

고장 전력품질향상기기 성능평가 시스템 구축

• 정용호, 권기현, 김희중, 박태범, 이철균 / LG산전

서 론

80년대 후반부터 급속히 발전한 전력용 반도체 기술과 마이크로프로세서에 의한 제어기술은 산업계에 전력전자기기의 보급을 급증시켜 왔으며, 직류모터 구동 장치의 경우 싸이리스터 컨버터와 초퍼에 의한 제어가 보편화 되었고, 교류모터 구동장치의 경우 PWM(Pulse Width Modulation) 인버터에 의한 제어가 보편화 되어 사용 중에 있어 획기적인 생산성 향상과 에너지 절감이 가능하였다. 그러나 이러한 전력전자기기의 사용이 급증하면서 고조파의 발생과 더불어 전체 배전시스템의 오염문제가 크게 대두되고 있다. 또한 산업이 고도화 하면서 입력전압 변동에 대단히 민감한 정교하고 고신뢰성을 요하는 부하가 많이 등장하였으며, 대표적인 기기로는 컴퓨터, 자동화기기, 통신장비, 의료용장비, 군용장비 등을 들 수 있다. 이러한 기기들은 입력전압 변동에 대단히 민감하여 적절한 보상을 부가하지 않으면 오동작과 고장을 유발하여 막대한 손실을 초래한다. 따라서 이들 기기의 동작신뢰성을 향상하기 위해서는 배전계통에서 발생하는 외란을 적절히 제거 또는 감소시켜 주는 것이 절대적이다. 이와 같이 전력전자기기의 사용이 급증하면서 미국과 일본 그리고 유럽의 선진국들을 중심으로 배전선로의 품질을 개선하는데 많은 관심을 기울여 왔으며, 배전품질을 저하시키는 제반인자에 대한 용어를 정의하고 전력품질에 대한 가이드라인을 설정하였는데 대표적인 것이 IEEE-519와 IEC-555이다. 이 가이드라인에서는 전력 품질을 저하

시키는 인자로 순간전압강하(voltage sag), 순간전압상승(voltage swell), 순간정전(interruption), 고조파(harmonics), 그리고 전압 불평형(voltage unbalance)에 대해 기술하고 있으며, 이들 외란의 허용치는 순간전압 강하와 상승의 경우 10%이내, 고조파의 경우 THD(Total Harmonic Distortion)가 5%이내, 그리고 불평형의 경우 10% 이내로 정의하고 있다. 전력회사 측면에서는 배전선로의 안정화와 고품질의 전력공급을 위해 다양한 대책을 수립하고 있으며, 고조파 보상을 위한 APF(Active Power Filter), 공급전압의 순간전압 강하 또는 상승을 보상하는 DVR(Dynamic Voltage Restorer), 전력의 공급을 빠르게 전환하는 SSTS(Solid State Transfer Switch), 배전선로의 무효전력 보상 및 전압보상을 위한 DSTATCOM(Distributed STATCOM), 소규모 전력생산설비인 분산전원(Distributed Generation)등에 대한 많은 연구가 활발하게 진행되고 있다. 그러나 우리나라의 경우 전력품질에 대한 인식 부족 및 법제화의 지연 등으로 인해 이 분야의 깊이 있는 연구가 진행되고 있지 못하는 것이 현실이라 할 수 있다.

이러한 전력품질에 대한 사회적인 이해와 세계적 추세를 감안하여 정부와 기업은 최근 현실적인 전력품질 관리 방안을 모색하고자 고장의 전력 실증시험장 내에 KCPP(Korea Custom Power Plaza)라고 하는 전력시험 단지를 건설하고 전력품질에 대한 인식의 전환점을 맞이하려 하고 있다.

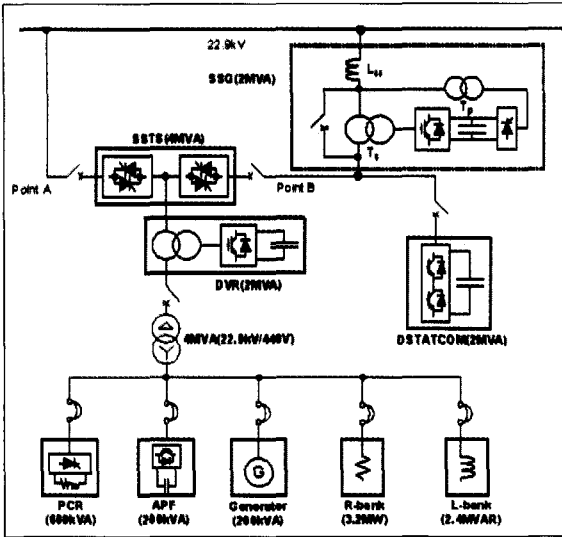


그림 1 KCPP의 전체 구성도

KCPP의 구성

그림 1은 전력품질 향상 기기의 성능을 평가하기 위한 실증시험장의 구성도를 보여주며, 현재 800평 규모의 대지위에 실증시험장이 그림 2와 같이 조성되어 있다. 실증시험장에 설치될 각종 보상기기에 대해 간단히 살펴보면 다음과 같다.



그림 2 고장 KCPP 전경

SSG(Sag Swell Generator)

SSG는 22.9kV 고압 배전선로 입력과 부하 장치 사이에 직렬로 연결되어 부하 측에 전원 외란을 발생시키는 장치로써 선로 입력전압에 원하는 양만큼의 전압을 더해주거나 빼줌으로써 인위적으로 원하는 순간에 Sag 또는 Swell 전압이 부하 측에 나타나게 해주는 장치이다. 또한 고조파 형태의 전압도 주입이 가능하기 때문에 부하에 고조파 전압의 영향 평가도 가능하게

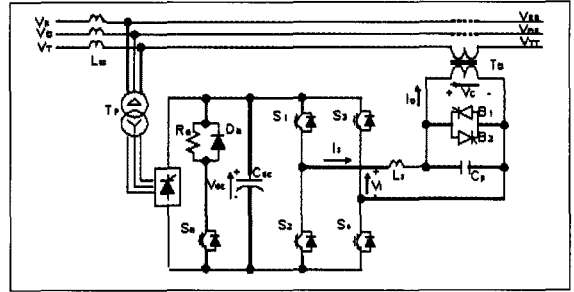


그림 3 2MVA SSG의 회로도

해주며, 플리커(Flicker)에 대한 모의도 가능하다.

그림 3과 4는 실증시험장에 설치된 2MVA SSG의 회로 구성과 주요 내부구조를 보여주며, 표 1은 SSG의 시스템 사양을 보여준다.

표 1 SSG 시스템 사양

항 목		내 용
전 기 적 사 양	입력 전압	22.9kV
	출력 전압	22.9kV
	사용전압 주파수	60Hz
	SSG의 시험가능 전력	2MVA
	Power Factor	0.8 lag
	상전압 Sag	50%
	상전압 Swell	130%
	3상 모의 시간	167ms(10Cycle)
	1상 모의 시간	167ms(10Cycle)
	냉각 방식	강제 공냉방식
기 타 사 양	사용 소자(인버터)	IGBT
	사용소자(총정기)	Thyristor+Diode
	동작 온도	0° C~ 40° C
	보관 온도	-10° C~ 60° C
	습도	95% 이내
	표고	1,500m 이하

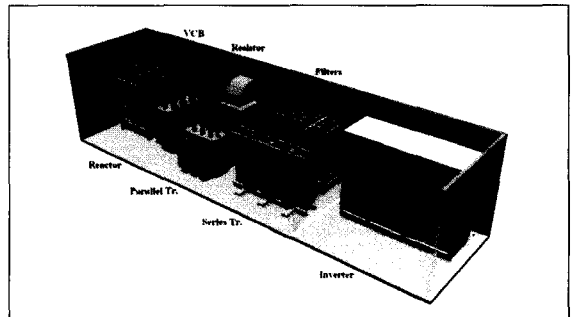


그림 4 2MVA SSG 내부 투시도

SSTS(Solid State Transfer Switch)

SSTS는 두개의 전원 중 어느 한쪽이 부하 쪽에 에너지를 공급하고 있다가 에너지를 공급하는 쪽의 전원에 외란이 발생하면 외란이 발생한 선로는 차단되고, 외란이 없는 선로 쪽으로 자동 절체 함으로써 부하 측에 항상 양질의 전원을 공급해 주는 장치이다.

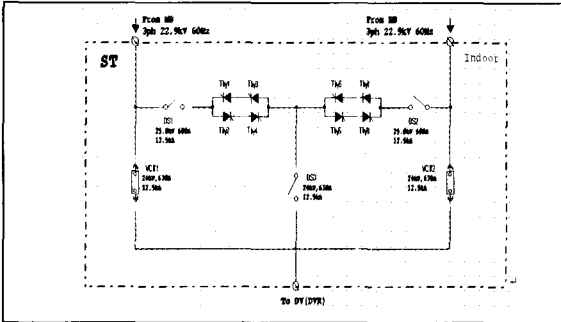


그림 5 4MVA SSTS 구성도

그림 5는 설치될 4MVA SSTS의 구성도를 나타내며, 표2는 SSTS의 시스템 사양을 보여준다.

표 2 SSTS 시스템 사양

항목	내용
연결점 전압	22.9kV
정격 주파수	60Hz
동작 온도	+40° C / -15° C
Rated Power	4MVA
SSTS 연결점 단락전류 내량	20MVA
3 Phase auxiliary voltage	220V
Frequency fluctuation Max/Min	±5 / -5 %
Power Factor	0.8 Lag

본 실증단지에서는 2개의 전원 중 한개는 22.9kV 주 입력이고, 다른 한개는 SSG 출력 단 전원이다. SSG에서 발생한 외란이 허용치를 초과하게 되면 자동적으로 22.9kV 주 입력 선로로 절체 되고, 외란이 제거 되고 나면 원래의 전원으로 자동 복구하거나 제어 신호에 의해서 어느 쪽 전원으로 부하에 급전을 할지 결정된다.

DVR(Dynmaic Voltage Restorer)

순시적인 전압외란의 보상기기로 많은 연구가 진행

되고 있는 DVR은 일반적으로 그림 6과 같이 전원과 부하 사이에 직렬주입 변압기를 통하여 선로에 직렬로 연결되어 있으며, 전원 측에 Sag나 Swell과 같은 전압 외란 발생과 동시에 보상전압을 연산하여 선로에 주입 또는 흡수함으로써 부하에 양질의 전원을 공급하는 장치이다.

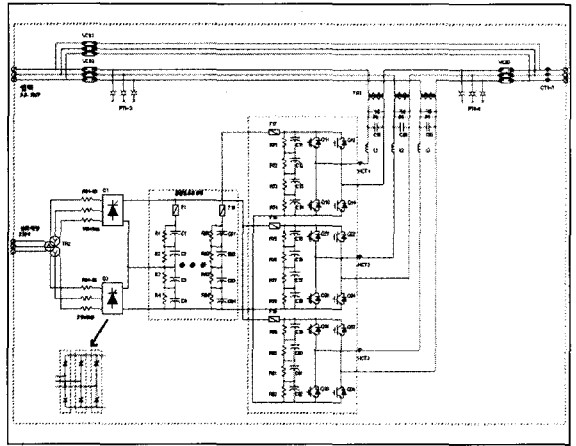


그림 6 2MVA급 DVR 회로구성도

현재 실증시험장 내에 2MVA 용량의 DVR이 설치 운전 중에 있으며, 그림 7은 2MVA 용량의 DVR 외관을 보여준다. 설치 된 DVR은 단상 인버터 3대로 구성되어 있어 각 상에 대해 독립적인 보상을 수행할 수 있으며, DC 커패시터의 에너지는 다이리스터 정류기를 통해 충전되어진다. DVR은 선로의 정상상태 구간에서 인버터의 상단 스위치를 턴온시켜 연속전류를 흐르게 하였으며, 전원의 외란 발생구간에서는 PWM 신호에

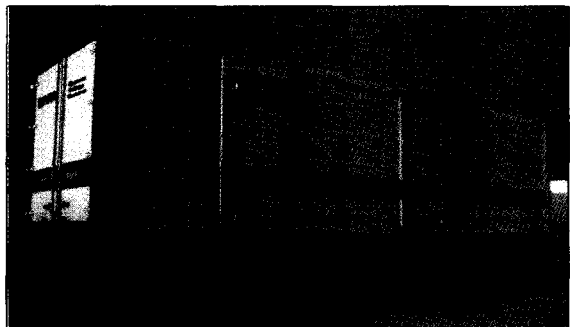


그림 7 2MVA DVR

의해 스위칭 동작을 수행하게 된다. DVR의 운전도중 지락전류와 같은 이상전류가 선로에서 감지되면, DVR 출력단에 설치된 By-pass 스위치를 턴온시켜 DVR의 피해를 최소로 하게하였다.

표3은 실증시험장에 설치된 2MVA급 DVR의 시스템 사양을 보여준다.

표 3 DVR 시스템 사양

항 목		내 용
전 기 적 사 양	입력 전압	22.9kV
	출력 전압	22.9kV
	사용전압 주파수	60Hz
	DVR의 정격 전력	2MVA
	DVR의 보상 전력	2MVA
	Power Factor	0.8 lag
	상전압 Sag	50%
	상전압 Swell	130%
	보상 시간(1 Phase)	167ms(10Cycle)
	보상 시간(3 Phase)	167ms(10Cycle)
	충전 시간	3분 이내
	Normal DC 전압	1400V
	냉각 방식	강제 공냉방식
	사용 소자(인버터)	IGBT
	기 타 사 양	사용소자(충전기)
동작 온도		0° C~ 40° C
보관 온도		-10° C~ 60° C
습도		95% 이내
표고		1,500m 이하

DSTATCOM(Distributed STATic Compensator)

선로에 병렬로 연결되어 전원 측으로부터 발생하는 각종 외란으로 인한 전압변동으로부터 진상 혹은 지상

의 무효전력을 제어함으로써 부하단 전압 변동을 억제하는 기능을 수행하며, 부하 측의 역률 변동에 대해서도 보상이 가능하다. 또한 부하변동으로 인하여 발생하는 플리커 전압도 보상하는 기능을 수행한다. 현재 2MVA 용량의 DSTATCOM이 시험 운전 중이다. 그림 8은 설치된 DSTATCOM의 외관을 보여주며, 표 4는 전체적인 시스템 사양을 보여준다.

표 4 DSTATCOM 시스템 사양

항 목		내 용
전 기 적 사 양	정격용량	2MVA
	상 수	3상
	정격 주파수	60Hz
	정격전류(2차측)	229A
	1차, 2차전압	22.9kV, 3.3kV
	% Impedance	7%
	결선방법	Y-delta
	고조파 함유율	5% 미만
기 구 적 사 양	냉각방식	강제 공냉식
	변압기 철심종류	규소 강판
	변압기 종류	몰드 변압기
	절연종별	H중
	권선 온도상승	125° C
설치장소	육내 (컨테이너 내부)	

Generator

저압 측에 계통 연계 형 디젤 발전기를 연결하여 분산전원에 의한 전력 품질에 대한 영향을 평가하기 위한 장치이다. 향후 연료전지 발전이나 태양광 발전, 풍력 발전 등과 같이 대체 에너지 분산전원이 계통에 연결 될 때의 영향을 평가하기 위함이다.

표 5 발전기 시스템 사양

항 목	내 용
정격전압	440V
정격 주파수	60Hz
동작 온도	+40° C / -15° C
Rated Power	200kVA
Frequency fluctuation Max/Min	+5 / -5 %
기동 방식	자동
동기 방식	자동
엔진	디젤

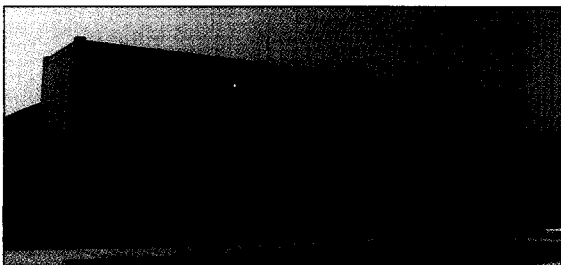


그림 8 2MVA DSTATCOM

PCR(Phase Controlled Rectifier)

산업체에서 대표적으로 가장 많이 쓰이는 고조파 발생 장치로써 정류기 부하가 전력품질에 미치는 영향을 평가하기 위한 비선형 부하장치이다. 용량은 600kVA이다.

APF(Activ Powr Filter)

PCR과 같은 비선형 부하가 전력품질을 악화시키는 것을 방지하기 위해 고조파 전류를 보상하는 기능을 수행한다. 기본적으로 전원 전압의 왜곡에 대한 보상 능력은 거의 없으나 비선형 부하전류에 의한 전원전압의 왜곡현상을 최소화 시킬 수 있는 장치이며, 200kVA의 APF를 설치 예정이다.

표 6 APF 시스템 사양

항 목		내 용
전기적 사양	정격용량	200kVA
	상 수	3상 3선
	정격 주파수	60Hz
	주파수 변동범위	±2%
	전압변동범위	±10%
	고조파 보상치수	2차 ~ 25차
	고조파 보상율	80% 이상
기구적 사양	냉각방식	강제 풍냉식
	주위온도	0 ~ 40°C
	상대습도	30 ~ 90%

저항, 리액터 부하

전원전압에 외란이 발생 했을 때에 실제 부하들이 변동하는 것을 근사적으로 모의하기 위한 장치이다. 실제로 각 저항 부하와 리액터 부하는 전원외란에 민



(a) 저항부하



(b) 리액터부하

그림 9 4MVA 부하

감한 개폐기에 의해서 저압 전원(440V)에 연결되며, Sag 전압이 발생하면 실제 상황과 같이 개폐기가 과도 응답특성을 보이게 된다. 설치된 R-L 부하의 전체 용량은 약 4MVA이다.

MVP, LVP(고압, 저압 배전반)

실증 시험장에 사용되는 각종 고압, 저압 차단기, 변압기, PT, CT, PQM 등이 설치되어 있는 판넬이다.

전력품질 측정 및 분석 시스템

전력품질 측정 및 분석 시스템

전력품질 향상기 실증 시험장의 전력품질 측정 및 분석 시스템은 KCPP Control & Analysis S/W(이하 KCPP S/W), PQM Database, PQ Monitoring System(이하 PQMS), PQ Meter 등으로 구성된다. 전력

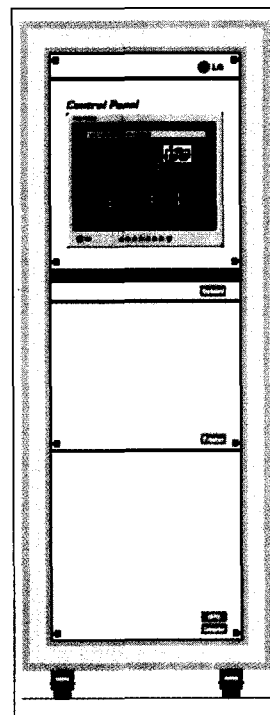


그림 10 Control Rack

품질 측정 및 분석 시스템은 시험 시나리오에 대한 시험 결과의 측정 및 분석 뿐만 아니라 전반적인 시험 시나리오 진행 기능을 포함하고 있다. 즉, 전력 품질 측정 및 분석 시스템을 통하여 전반적인 시험 시나리오를 자동으로 진행할 수 있으며 시험 종료 후 시험결과 파형을 측정 및 분석할 수 있다. 그림 10은 이와 같은 기능을 담당하는 전력품질 시스템의 Control Rack을 보여준다.

그림 11은 전력품질 측정 및 분석 시스템의 전체 구성을 나타내며 KCPP S/W는 시험 시나리오를 입력으로 하여 전반적인 시험 시나리오

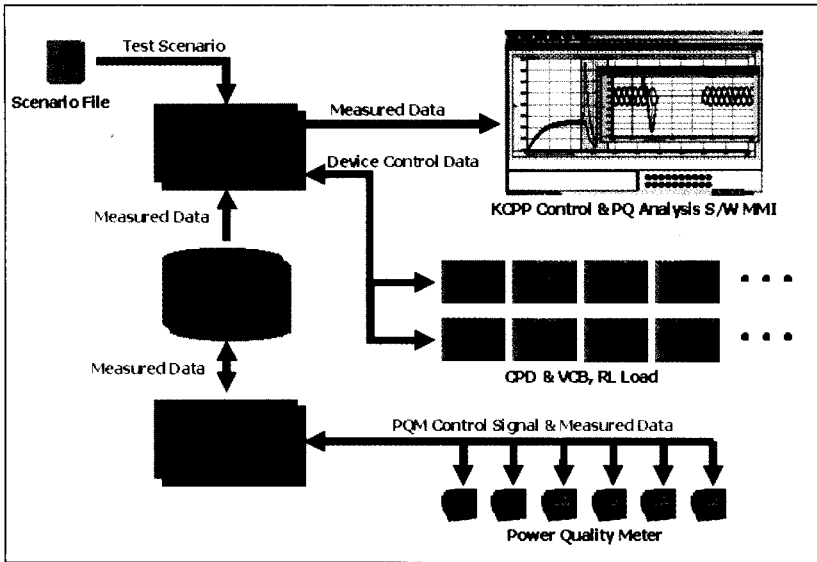


그림 11 전력품질 측정 및 분석 시스템

진행을 하게 되고 이때 시험 시나리오 진행을 위하여 시리얼 통신을 통해서 실증 시험장에 설치된 다양한 시험 기기들의 상태를 제어하게 된다. 시험이 진행되는 동안, 실증 시험장에 설치된 6대의 PQ Meter가 시험 결과 파형을 측정하고 PWMS를 통하여 PQM Database에 결과 파형을 저장하게 된다. 마지막으로 시험이 종료되면 KCPP S/W의 MMI 화면을 통하여 PQM Database에 저장된 결과 파형을 분석하게 된다.

KCPP S/W 및 MMI

KCPP S/W는 실증시험장의 운용을 위하여 개발된

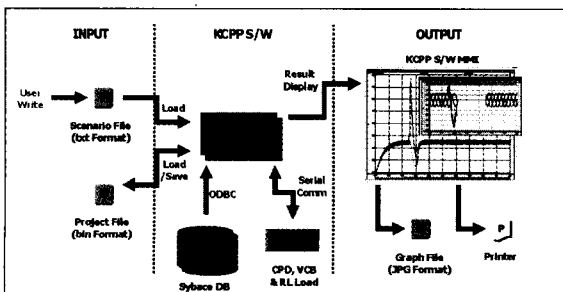


그림 12 KCPP S/W의 구성

소프트웨어로서 전체적인 시험을 진행하고 시험 결과의 분석 및 저장이 가능하며 전체 구성은 그림 12와 같다. 먼저 ASCII 형태의 시험 시나리오 파일을 입력으로 하여 시험을 진행하고 이때 실증 시험장 내의 전력 기기들을 해당 시험 시나리오 조건에 따라서 자동으로 제어하게 된다. 시험이 종료되면 PQMS를 통해서 시험 결과가 PQM 데이터베이스로 자동 저장이 되며 KCPP S/W에서는 PQM 데이터베이스를 자동으로 액세스하여 시험결과를 자체 MMI로 표시하게 된다. 또한 이렇게 표시된 시험결과는 그림

파일이나 프린터를 통하여 출력할 수 있다. 또한 프로젝트 파일이라는 자체 데이터 파일을 이용하여 모든 시험 결과파형을 바이너리 형태로 저장이 가능하다.

KCPP S/W의 MMI는 기본적으로 시험 결과 파형의 분석이 가능하도록 그래프 기능을 포함하고 있다. 또한 그래프 상에서 분석이 가능하도록 줌인, 줌아웃, 트레이싱 등의 기능들을 지원하며 보고서 작성 등을 위하여 결과 파형을 그래픽 파일 또는 프린터로 출력이 가능하다.

그림 13은 KCPP S/W의 MMI 화면 구성을 보여준다. 그림 13의 메인 그래프는 전체 시험 시간에 대한 실효치 결과 파형을 나타내며 이때 그래프 상에서 전력품질 이벤트가 발생한 부분은 그림과 같이 음영 처리를 함으로써 사용자가 쉽게 이벤트 발생 여부의 확인이 가능하다. 서브 그래프는 이벤트가 발생한 순간의 순시치 그래프를 나타내며 메인 그래프 상의 음영 부분을 더블 클릭하면 자동으로 표시된다. 또한 좌측 하단의 메시지 창은 현재 KCPP S/W의 모든 동작 정보를 텍스트 형식으로 표시하는 창으로서 시험의 진행상태, 통신상태, 오류 메시지 등의 정보가 표시되며 우측 하단의 기기상태 창은 기기와의 통신을 통하여 기기의 동작 상태를 표시하는 창이다.

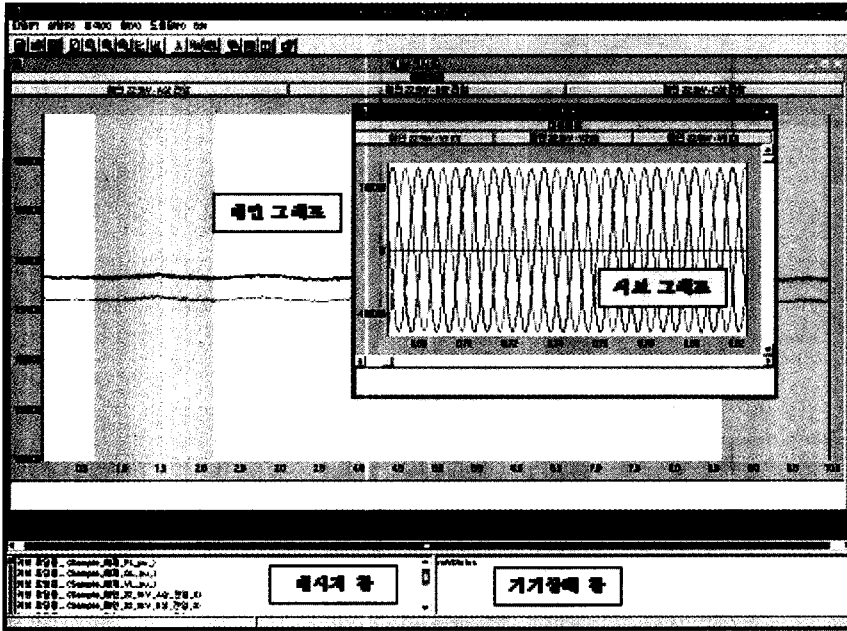


그림 13 KCPP S/W의 MMI 화면구성

결론

본 글에서는 현재 고창 실증시험장에 건설 중인 KCPP 구성 시스템과 역할에 대해 살펴보았다. KCPP

의 건설은 전력품질에 대한 이해와 대책 마련이라는 현 시점에서의 사회적 요구에 부합하는 중요한 역할을 담당할 것으로 기대된다. 특히, 각종 CPD(Custom Power Devices)에 대한 설계 및 제작 기술을 자체적으로 확보할 수 있으며, 전력계통 사고 파급 방지를 통한 안정된 전력계통 운영 기술을 획득할 수 있다는 것이다. 또한 다양한 CPD의 통합 운영 기술을 사전에 습득하여 현장에서 별다른 어려움 없이 설치·적용해 볼 수 있다는 것이다. 이러한 시험을 통해 설치될 CPD는 사회 전반에 걸쳐 전력구조의 안

정화와 생산성 향상이라는 기대효과로 이어질 것으로 보이며, 전력산업의 대외경쟁력을 향상시켜줄 것으로 보인다.