

EMTDC를 이용한 KERISIM 모델개발 및 상정사고 해석

윤재영* 문영환
한국전기연구소

Development of KERISIM model and contingency analysis using EMTDC

Jae-Young, Yoon Young-Hwan, Moon
KERI(Korea Electrotechnology Research Institute)

Abstract - KERISIM(KERI Simulator)은 한국전기연구소가 개발한 회전기형 시뮬레이터로서 AC/DC 비동기 연계계통을 포함한 복합계통의 다양한 동태현상에 대한 분석이 가능하다. 본 논문에서는 한국전기연구소의 전력계통 분석용 시뮬레이터에 대한 EMTDC 해석모델을 개발하고 이를 활용하여 상정사고 해석을 수행함으로써 제어기 설계를 위한 성능시험을 할 수 있는 기본 바탕을 마련하였다. 즉, KERISIM을 구성하고 있는 개별 기기들의 설계사양을 기술하였으며, EMTDC 해석모델의 구성요소들을 살펴보았다. 이와 같이 개발된 EMTDC 모델을 활용하여 Rectifier 및 Inverter측 교류모선에서 3상고장 상정사고 해석을 수행하였으며, 그 해석결과를 분석하였다.

상하는 전변도로서 구성요소인 송전선로 모듈 및 기기타기 등을 나타낸 것이다.

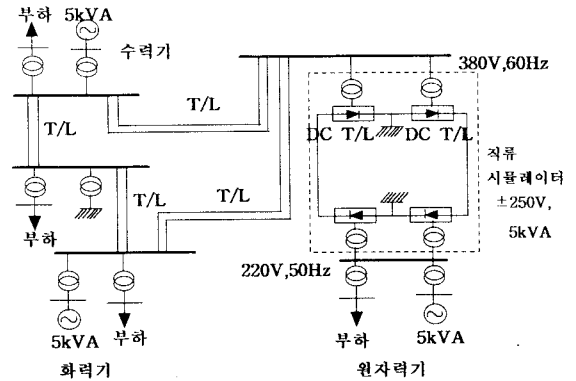


그림 2-1 AC-DC 시뮬레이터 단선결선도

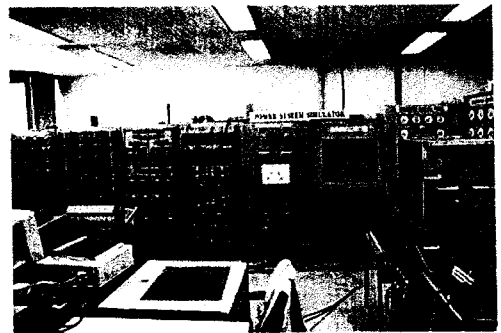


그림 2-2 KERISIM 전면도

1. 서 론

전력계통 시뮬레이터는 전력기기 모델의 구현방식에 따라서 일반적으로 아날로그형과 디지털형 및 이를 조합한 하이브리드형으로 분류되고 있다. 각 방식은 사용목적, 해석현상의 특성 및 계통규모에 따라서 장단점을 가지고 있다. 아날로그형 시뮬레이터는 현재 널리 사용되고 있는 디지털 시뮬레이터와는 달리 초창기에 유형했던 형태로서 시뮬레이터의 설계와 구성 및 시뮬레이터를 활용한 계통해석 실무경험을 가장 효과적으로 축적할 수 있다는 점에서 큰 장점을 가지고 있다. 또한, RTDS와 같은 디지털 시뮬레이터와 결합하여 하이브리드형 시뮬레이터를 구성하는 부가적인 장점도 있다.

한국전기연구소에서는 국내 최초로 회전기형 시뮬레이터인 KERISIM을 개발하였으며, 부분적인 성능개선을 위한 보완작업이 현재 진행중이다. 이러한 KERISIM은 5개 모선, 4개 선로, 3개 발전기(수력기, 화력기 및 원자력기 각 1기) 및 AC/DC 변환기와 직류선로로 구성된 회전기형 시뮬레이터이다. 여기서는 이와 같은 KERISIM에 대한 EMTDC 해석모델을 개발하고 이를 활용하여 기본적인 상정사고 해석을 수행함으로써 향후 KERISIM을 활용한 제어기 설계 등 각종 성능시험과 계통분석을 수행할 수 있는 기본바탕을 마련하였다.

2. KERISIM 개요 및 설계사양

2.1 KERISIM 개요

현재 한국전기연구소가 보유하고 있는 계통해석 시뮬레이터인 KERISIM은 한전 345kV 계통을 축소모의한 것으로서 단선결선도를 나타내면 그림 2-1과 같다. 그림 2-1에서 KERISIM은 화력, 원자력, 수력 등 5kVA 정격의 발전기 3대, 무한모선(한전전력 입력단자), 4곳의 부하단자, 4개의 380V 교류 2회선 선로 및 5kVA, ±250V HVDC 선로로서 구성되어 있다. HVDC 선로는 380V, 60Hz 교류계통(화력과 수력)과 220V, 50Hz 교류계통(원자력전원)을 연계하는 역할을 하고 있다. 50Hz 발전기 모의는 MG-set의 전동기 속도조정을 통하여 구현하고 있다. 그림 2-2는 KERISIM을 구

2.2 KERISIM 설계사양

2.1.1 발전기 설계사양

KERISIM내에 있는 3개 발전기는 각각 한전계통내의 표준적인 수력, 화력 및 원자력 전원을 축소 모의한 것이다. 개별 발전기의 각종 임피던스와 시정수 및 포화 특성은 각각 서로 다른데 가능한 실 계통발전기와 일치하도록 설계하였으며, 자세한 정수 값은 참고문헌[1]에 기술하였다. 표 2-1의 축소형 모의발전기의 주요규격에서 1, 2호기는 동일하며 380V, 60Hz인데 반하여 3호기는 220V, 50Hz 발전기이다.

2.1.2 모의 송전선로 설계사양

KERISIM에 포함되어 모의 송전선로는 한전계통의 345kV 480[mm²]×4B 2회선 연가선로를 PI-등가회로로 모의한 것이다. 즉, 345kV 송전선로의 제 정수값

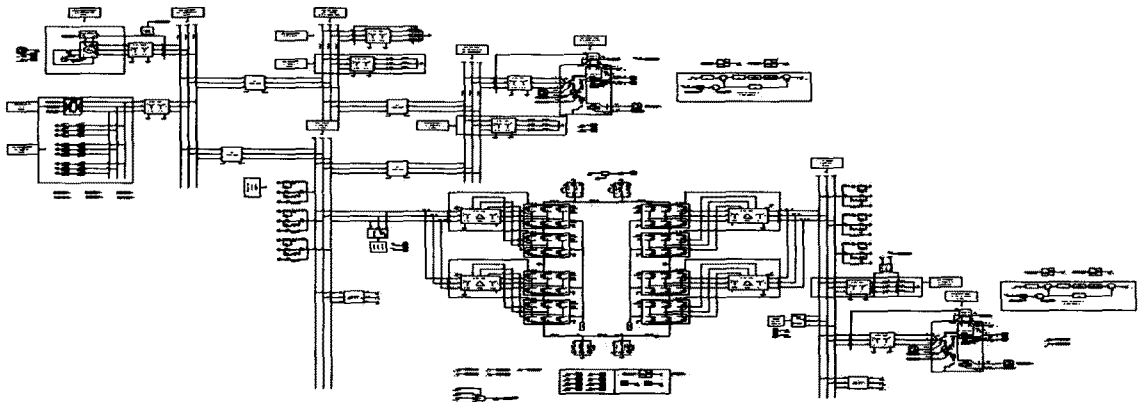


그림 3-1 KERISIM EMTDC 모델계통 단선도

표 2-1 축소형 모델발전기의 주요규격

규격	1, 2호기 (수력, 화력)	3호기 (원자력)
정격출력(kVA)	5.0	5.0
극수(회전수)	4	4(1500RPM)
상수	3상 4선식	3상 4선식
정격전압	380V	220V
정격전류	7.597A	13.122A
회전수(주파수)	1800RPM (60Hz)	1500RPM (50Hz)
여자방식	정지형 브러시	정지형 브러시
Flywheel	가변형	가변형

표 2-3 AC-DC 시뮬레이터 기본사양

규격	60Hz 계통
정격용량	5kW
정격전압, 전류	±250V, 10A
극수	Bipole
펄스수	12펄스/극당 (2개브릿지/극당)
과부하 용량, 시간	150%, 3분이상
연계계통 조건	교류전압 변동폭 10% 이내

과 pu 값이 일치하도록 선로정수를 결정하였으며, 제세한 내용은 참고문헌[1]에 나타내었다.

2.1.3 변압기 설계사양

한전 실 계통의 21/345kV 발전단 승압변압기 및 시뮬레이터에서 부하를 연결하기 위하여 필요한 부하단 변압기를 축소 모의한 것이다. 변압기의 주요 규격은 표 2-2와 같다.

표 2-2 축소변압기 모의 규격

규격	60Hz 계통	50Hz 계통
Type	3상 2권선	3상 2권선
정격용량	5.0	5.0
정격전압	380/380V	220/220V
정격전류	7.597A	13.122A
임피던스	15%	15%
결선방식	$\Delta-Y$	$\Delta-Y$
여자전류	3% 이하	3% 이하
부하손	2% 이하	2% 이하

2.1.4 AC-DC 시뮬레이터

AC-DC 시뮬레이터의 기본정격은 ±250V, 5kW이며, 220V 50Hz 교류발전기를 380V, 60Hz 교류계통과 연계시켜주고 있다. 즉, 주파수가 서로 다른 국가 간 전력계통 연계를 고려하여 서로 다른 계통전압 및 주파수를 가진 두 개의 분리된 전력계통을 직류선로를 활용하여 상호 연계 운전하는 것을 모의한 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 이러한 AC-DC 시뮬레이터의 기본사양과 설비부품을 나타내면 각각 표 2-3 및 표 2-4와 같으며, 자세한 내용은 참고문헌[2]에 기술하였다.

3. EMTDC 모델개발

위에서 기술한 KERISIM의 EMTDC 모델에서 사용한 모의방법을 나타내면 표 3-1과 같다.

표 2-4 직류시뮬레이터 설비부품

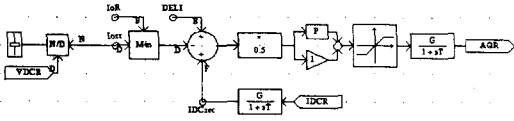
구성기기	정격	갯수	비고
싸이리스터	200(V), 15(A) 이상	48개	컨버터/인버터 각 24개
변압기	2.938(kVA) 380/103.9/103.9(V)	4개	컨버터/인버터 동일
선로저항	0.7869(Ω)	2개	500km 기준, 선로길이 변경가능
직류리액터	12.48(mH), 15(A)	4개	컨버터/인버터 동일
11/13차 필터	0.6(kVA)	4개	상 동
HP 필터	0.6(kVA)	4개	상 동
커패시터	1.2(kVA)	2개	상 동
스위치		18개	시뮬레이터 보호용
접지포인트		14지점	
예비품	위 구성기기별 예비품 1씩		

표 3-1 KERISIM 기기별 EMTDC 모델

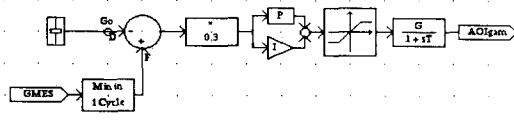
구성기기	EMTDC 모델
발전기	수력기(MAC100), 화력기, 원자력기(SNC375)
발전기제어계	수력기 : SCRX19, HGOV18 화력/원자력 : EXCI35, TGOV1
변압기	XFMR-3P2W
송전선로	PI-section
AC-DC변환기	G6P200
DC제어기	Rec.: 정전력/정전류/VDCOL 제어 Inv.: 정전압/정역유각 제어기
AC/DC 기기	11/13차 및 HP 필터 커패시터, 직류리액터
부하	정임피던스부하, 전동기(SQC100) 정전력부하(VARRLC10)

또한, 계통 동특성에 큰 영향을 미치는 DC 제어기는 기본적으로 PI 제어기로 구성하였다. 즉, Rectifier측 정전류 및 정전력 제어를 모의하였고, 전압이 대폭 저하되는 이상시에는 전류 지령치가 VDCOL제어에 의하여 결정되도록 하였다. 그리고, Inverter측은 평상시 정전압제어기에 의해 운전되다가 전압이 저하될 때는 최소

여유각을 일정하게 유지하도록 되어 있다. 이와 같은 DC 제어기의 기본구성에서 항후 동특성 분석을 유연하게 하기 위하여 KERISIM에서 DC 제어기의 구성형태는 자유롭게 변경할 수 있도록 아날로그형에서 디지털형으로 변환하고 있는 중이다. DC 제어기 중에서 기본적인 기능인 정전력/정전류 및 정여유각 제어블록도를 나타내면 그림 3-2와 같다.



(a) 정전류 및 정전력제어(Rectifier)



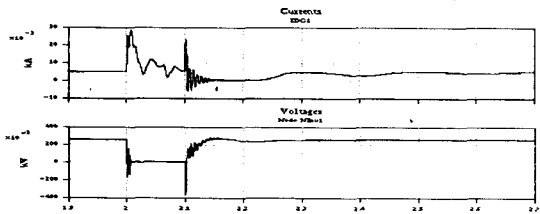
(b) 정여유각 제어(Inverter)

그림 3-2. 주요 DC 제어블록도

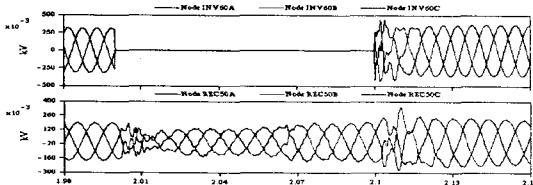
4. KERISIM EMTDC 모델 상정사고 해석

본 논문에서는 KERISIM EMTDC 모델의 시험운동으로서 AC-DC 시뮬레이터의 양단 교류모선에서 3상 지락 사고가 발생하여 6 cycle 동안 지속되었을 때의 동특성을 해석하였다. 고장발생 전 정상상태는 50Hz 원자력기가 1.0pu(5kW)를 생산하며, 이 중 절반은 50Hz 교류부하에 공급하고 나머지 0.5pu(2.5kW, ±250V, 5A)는 DC 선로를 통하여 60Hz 계통으로 수송되는 경우를 가정하였다.

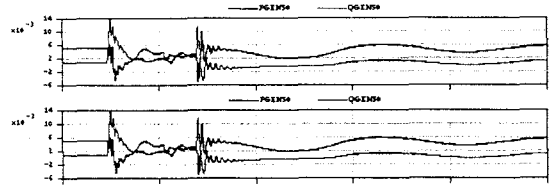
그림 4-1은 Inverter측 380V, 60Hz 교류모선에서 3상고장이 발생할 때의 직류전류/전압, 교류모선 전압 및 화력기 출력전력의 응답특성을 나타낸 것이다. 고장이 발생한 직후 Inverter 교류모선 전압은 크게 저하되며, 그 영향으로 Inverter 직류전압은 역시 강하하지만 직류전류는 반대로 크게 상승함을 알 수 있다. 또한, 고장직후 발전기 무효전력이 순시적으로 유효전력 보다 커지며, 6cycle 이후 고장이 제거되면 제어 동작에 의하여 직류전압/전류 및 발전기 출력전력이 정상상태로 복귀함을 알 수 있다. 그리고, 그림 4-2는 Rectifier측 3상고장시의 응답특성인데, Rectifier 교류모선 전압이 저하되었기 때문에 직류전류도 따라서 감소한다. Inverter 교류모선 전압은 고장이전과 거의 차이가 없다.



(a) Inverter측 직류전류 및 직류전압

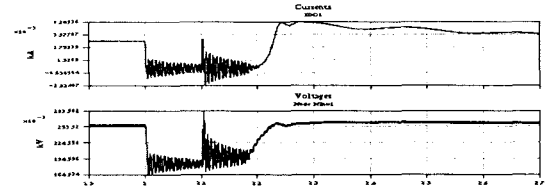


(b) Inverter/Rectifier측 교류모선전압

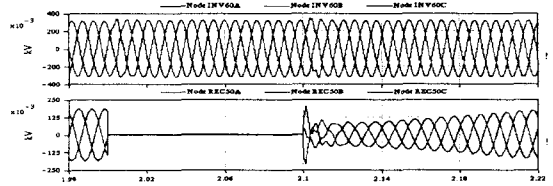


(c) 화력기(60Hz) 및 원자력기(50Hz) 출력전력

그림 4-1 Inverter 교류모선(60Hz) 3상고장 응답특성



(a) Rectifier측 직류전류 및 직류전압



(b) Inverter/Rectifier측 교류모선전압

그림 4-2 Rectifier 교류모선(60Hz) 3상고장 응답특성

5. 결론

- 본 논문에서는 한국전기연구소가 개발한 전력계통 해석용 시뮬레이터인 KERISIM에 대한 EMTDC 모델을 구성하고 시험적인 상정사고 해석을 수행하였다.
- 본 논문에서 구성한 EMTDC 모델을 활용할 경우 초기화(Initialization) 과정은 물론이고 계통 동특성 분석을 위한 상정사고 해석도 정상적으로 수행할 수 있음을 확인하였다.
- EMTDC 모델과 KERISIM에서 구성할 DC 제어기는 계통해석 목적에 따라서 제어기의 구성을 변경할 수 있는 형태이다. 따라서, 항후 제어기 구성형태와 알고리즘을 변경시키면서 동특성 분석을 수행함으로써 적용형태에 따른 가장 최적의 제어기를 설계할 수 있다.

(참고 문헌)

- (1) 한국전기연구소, "전력계통 시뮬레이터", 보고서, 1996
- (2) 한국전기연구소, "국가간 전력계통 연계 핵심기술 연구", 보고서, 1998
- (3) Manitoba HVDC Center, "뉿ㅇ췁 Manual", 1998
- (4) 일본전기학회 기술보고 (II)부, "교/직 연계계통 동특성", 제 258호, 1987
- (5) K.R.Padiyar, "HVDC Power Transmission Systems", JOHN WILEY & SONS, 1991
- (6) Charles Concordia, "Dynamic Performance and Security of Interconnected Systems," IEEE Power Engineering Review, March 1992.