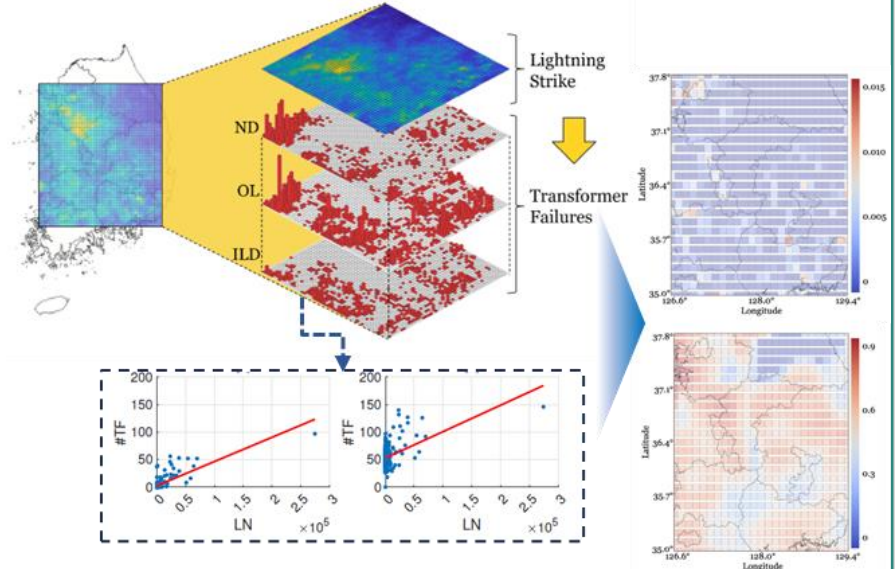
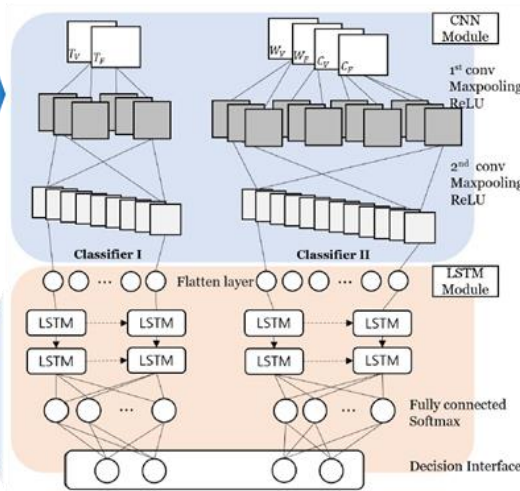
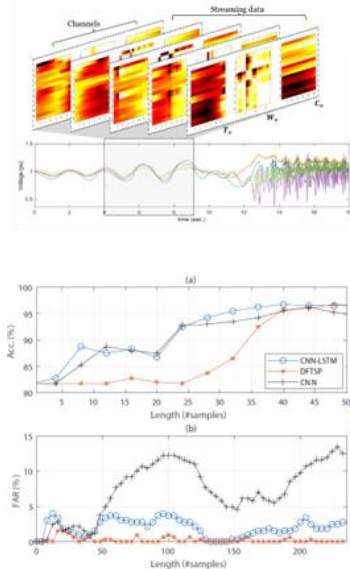
**1그룹 김도인
강원대 Power IT LAB**

일시: 2024. 04. 25
장소: 소노캄 여수

1차년도 연구 성과

전력망 상태진단 기술: 실시간 안정도 예측 & 설비 건전성 평가

- 실시간 전력망 진단/감시 기술개발과 실계통 적용단계 설계: 전력 빅데이터 전처리 및 실시간 감시 기술
- PMU 데이터 기반 실시간 고장 정보 및 고장 위치 판별 기법 개발
- Ensemble CNN-LSTM 기반 실시간 과도안정도 예측 분류기 개발: Event detection-free framework 구성
- Geographical and Temporal Weighted Regression (GTWR) 기반 낙뢰의 배전용 변압기 수명영향 도출 및 검증



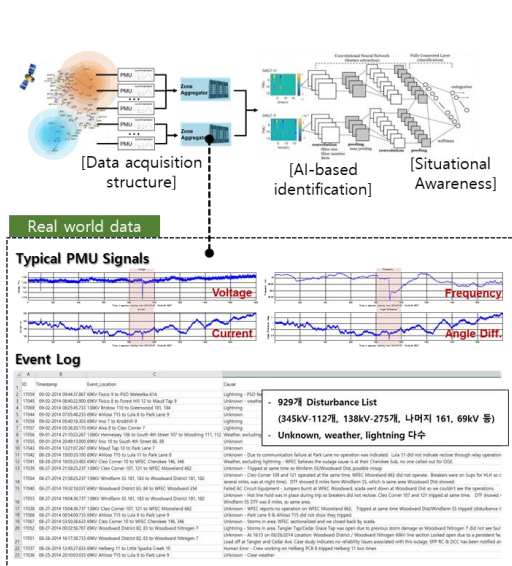
[딥러닝 기반 과도안정도 예측 - 실시간 적용]

[기상이력/낙뢰 현상의 배전용 전력설비 수명영향 도출]

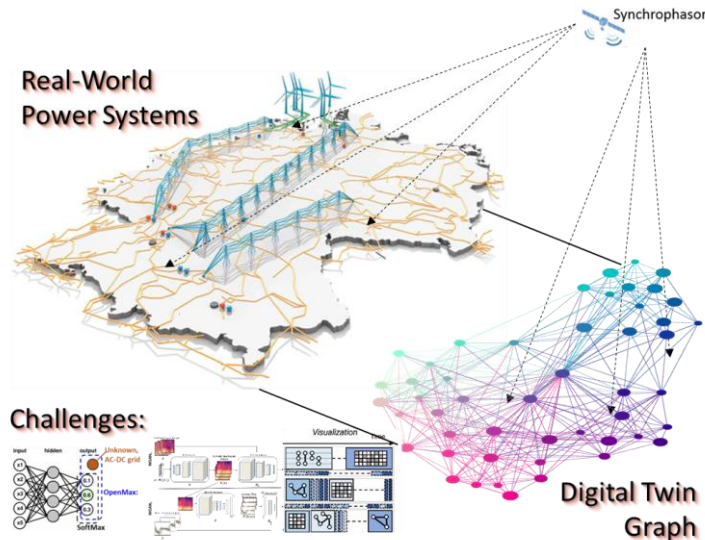
2차년도 연구 계획

그래프 신경망 기반 전력망 상황인지: 실계통 적용 문제 해결

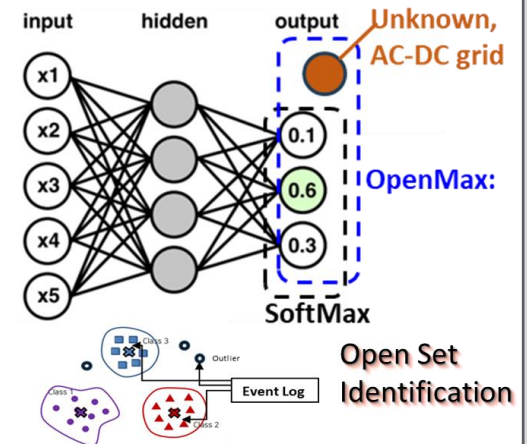
- 실제 전력망의 PMU 데이터베이스 및 토폴로지를 해석하고 반영가능한 그래프 신경망 모델 구현
- 실제 전력망의 변동성에 대응하고 강건성을 갖는 그래프 신경망 모델 구현: **Open-set recognition**
- **Unknown, AC/DC** 신호를 포함한 **semi-supervised learning** 전략: 실제 운영단계 학습데이터 확보 연구
- 실제 전력망의 물리적 토폴로지 구조를 반영한 그래프 모델 구현(**Structure Informed GNN**)과 실제 전력망 운영단계 적용을 위한 도전과제 해결



[실계통 운영이력 분석]

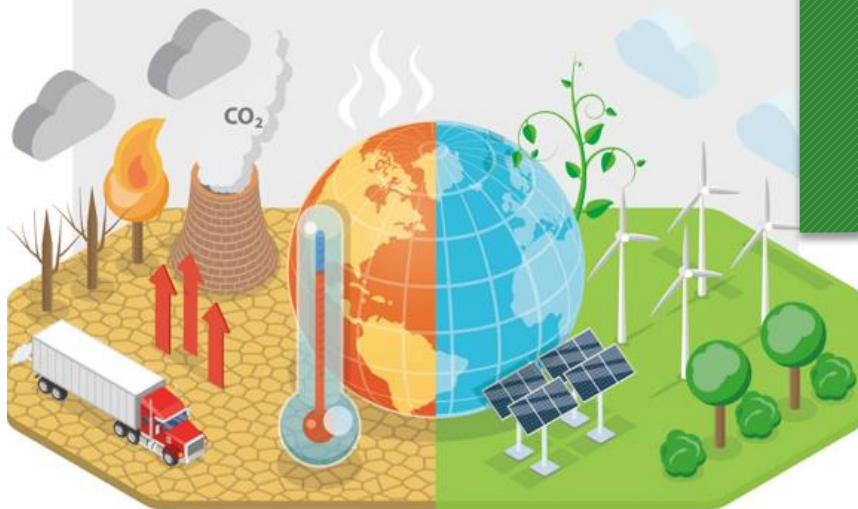


[그래프 기반 전력망 네트워크 모델 구현
- 실계통 적용 문제 해결]



[Open-set recognition 학습구조]

**복원력을 가진
자율 운영 전력망 센터**
Resilient Autonomous Grid Research Center



2024 Engineering Research Center [ERC]

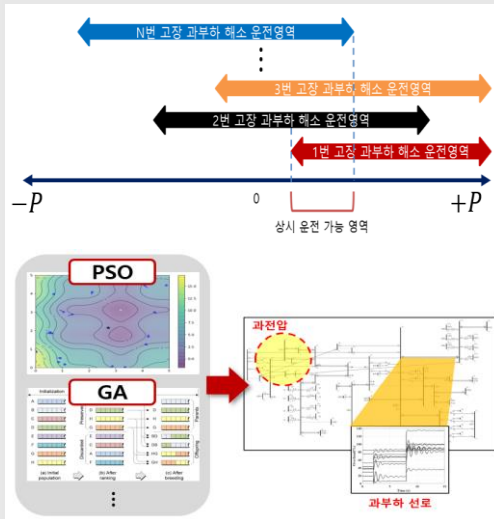
2그룹 장길수 Power and Energy LAB

일시: 2024. 04. 25
장소: 소노캄 여수

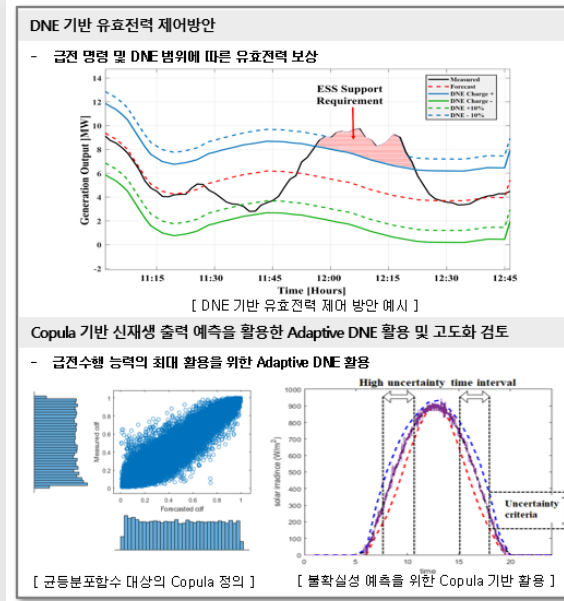
1차년도 연구 성과

기존 자원 최대 활용 & FACTS 설비 최적 제어·운영 기술 개발

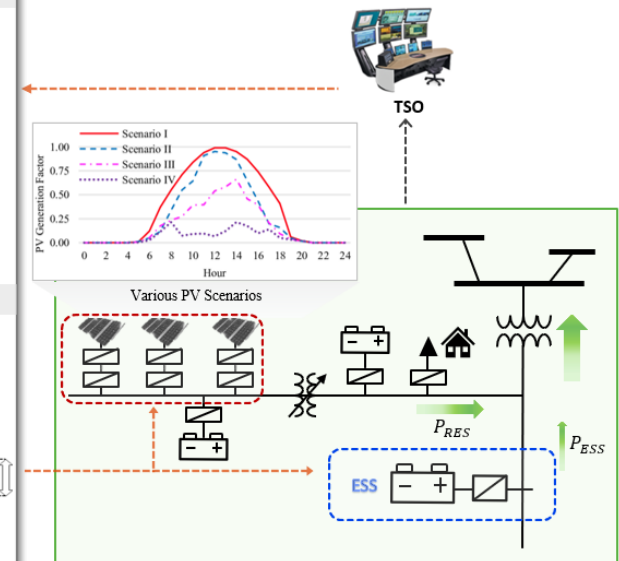
- 전력 공급의 유연성 평가 방법 설정 및 상정상황별 최저 유연성 산정
- DC 설비의 다목적 활용을 위한 최적 운전점 산정 방안
- 신재생에너지원 접속 변전소의 급전가능 자원화



[최적화 기반 DC 설비 운전점 산정]



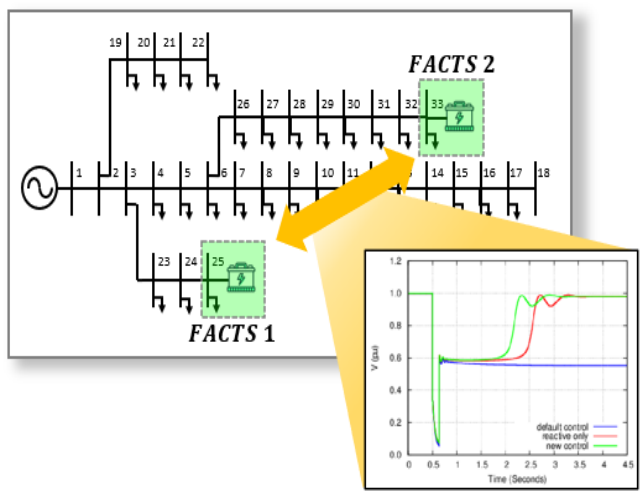
[ESS 유·무효전력 제어 방안 구성 및 알고리즘 고도화]



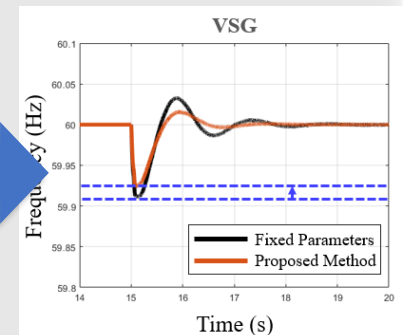
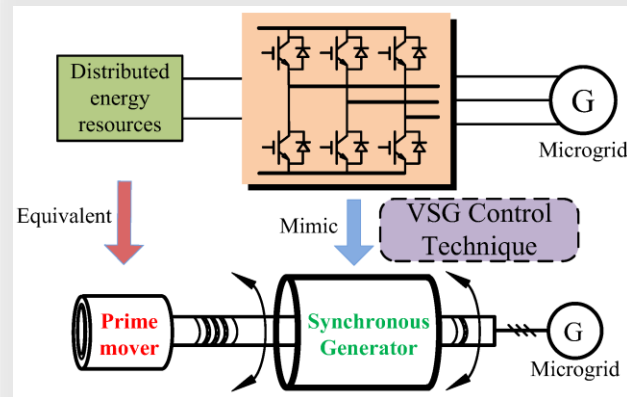
2차년도 연구 계획

기존 자원 최대 활용 & FACTS 설비 최적 제어·운영 기술 개발

- 계통 환경별 필요 유연성에 대한 각 자원의 기여도 평가 방안 개발
- 다기 DC 설비 및 보상설비의 협조 운전 알고리즘 개발
- 인버터 설비들의 강화학습(AI) 기반 VSG(Virtual Synchronous Gen) 파라미터 산정 연구

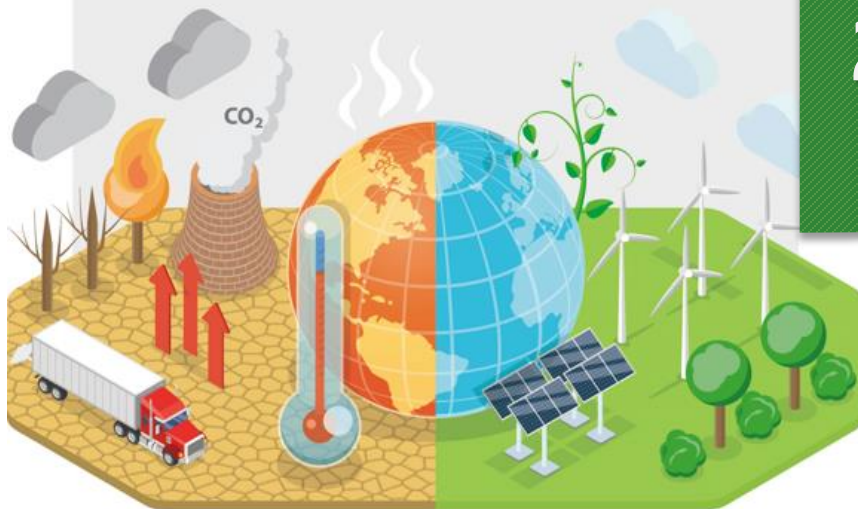


[다기 DC 설비의 협조 운전 예시(전압 보상)]



[인버터 기반 설비의 VSG 제어 (주파수 안정도 확보)]

**복원력을 가진
자율 운영 전력망 센터**
Resilient Autonomous Grid Research Center



2024 Engineering Research Center [ERC]

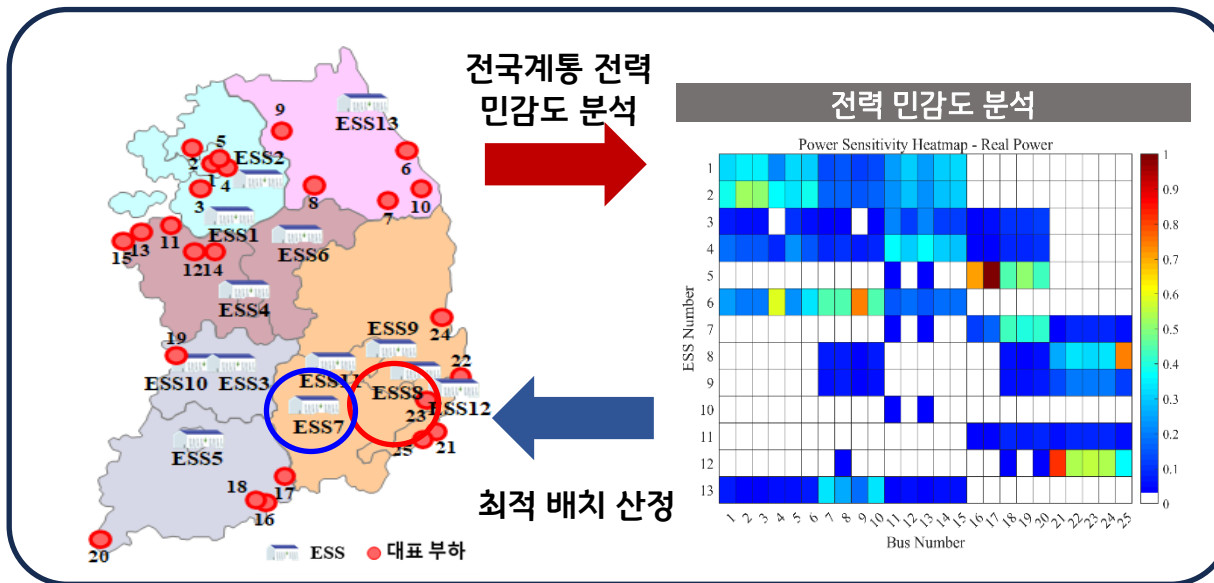
2그룹 박정욱 교수님 LAB

일시: 2024. 4. 25
장소: 여수 소노캠

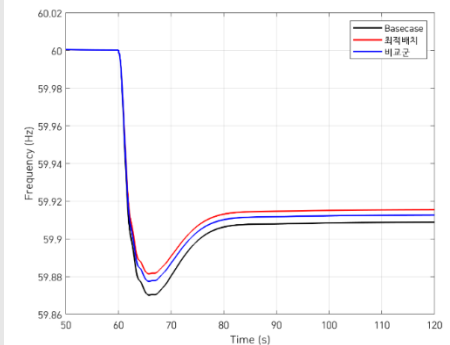
1차년도 연구 성과

ESS에 대한 전력 민감도 분석 기법 및 알고리즘 개발

- 재생E의 수용률 증가로 인해 계통의 주파수 안정성 향상을 위한 새로운 제어 기법이 요구됨
- 조류 계산식으로부터 Virtual Multi-Slack (VMS) Droop 제어 기법 개발 및 전력 민감도 분석
- 전력 민감도 분석 데이터 기반 전국계통의 주파수 조정용 ESS 최적 배치 산정 및 발전기 탈락 사고 시 주파수 영향 평가 검토



최저 주파수 비교



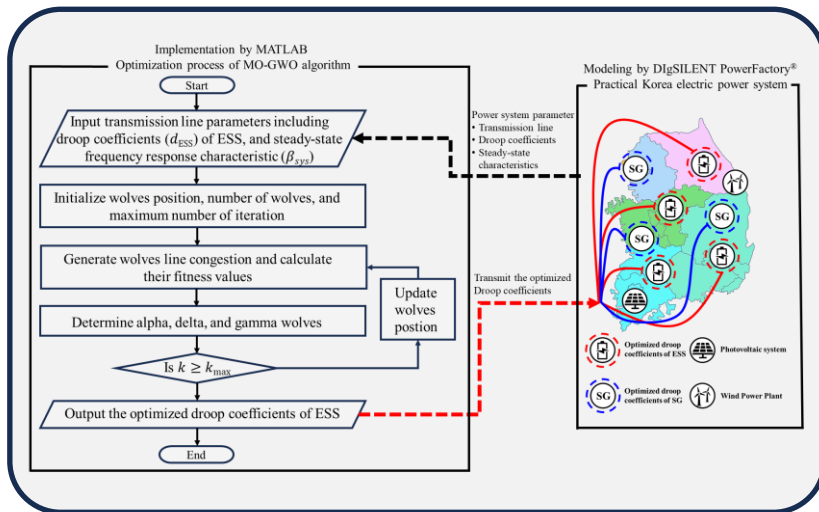
전력 민감도 기반 ESS 추가
설치 시 주파수 변화

2차년도 연구 계획

최적화 기법 기반 단주기 ESS 최적 위치 및 용량 선정

신규 ESS 최적 위치 및 용량 선정 : 기존에 설치된 ESS 및 2034년 전국계통 운영 Data를 고려한 신규 ESS의 최적 위치 및 용량 선정

- 최적화 알고리즘은 Multi-Objective GWO Method로 선정 (large-scale power system 적용)
- 주파수 안정도 향상을 목표로 ESS 최적 위치 및 용량을 선정하는 목적함수 정의 (재생에너지 출력 변동, 기존 ESS 위치 및 용량, 계통 부하 상태 고려)
- 제 10차 (향후 11차) 전력수급기본계획을 반영한 계통 상황 고려



Proposed MO-GWO Algorithm

MO-GWO

$$J(\underline{x}) = \min \left(\sum_{m=1}^k w_m f_m(\underline{x}) \right)$$

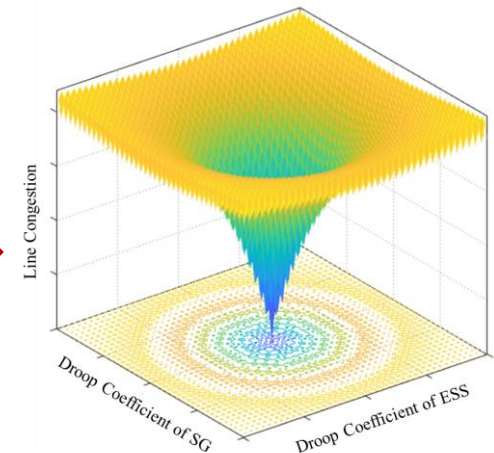
$$s.t. \quad (\underline{p}_m^g)^2 + (\underline{q}_m^g)^2 \leq (\underline{s}_m^g)^2$$

$$\underline{d}_{m,min}^p \leq \underline{d}_m^p \leq \underline{d}_{m,max}^p$$

$$\underline{d}_{m,min}^q \leq \underline{d}_m^q \leq \underline{d}_{m,max}^q$$

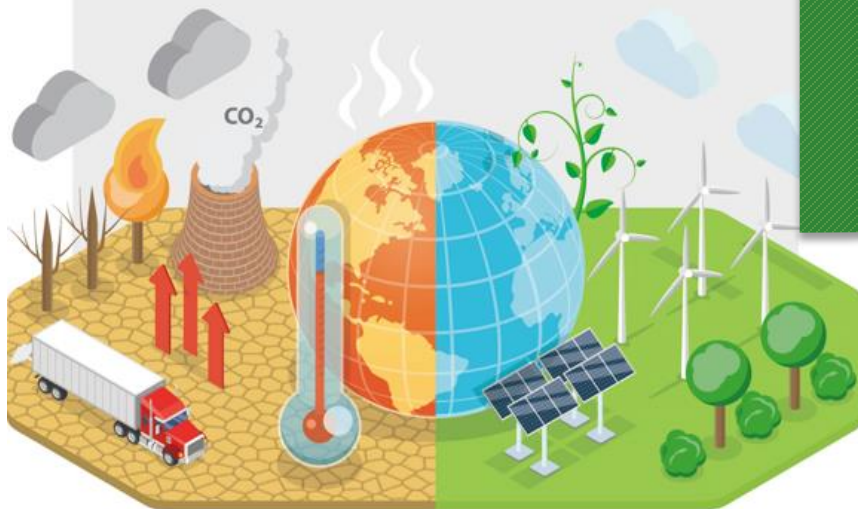
$$\underline{V}_{min}^2 \leq \underline{V}_d^2 + \underline{V}_q^2 \leq \underline{V}_{max}^2$$

$$\beta_{sys} = \sum_{m=1}^{k-1} \frac{100}{R_i} \frac{S_k \cdot PF_k}{f_0} \frac{1}{10}$$



ESS 최적위치/용량 선정을 위한 최적화 기법 적용

**복원력을 가진
자율 운영 전력망 센터**
Resilient Autonomous Grid Research Center



2024 Engineering Research Center [ERC]

2그룹 김영진
Energy System LAB

일시: 2024. 04. 25

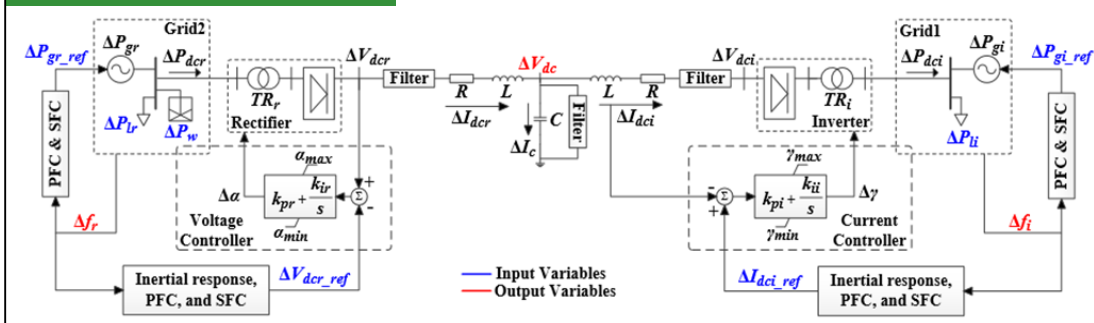
장소: 소노캄 여수 사파이어 1

1차년도 연구 성과

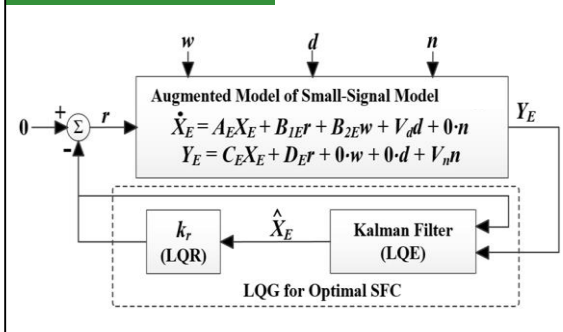
HVDC 시스템의 DC 전압 제어를 통한 AC 계통 주파수 최적 제어

- 모델 기반 제어기 설계를 위한 전류형 HVDC 시스템의 상태 공간 모델 및 전달함수 도출
- 상태 변수 추정을 위한 칼만 필터 설계 및 이를 활용한 LQG 최적 주파수 제어기 설계
- 고유값 분석을 통한 시스템 안정도 평가 및 사례연구를 통한 최적 제어기 성능 검증

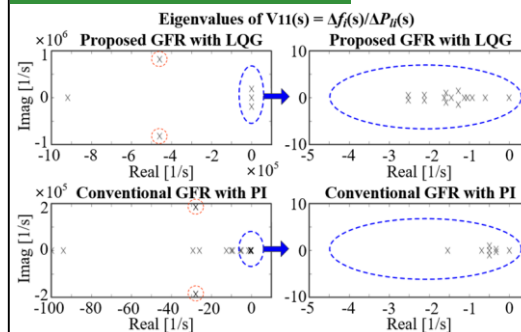
전류형 HVDC 시스템 설계



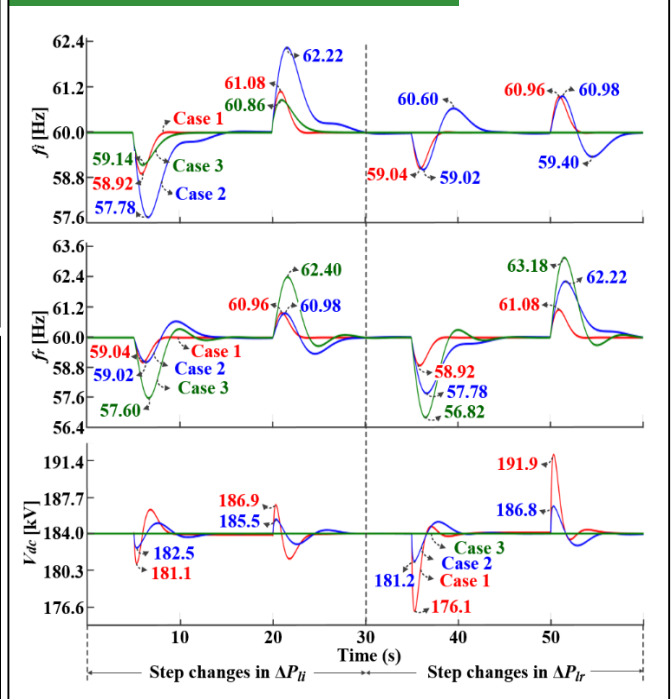
LQG 제어기 설계



주파수 제어 고유값 분석



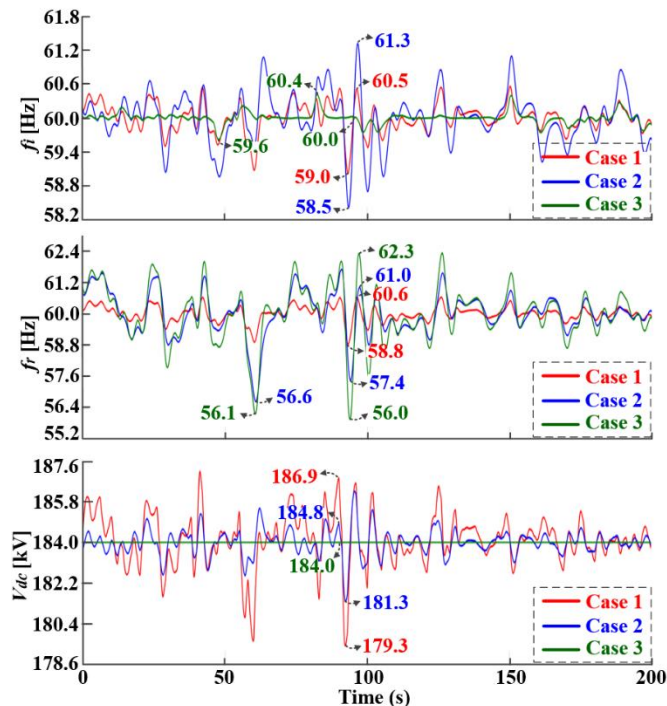
사례연구 결과



1차년도 연구 성과

HVDC 시스템의 DC 전압 제어를 통한 AC 계통 주파수 최적 제어

- 연속적인 부하 및 풍력 출력량에 따른 주파수 최적 제어가 평가
- Case 1: 최적 제어 / Case 2: droop 제어 / Case 3: constant Vdc 제어
- Case 1이 Case 2 및 Case 3에 비해 57.3%, 53.1% 주파수 변동성 완화



[사례 연구 결과]

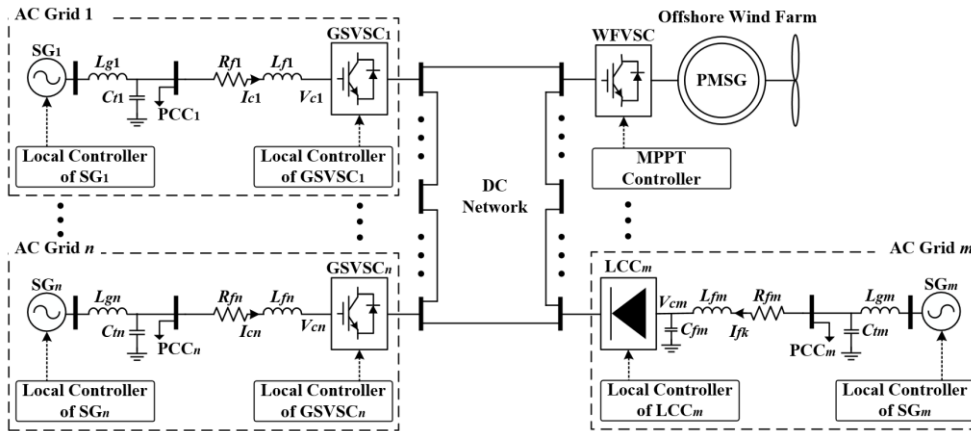
[사례 연구에 따른 RMS 평가]

RMS 변동값	Case 1		Case 2		Case 3	
	개별	총합	개별	총합	개별	총합
$\Delta f_{i,rms}[\text{Hz}]$	0.25	0.53	0.44	1.24	0.10	1.13
$\Delta f_{r,rms}[\text{Hz}]$	0.28		0.80		1.03	
$\Delta P_{gi,rms}[\text{pu}]$	0.11	0.23	0.08	0.30	0.02	0.25
$\Delta P_{gr,rms}[\text{pu}]$	0.12		0.22		0.23	

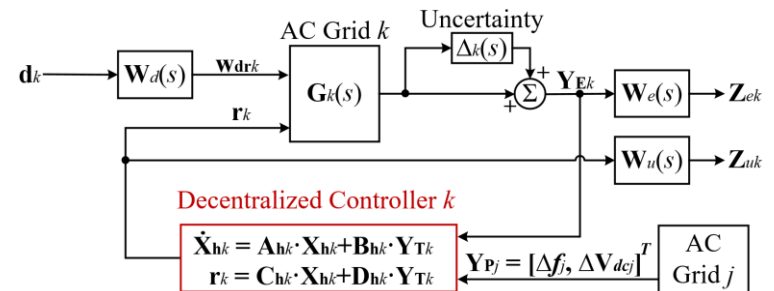
2차년도 연구 계획

MTDC 시스템 연계 계통 주파수 최적 제어

- MTDC 시스템 연계 계통 모델링 및 소신호 모델 도출
- 모델 파라미터 불확실성을 고려한 강인 주파수 제어 알고리즘 개발
- MTDC 시스템에 맞는 탈중양화 제어 환경 설계
- 모델 파라미터 및 통신 지연에 따른 고윳값 분석을 통한 안정도 평가
- 부하 및 풍력 발전량 변화에 따른 최적 제어기 성능 평가

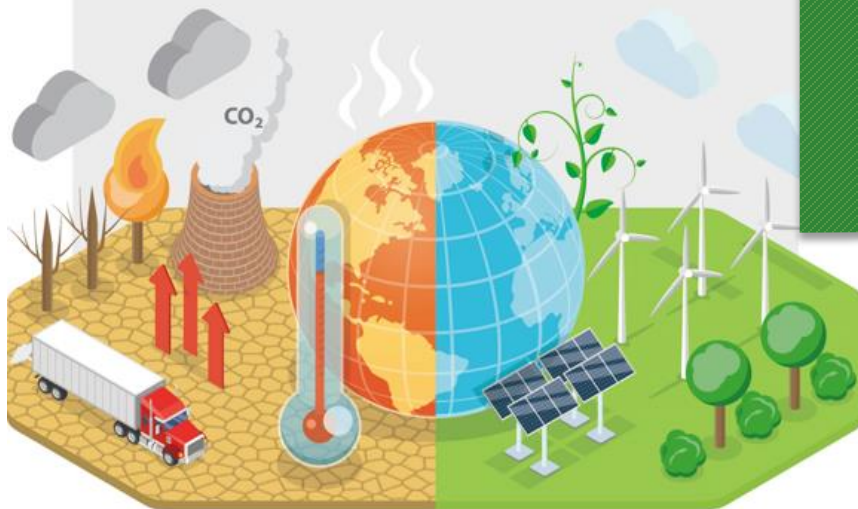


[MTDC 시스템 연계 계통 도식화]



[강인 주파수 제어기 설계안 예]

**복원력을 가진
자율 운영 전력망 센터**
Resilient Autonomous Grid Research Center



2024 Engineering Research Center [ERC]

2그룹 윤민한 Power and Energy LAB

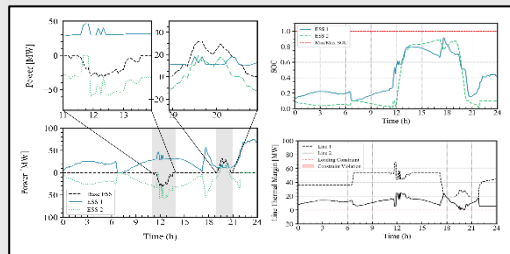
일시: 2024. 04. 25

장소: 소노캄 여수 사파이어 1

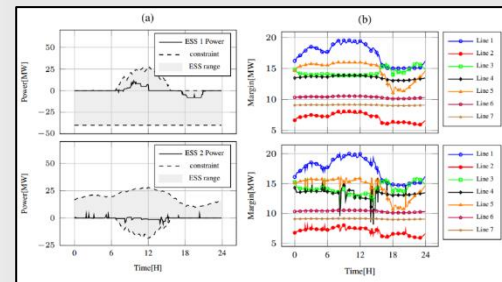
1차년도 연구 성과

제어 설비 인버터 그리드 포밍 기술 & ESS 자율 제어 개발

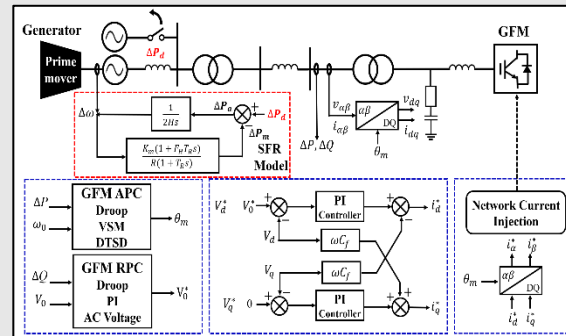
- 그리드 포밍 인버터 모델링 및 다양한 제어기법(GFL/GFM Mode shift, Frequency Overload Control(FOC), Nonlinear 비선형 기법)에 따른 계통 영향도 분석 수행
- System Frequency Response(SFR)과 EMTDC 기반의 PSCAD 시뮬레이션을 이용하여 해당 모델의 동특성을 확인 및 검증 수행
- 송전 혼잡 최소화 목적의 NTA ESS 출력 분배, 상정사고 시 선로 열용량을 고려한 ESS 출력 가능 범위 실시간 산정 모델 개발



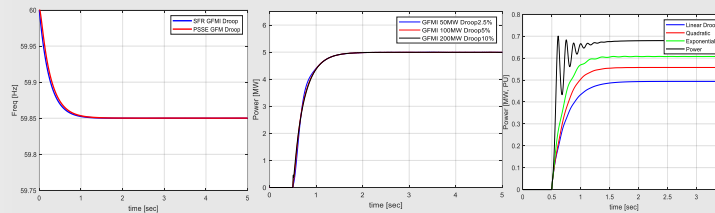
[송전 혼잡 최소화 모델 ESS 출력 분배]



[예방/교정 제어 ESS 출력 가능 범위 산정]

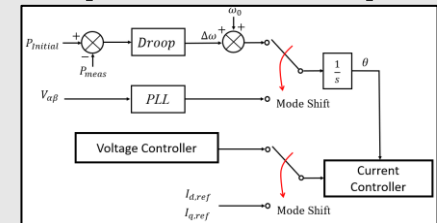


[GFM 제어 구조 및 네트워크]

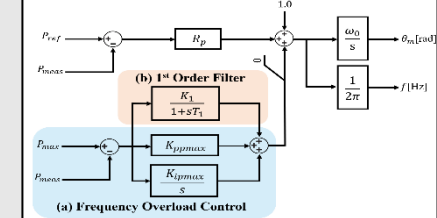


[GFM 모델 SFR 모델 및 성능 검증]

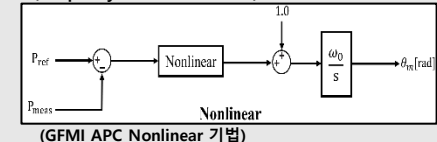
[다양한 제어기법 구현]



[GFM -> GFL Mode Shift를 통한 전류 Limit]



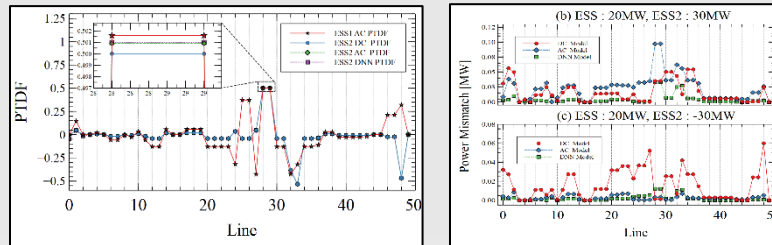
(Frequency Overload Control)



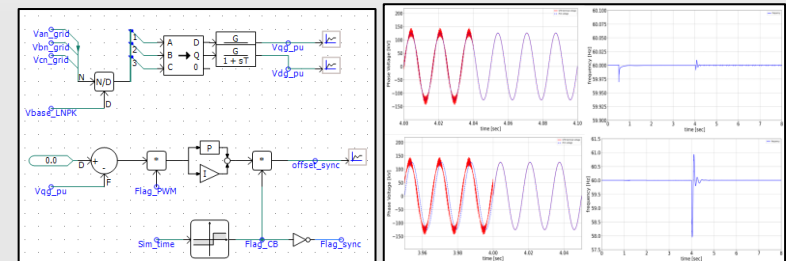
(GFM APC Nonlinear 기법)

제어 설비 인버터 그리드 포밍 기술 & ESS 자율 제어 개발

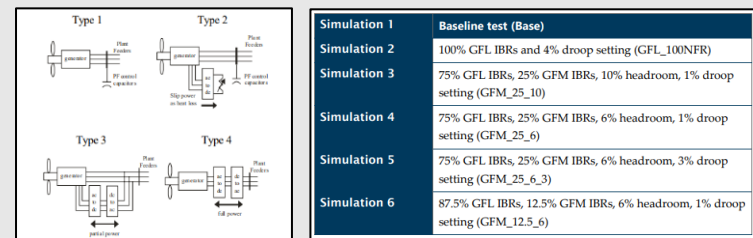
- 다양한 인버터 기반 자원에 적용할 수 있는 그리드 포밍 제어 알고리즘 개발
- 재생에너지 예측 오차를 고려한 특수설비 및 ESS 운영 확률론적 최적화 모델 개발
- 인공지능망 기반 전력조류 민감도 교정을 통한 최적화 모델 정확도 향상 기법 연구



**[확률론적 최적화 모델/인공신경망 조류 민감도
활용 예시(NTA 모델)]**

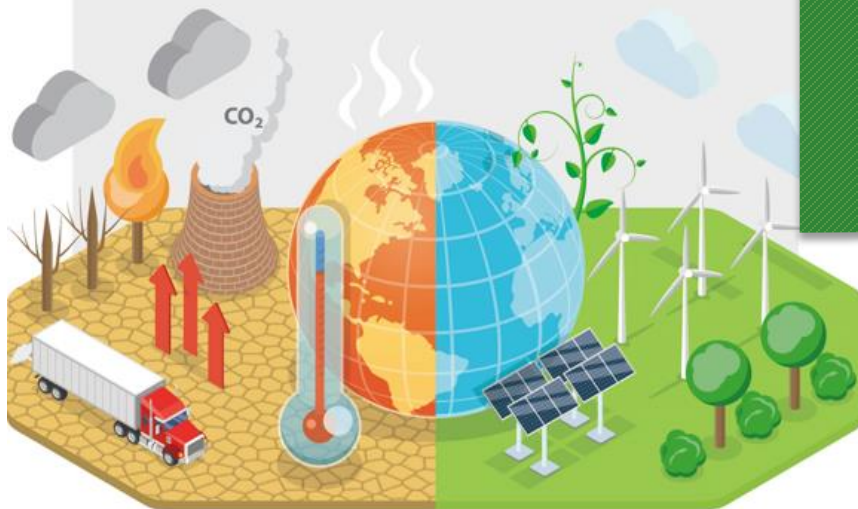


[ESS GFM 인버터 계통 투입 시 위상각 동기화]



[재생에너지원에 따른 GFM 모델 개발 및 비중에 따른 영향 분석 예시]

**복원력을 가진
자율 운영 전력망 센터**
Resilient Autonomous Grid Research Center



2024 Engineering Research Center [ERC]

3그룹 주성관 전력망융합기술연구실

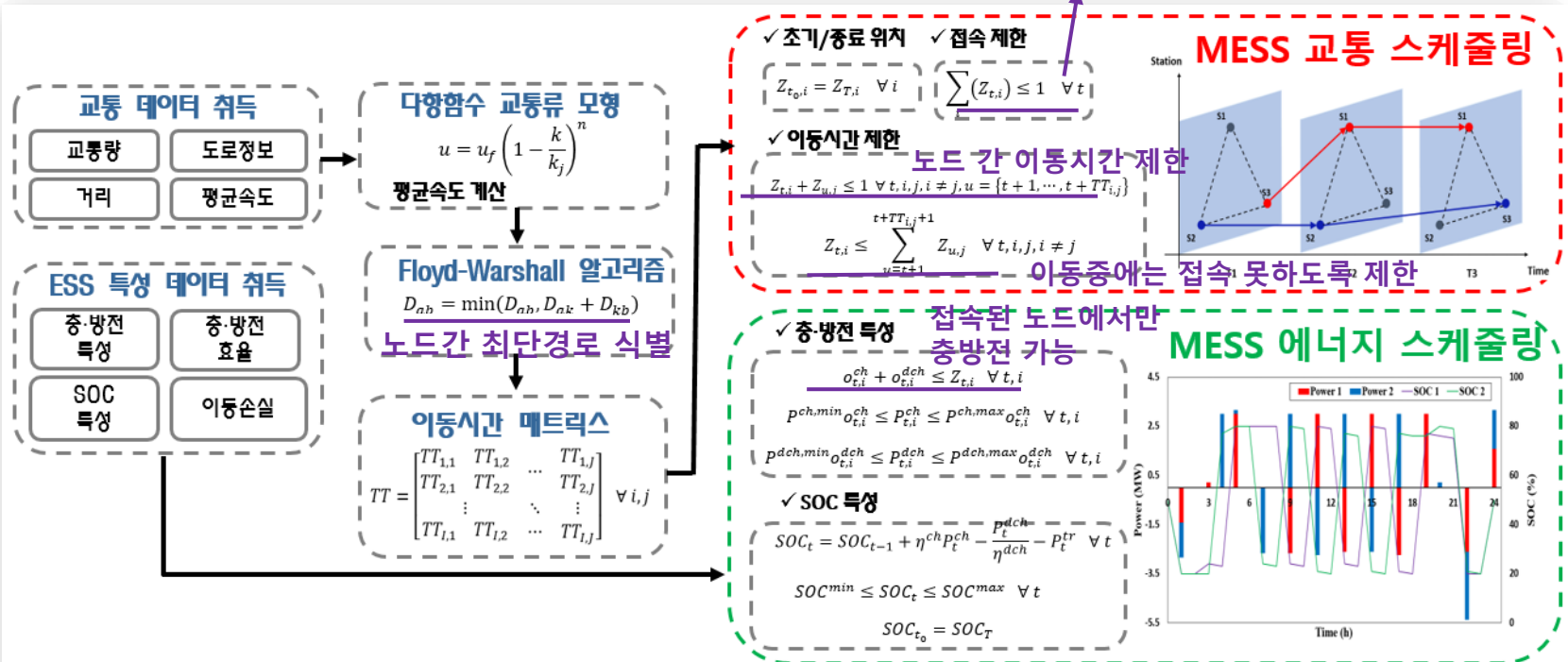
일시: 2024. 04. 25

장소: 소노캄 여수 사파이어 1

1차년도 연구 성과

시공간 이동형 제어자원 모델링 및 가상선로자원 최적 배분

- 시공간 이동형 제어자원의 기술적 특성 모델링 (충·방전, 이동특성, 에너지소비)
- 복원력 강화를 위한 이동형 제어자원의 협조제어 기법 개발
- 시공간 이동형 가상선로 자원 포트폴리오 구성 방안 수립

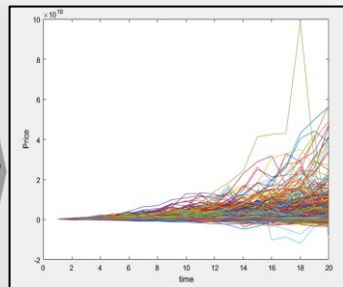
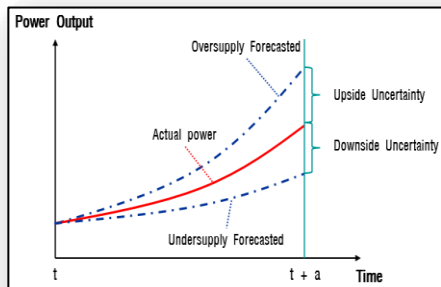


[시공간 이동형 제어자원 교통 및 에너지 스케줄링]

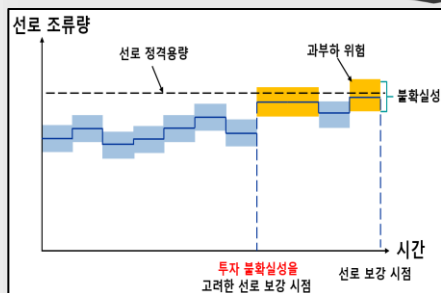
2차년도 연구 계획

시공간 이동형 제어자원 기반 전력망 계획 수립

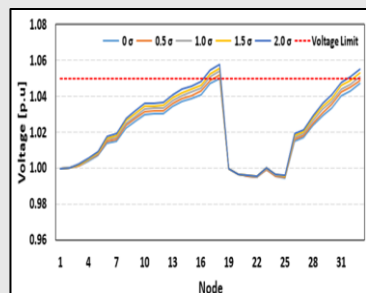
- 수요와 공급의 양방향 불확실성을 고려한 중·장기적 전력망 취약점 식별
- 투자비용 및 적용난이도를 고려한 가상선로 투자 우선순위 결정 방안 개발
- 복원력 강화를 위한 시공간 이동형 가상선로 자원을 이용한 전력망 계획 수립



[불확실성 개념 및 시나리오 생성]

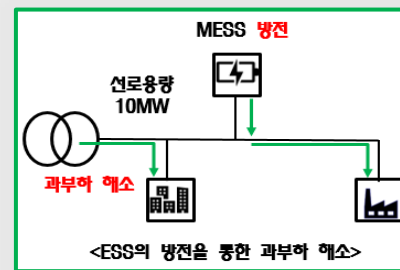


[선로 과부하 위험 식별]

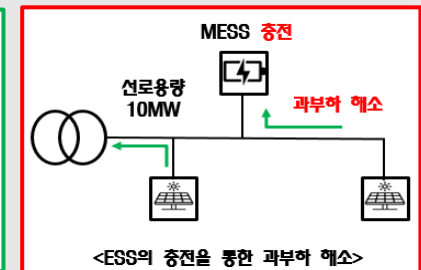


[과전압 위험 노드 식별]

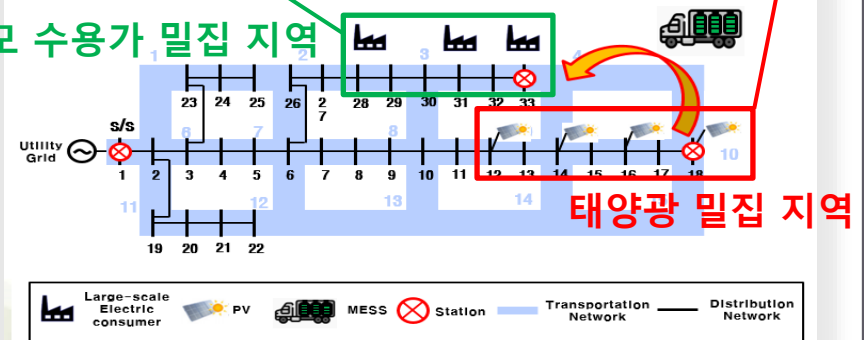
새벽시간 과부하 발생



낮시간 과부하 발생

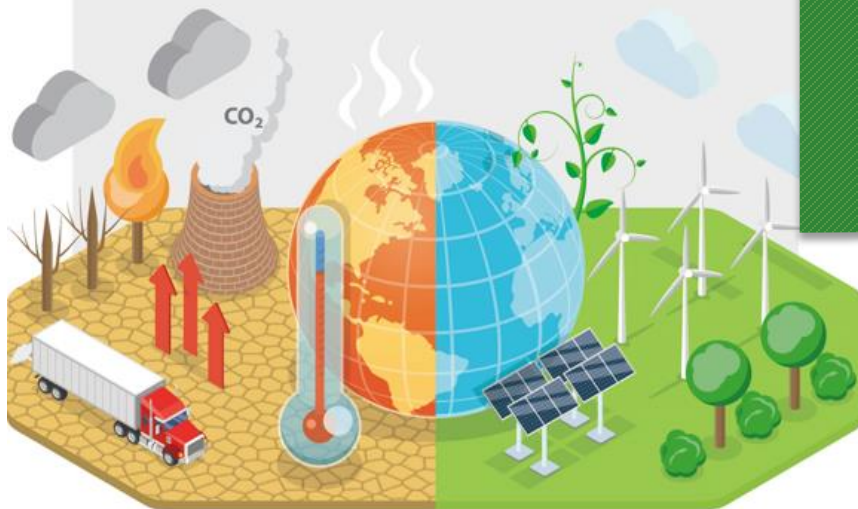


대규모 수용가 밀집 지역



[이동형 에너지 자원을 이용한 선로투자 대체 및 지연 방법]

**복원력을 가진
자율 운영 전력망 센터**
Resilient Autonomous Grid Research Center



2024 Engineering Research Center [ERC]

고려대학교 전기기기 및 전력전자 연구실

이상빈 교수님

일시: 2024. 04. 25

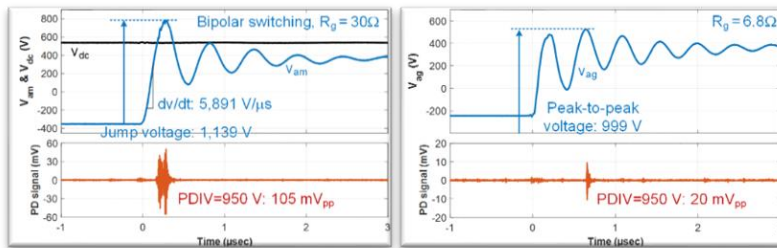
장소: 소노캄 여수 사파이어 1

1차년도 연구 성과

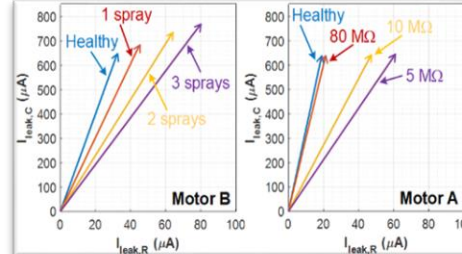
인버터 구동형 전력 설비의 절연 품질 시험 및 평가 기술 개발

▶ 풍력 발전용 DFIG의 인버터를 이용하여 절연 상태 및 고장 발생 여부 진단하는 자동 원격 진단 기법 개발

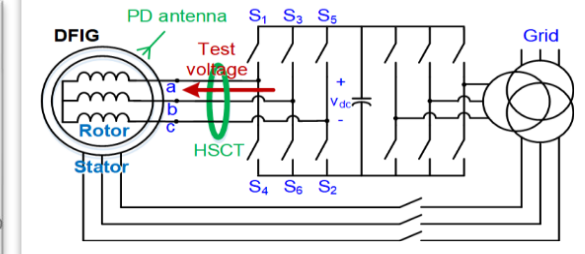
- 임펄스 및 공통 모드 전압(C & DF) 시험: Turn 및 Ground, Phase PD 발생 여부 식별 및 절연 품질 평가
- 절연 파괴 발생 전 상태 파악 및 조기 경고 제공: 절연 보강 및 선제적 조치를 통해 손실 방지 및 신뢰도 향상



[Turn PD 및 Ground PD 구분]



[C & DF Testing]

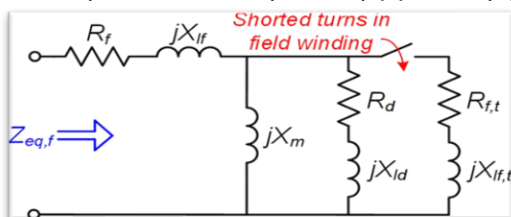


[DFIG 절연 진단 회로]

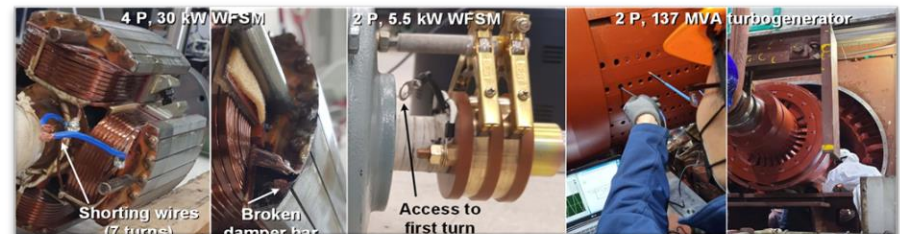
동기 발전기 및 조상기 고장 예방 및 평가 기술 개발

▶ 권선형 동기 발전기의 회전자측 계자 권선 등가 임피던스 기반의 오프라인 진단 기법 개발

- 회전자측 고장 여부 진단 및 계자 권선 Turn short 와 댐퍼바 고장을 구분하여 진단 가능
- 등가 임피던스 변화의 높은 민감도: 고장 오진단 발생률을 낮추고 진단 신뢰성 증대
- 효율적인 권선형 동기 발전기 및 조상기 유지 보수 관리에 기여



[회전자 고장에 따른 등가 임피던스 변화 회로]

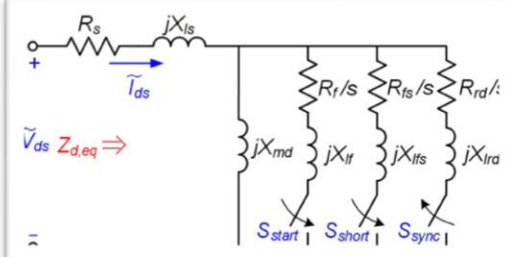
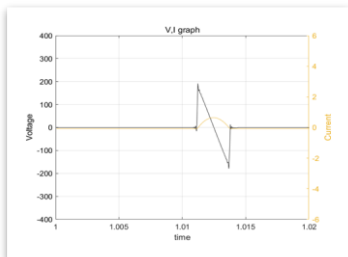
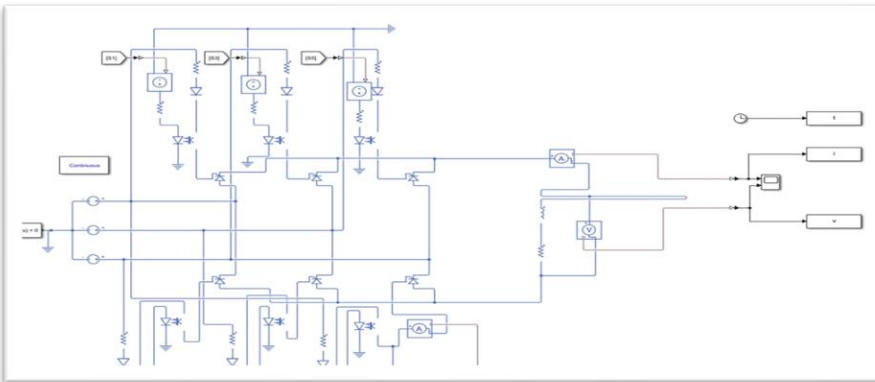


[권선형 동기 발전기 및 조상기의 계자 권선 및 댐퍼바 고장]

2차년도 연구 계획

정지형 여자기를 활용한 동기 발전기 결함 진단

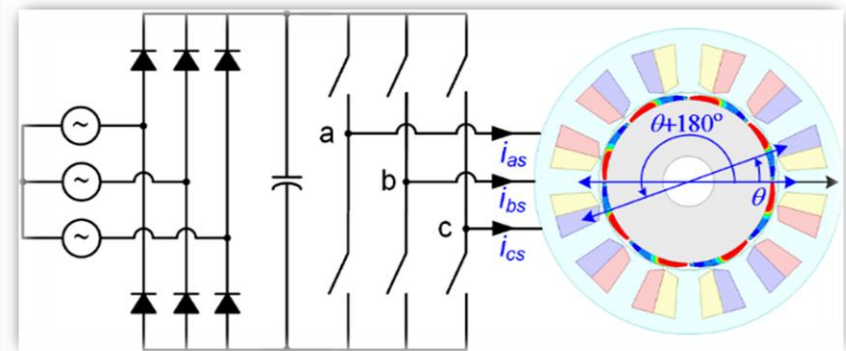
- 권선형 동기발전기의 여자 장치 내의 SCR 정류기 제어
- 주파수 특성을 변조한 테스트 신호를 권선에 인가하여 정지 중 선간 단락 자동 진단 기법 개발
- Thyristor rectifier 회로 및 switching algorithm 모델링



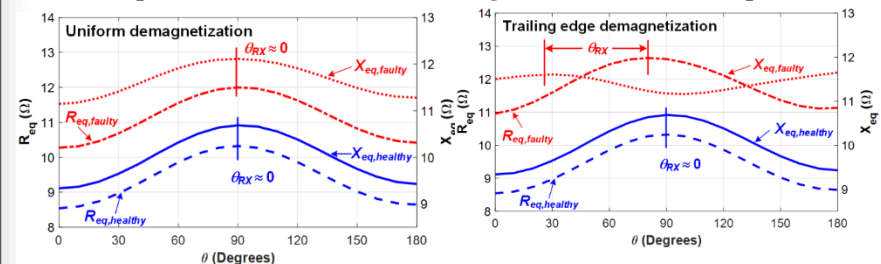
[3 phase thyristor rectifier 제어 회로 및 WFSM 권선 테스트 신호]

풍력 발전용 PMSG 균일 부분 감자 진단

- 풍력 발전 시스템 발전기측 인버터 활용하여 교번자계 인가
- d축 등가 저항 및 리액턴스 기반의 정지 중 원격 진단 기법 개발
- 원격 진단을 통한 해상 풍력 및 파력 발전 설비 적용 가능
- 균일 · 균일 부분 감자 구현: 유한요소 해석 및 영구자석 설계

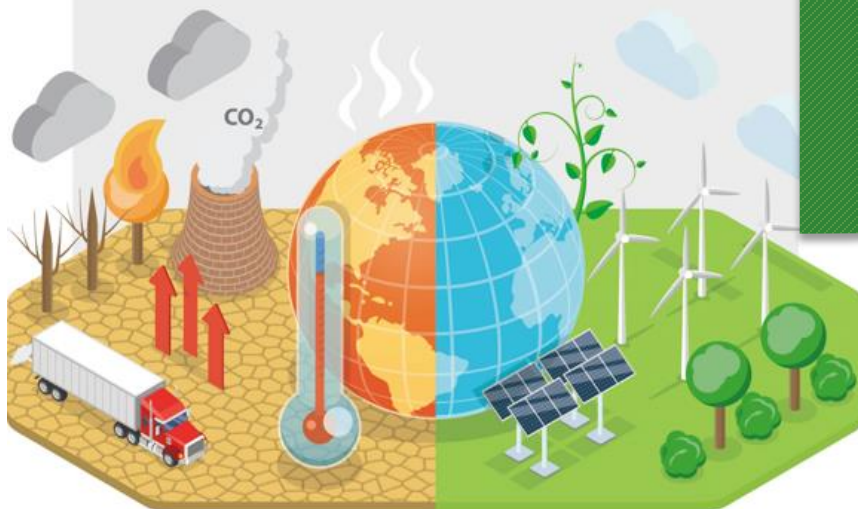


[PMSG 감자 진단 - 인버터를 이용한 교번자계 인가 회로]



[유한 요소 해석 : 감자에 의한 PMSG 등가 저항 및 리액턴스 성분 변화]

**복원력을 가진
자율 운영 전력망 센터**
Resilient Autonomous Grid Research Center



2024 Engineering Research Center [ERC]

3그룹 최승연
고려대학교 미래배전시스템 연구실

일시: 2024. 04. 25

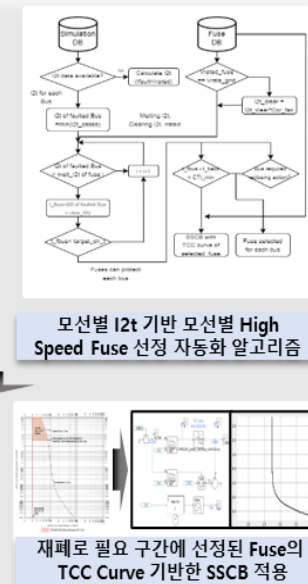
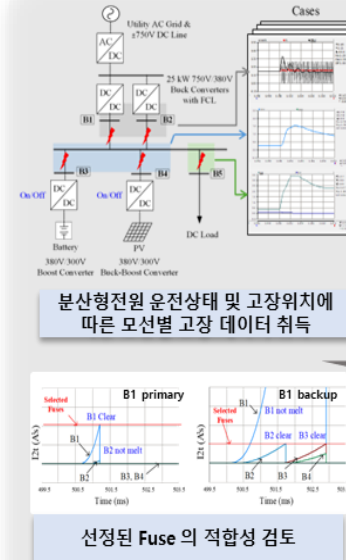
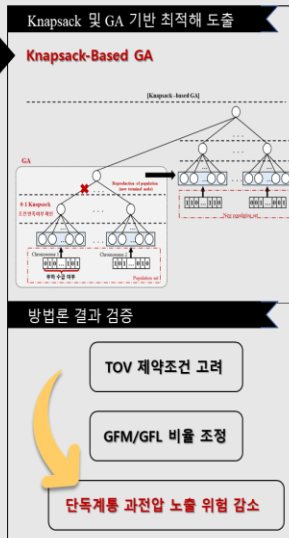
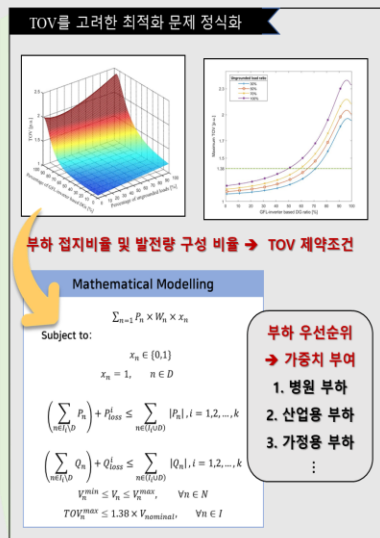
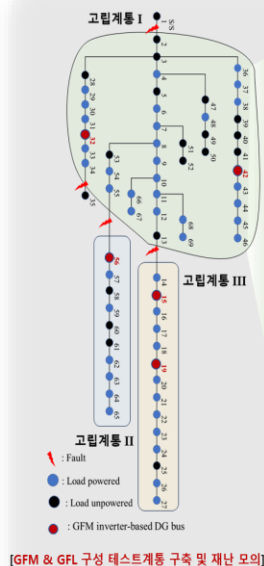
장소: 소노캄 여수 사파이어 1

1차년도 연구 성과

재해재난 상황 시 지역최적구성, 분산형전원의 전력공급, 접지영향 평가기술 개발

- 정전 상황 시 선로개방 스케줄링 최적화를 통한 주전원 연계·독립계통 지역 최적구성기법 개발
- 재해·재난 상황 시 GFM/GFL 인버터 기반 비상시 부하 전력 공급 기법 개발
- 재해·재난 상황으로 인한 비상시 부하 전력 공급에 따른 접지 영향 평가
- 인버터 기반 전원의 운전상황을 고려한 LVDC 배전계통에서의 보호협조 설계 방안 제시*

*HD현대 일렉트릭 공동연구



[재해재난 시 계통최적구성 및 비상시 부하 전력 공급기법]

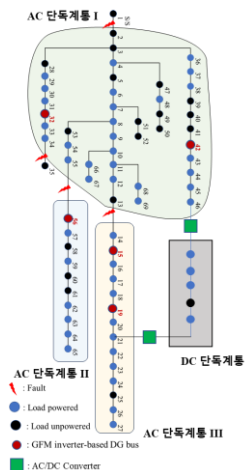
[LVDC 보호협조 자동화 설계 방안]

2차년도 연구 계획

재해·재난 상황 수용가 자원 활용 복원력 확보 기술 개발

- 재해·재난 상황 AC/DC 배전망 내 **분산형 전원 활용 단독운전 기법 고도화**
 - AC/DC 혼재망에서의 단독운전 기법 제시 및 GFM 인버터 위치에 따른 단독운전 시나리오 수립
 - AC/DC 배전망 내 단독운전을 위한 최적 알고리즘 선정, 계통 Topology/GFM 인버터 위치/시나리오에 따른 문제 정식화
- 재해·재난 상황 단독운전 시 **GFM 인버터 자원 활용에 따른 계통 불안정 요소** 평가 및 개선책 제시
 - 재해·재난 상황 단독계통 내 GFM/GFL 자원 접지 협조 검토 및 접지 손상 시나리오에 따른 영향 평가
 - 단독계통 내 접지 영향 평가 결과 기반 일시적 과전압 위험 평가 및 GFM/GFL 자원 협조 운영
 - GFM 인버터 Droop/VSM 등 제어 전략 및 DC 동특성에 따른 단독계통 미소신호 안정도 검토

재해/재난 상황 분산전원 활용 단독운전 최적 솔루션 제시



GFM 인버터 기반 단독운전 솔루션
+
계통 Topology/GFM 인버터 위치/시나리오

단독운전 상황 정식화 모델링 기법 선택

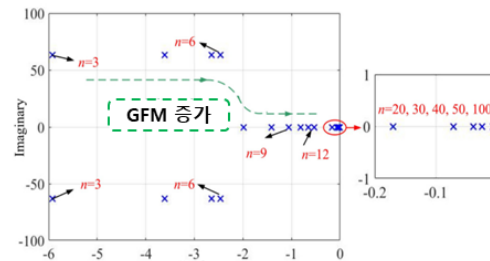
Knapsack Problem
Tree Knapsack Problem
Clustering Islanding
Graph Theory

최적 솔루션 도출 알고리즘 평가

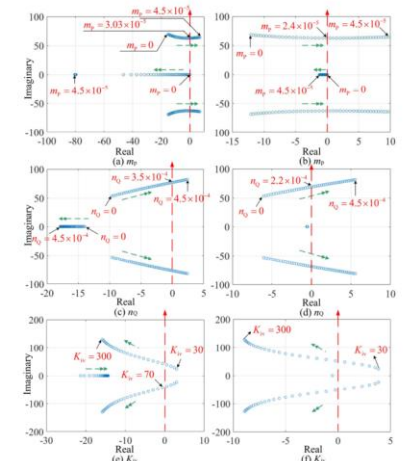
수리 최적화 및 수치적 접근
휴리스틱 및 메타 휴리스틱 접근

GFM 인버터 불안정 요소 평가 및 개선책 제시

GFM 인버터 증가에 따른 소신호 불안정



제어 파라미터 변화를
통한 안정도 개선



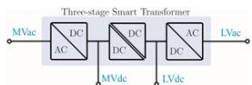
2차년도 연구 계획

AC/DC 배전계통의 단독운전 기술 및 협조운영 기술 개발

• Smart Transformer 활용 AC 계통 및 DC 계통 간의 협조 운영 기법 개발

- 세계 각지 재생에너지 개발 추진 및 전력 시설의 디지털화, 스마트 그리드 운영으로 인한 Smart Transformer 개념 등장
- Smart Transformer 활용하여 AC 계통(저압 배전계통) 및 DC 계통(MVDC/LVDC) 간의 협조 운영
- 측정 데이터 활용 전압 민감도 분석을 통한 배전단 부하 식별 (순부하 내 분산전원 영향 식별)
- 부하 특성을 고려한 전압 제어 고도화 및 발전/부하 제어를 통한 복원력 향상

Smart Transformer의 개념 및 기능, 현황



Smart Transformer : 전력 전자 설비 기반의 변압기.
전압 및 AC/DC 변환 가능, 데이터 측정 및 분석지원

Smart Transformer(ST)

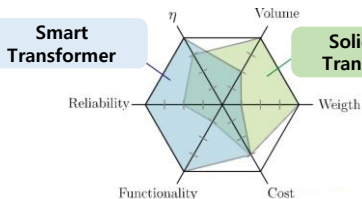
기본 요구 조건 : 저압 배전계통 변압기 대체, 특고압/중압 계통 분리, 계통 지원

주요 지원 기능 : 전기품질 개선, 전압 보상 및 제어, 과부하 및 단락 보호, 역률 개선 등

주요 기업 : ABB, Siemens, Schneider, Eaton, GE, etc

GE, 세계 최초로 165kV, 60/80/100MVA 급의 대형 스마트 변압기 개발 성공 (2021년)

2022년:23억 4천만 달러 정도의 시장규모, 2032년:61억 8천만 달러까지 확대 전망

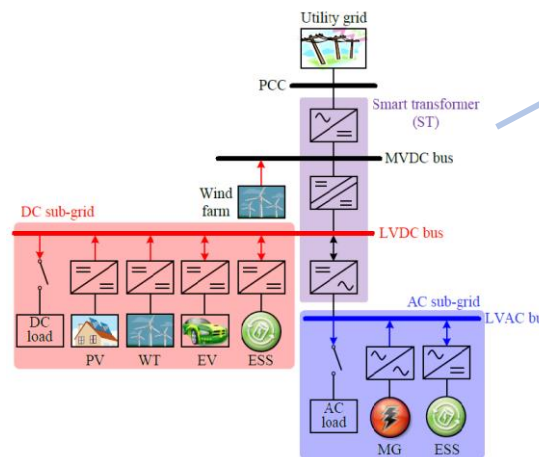


기존 Solid State Tranformer
대비 부피 및 무게 경량화

변압기 효율 및 신뢰도 제고

보다 다양한 계통 지원 기능 구비

Smart Transformer 활용 AC/DC 계통 협조 운영



저압 계통 부하 특성 식별
부하/발전력 제어
MV 계통 연계 운영

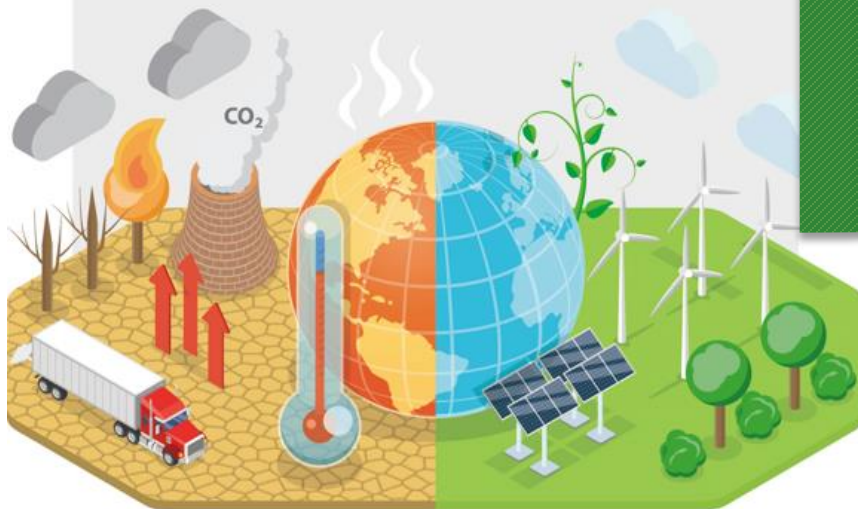
운영/제어를 통한 복원력 향상

AC/DC 계통 협조 운영을 통한 분산자원
활용 극대화

부하 특성 및 순부하 고려한 전압 제어
및 발전/부하 제어

비상 시 MV 계통 분산자원을 통한 저압
계통 전력 공급 유지

**복원력을 가진
자율 운영 전력망 센터**
Resilient Autonomous Grid Research Center



2024 Engineering Research Center [ERC]

3그룹 서울대학교 Power Systems LAB

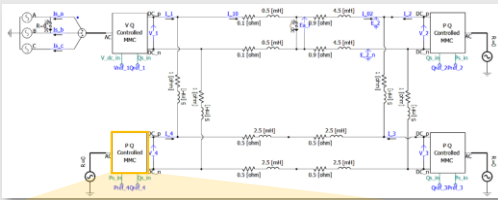
일시: 2024. 04. 25

장소: 소노캄 여수 사파이어 1

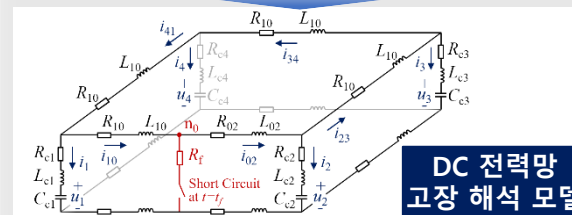
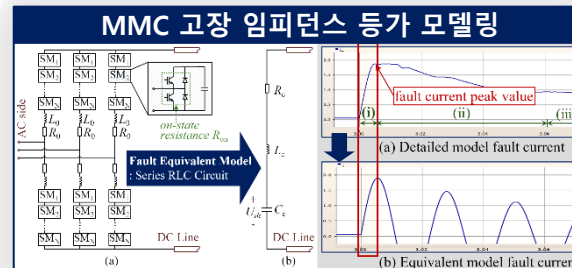
1차년도 연구 성과

하이브리드 AC/DC 전력망의 고장 계산 기법 개발

- AC-DC 전력망 DC 설비 고장 시, 전력 계통 고장 영향 분석
 - ✓ PSCAD에서 MMC 기반 AC-DC 전력망 모델링 및 EMT 시뮬레이션을 통한 고장 임피던스 모델 검증
- DC 전력망 고장 계산 기법 개발
 - ✓ Modular Multi-level Converter (MMC) 고장 임피던스 등가 모델 기반의 DC 전력망 고장 해석 모델 정의
 - ✓ 2-terminal DC 전력망 고장 전류 표현식 및 multi-terminal DC 전력망 1차 미분 행렬식 기반 표현식 도출



[EMT 시뮬레이션 모델]



[고장 등가 모델 기반 해석 모델]

2-terminal

$$i_1(t) = e^{\alpha t} \cdot (c_1 \cdot \cos \beta t + c_2 \cdot \sin \beta t)$$

$$i_1(t_p) = e^{\frac{\alpha}{\beta} \tan^{-1} \left(\frac{-\alpha c_1 + \beta c_2}{-\alpha c_2 - \beta c_1} \right)} \cdot (c_1 \cos(\beta t) + c_2 \sin(\beta t))$$

multi-terminal

$$R = \begin{bmatrix} R_1 + 2R_{10} & 0 & 0 & 0 & -R_1 \\ 0 & R_2 + 2R_{02} & -R_2 & 0 & 0 \\ 0 & -R_2 & R_2 + 2R_{23} + R_3 & -R_3 & 0 \\ 0 & 0 & -R_3 & R_3 + 2R_{34} + R_4 & -R_4 \\ -R_1 & 0 & 0 & -R_4 & R_4 + 2R_{41} + R_1 \end{bmatrix}$$

$$A_1 \cdot u = R \cdot i + L \cdot \dot{i}$$

$$\dot{u} = P \cdot i$$

$$A = \begin{bmatrix} -L^{-1} \cdot R & L^{-1} \cdot A_1 \\ P & 0 \end{bmatrix}_{k \times k}$$

$$\dot{x} = A \cdot x$$

$$x(t) = \sum_{n=1}^k c_n K_n e^{\lambda_n t} = c_1 K_1 e^{\lambda_1 t} + c_2 K_2 e^{\lambda_2 t} + \dots + c_k K_k e^{\lambda_k t}$$

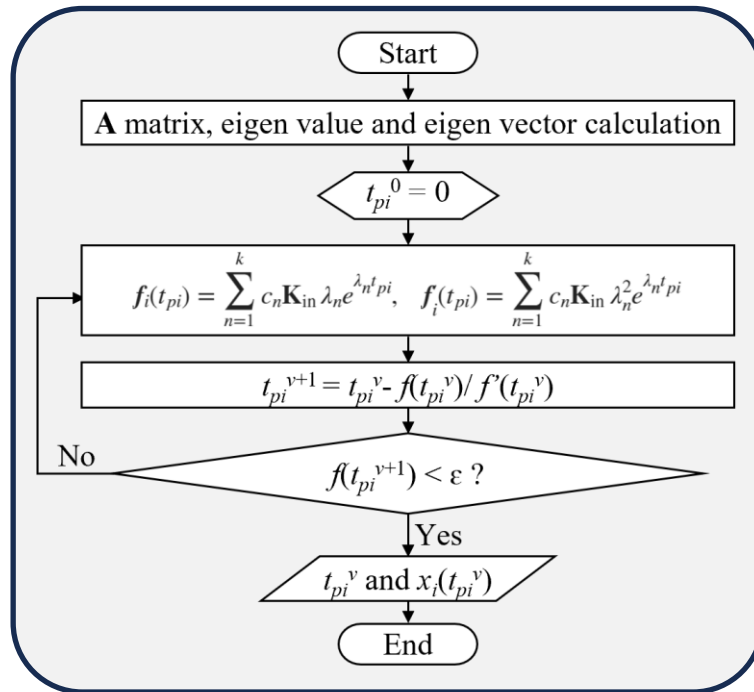
$k = \text{number of ODEs}$

[고장 전류 표현식 도출]

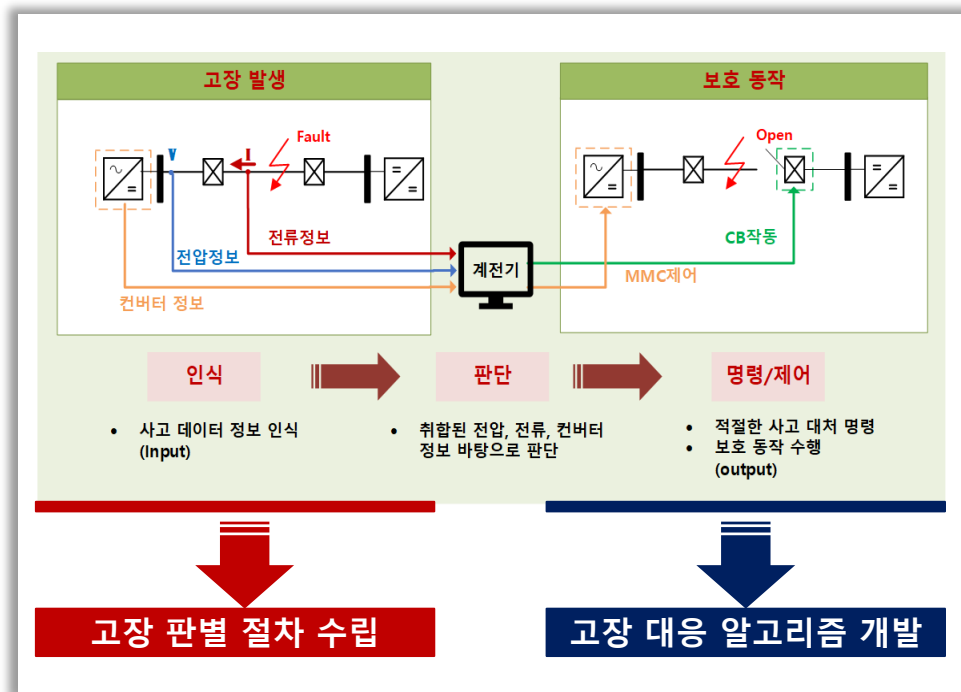
2차년도 연구 계획

Autonomous 고장 판별 절차 수립 및 고장 대응 알고리즘 개발

- 수치해석 기법을 적용한 multi-terminal DC 전력망 고장전류 피크값 계산 알고리즘 개발
- 고장전류 피크값 및 고장전류 특성 기반 고장 판별 절차 수립 및 고장 대응 알고리즘 개발



[DC 전력망 고장전류 피크값 계산 알고리즘 순서도]



[AC-DC 전력망 보호 알고리즘 동작 개요]