대한전기학회 전력기술부문회
추계학술대회 제주오리엔탈 호텔

전력시스템 안정도 해석용 Dynamic 모델 표준화 워킹그룹

중간발표

’20.10.22.

발표 순서

시간	발표제목 및 발표자
13:10~13:20	0. 워킹그룹 소개 (문영환 한국전기연구원 책임연구원)
13:20~13:30	1. 신재생에너지 플랜트 기본 모델 검토 - 발표자 : 허견 (연세대학교)
13:30~13:40	2. 전력계통 해석용 FACTS/HVDC 모델의 표준화 - 발표자 : 장길수 (고려대학교)
13:40~13:50	3. 전력설비 동특성자료 제출 및 심사기준 (개정 취지 및 내용) - 발표자 : 서영준 (전력거래소)
13:50~14:00	4. 동기기/제어시스템 기본모델과 검증방안 - 발표자 : 문영환 (한국전기연구원)

워킹그룹 소개

국내 동특성 모델 현황

- 전력거래소 PSS/E 해석용 입력 데이터
  - ✓약 40 종류의 설비모델과 연계된 약 1,600기의 설비 모델정수 Database

구분	대표모델 및 종류	모델링 설비수	비고
발전기	GENROU, GENSAL 등 3종	약 440 기	
여자기	EXST1, ESST4B 등 15종	약 440 기	
PSS	IEEEST, PSS2A 등 4종	약 250 기	
조속기	GAST, GGOV1 등 9종	약 370 기	
StatCom, SVC	CSTCNT 1종	7 기	계획설비의 UDM 제출 빈도가 증가
HVDC	UDM(사용자모델) 2종	2 기	
풍력	WT3G2, WT3T1 등 6종	약 20 기	

워킹그룹 배경

- 기후환경/에너지전환 정책 → 인버터 전원 비중의 증가
- 계통 동특성의 변화 → 표준모델 정립과 검증 중요

1. 신재생에너지 모델

2. HVDC/FACTS 모델

3. 발전기/제어시스템 모델

주요 설비	주요 이슈
• 태양광/풍력 • ESS/연료전지	✓ 플랜트 표준 모델과 검증 ✓ Ride-through 검토용 ✓ 배전망 분산전원
• HVDC • FACTS, SVC	✓ 표준 모델과 검증 ✓ EMT 모델, UDM 필요성
• 동기기 모델 • 터빈-조속기 • 축진동 모델	✓ 동기기/제어 모델링 개선 ✓ 운전예비력의 중요성 ✓ EMT 모델

워킹그룹 목적

전력계통 안정도 해석기술 향상 및 신뢰도 확립을 위하여 **표준(기본) Dynamic Model Library를 분석하여 제안**함 (PSS/E 용)

1. 국내 운전/계획 중인 발송배전 설비의 운전/제어 특성의 **합리적인 표준모델**을 제시
   - 동기발전기 / 여자제어시스템(PSS포함) / 터빈-조속기제어시스템
   - 풍력플랜트 모델 / 태양광플랜트 모델
   - HVDC/FACTS, ESS, 연료전지
   - 기타 부하 모델, 계전기 모델 등은 미정
2. Dynamic 모델들에 대한 합리적인 **시험-모델링-검증 방법** 분석
3. 워킹그룹 최종보고서

   산업부의 '전력계통 신뢰도 및 전기품질 유지기준' 고시

   전력거래소의 '전력시장운영규칙'에 신뢰도 향상 도모

워킹그룹 현황

- 국내 산학연 전문가 30여 명 참여, 진행 중
- 현재까지 WG 회의 2회 개최

1. 하계학술대회 전력계통(3) 논문세션 발표 ('20.07.16) - 30여 명 참석

1) 동기기 모델의 동특성에 미치는 Magnetic Saturation 모델링의 영향
문영환*, 김동준, 김재경(한국전기연구원)
2) 전력계통 해석용 설비모델 평가 및 관리 기술
이윤환*, 서영준, 이창근, 김태훈(한국전력거래소)
3) WECC Generic 모델을 활용한 PV의 계통 영향성 분석
고민승*, 홍창우, 허견(연세대)
4) 재생에너지 발전원의 Generic Model 구축 방안
허진*(상명대), 최영도(한전 전력연구원), 조윤성(대구가톨릭대)
5) 대규모 전력계통의 동특성 분석을 위한 재생 발전원 범용 모델의 검증 및 활용 방안
김재경*, 문영환, 김동준, 권도훈(한국전기연구원), 서영준(한국전력거래소)
6) PSS/e Voltage Sourced Converter HVDC User Defined Model 개발
정소슬*, 장길수(고려대)

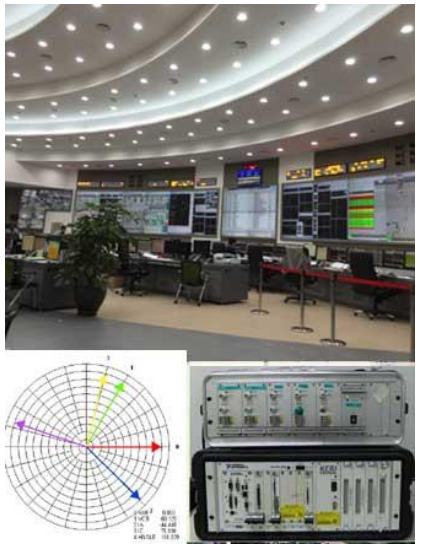
2. 화상회의 개최 ('20.10.13) - 15명 참석
   - 국내 동특성 모델 현황과 전력거래소의 현행 기준모델 발표
   - 주요 전력설비의 표준모델(안) 검토
   - 보고서 목차 초안 검토 및 희망 작성자 파악

표준(기본) 모델

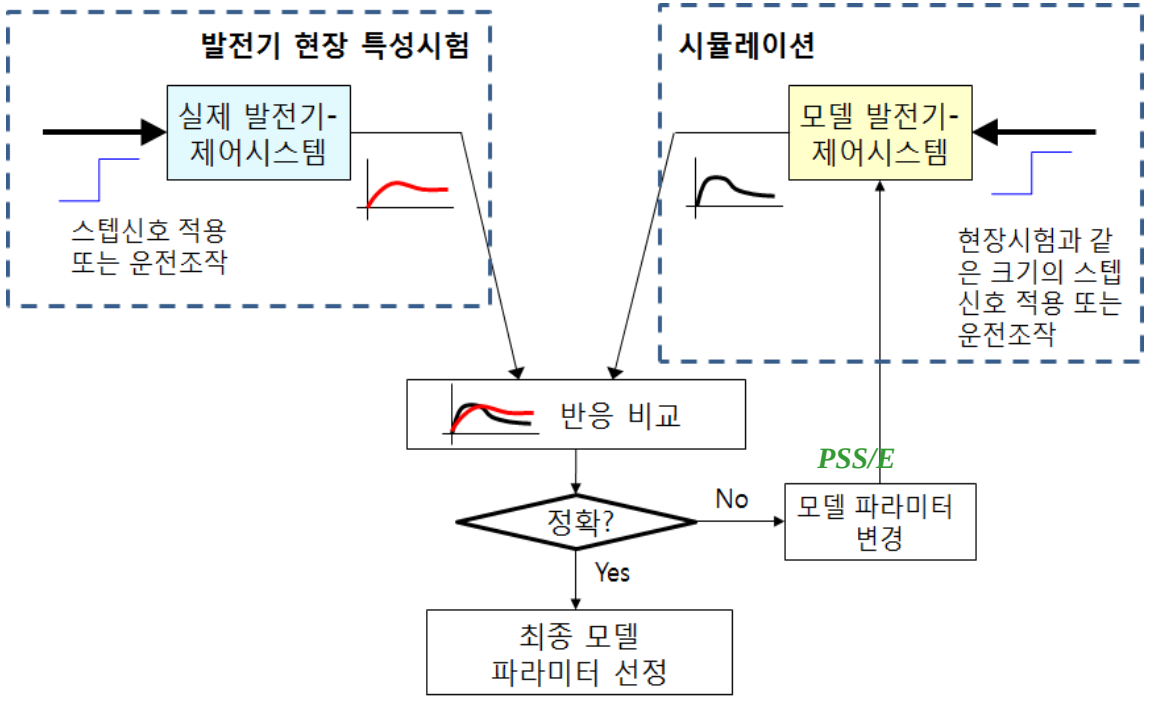
- **표준(기본) 모델의 정의**
  - 계통운영자인 전력거래소와 설비 사업자 모두 쉽게 이해하고
  - 안정도 해석용 프로그램인 PSS/E 상에서 시뮬레이션을 통해 설비들의 기본적인 운전 상황을 구현할 수 있으며
  - 향후 지속적인 확대를 통하여 현재와 미래 계통의 안정도를 해석할 수 있는 모델

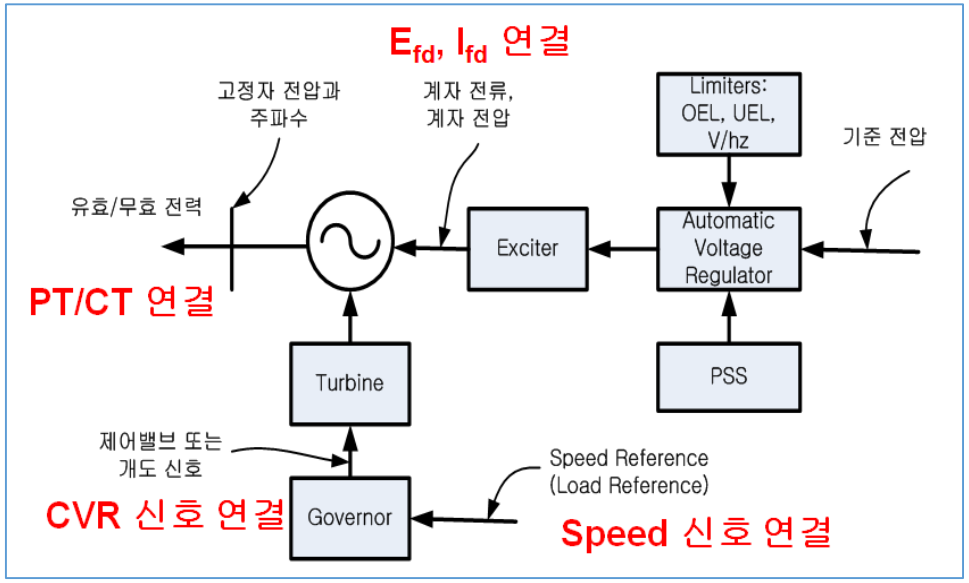
- **선정기준**
  1) PSS/E 시뮬레이션을 통한 모델검증 가능 여부
  2) 현장 설비들의 동작특성 표현의 충실도
  3) 모델의 수정 가능 여부 (UDM 허용?)

모델검증 (1) : Baseline Test

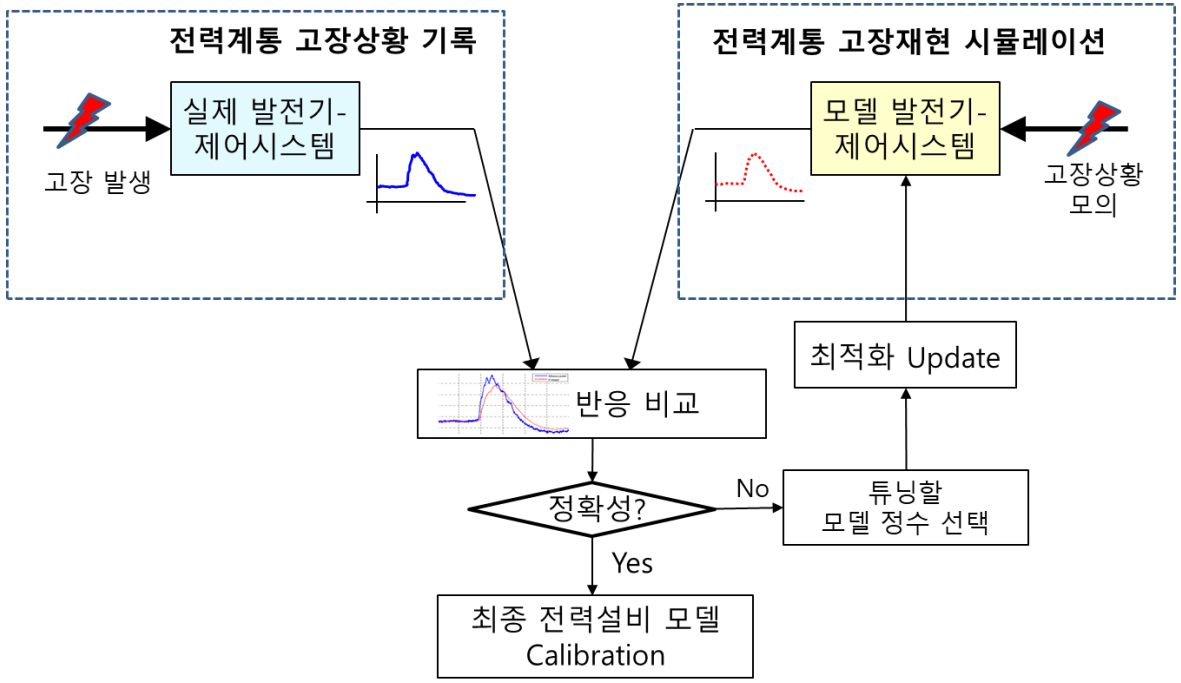


(참고: gtv.keri.re.kr)



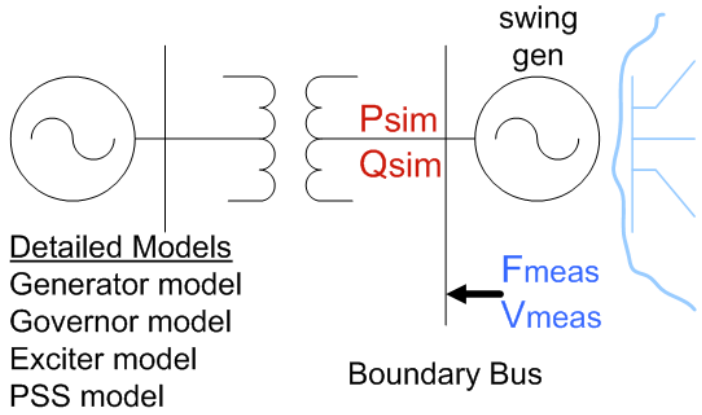


모델검증 (2) : 외란 데이터 이용



1) PMU 외란 측정

- 발전설비 또는 연계점에 PMU/GDR/DFR 설치 및 기록
- 외란 시 F, V, P, Q 측정



2) 외란 발생시 계통상황 모의

- 발전기-무한모선
- 측정Data (입력): F_{meas} & V_{meas}
- 모의Data (출력): P_{sim} & Q_{sim}

동기기/제어시스템 기본모델과 검증방안

문 영 환 (KERI)

발전플랜트 표준모델 (안)

발전기 표준모델

모 델 명	모델 설명	비 고
GENROU	2차 포화함수	원통형 발전기
GENROE	2차 지수함수	원통형 발전기
GENSAE	q축 포화특성 포함	돌극형(수력) 발전기

조속기/터빈 모델

모델명	모델 설명	비 고
IEEEG1	화력기 모델	
GGOV1	가스터빈 모델	GE 가스터빈 모델
GAST	가스터빈 모델	저용량이나 계획용
GAST2A	가스터빈 모델	온도제어
TGOV3	화력기 모델	Fast valving 모델
LCFB1	터빈 Load 제어기	
PIDGOV	수력기 모델	PI 제어기
HYGOV	수력기 모델	
DEGOV	디젤엔진	

여자기/PSS 모델

모 델 명	모델 설명	비 고
EXST1	정지형 여자기	Lead-Lag 제어기
ESST1A	정지형 여자기	Lead-Lag 제어기
ESST4B	정지형 여자기	PI-AVR 제어기
ST6B	정지형 여자기	PI-AVR 제어기
IEEEX2	Brushless 여자기	저용량 여자시스템
AC7B	Brushless 여자기	EX2000 제어기
EXPIC1	Brushless 여자기	PI-AVR
IEEEST	PSS 모델	단일입력 (Pe)
PSS2A	PSS 모델	다중입력 (Pe, f)
PSS2B	PSS 모델	다중입력 (Pe, f)
MAXEX2	OEL 모델	Maximum Excitation Limiter

GENROU (원통형, 화력기)

➢ 가정

1) 초기과도 시간대 회전자 돌극성은 무시 (*X″q = X″d*)

2) 각 축 별로 권선 간의 상호 인덕턴스는 같음

- d-axis :*Lmd = Lfkd = Laf = Lakd*
- q-axis *Lmq = Lakq*

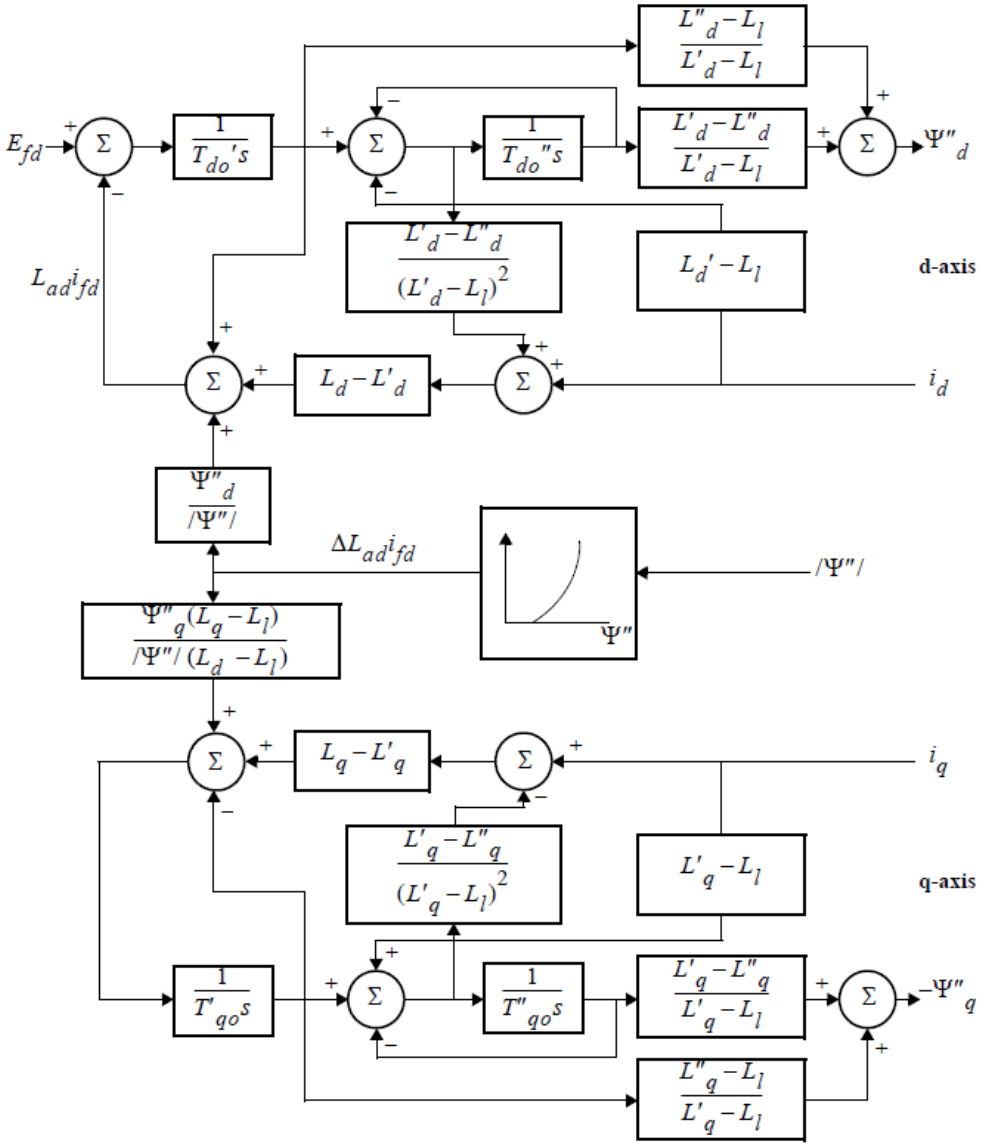
3) 포화 : 개방회로(무부하) 포화곡선에서 모델링
(2차 함수로 맞춤)

✓ 포화특성

① 모든 인덕턴스의 포화는 같은 수식 형태

② 포화는 발전기 출력에 따라 변하지 않음

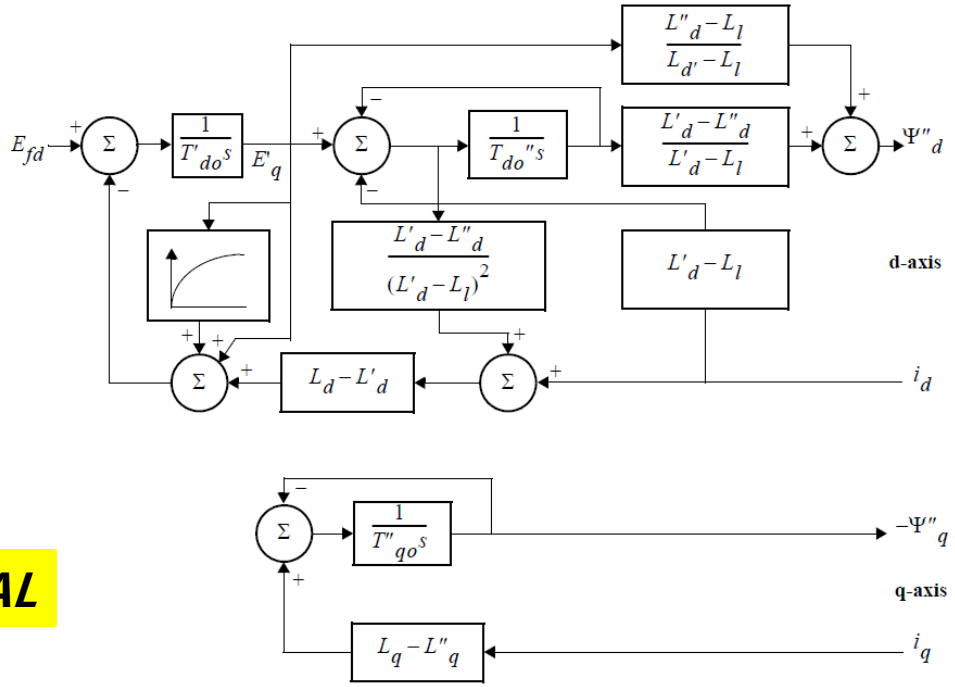
③ 포화함수: 초기과도 리액턴스*(X″d)* 배후 전압의 함수



GENSAL (돌극형-수력기)

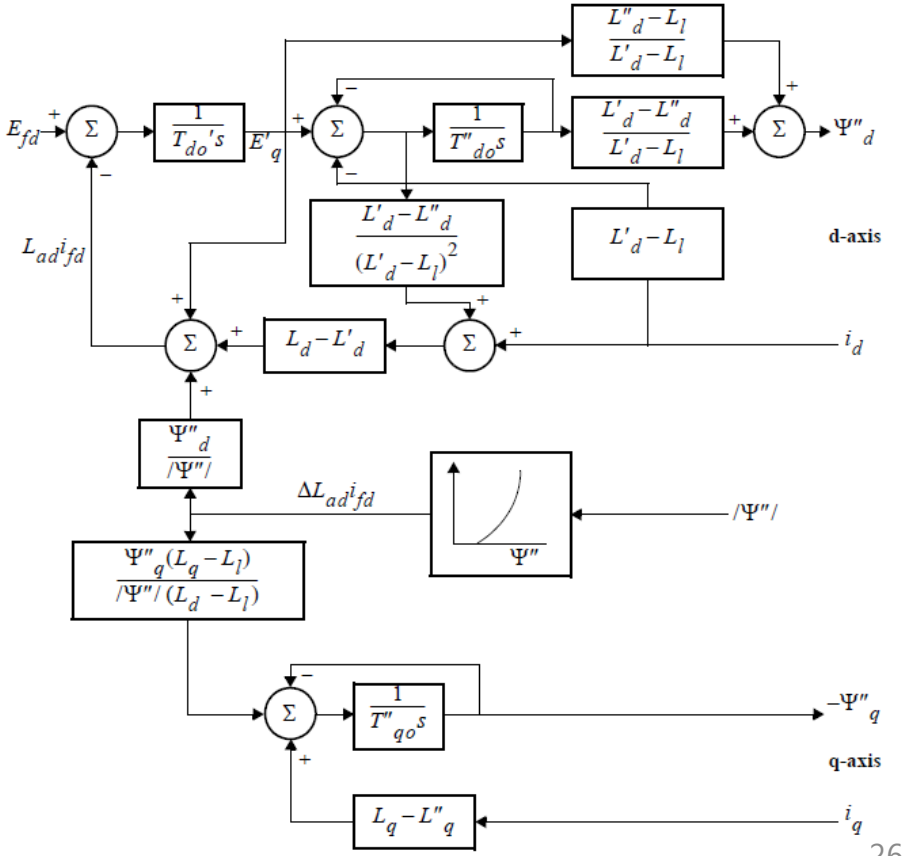
1) 돌극기: q축은 철의 분포가 작음 ☞ 과도특성 무시 (*X'q T'qo* 생략)
2) d축 : 회로/블럭도는 GENROU와 동일 (q축 포화: 무시) ☞ *X"q =X"d*
3) q축 : 과도특성이 제거되면서 매우 단순
4) 차이점: 포화가 과도 리액턴스*(X'd)* 배후의 전압의 함수

GENSAL



GENSAE

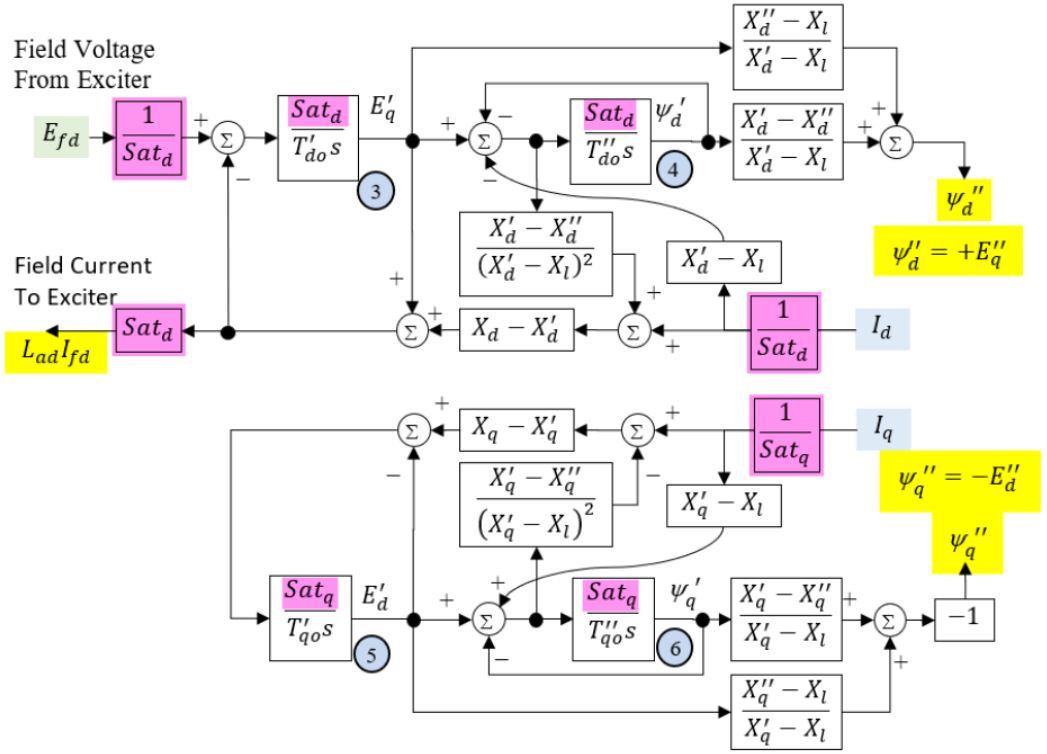
➢ 최근 연구결과 GENSAL 보다는 GENSAE 모델 사용을 권장 (계자전류 및 부하각 오차의 개선효과)



GENTPW & GENQEC 모델

1. GENTPW 모델 (PowerWorld©)

- 수식은 GENTPJ와 같으나 포화를 다이나믹 방정식과 여자전압/전류에 적용시키는 방식



2. GENQEC 모델 (BC Hydro)

부하시 회전자권선의 누설 리액턴스를 감안하여 이를 누설전류원으로 모의하여 계자전류를 보상(증가)하도록 하는 방식

➢계자전류 보상 = (보상계수 K_w)* (I_d 출력계수)

- GENTPJ / GENQEC 모델의 보상계수 선택

✓발전기 고출력에서 **모델 pu 계자전류**가 **실제 측정값을 사용한 계산한 값**에 가깝도록 선정

✓계자전류가 클 때 (고출력) GENQEC 정확도는 분명히 개선 - 원통형, 돌극기, 대용량, 소용량 발전기

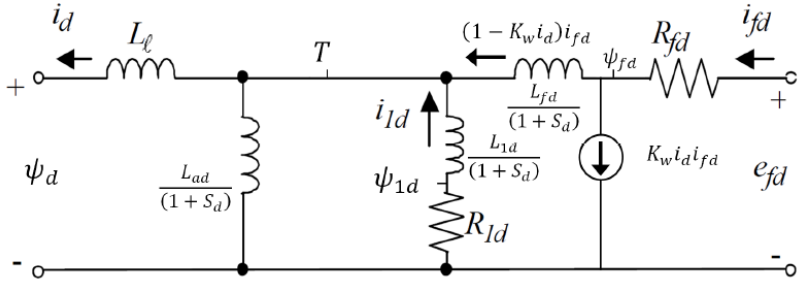


Fig. 5. Generator D-axis Equivalent Circuit With Saturation

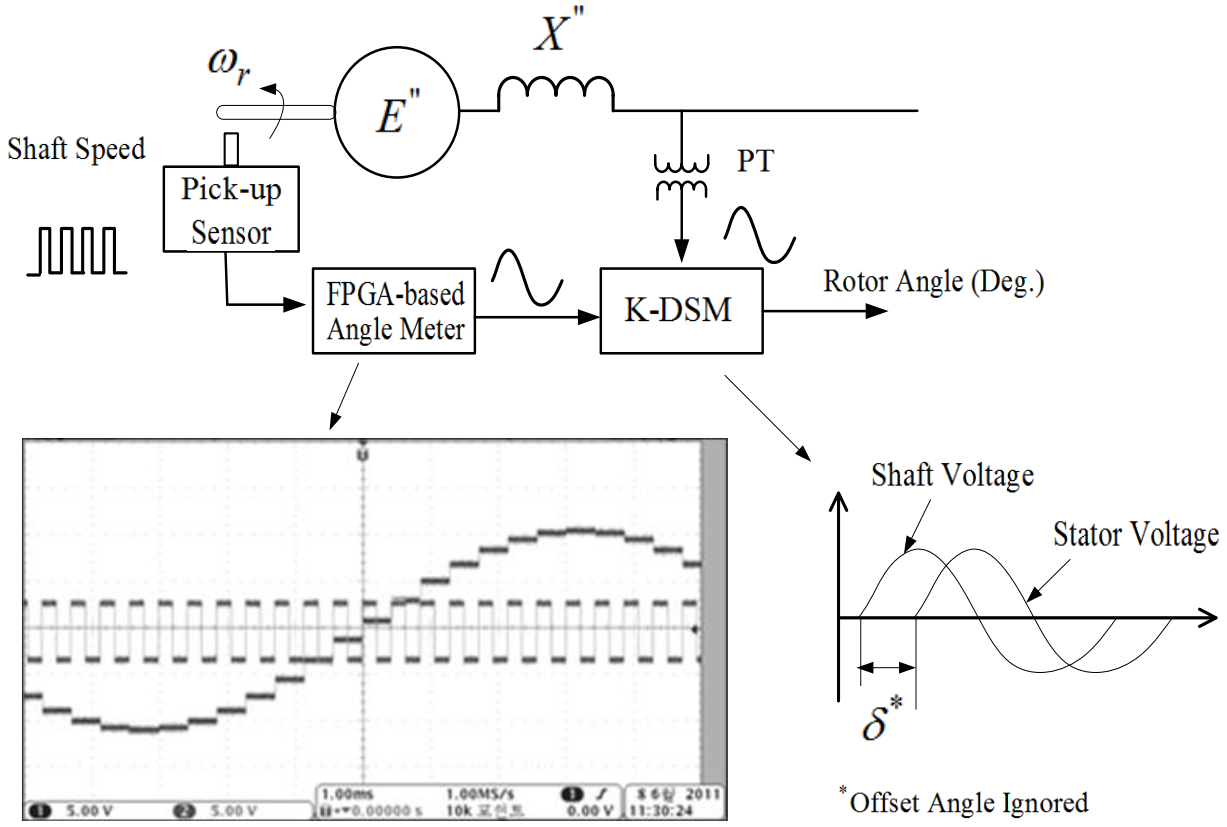
GENROU-GENSAL-GENTPJ 모델의 비교

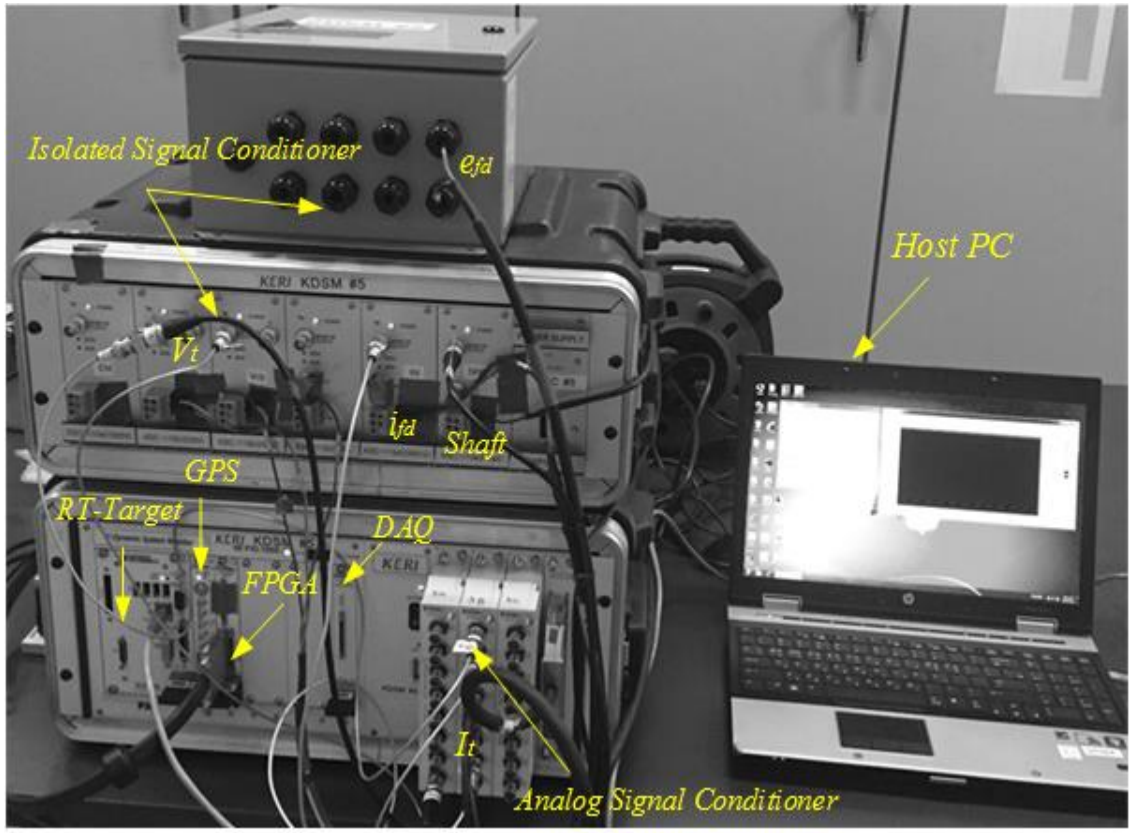
	GENROU	GENSAL	GENTPF/GENTPJ
모델의 역사	PSS/E 모델로 40여 년 사용 중	좌 동	PSLF(2009) 패키지에서 처음 사용
철심 포화의 영향 반영	• d축, q축 모두 포화 고려 (포화곡선에서 계수 도출))	• d축 포화만 고려 ✓ **Q축의 포화를 반영하는 GENSAE 모델을 권장함**	• 포화 함수의 입력으로 사용된 내부전압 (Flux)의 계산에 Kis 계수 추가 (고정자 전류성분 포함) ✓ Kis 계수는 내부전압/Flux를 증가시켜 주어진 운전조건에 대해 고려되는 자기포화량조정은 가능 ✓ 포화가 부하전류 영향이 있는지 의문임
계자전류, Ifd	• 모의 계산값이 다소 낮음 (NERC는 포화영향이 부족하다고 판단) ✓ Ifd→ Xd 값 결정 영향 (V-곡선)	좌 동	• 발전기 운전 범위에서 동기 발전기의 과도 및 정상상태 계자전류 응답 모의결과가 더 좋다고 판단 • 시험에 의한 발전기 권선정수 도출의 난점은 해소 ✓ 무부하 상태(고정자 전류 = 0)에서는 잘 맞지 않음
부하각 측정	• 발전기 축신호 신로에서 부하각을 측정하여 d-q 축 전압, 전류 성분 추출 ✓ 부하각→ Xq 값 결정 영향(V-곡선) ✓ 측정결과 q축의 포화가 더 크므로 제작사보다 작음 ✓ 현재 Xq는 V-cureve 다양한 운전조건에서 최적값 도출 ✓ Xq는 발전기 q축 초기위치 결정	좌 동	• 측정하지 않음 ✓ **원통형의 경우 Xd ≈ Xq 이므로 발전기 q축 초기 위치는 GENROU에 비해 커짐 (보수적 해석 결과)**
모델 발전기 권선 정수	• V-curve 시험과 부하차단시험으로 결정 • $Xq''=Xd''$ 가정 → 회로모델 단순화	좌 동	• 제작사 제공 모델 데이터를 거의 그대로 사용하며 Kis 정수를 사용 (V-curve 에서 도출) • $Xq''<>Xd''$ 초기과도 리액턴스 돌극성 가능
검토 결론	• 표준 모델로서 계속 사용	표준 모델로서 GENSAE 사용	• **조건부 사용을 권장함 (부하각을 측정하지 않으므로 기존의 발전기 q축 위치 추정과 일관성 유지 대책 마련이 필요)**

국내 발전기 특성시험 항목

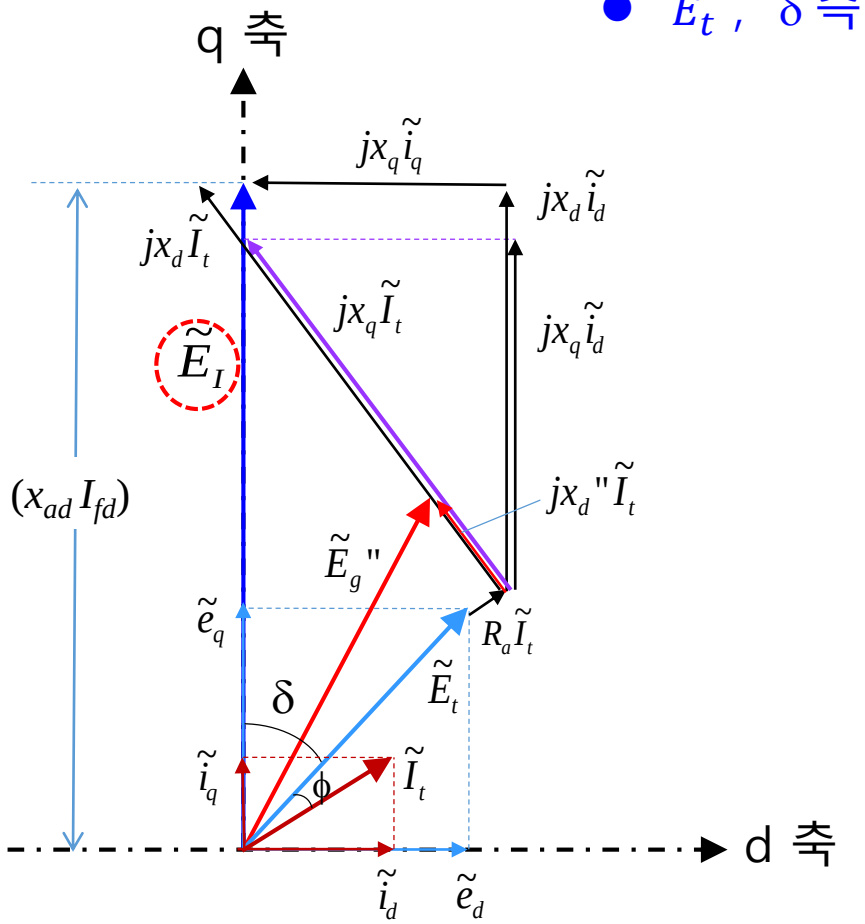
시 험	내 용	목 적
V-curve 측정 시험	ㅇ 유효출력 조정 : 100%, 75%, 50%, 25% MW ㅇ 무효출력 조정 : -20%, -10%, 0%, 10%, 20% 30% MVar	(I_{fd}-V_t 곡선 도출) 단자전압/전류, 계자전압/전류, 부하각을 측정하여 최적 X_d와 X_q 값 산정
무효전력 한계 시험	ㅇ 최대 무효전력 시험(과여자) ㅇ 최소 무효전력 시험(저여자) ㅇ 정격 출력 100% MW에서 단자전압 조정 (상한, 하한 각 15분 유지)	발전기의 무효전력 출력범위 확인
온라인 AVR 스텝응답 시험 (PSS특성시험)	(PSS 설치 발전기) ㅇ 100% MW, 0% Mvar 출력 유지 ㅇ 단자 기준전압을 ±2% Step 조정	- PSS 응답특성 확인 - 발전기/제어시스템 모델 종합 검증
	(PSS 비설치 발전기) ㅇ 임의의 MW, Mvar 출력 유지 (50% 이상 MW 권장) ㅇ 단자 기준전압을 ±2% Step 조정	- PSS 설치가 안된 플랜트의 - 발전기/제어시스템 종합 검증
온라인 조속기 스텝 응답 시험	ㅇ 발전기 정상 출력조건 ㅇ 발전기 부하/속도 기준값 스텝 변동 (주파수 0.1 Hz 이상)	- 정상 운전 상태에서 터빈-조속기의 주파수 조정 동특성 평가
부하차단 시험 (GCB 개방)	ㅇ 0 MW, -20% Mvar 진상출력 차단 ㅇ 수동 계자전압조정 (MVR) 상태	고정자 d축 정수 도출 X_d, X_d', X_d'', T_{do}', T_{do}''
	ㅇ 10% MW, 수% Mvar 진상출력 차단 ㅇ 수동 계자전압조정 (MVR) 상태	고정자 q축 정수 도출 X_q, X_q', X_q'', T_{qo}', T_{qo}''
	ㅇ 25%MW. 10% Mvar 차단 ㅇ 자동계자전압조정 (AVR) 상태 ㅇ 부하각 측정 시 1회 차단만으로 가능 (수동차단 생략 가능)	온라인 상태 여자시스템 동특성 모델링
여자시스템 STEP 시험 (무부하)	무부하, 정격속도, AVR 운전 상태 ㅇ 단자 기준전압을 ±2% Step 조정	무부하 상태의 AVR- 여자시스템 동특성 모델링
발전기 포화 특성 시험	ㅇ 발전기 무부하, 정격속도 상태 ㅇ 여자전류를 조정하여 정격단자전압을 70%→105%로 증가하면서 측정	발전기 고정자 권선의 포화정수 S(1.0), S(1.2) 도출

부하각 계측방법 및 장비 (K-DSM)





발전기 전압/전류 벡터도
(정상 운전상태)



- $\tilde{E_t}$, δ 측정값 ⇒ $\tilde{E}_I = \tilde{E}_t + x_d\tilde{i}_d + jx_q\tilde{i}_q$

⇒ d축, q축의 위치 결정

고정자 권선 동기리액턴스 X_d, X_q 검증

PSS/E **VCV.exe** → 각 운전점에서 계자전류 (I_{fd})와 부하각(δ) 계산

계산값~측정값과 비교

$$\min \sum \frac{1}{2}\left\{\left(i_{fd_mea} - i_{fd_cal}\right)^2 + \left(\delta_{mea} - \delta_{cal}\right)^2\right\}$$

→ 최적 X_d & X_q 결정

✓ X_d는 계자전류의 계산값~측정값 편차에 영향

✓ X_q는 부하각의 계산값~측정값 편차에 영향

측정된			측정된	모의된	% error	측정된	모의된	error
V_t (kV)	P_e (MW)	Q_e (Mvar)	계자전류 (A)	계자전류 (A)		부하각 (deg)	부하각 (deg)	(deg)
26.100	1017.360	157.254	4143.336	4069.431	1.784	49.276	49.302	-0.026
26.374	1020.160	214.908	4341.355	4279.419	1.427	46.546	46.265	0.281
26.682	1020.360	296.555	4627.800	4588.033	0.859	43.301	42.480	0.821
27.131	1021.850	391.568	5025.655	4998.561	0.539	39.651	38.417	1.234
27.585	1022.120	495.638	5508.973	5482.637	0.478	36.135	34.631	1.504
26.090	768.024	113.505	3372.400	3319.859	1.558	42.327	43.850	-1.523
26.497	768.017	200.100	3669.791	3654.440	0.418	39.021	38.963	0.058
26.937	768.253	299.796	4072.236	4082.731	-0.258	34.822	34.313	0.509
27.396	769.973	393.457	4521.800	4534.333	-0.277	31.460	30.621	0.839
27.619	770.973	448.132	4795.018	4804.830	-0.205	29.841	28.837	1.004
26.082	505.534	78.334	2673.755	2655.759	0.673	33.063	34.318	-1.255
26.618	502.103	191.331	3104.082	3143.347	-1.265	28.039	28.213	-0.174
27.112	502.527	299.496	3599.245	3664.643	-1.817	24.318	23.989	0.329
27.559	504.043	400.996	4128.220	4188.607	-1.463	21.451	20.972	0.480
26.070	349.928	37.487	2249.709	2253.568	-0.172	25.830	27.141	-1.311
26.835	350.545	200.843	2933.364	3015.627	-2.804	19.914	19.977	-0.063
27.241	351.956	292.639	3386.273	3482.029	-2.828	17.608	17.325	0.283
27.469	351.956	341.609	3642.427	3742.863	-2.757	16.384	16.106	0.278

절대치 평균 % 계자전류 오차 Index: 0.352%, 부하각 오차 Index: 0.198 deg

발전기 차단시험 *Partial Load Rejection Test*

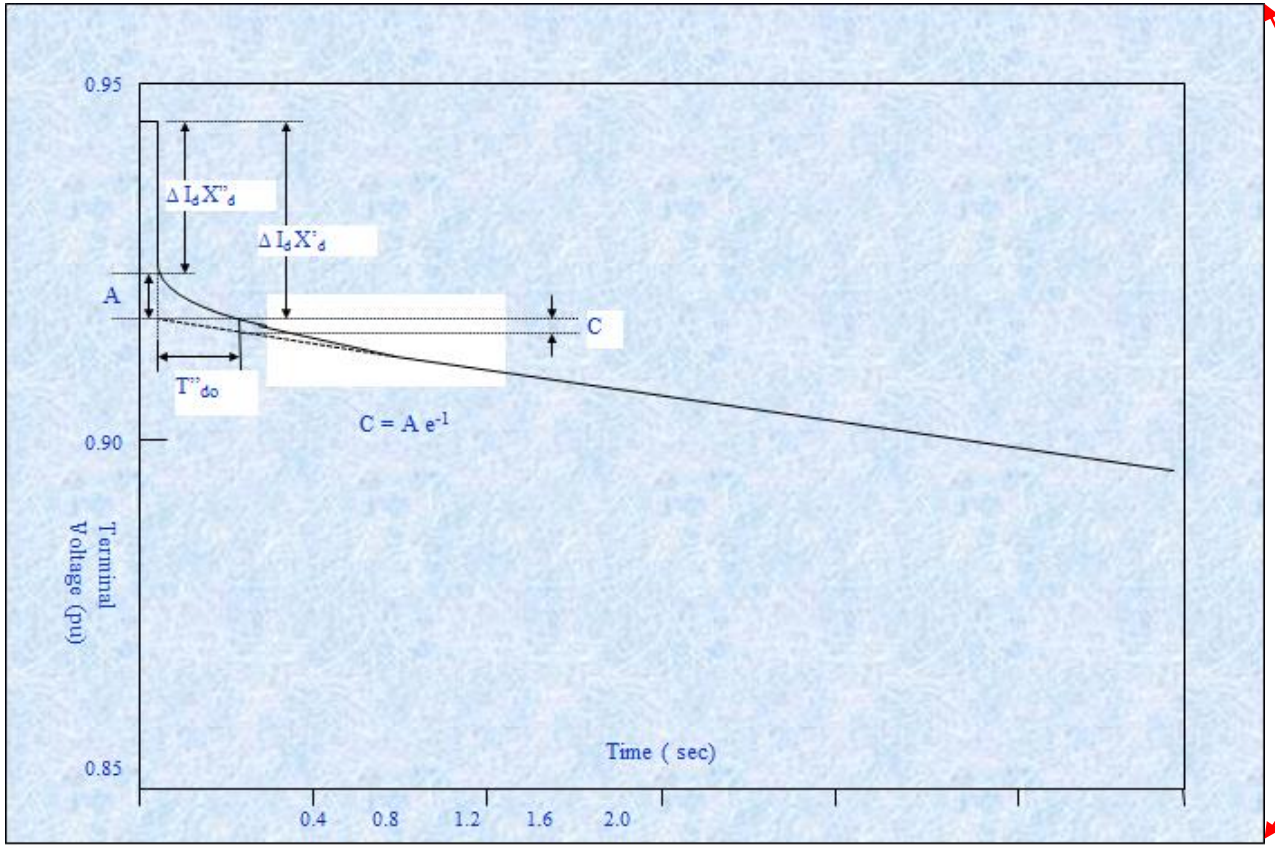
- 과거 저출력(15% MW) 조건에서 발전기 차단 시험을 3~5 차례 시행
  - d축, q축 정수 도출을 위한 MW에 대한 Mvar 출력을 조정
  - 여자시스템을 AVR 및 MVR 모드로 운전

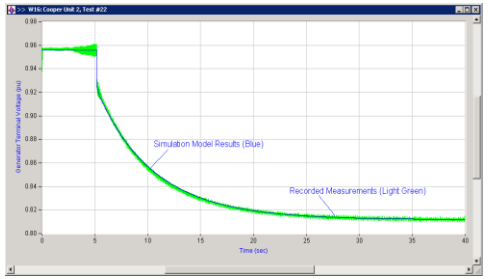
- 발전기 부하각(Load angle)을 측정하면 1회 출력차단 시험으로 고정자 정수 도출이 가능
  - 15% MW/ 7% Mvar, AVR 운전 상황에서 GCB 차단 후 약 30 초간 측정
  - V_t, I_t, I_{fd}, E_{fd}, 발전기 RPM, Load angle, 조속기 신호 등 측정
  - 미리 출력 차단 직후의 발전기 과속수준 예측과 대비 필요
  - 발전기 축에서 magnetic pick-up 신호 측정 필수 (Load angle)
  - 측정된 부하각을 이용 ☞ d축, q축 전압신호 변화를 산출하여 각 축의 정수들을 도출
  - 온라인 AVR Step 응답 시험 데이터를 활용하여 Calibration 검증

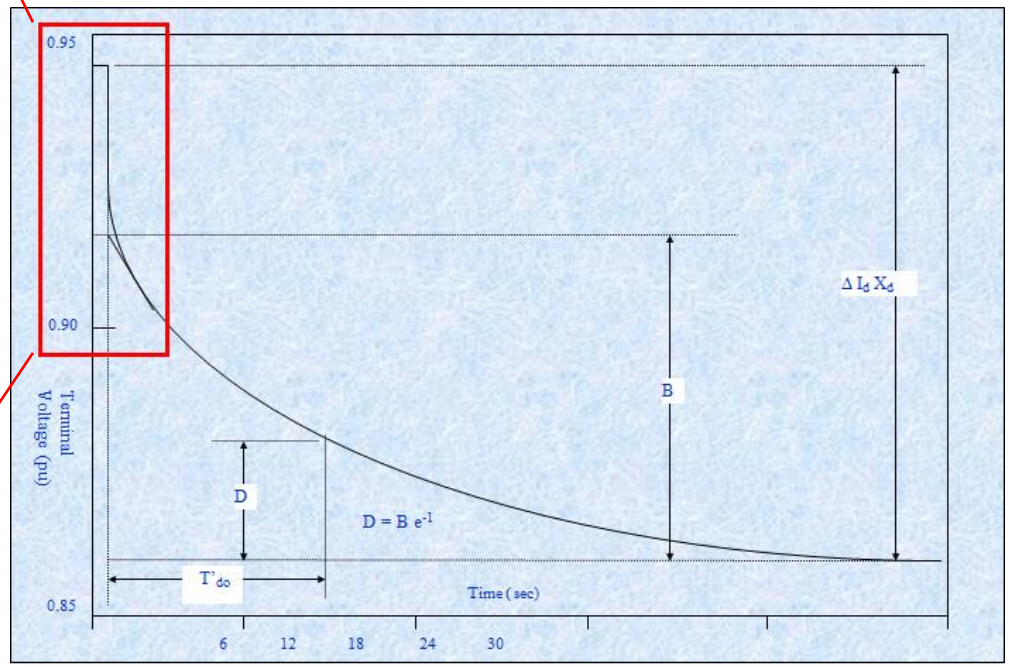
- 유의 사항
  - 진상/지상 무효전력 출력시 부하 차단시험 – 일부 디지털 여자시스템은 발전용차단기(GCB)가 개방되면 AVR 또는 Limiter dynamic setting이 달라질 수 있으므로 분석할 때 주의
  - 제작사에 따라 일정 계자전압(FVR)방식이 아닌 일정 계자전류(FCR) 방식을 사용할 경우 d/q축 정수 도출 곤란
  - 계자전압조정장치(DC형) 또는 계자전류조정장치(FCR) 사전 세팅값의 해제 검토
  - 역전력 계전기를 일시 정지 필요 검토

d축 리액턴스와 시정수 결정 (계속)

- 순수 진상 무효전력 부하 차단시 발전기 단자전압의 변화 (과도 정수)

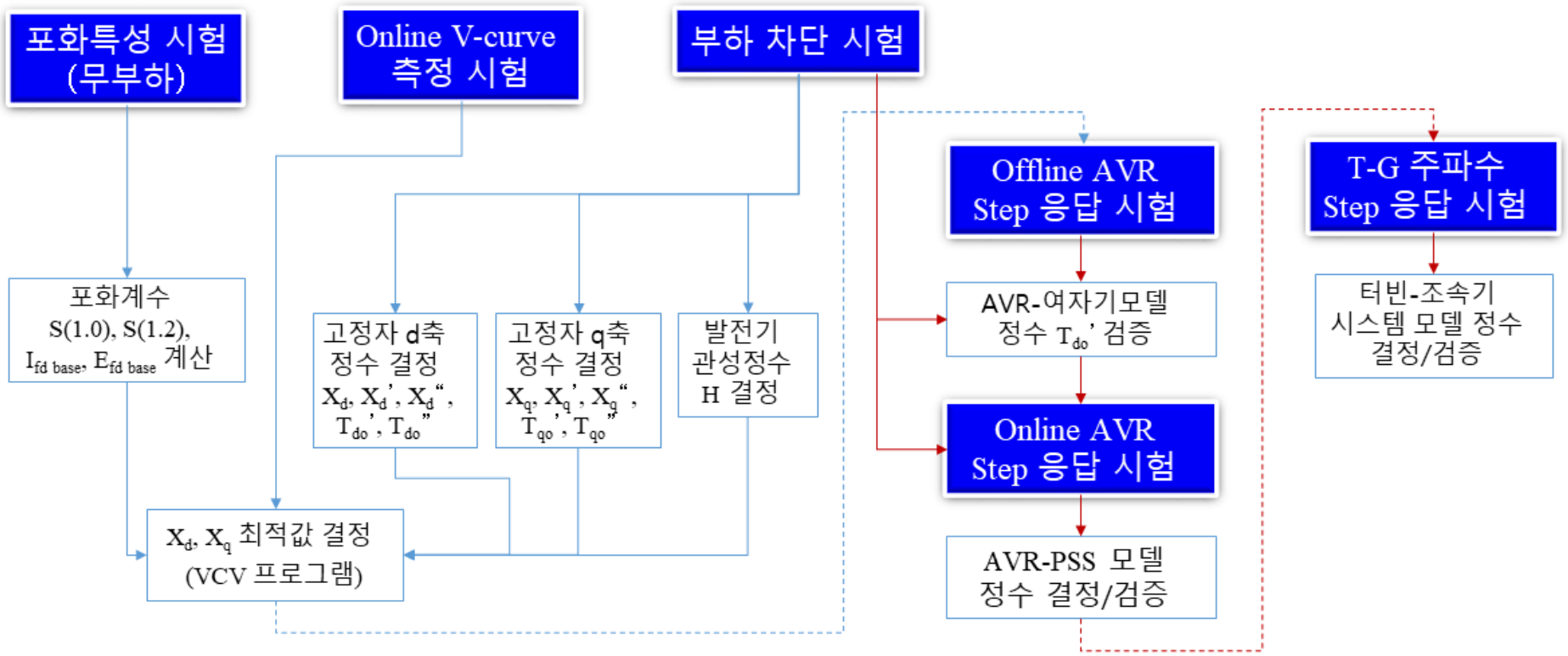






발전기 특성시험 분석과 모델 정수 도출 절차

1. 정상상태 포화곡선, V-curve 곡선 데이터를 이용한 동기기 정수 도출
2. 부하차단시험, AVR Step 반응 데이터를 이용한 동적 모델 정수 도출
3. 정적, 동적 측정 데이터 및 시뮬레이션을 통한 최종 모델 정수 결정



발전플랜트 모델링 요약

1. 동기기 신규 모델 (GENTPJ 등)의 필요성 추가 검토
   - X_q 결정을 위한 시험의 중요성
   - V curve 시험 및 부하차단시험 (부하각 측정)

2. AVR/PSS 모델링 검증 시험절차 표준화 필요
   - 부하 차단시험 시 MVR 모드 유지 (일정 E_{fd} 유지 필요)
   - PSS 측정 시험 절차 정립 필요

3. 터빈-조속기 모델링 검증
   - 주파수 스텝 변동시험 추가
   - 동특성 계측장비를 이용한 외란데이터 기반의 효과적인 모델검증 (풍력/태양광 단지 모델링)

1차년도 WG 활동 요약

1. 표준화 대상 모델의 종류와 특성을 중점 검토
   ① 발전기/여자시스템 : 전력거래소 권장 기본 모델을 중심으로 검토. 신규 동기기 모델과 WECC 시험방법 문제점 검토
   ② 풍력/태양광: PSS/E에 포함된 Generic 모델의 특성 분석
   ③ HVDC/FACTS: PSS/E에 포함된 모델의 특성과 UDM 적용 검토

2. 2차년도 WG 활동 계획
   - 표준 모델의 추가 선정과 시험/검증 방법 표준화를 중점 검토 예정
   - 추계/하계/추계 학술대회 토론회 및 비대면 화상회의 활용
   - 최종 보고서 작성

최종보고서 목차 (안)

목 차	참여자 (주 작성자)
제1장 전력계통 모의 해석 기술	문영환
제2장 동기기 및 제어시스템 모델링 2.1 동기기 2.2 AVR-여자제어시스템 2.3 터빈-조속기 제어시스템	김동준, 이용희, 임익헌
제3장 신재생전원 모델링 3.1 태양광발전 플랜트 3.2 풍력발전 플랜트 3.3 에너지저장장치 3.4 연료전지	허 견, 허 진, 김재경
제4장 송배전 설비 모델링 4.1 HVDC 송전시스템 4.2 FACTS	장길수, 권도훈
제5장 모델의 검증과 표준화 4.1 해석용 모델의 검증방안 (안) 4.2 PSS/E용 계통해석 표준모델 (안)	국경수, 서영준, 이윤환
제6장 결론	WG 멤버

워킹그룹 활동 계획

세부 일정	추 진 일 정												비 고
	2020 년												
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	
• Kick-off 회의 및 추진계획 수립 • 모델링 기술 분야별 담당자 선정		■											
• 모델링 기술별 현황 및 자료 분석 (1차)					■								전력계통 연구회 춘계
• 워킹그룹 발표 토의- 모델링 기술별 현황 및 자료 분석 (2차)							■						하계 학술대회
• 모델링 기술별 현황 및 자료 분석 (3차) • 최종보고서 목차 검토											■		하계 학술대회
• 1차년도 활동사항 이사회 보고												■	A부문 이사회
세부 일정	2021 년												비 고
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	
• 모델링 시험검증 관련 초안 검토 (4차)					■								전력계통 연구회 춘계
• 워킹그룹 발표 토의- 설비별 모델링 보고서 초안 검토 (5차)							■						하계 학술대회
• 최종보고서 검토 및 보완 (6차)											■		A부문 추계학회
• 최종보고서 제출 및 이사회 최종보고												■	동계세미나 및 A부문 이사회

참고문헌

1. NERC, "Reliability Guideline : Power Plant Model Verification and Testing for Synchronous Machines", July, 2018
2. NERC, "Reliability Guideline : Power Plant Dynamic Model Verification using PMUs", Sept., 2016
3. NERC, "Reliability Guideline : Power Plant Model Verification for Inverter-Based Resources", June, 2018
4. NERC, "Applicable NERC Reliability Standards", Power Plant Model Verification and Testing Workshop, September, 2016
5. NERC, " Modeling Notification - Use of GENTPJ Generator Model," Nov. 2016
6. North American Synchrophasor Initiative (NASPI), "Model Validation Using Phasor Measurement Unit Data," March 2015
7. WECC Test Guidelines for Synchronous Unit Dynamic Testing and Model Validation, 2010
8. WECC Generating Unit Model Validation Policy, 2012
9. WECC Generator Testing Policy Implementation, 2010
10. WECC Generating Facility Data, Testing and Model Validation Requirements , 2012
11. WECC Approved Dynamic Model Library, Jan. 2018
12. WECC Criteria to Determine Excitation System Suitability for PSS in WECC, 2010
13. WECC Solar Plant Dynamic Modeling Guidelines , 2014
14. WECC Wind Plant Dynamic Modeling Guidelines, 2014
15. Siemens PTI, "PSS®E Dynamic Simulation Models for Different Types of Advanced Pumped Storage Hydropower Units," 2013
16. IEEE Task Force on Generator Model Validation Testing, "Guidelines for Generator Stability Model Validation Testing", Proc. of the IEEE PES General Meeting, Tampa, FL, June 2007
17. IEEE Technical report PES-TR-1, "Dynamic Modes for Turbine- Governors in Power System Studies," IEEE Power & Energy Society, Jan. 2013
18. Pourbeik, P. 2014. Using PMU Data for Model Validation of Wind Power Plants, in IEEE Power Engineering Society General Meeting. IEEE: National Harbor, MD.
19. Pourbeik, P. and G. Stefopoulos. 2013. Model Validation of SVC and STATCOM Using PMU Data, in NASPI Model Validation Technical Workshop. North American SynchroPhasor Initiative: Chicago, IL.
20. P. Pourbeik, "Automated Parameter Derivation for Power Plant Models From System Disturbance Data," 2009 IEEE Power & Energy Society General Meeting
21. P. Pourbeik, J. Sanchez-Gasca, J. Senthil, J. Weber, P. Zadehkhost, Y. Kazachkov, S. Tacke and J. Wen, "Generic Dynamic Models for Modeling Wind Power Plants and other Renewable Technologies in Large Scale Power System Studies", IEEE Trans. on Energy Conversion, September 2017, Vol. 32, No. 3, Page(s): 1108 – 1116.
22. Ö. Göksu, P. Sørensen, J. Fortmann, A. Morales, S. Weigel and P. Pourbeik, "Compatibility of IEC 61400-27-1 Ed 1 and WECC 2nd Generation Wind Turbine Models," Conference: 15th International Workshop on Large-Scale Integration of Wind Power into Power Systems as well as on Transmission Networks for Offshore Wind Power Plants, November 2016.
23. G. Lammert, K. Yamashita, L. D. Pabón. Ospina, et. al., "International Industry Practice on Modelling and Dynamic Performance of Inverter Based Generation in Power System Studies," CIGRE Science & Engineering Vol. 8, June 2017.
24. CIGRE C4.601 WG, "Wind turbines - Electrical simulation models for wind power generation," TB328, Aug. 2007.
25. International Electrotechnical Commission (IEC) TC88 WG27, "Wind turbines – Electrical simulation models for wind power generation," [Online]. Available: http://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:14:0::::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:5613,25
26. IEC 61400-27-2 Ed. 1: "Wind energy generation systems – Part 27-2: Electrical simulation models – Model validation," CD as of Feb. 2017.
27. FGW, "Technical guidelines for power generating Units and Systems Part 4, -Demands on Modelling and Validating Simulation Models of the Electrical Characteristics of Power Generating Units and Systems," FGW -TR4, Rev-08, Jan. 2016.
28. 전력계통신뢰도 및 전기품질 유지기준 (지식경제부, 2019.11.01.)
29. 전력시장운영규칙 제8절(전력계통 안정운영 및 자료제공) 2019.12.
30. 전력시장운영규칙: 기술평가 세부운영규정 제7장 전력설비 동특성자료 제출 및 심사기준 ('20.10.01)
31. 연구보고서, "발전기 기술특성시험.시험항목 규정화 및 검증관리 상세절차 수립 연구", 전력거래소/전기연구원, 2019. 8
32. 연구보고서, "PMU 데이터를 활용한 발전기 안정도 해석용 모델 파라미터 검증방법 수립 연구", 전력거래소/전기연구원, 2017. 6
33. 연구보고서, "발전기 안정도해석 파라메터 도출 및 검증기법 표준화 연구", 전력거래소/전기연구원, 2006. 6.
34. 연구보고서, "전력계통 안정도해석용 발전기 제어계 모델 결정에 관한 연구, 한국전력공사/전기연구원, 1996. 10.
35. KERI 발전기 특성시험 홈페이지: gtv.keri.re.kr