

## 대전력 시험 기술 및 설비에 대한 고찰

함길호\*, 박지훈\*, 이희철\*, 나철봉\*, 배극현\*, 박종화\*

(\*LG국산전(주) 전력시험기술센터)

### 1. 서론

#### 1.1 대전력 시험과 설비의 필요성

전기는 매우 사용하기 편리한 에너지원이지만, 한편으로는 감전, 화재 등 큰 재난을 일으킬 수도 있습니다. 안전한 전기의 사용을 위하여 전력 기기는 각 기기의 사용 용도 및 목적에 따라 여러 가지 성능이 요구되며 이러한 제품의 성능을 다양한 시험 방법에 의하여 실증 또는 모의하여 시험하게 됩니다. 대전력 시험은 전력 기기의 성능을 실증 또는 모의하여 시험하는 방법 중에 대표적인 것이라고 할 수 있으며, 특히 전원을 통전하고 개폐하는 목적에 사용되는 모든 기기의 통전성능, 개폐 성능, 단락 성능 등을 검증하는 방법으로 가장 보편적으로 사용됩니다. 하지만 이러한 시험을 수행하는데는 실제 전력 계통에서 사용되는 전류, 전압 등이 시험에 필요하므로 시험 설비를 갖추는데 굉장히 큰 비용이 소요됩니다. 국내에서는 한국전기연구소가 창원(고압, 초고압), 의왕(저압, 고압)에, 민간 기업으로는 LG산전의 전력시험기술센터(Power Testing & Technology Institute: 이하 PT&T)가 청주(저압, 고압)에 시험 설비를 보유하고 있습니다. 전 세계적으로는 네덜란드의 KEMA 시험소가 최대 규모의 설비를 보유하고 있으며 유럽 및 일본을 중심으로 약 50여 개의 시험 설비가 운영되고 있습니다. 유럽은 1940~1960, 일본은 1960~1970에 설비 건설을 하였으며 80년대 이후에는 우리나라를 비롯한 브라질, 멕시코, 인도 등의 개발도상국에서 시험 설비를 투자 운영하고 있습니다. LG산전은 1995년부터 약 5년간 총 450억원을 투자하여 국내 민간 기업으로는 최초로 40kV 1,000MVA의 대전력 시험 설비를 건설하여 세계 수준의 시험 센터를 설립하게 되었습니다. 시험 설비의 건설 및 운영은 네덜란드의 KEMA, 이태리의 CESI, 일본의 Toshiba와의 긴밀한 기술 협력으로 추진, 여러 가지의 새로운 기술을 적용하고 국제수준의 기술 서비스를 제공함으로써 앞으로 한국의 전기 산업 발전에 많은 기여를 할 것입니다.

#### 1.2 대전력 시험의 종류

대전력 시험에 대한 이해를 돕기 위하여 시험의 종류 및 대상 기기에 대하여 표1에 간략히 기술하였습니다. 연속전류 온도상승시험도 간혹 대전력 시험으로 분류되기도 합니다. 다만 이 논문에서는 일반 특성 시험의 범위로 간주하고 대표적인 대전력 시험 5종류를 설명하였습니다.

표에서 열거된 시험을 간단히 설명하면 아래와 같습니다.

- \* 단락차단, 투입시험 : 전기 회로의 단락, 지락 사고로 인한 사고 전류를 차단하거나 투입 통전하는 능력을 검증하는 시험으로 차단기, 개폐기 등에 적용된다.
- \* 단시간전류시험 : 단락전류에 의하여 발생하는 기계적 힘과 열에 대하여 전력기기가 규정된 시간 동안 이상 없이 견디는지를 확인하는 시험으로 시간은 일반적으로 1~3초가 적용된다.
- \* 부하전류시험 : 가장 일반적인 과도 특성을 갖고있는 저항성 부하를 이용하여 해당 기기가 정격 전류를 규정횟수 개폐하는데 적합한 지를 확인한다.
- \* 충전전류시험 : 콘덴서 또는 이와 유사한 특성을 갖는 부하를 이용하여 콘덴서군, 절연체의 충전 전류(고압, 초고압 케이블 등)에 대하여 해당 기기가 여러 번 개폐하는데 적합한 지를 확인한다.(진상 전류)
- \* 지상소전류시험 : 특히 변압기의 전압만이 인가되고 무부하의 경우 변압기 여자 전류(magnetizing current)에 대하여 해당 기기가 특별한 개폐 과전압의 발생 없이 여러 번 개폐하는데 적합한 지를 확인한다

표 1. 대전력 시험 및 대상기기

시험종류 \ 대상기기	저압 차단기	고압 차단기	저압 개폐기	전력 퓨즈	배전반	변압기
단락차단, 투입	○	○	○	○		
단시간전류	○	○	○		○	○
부하전류시험	○	○	○			
충전전류		○	○			
지상소전류		○	○			

\* 변압기는 통상 단락강도시험 Short-circuit test임

### 1.3 LG산전 대전력 시험 설비 소개

본 시험소 시험설비의 특징에 대해서는 본문에서 자세히 설명하겠지만 LG산전의 대전력 시험 설비의 구성에 대하여 간단히 설명하는 것이 전체의 내용을 쉽게 이해할 수 있을 것 입니다. 시험 설비는 대상 기기들을 적절하게 시험할 수 있도록 1kV이하30MVA 용량까지의 시험이 가능한 Network 설비(그림 1 및 사진 1)와 40kV이하 1000MVA 용량까지 시험 가능한 단락 발전기 설비(그림 2 및 사진 2)로 구성되어 있습니다. Network 설비의 시험 용량은 표 2에, 단락 발전기 설비는 그림 3-고압 단락 시험 용량, 그림 4-저압 단락 시험 용량 그리고 그림 5-고압 부하 시험 용량에 나타나 있습니다.

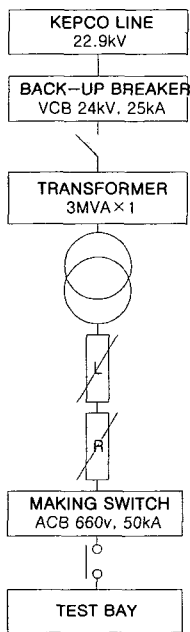


그림 1. Network 단락설비의 구성

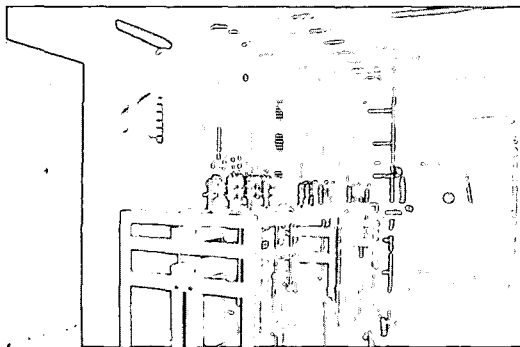


사진 1. Network 단락설비

표 2. Network 단락설비 시험용량

시험전압	110V	220V	460V	600V
단락차단	15kA	25kA	30kA	35kA
부하시험	최대 6,000A (단시간) 최대 2,400A (연속)			

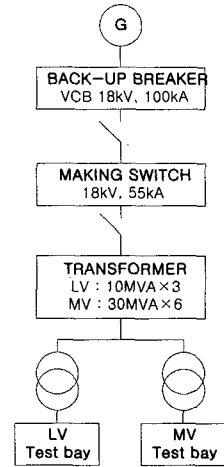


그림 2. 1000MVA 단락설비의 구성

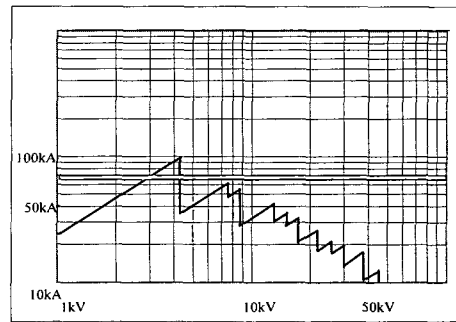


그림 3. 1000MVA 단락설비의 3상 고압 시험용량

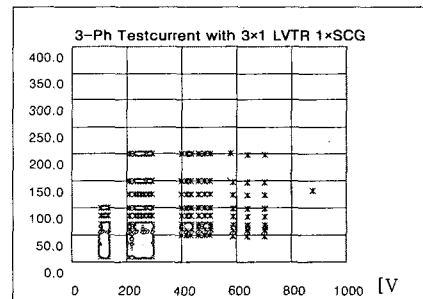


그림 4. 1000MVA 단락설비의 3상 저압 시험용량

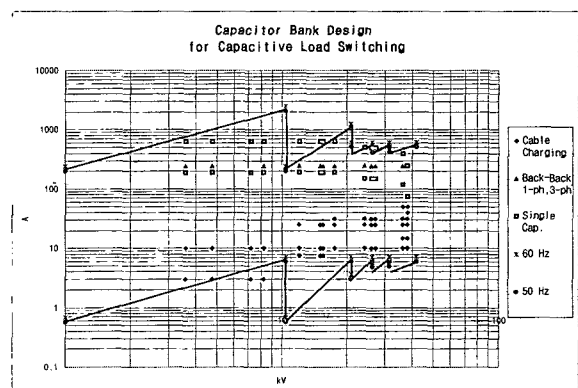


그림 5. 고압 부하시험용량

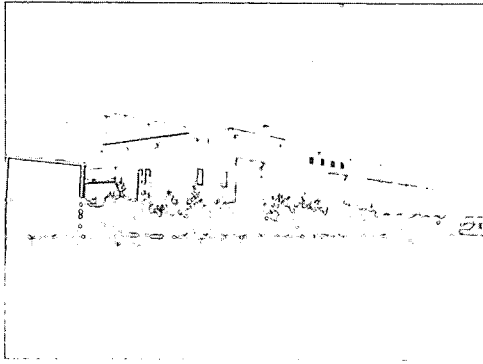


사진 2. 1000MVA 시험소

본 자료에서는 대전력 시험의 종류 및 중요 기술과 이에 적합하게 설계 건설된 PT&T의 시험설비와 새롭게 채용된 기술 및 기기에 대하여 아래 내용을 중심으로 설명 하고자 합니다.

- 저압 단락 시험 기술
- 저압 단락 변압기의 특징
- 변압기 단락 사고 보호를 위한 시스템
- 고압 단락 시험 기술
- 과여자 방식의 단락 발전기
- 회복 전압 유지 백업 시스템
- 차폐형 단락 변압기
- 컴퓨터 방식의 운영 시스템
- 측정 시스템

## 2. 본 론

### 2.1 저압 단락 시험 기술

1kV 이하의 전압을 저압이라고 규정(IEC 60947-1)합니다. 이 시험은 이러한 전압에 사용되는 차단기의 단락성능을 시험하는 기술입니다. 일반적으로 저압 차단기는 단락 전류를 기중에서 아크 플라즈마로 유도, 확산하여 차단합니다. 통상 MCCB (Mold case circuit breaker), ACB(Air circuit breaker)등이 저압 차단기의 일종입니다. 근래의 저압 차단기가 한류 구조를 보유함에 따라 그림6과 같은 시험 결과 파형이 얻어지는 경우가 많습니다. 그림에서 보듯이 각 상의 차단 전류인  $I_r$ ,  $I_s$ ,  $I_t$  모두 한류 차단되어 얼마의 전류로 시험했는지 측정할 수가 없습니다. 이러한 이유로 인하여 저압 단락 시험은 시험회로의 교정(Calibration) 측정 결과를 시험 조건으로 인정합니다.

각 시험조건 중에서 회로의 역할은 매우 중요합니다. 역률 계산에는 여러 가지 방법이 있으나 전원 회로 전체의 역률을 계산하기 위해서는 DC 감쇄법이 가장 적절합니다. 다만 적절한 DC 전류를 얻기 위해서는 단락 전류를 전압 0점 근처에서 투입하는 것이 중요합니다. 또 하나의 어려운 점은 저압 단락 전류 요구치가 점점 높아져서 100kA 혹은 200kA의 전류가 다양한 전압에서 요구된다는 것입니다. 200V~700V에서 200kA의 전류를 발생하여 시험하기 위해

서는 전원 설비, 적절한 회로 임피던스, 대전류 측정을 위한 전류 센서 등이 필요합니다.

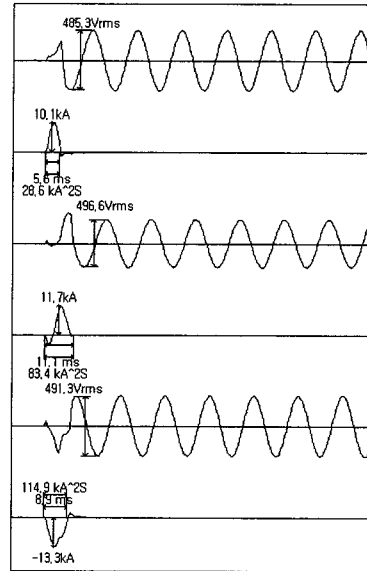
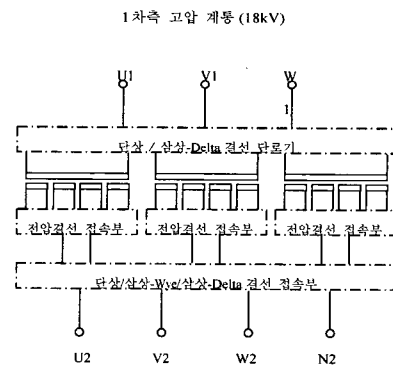


그림 6. 한류차단기 단락차단파형

### 2.2 저압 단락 변압기의 특징

요구되는 높은 단락 전류를 1kV 이하에서 발생시키려면 낮은 임피던스를 만들 수 있는 권선비를 갖춘 저압 단락 변압기가 필수적입니다. 직병렬 및 Y- $\Delta$  까지를 고려한 2차측 전압 범위 결정을 우선 검토하면, 일반 적인 저압 계통을 220V, 380V, 415V, 460V, 480V, 660V로 하여 105%이상의 시험 전압(IEC)을 발생하기 위해서는 240V~260V를 기본 권선으로 하여 4권선을 2차측에 구성하는 것이 적절합니다. 4권선 구성방식은 직병렬로 연결하여 다양한 전압 및 권선의 부하를 분담하는 것이 좋습니다.

그림 7은 PT&T의 저압 변압기 권선도입니다. 임피던스는 회로 설계에 의하여 계산된 값으로 적용하면 적절한 변압기의 설계가 가능합니다.



2차측

- 단상 250/500/750/100V
- 3상 3선식 250/500/750/100V
- 3상 4선식 433/866/1299/1732V

그림 7. 저압 단락변압기 권선배치도

2차측 버스바는 25,000kg/m의 전자반발력에 견디며, 아주 낮은 임피던스를 갖도록 특별히 제작되었습니다. 사진3은 변압기와 버스바가 설치된 모습입니다.

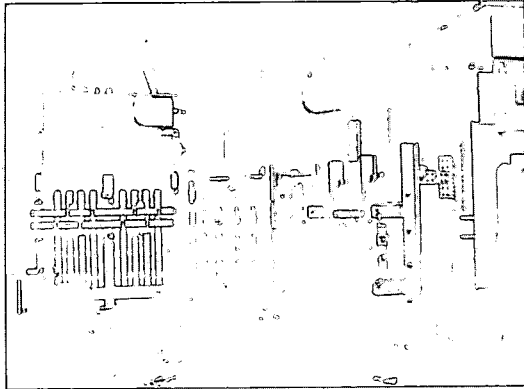
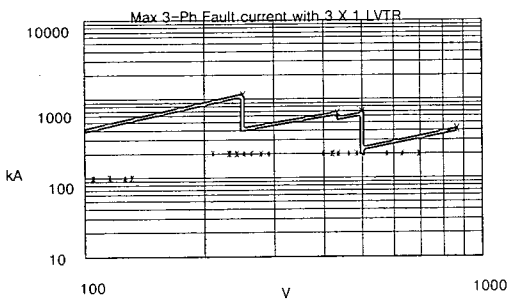


사진 3. 저압단락변압기 및 2차측 버스바 전경

### 2.3 변압기 단락 사고 보호 시스템

1/2차 변압비가 큰 저압 시험회로의 경우 2차 회로의 임피던스가 전체에 미치는 영향이 대단히 크기 때문에 아래 그림8의 PT&T 회로의 단락 전류 계산 예와 같이 저압 변압기 2차 단자의 사고시 엄청난 단락 전류가 발생하게 됩니다. 변압기 설계 제작시 이를 충분히 반영한다는 것은 거의 불가능합니다. PT&T는 단락 장치라는 특별한 보호 시스템을 네덜란드의 KEMA와 공동 설계 제작하였습니다. 간단한 개념도는 그림9와 같습니다. 구성 기기는 로고스키 코일, 컨트롤러, 스파크 갭으로 되어 있으며 변압기 1차 측에 설치하여 사고 전류가 변압기로 흐르지 못하게 하여 저압 변압기를 보호합니다.



2차 단락 사고 시 예상 전류

그림 8. 시험 전류 및 사고 전류 비교

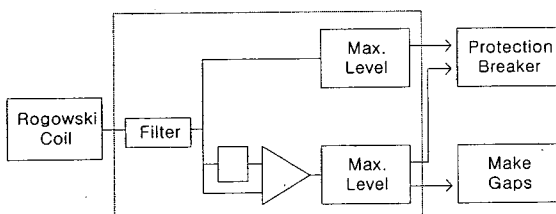


그림 9. 단락 장치의 구성

### 2.4 고압 단락 시험 기술

1kV이상 72.5kV미만을 IEC규격에서 Medium voltage로 규정하고 있으나 국내에서는 일본의 영향으로 고압(고전압)으로 칭하고 있습니다. 고압 차단기는 진공 상태 또는 SF6 가스를 소호 매질로 사용하여 단락 전류를 차단하는 것이 널리 사용되고 있습니다. 고압 단락 시험은 IEC와 ANSI 규격사이에 표3과 같이 요구 사항이 상당히 다릅니다. 하지만 중요한 점은 각 시험 조건에 명기된 과도 회복 전압(Transient Recovery Voltage : TRV), Irms, Ipeak와 직류 전류분 입니다. 과도 회복 전압은 단락 전류의 차단이 맨 처음 행하여지는 상의 전류 0점에서 발생하는 전압으로 차단 후 절연을 회복하느냐, 못하느냐를 결정하는 매우 중요한 요소입니다. 단락 전류는 Irms값이지만 Ipeak 또한 Irms의 2.5배(50Hz), 2.6배(60Hz)로 정해져 있습니다. Irms와 Ipeak를 모두 정확히 조정하여 시험하기 위해서는 시험 중 설비의 용량을 적절하게 확대할 수 있어야 합니다. IEC 56 교류차단기 국제 규격의 기본 단락 시험 책무 4의 경우 피시품 차단기에 의하여 Ipeak를 투입하고 Irms를 차단하여야 하는데 시험 설비가 이를 동시에 만족시키지 못하는 경우는 4a와 4b로 분리하여 4a에서는 Ipeak를, 4b에서는 Irms를 시험하도록 하고 있습니다. 또한 직류 전류분을 조정하기 위해서는 단락 전류를 투입할 때 전원에 대한 투입 각도를 정확히 조정하여야 합니다. 투입 각에 의한 전류 변화의 예를 그림 10에 나타내었습니다. 이 경우는 회로 역률이 0.3일 때, 전류 투입각에 따른 직류 성분인 인가 정도를 나타내고 있습니다. 전류 투입각이 0도에 가까울수록 직류성분이 많이 인가되어 피크 전류가 크다는 것을 알 수 있습니다.

표 3. 고압차단기 IEC/ANSI 규격 내용 비교

책무	시험전압		투입전류		차단전류			
					RMS		DC[%]	
	IEC	ANSI	IEC	ANSI	IEC	ANSI	IEC	ANSI
1	V	-	-	-	0.1I	0.07~0.13I	≤20	50~100
2	V	-	-	-	0.3I	0.2~0.3I	≤20	≤20
3	V	-	-	-	0.6I	0.4~0.6I	≤20	50~100
4	V	-	2.5I	-	I	I	≤20	≤20
5	V	V/K	-	-	I	KI	Fig 9	≤20
6	-	V	-	2.7KI	-	SI	-	50~100
7	-	V/K	-	2.7KI	-	KSI	-	50~100

주) 1. V : 정격전압, I : 정격단락전류, K : 전압변동계수, S : 비대칭 계수  
2. ANSI 규격 중 책무8 이하는 생략함.

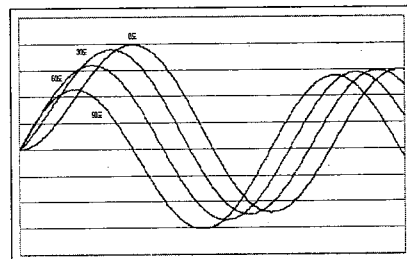


그림 10. 전류 투입각에 따른 직류성분변화

### 2.5 과 여자 방식의 단락 발전기

대전력 시험의 전원으로 사용되는 발전기를 단락 발전기라고 합니다. 단락 발전기는 대용량의 시험 전력을 단시간 동안 발생하며 요구되는 전류 지속시간 동안 (수 사이클~수 초) 전류를 적절히 제어할 필요가 있습니다. 특히 2.4항목에서 설명한 내용 중  $I_{peak}$ 와  $I_{rms}$ 를 만족하기 위해서는 단락 전류가 시험 지속 시간 중에 감소하지 않도록 제어해야 합니다. 단락 발전기의 특성 및 과여자에 대하여 간단히 설명하겠습니다. 단락 발전기는 일반 발전기와는 다르게 적정 회전수에서 단자를 단락 연결한 후 짧은 시간 동안 변동이 없는 단락 전류를 발생하고, 차단기에 의한 단락 회로 복구 시 적절한 회복 전압을 유지하는 것이 주요 특성입니다. 하지만 모든 발전기는 단락 시 용량의 감쇄가 발생되기 때문에, 단락 발전기의 용량 계산에는 Park의 식(Park's theory)이 사용됩니다.

$$i_s(t) = \frac{u_1}{\sqrt{3}} \left[ \frac{\rho}{X_d'} + \left( \frac{1}{X_d'} - \frac{\rho}{X_d} \right) \cdot \epsilon^{-\frac{t}{T_d}} + \left( \frac{1}{X_d'} - \frac{1}{X_d} \right) \cdot \epsilon^{-\frac{t}{T_d'}} \right]$$

- 여기서  $u_1$  = 단락 투입전 개방 회로전압
- $X_d$  = 직축 동기 리액턴스
- $X_d'$  = 직축 과도 리액턴스
- $X_d''$  = 직축 초기 과도 리액턴스
- $\rho$  = 과여자 계수
- $T_d$  = 단락 동안 유도된 과도 시정수
- $T_d'$  = 단락동안 유도된 초기과도시정수

이를 고찰하여 보면 여자 상수를 변동함에 따라 단락 발전기의 출력을 변화시킬 수 있는 것을 알 수 있습니다(그림 11). PT&T의 단락 발전기는(사진 4) 이런 특성이 충분히 발휘되며 과도한 회복 전압의 발생도 방지할 수 있도록 여자 장치를 조정하는 알고리즘을 채택하였습니다. (그림 12) 과여자에 의하여 단락 전류가 시간에 따라 감소하지 않고 증가됨을 아래 그림 13에서 알 수 있습니다.

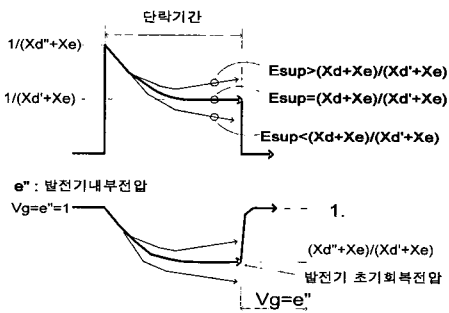


그림 11. 단락 후 전류 회복전압의 관계

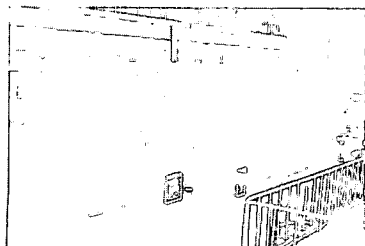


사진 4. 단락 발전기

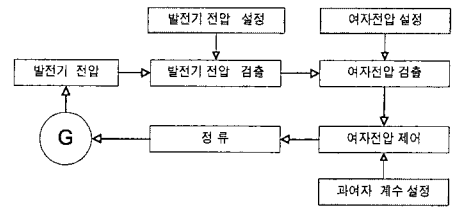
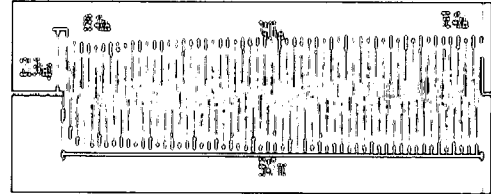


그림 12. 단락발전기 여자 시스템 블록도

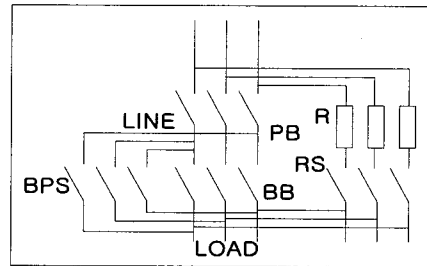


초기전류 : 68.4kArms      중간전류 : 74.0kArms  
 말기전류 : 78.4kArms      통전시간 : 964.7ms  
 과여자 계수 : 3pu

그림 13. 과여자로 증폭된 단락 전류

### 2.6 회복 전압 유지 백업 시스템

회복 전압 중에서 과도 회복 전압에 대한 자세한 설명은 본 자료에서는 생략하고 하계 또는 추계 전기 확회를 통하여 별도의 논문으로 설명하겠습니다. 이번에는 일반 회복 전압 인가에 대하여 PT&T에 설계 설치된 회복 전압 유지 백업 시스템에 대하여 설명하겠습니다. 시험 규격에 따라 차단기(개폐기)의 전류 차단(개폐)능력을 확인하기 위하여 회복 전압을 일정 시간 (100msec) 이상 지속하는 것이 필요합니다. 하지만 시험 시료가 요구되는 능력에 미치지 못하는 경우, 사고 전류에 장시간 (100msec 이상) 노출되어 피시품이 심하게 부서지거나, 사고가 확산되는 경우를 초래하기도 합니다. 이를 최대한 방지할 수 있도록 그림 14와 같이 시험설비의 백업 시스템을 전류, 전압 분리 적용함으로 차단(개폐) 실패시 사고 전류에 노출되는 시간을 20msec 이내로 단축하여 피시품의 파손을 최소화하고, 원인 분석이 용이하도록 시스템을 구성하였습니다. 전압 유지 시스템을 사용하는 경우 시험 기기 시퀀스는 표 4와 같습니다.

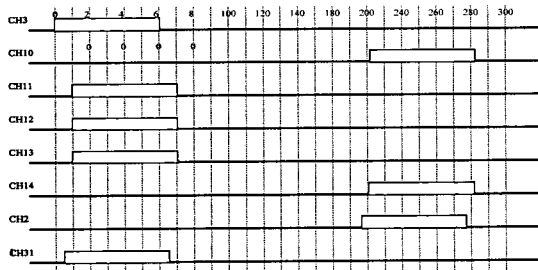


- PB : 발전기 보호 차단기
- BB : 보조 보호 차단기
- BPS : 차단기 선택 단로기
- R : 회복 전압 유지 저항
- RS : 회복 전압 유지 회로 선택 단로기

그림 14. 회복전압 유지 백업 시스템의 회로도

표 4. 시퀀스 타이머 설정

CH	내용	설정시간(α c)	펄스폭(α c)
3	MO TO RFREERU N	0	⑤
10	RS O PEN	202	⑤
11	MS (R)CLO S E	10	⑤
12	MS (S )CLO S E	10	⑤
13	MS (T)CLO S E	10	⑤
14	O CRHO	202	⑤
21	BB O PEN	197	⑤
31	MEAS TRIG GER	5	⑤



2.7 차폐형 단락 변압기

단락 시험 회로 설계시 매우 중요하게 고려되어야 할 회로 정수가 대지간 정전 용량입니다, 대지간 정전 용량은 단락 후 발생하는 과도 회복 전압의 특성에 많은 영향을 줍니다. 과도 회복 전압은 일반 회복 전압보다는 훨씬 고주파 특성을 요구하는데, 회로의 정전 용량이 크면 시험 규격이 요구하는 과도 회복 전압을 발생할 수 없습니다. 대부분의 정전 용량은 단락 변압기의 권선에 의하여 결정됩니다. PT&T는 이러한 점을 가능한 보상하기 위하여 변압기 1, 2차를 차폐하여 1차측 회로의 대지간 정전 용량이 변압기 2차측 TRV에 영향을 주는 요소를 배제하였습니다. 단락 변압기의 기본 구조를 그림 15와 같이 차폐판을 설치하였습니다. 하지만 국내에서 100톤 이상의 화물 운송이 불가능하여 완벽히 차폐 구조를 제작하지는 못하였습니다. 단락 변압기의 정전 용량 측정 값 (표5)및 사진5를 참고하여 주시기 바랍니다.

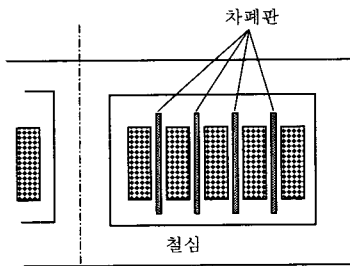


그림 15. 단락 변압기의 구조

표 5. 30MVA단락변압기 정전용량 측정값(권선-대지간)

구분	Tap 전압(kV)	정전용량(pF)
1차	18	50,400
	4.3	14,700
2차	8.6	20,700
	12.9	34,600

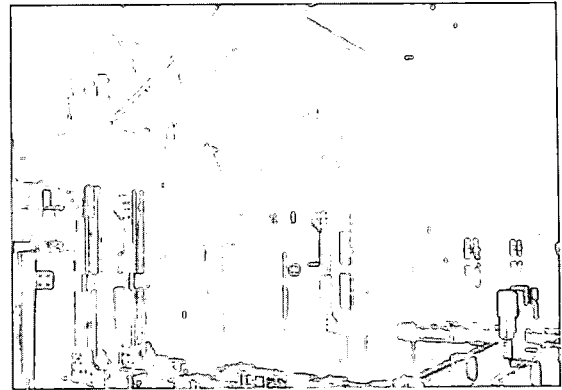


사진 5. 설치된 단락 변압기

2.8 컴퓨터 방식의 운영 시스템

시험 설비를 안정적으로 운전하기 위해서는 많은 경험이 필요합니다. PT&T는 모든 시험 과정을 컴퓨터로 제어 감시함으로써 휴먼 에러를 최소화하며, 이상 발생에 즉각 대처할 수 있으며, 특히 시험자간의 기술차이를 최소화하였습니다. 우리는 이 시스템을 LMS(Laboratory Management System)로 이름지었습니다. LMS의 구성은 그림 16과 같으며 설치 운영되는 모습은 사진6, 7과 같습니다. LMS는 시험관련 기기들을 항상 감시하며 시험 회로 구성 및 기기의 제어 시험 조건의 확인을 수행합니다. 즉 발전기 운전을 위한 모터 및 여자기 전원의 투입, 시험 회로의 구성을 운영자의 조작에 따라 컴퓨터가 제어하며 동시에 인터록을 확인하여 회로의 적합성 및 안전을 확보합니다. 또한 시험 예측 기능을 갖추고 있어 시험조건만 입력하면 자체 개발한 알고리즘에 의하여 현재의 설비에 맞는 최적의 회로를 추천합니다. 관리 기능으로는 시험 이력, 회로 조건, 기기의 상태, 운전 횟수 등 다양한 데이터를 저장, 이용함으로써 시험 기기의 유지 보수하고 정확한 시험 실시를 도와줍니다.

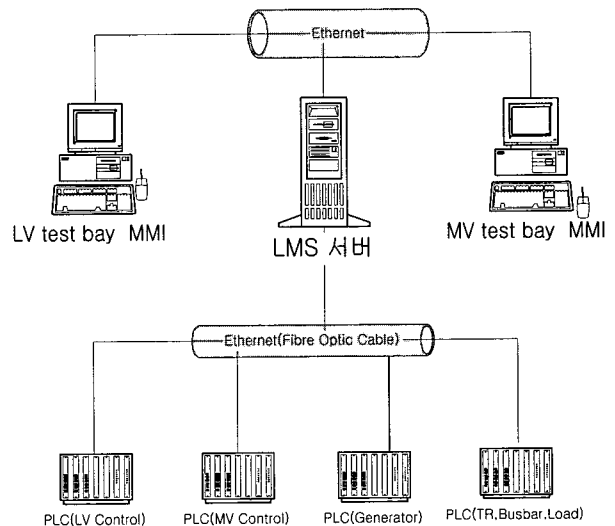


그림 16. LMS 구조

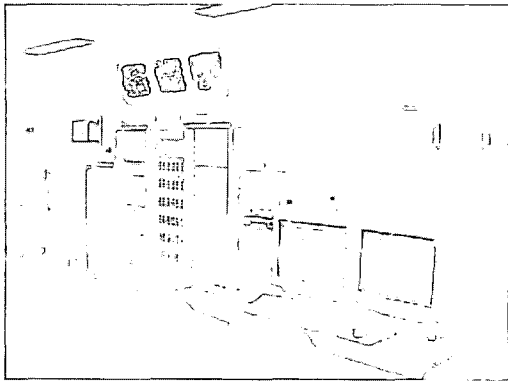


사진 6. 측정 제어실

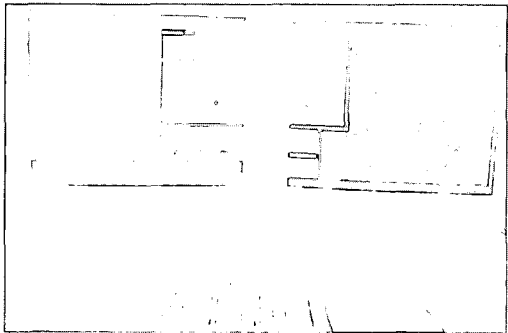


사진 7. LMS 운영 화면

### 2.9 측정 시스템

모든 시험의 설비 중 가장 중요한 것은 측정 시스템이라고 할 수 있습니다. 모든 시험은 측정 결과를 분석해서 결과를 판정하기 때문에 신호의 검출, 전송, 변환, 후처리 등 각 과정을 정확히 처리해야 합니다. 특히 대전력은 여러 가지의 노이즈가 많은 환경으로 이에 대한 대책이 수립되어야 합니다. PT&T의 측정 시스템은 시험 결과의 정확한 측정, 분석을 위하여 고주파 정보, 저주파 정보를 분리하여 측정하고 분석함으로써 시험 시 발생된 과도 현상을 가장 정확하게 확인할 수 있습니다. 고주파 전송은 광전송을 채택하여 노이즈의 영향을 최소화하였으며, 특히 고압 단락 시험중 과도 회복 전압의 측정 및 재점화나 재발호에 의한 개폐 과전압의 측정이 가능합니다. 이는 차단 시험 실패의 경우 원인 분석을 하기 위하여 매우 필요한 측정 데이터입니다. PT&T 측정 시스템의 기본 구성은 그림 17과 같습니다.

시스템의 구성 및 특징에 대하여 좀더 자세히 설명하도록 하겠습니다.

#### <측정시스템 구성>

측정 시스템은 저압 및 고압 시험을 위해 2개의 시스템으로 구성되어 있습니다. 저압시스템은 1MS/s의 샘플링 속도와 256kS의 메모리를 가진 Recorder와 전압 측정용 Voltage Divider, Rogowski coil등으로 구성되며 각 구성기기 사이의 전송 매체는 동축케이블을 사용하였습니다. 고압시스템은 과

도 회복 전압의 측정을 위해 10MS/s의 샘플링 속도와 1MS의 메모리를 가진 Recorder와 Voltage Divider, Shunt 등으로 구성되며 각 구성기기 사이의 전송 매체는 절연을 위해 광케이블을 사용하였으며, PT&T의 측정범위는 표 6과 같습니다.

Recorder에 저장된 데이터는 GPIB통신을 통해 컴퓨터로 전송되며, 전압/전류/역율/인가에너지 등의 값을 자동 계산하여 출력합니다. 측정 소프트웨어는 Nicolet의 기본 프레임에 PT&T에서 자체 개발한 기능을 추가하여 사용하고 있습니다.

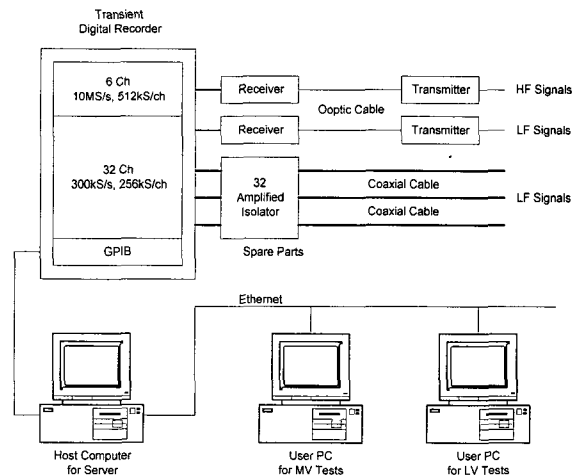


그림 17. 측정 시스템의 개념도

표 6. 측정 시스템의 범위

구분	전류	전압	측정시간	
			단락시험	단시간시험
저압 시스템	1kA~500kA	1V~1kV	0.5sec (500kS/s)	5sec (50kS/s)
고압 시스템	100A~80kA	1kV~150kV	0.5sec** (10MS/s)	5sec (200kS/s)

\*측정시간은 샘플링 속도에 따라 달라지며 표의 측정시간은 PT\* & T에서 흔히 사용하는 측정 지속 시간임.

\*\*고압시험의 측정은 대상의 주파수에 따라 샘플링 속도를 5~10MS/s, 100~500kS/s 2가지로 변화시켜 측정함.

#### <측정용 소프트웨어>

시험동안 기록해야 하는 신호들은 아래와 같이 크게 2분류로 나눌 수 있습니다.

- 시험전압과 전류 파형
- 시료의 제어와 동작에 관련된 보조 신호

측정용 소프트웨어는 이러한 신호들을 시험 책무에 따라 자동으로 계산할 수 있어야 합니다. 그림18의 측정 결과 화면 는 저압 단락 시험 후 필요한 신호들을 LG산전에서 개발한 소프트웨어로 자동으로 계산하여 나타낸 것입니다.

#### <기본 측정 변수의 계산>

시험 규격에 의하면 시험 시 측정된 신호로부터 아래와 같은 기본 측정 변수를 산출하여야 합니다.

- 전압관련변수 : 인가전압 및 회복전압(3-crest법), P.U., 과도회복전압(2변수법)
  - 전류관련변수 : 역률(D.C.법, 위상법, 비율법), 피크전류, 차단전류(지수함수법), 아크시간,  $I^2t$ , 등
- 여러 가지 변수 중에서 가장 중요하게 사용되는 피크치의 계산 방법과 D.C.법에 의한 역률 계산 방법에 대하여 간단히 설명합니다.

$$\ln(y) = \left(-\frac{x}{\tau}\right) + \ln(I_0) \quad (\text{식 2})$$

$$Y = Af(x_1) + Bf(x_2) \quad (\text{식 3})$$

$$A = -\frac{1}{\tau}, B = \ln(I_0)$$

$$f(x_1) = x, f(x_2) = 1$$

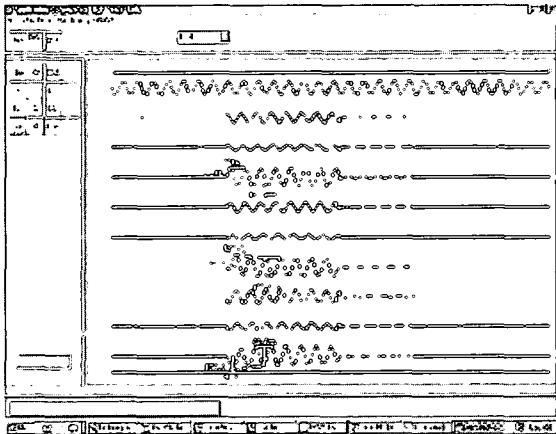


그림 18. 측정 결과 화면

- 피크치 계산 방법

피크치를 계산할 때는, 곡선 접합에 사용할 데이터 수를 결정하는 것이 중요합니다. 일반적으로 기본 주파수의 10%정도에 해당하는 수를 접합에 사용합니다. 먼저 임계값(신호 크기의 5%)을 결정하고, 피크치를 포함하는 루프는 이 임계값을 통과하는 2점( $x_s, x_e$ )을 가지므로 이를 이용해 중앙점  $x_c$ 를 계산하고, 이 점을 기준으로 최소자승법으로 극값좌표( $x_p, y_p$ )를 계산합니다.

$$x_c = x_s + \frac{x_e - x_s}{2}$$

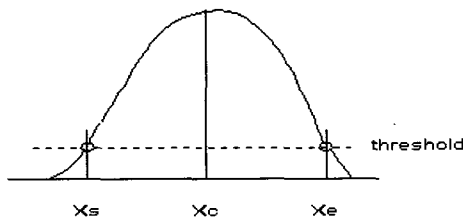


그림 19. 피크치 계산 설명

- D.C.법에 의한 역률 계산 방법

단락전류의 직류성분은 다음과 같이 정의됩니다.

$$y = f(x) = I_0 \cdot \exp\left(-\frac{x}{\tau}\right) \quad (\text{식 1})$$

계산을 용이하게 하기 위해, (식 1)은  $I_0$ 와  $\tau$ 에 대해 비선형식이므로 이를 선형화 합니다.

측정전류파형상의 피크치들 ( $x_n, y_n$ )을 구한 다음, 이를 (식 2)에 적용하여 최소자승법으로  $\tau$ 를 구하고 이를 역률(pf)로 환산합니다.

$$pf = \cos\left(a \tan\left(\frac{1}{\tau}\right)\right) \quad (\text{식 4})$$

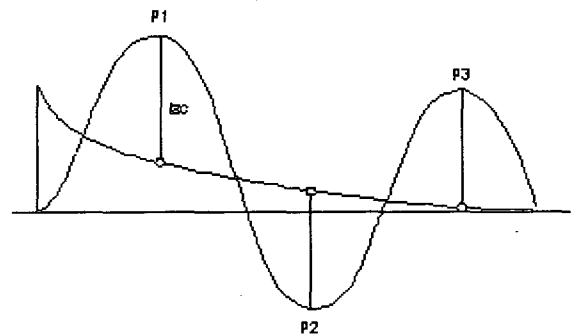


그림 20. 역률 계산 방법

### 3. 결 론

전력 기기 제품의 시험 중에서 대전력 시험이 차지하는 비중을 고려해 보면 대전력 시험 기술 및 설비를 몇 마디로 설명한다는 것은 참으로 어렵고 아니 어리석은 생각인지도 모르겠습니다만, 이 해설을 통하여 아주 일반적인 내용이지만 전기 분야에 종사하시거나 관심이 있는 여러분에게 설명할 수 있게 되어 영광입니다. 서론에서 설명 드린 바와 같이 대전력 시험의 역사를 보면 전력 기기의 선진국인 유럽과 일본이 20년 이상의 차이를 또 일본과 우리나라가 20년의 차이를 나타내고 있습니다. 기관의 숫자로 본다면 일본만 하여도 1000MVA 이상의 중 대형 시험 설비가 7~8곳이 넘으며 유럽은 다국적 기업 ABB 1개사가 5개의 시험 설비를 운영하고 있습니다. 우리의 현실과 비교하면 너무나 큰 차이입니다. 다행이 2000년에 들어서 한국전기연구소에서 3월부터 의왕에 단락발전기 용량 500MVA 급의 시험 설비의 상용 운전 시작하여 창원(단락발전기 용량 4000MVA)을 포함 2개의 설비를 운영하고 있으며, LG산전의 PT&T에서도 단락발전기 용량 1500MVA급의 시험 설비를 청주에 완공하여 자체 제품을 중심으로 3월부터 시운전하고 있습니다. 특히 PT&T는 수출 시장에서 요구하고 있는 IEC 규격 시험

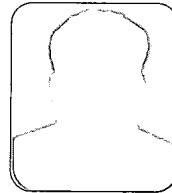


및 UL, CE 인증 시험 등을 KEMA, CESI 및 UL과 긴밀히 협력하여 자체 시험 설비를 이용하고 해외 기관의 입회 하에 LG산전 제품에 대한 국제 규격 시험 및 인증 시험을 실시하고 있습니다. 현재 국내의 기술 인력을 보면 전력 기기 제품의 연구 및 생산에 종사하는 인원에 비하여 시험에 종사하는 인원은 수적으로나 질적으로 굉장히 열악합니다. 품질 경쟁력을 갖고있는 제품을 개발하기 위해서는 많은 실험과 시험이 뒷받침되어야 하며 각 시험을 정확히 실시하고 분석하기 위해서는 좋은 설비도 필요하지만 능력 있는 기술 인력이 더욱더 절실합니다. 국내에서도 3개의 시험 설비가 운영됨에 따라 대전력 시험 분야도 기술 발전이 가속화되고 좋은 인력을 많이 육성하게 될 것으로 확신합니다. 앞으로 시험 분야를 위하여 많은 관심과 성원을 부탁드립니다.

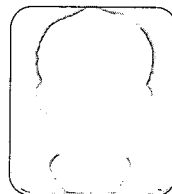
**참고문헌**

- [1] 이 승원, 이 윤중, 전기기기, 문운당, 1987.
- [2] High voltage alternating current circuit breaker, IEC Pub 56, 1987.
- [3] GEC Alstom, Short circuit generator description, 1995.
- [4] IEEE standard test procedure for AC High voltage breakers rated on a symmetrical current basis, ANSIC37.09, 1979.
- [5] A. Edlinger, H. Schmid, Transformers and reactors for high power testing stations, Brown Boveri Vol.62, 1965.
- [6] Allen Greenwood, Electrical transients in power system, Wiley-interscience, 1991
- [7] Gausshell, D.J. & Darlington, H.T. Supervisory control and data acquisition Proc of IEEE Vol.75 no. 12, 1987.
- [8] Allen J. Wood, Bruce F. Wollenberg Power generation, Operation and Control John wiley & Sons 2nd edition, 1996.

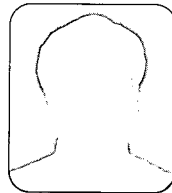
저 자 소 개



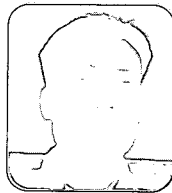
**함길호(咸吉鎬)**  
1959년 5월 25일생. 1982년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1982년-현재 LG산전 전력시험기술센터 책임 연구원.



**박지훈(朴智薰)**  
1961년 8월 9일생. 1988년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1988년-현재 LG산전 전력시험기술센터 선임 연구원.



**이희철(李熙喆)**  
1963년 6월 26일생. 1988년 충북대 공대 전기공학과 졸업. 1988년-현재 LG산전 전력시험기술센터 선임 연구원.



**나철봉(羅七鳳)**  
1962년 5월 3일생. 1988년 건국대 공대 전기공학과 졸업. 1988년-현재 LG산전 전력시험기술센터 선임 연구원.



**배극현(裴克賢)**  
1961년 9월 4일생. 1987년 서강대 이공대 물리학과 졸업. 1989년 동 대학원 물리학과 졸업(이학석사) 1989년-현재 LG산전 전력시험기술센터 선임 연구원.



**박종화(朴鐘華)**  
1953년 2월 27일생. 1978년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 한국전기연구소 대전력 시험실장 전력기기연구부장 역임 1999년-현재 LG산전 전력시험기술센터 책임 연구원.