

C-GIS의 설계 및 성능평가 결과분석

신영준, 김맹현, 류형기, 이용한, 김창현, 김진기*, 김귀식*
한국전기연구원, *진광이앤씨

The design of C-GIS and the analysis of its performance test results

Y.J. Shin, M.H. Kim, H.K. Ryu, Y.H. Lee, C.H. Kim, *J.K. Kim, *K.S. Kim
KERI, *Jinkwang E&C

Abstract - The cubicle type GIS rated at 25.8kV has been designed and manufactured by Jinkwang E&C recently with their own technologies and KERI's assistances. The C-GIS has been tested to check the design capability for reference before conducting the type test. The operating characteristics test, short time withstand current and peak withstand current test, basic short circuit test duty T60 for preconditioning test, cable charging current switching test, capacitor bank current switching test, basic short circuit test duty T100s and T100a, single phase earth fault test, double earth fault test has been conducted. The test results show that the design and the manufacturing of the C-GIS has an enough capability to pass through the type test except the occurrence of 2 NSDDs in the cable charging current switching test and the instability of opening time at the minimum operating voltage. The problems shown in the tests will be improved soon and the successful pass will be expected in the following type test.

수 있다.

변전소에 설치되는 GIS는 통상적으로 4개의 주 변압기가 설치되는 것이 일반적이며, 그림 1은 1 Bank를 기준으로 표시한 Diagram으로 170kV GIS에서 전원공급을 받는 Main Bay, 수용가에게 전원을 공급하기 위한 Feeder Bay, 모선을 절제하기 위한 Tie Bay, 다른 Bank와 연계 운전을 위한 Section Bay로 구성되어 있다.

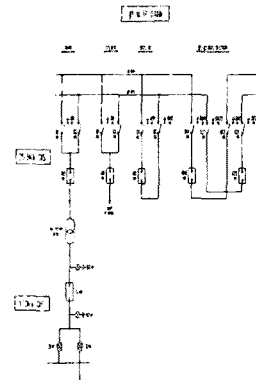


그림 1. Single Line Diagram(1 Bank, Double Bus)

- Q0 : 차단기(Main, Feeder, Tie)
- Q1/Q2 : 1모선 단로기/2모선 단로기
- Q9 : 1모선 접지 개폐기(Main, Feeder)
- Q91/Q92 : 1모선/2모선 접지 개폐기(Tie Bay)
- Q10 : 1모선 차단기(1모선 Section Bay)
- Q11/Q12 : 1모선 단로기(1모선 Section Bay)
- Q911/Q912 : 1모선 접지 개폐기(1모선 Section Bay)
- Q20 : 2모선 차단기(2모선 Section Bay)
- Q21/Q22 : 2모선 단로기(2모선 Section Bay)
- Q921/Q922 : 2모선 접지 개폐기(2모선 Section Bay)

1. 서 론

우리나라 22.9kV 변전소에 사용되고 있는 GIS는 아직까지 원형 탱크구조를 가지고 있기 때문에 선진국에서 이미 개발하여 사용하고 있는 Cubicle Type GIS (C-GIS)에 비해 크기 및 설치면적이 크고 구조가 복잡하여 기술성 및 경제성이 취약하다고 볼 수 있다.

이에 진광이앤씨(주)는 한국전기연구원의 도움을 받아 콤팩트하고 가격경쟁력이 있는 C-GIS를 국산화 연구개발하기 위하여 자체적으로 설계하고 제작하여 참고시험으로 중요 시험항목을 테스트해 본 결과 우수한 설계성을 입증할 수 있었다.

본 논문에서는 C-GIS의 구조 및 설계에 대해 기술하고, 참고시험으로 행한 단시간전류시험, 기본단락시험, 케이블 충전전류 개폐시험, 콘덴서뱅크전류 개폐시험, 단상단락시험, 이상지락시험 등의 결과에 대해 분석하며, 성능평가과정에서 나타난 문제점을 해결하기 위한 방안을 제시함으로써 향후 수행할 개발시험에서 성공적 성과를 거둘 수 있도록 대비하고자 한다.

2. C-GIS의 구조 및 설계

2.1 C-GIS의 구조

가스절연개폐장치(GIS : Gas Insulated Switchgear)는 변전소에 설치되는 전력기기로서 모선의 구분에 따라 단모선, 복모선으로 구분할 수 있으며, 복모선 기준으로 구성요소를 살펴보면 차단기부, 3단개폐부, 단로기부, 계전기부, 개측기부, 변압기부, 변류기부 등으로 크게 구분할

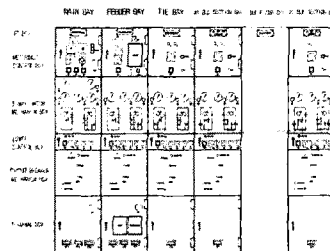


그림 2. C-GIS 설치도(1 Bank, Double Bus)

그림 2에는 1 Bank, Double Bus 형태의 C-GIS 설치도가 나타나 있다. 이 그림에 나타나 있는 주요 기기의 용도에 대해 설명하면 다음과 같다.

- (1) 전압변성기(PT1 / PT2) : 1모선 / 2모선의 전압(22.9 kV)을 감지하여 전압계 및 전력량계에 제공
- (2) 변류기(CT) : 계측기용은 각 Bay에 흐르는 전류를 감지하여 전류계에 제공하고, 계전기용은 과부하계전기(OCR) 및 재폐로계전기(RCR)에 제공
- (3) 계측기부 : 전압계(V1, V2)는 1모선, 2모선 전압을 확인할 수 있는 계기이며, 전류계(A)는 각 Bay에 흐르는 전류를 확인할 수 있는 계기이고, 압력계(P)는 각 구획별 압력을 감지하여 압력저하 상태를 확인할 수 있는 계기이며, 압력저하 표시램프는 각 구획별 압력저하 상태를 확인할 수 있는 표시기이고, 역률계(PF)는 수용가의 역률을 확인할 수 있는 계기이며, 전력량계(WHM)는 수용가의 전력량을 확인할 수 있는 계기
- (4) 단로기부 : 선로의 유지보수 또는 모선 절체를 위한 용도로 무전압 상태에서 개폐 가능
- (5) 3단 개폐부 : 단일 조작기구에 의해 투입, 개방, 접지 가능한 3단 개폐부
- (6) 조작 핸들부 : 차단기, 단로기, 3단 개폐기 등을 조작할 수 있는 핸들
- (7) 차단기부 : 정격전류 및 고장전류를 제거할 수 있는 차단기
- (8) 계전기부 : 고장전류 또는 과부하전류 검출을 위한 과부하계전기(OCR), 재폐로 명령을 하달하는 재폐로계전기(RCR)
- (9) 터미널 박스 : 차단기, 단로기, 3단개폐기, 전압, 전류, 압력 등의 각종 정보를 원격에 제공하여 변전소 원격 운전을 가능하도록 정보 제공

2.2 C-GIS의 설계

가스절연개폐장치의 설계는 내구성을 기본적 배경으로 신뢰성을 확보할 수 있는 설계가 되어야 하며, 장수명으로 설계되어야 한다. 가스절연개폐장치를 구성하고 있는 구성요소 중에서 가장 중요한 차단부, 3단 개폐접점부, 스페이스부에 대하여 다음과 같이 설계하였다.

차단부로는 정격전류 및 고장 전류를 소호하기 위하여 진공을 소호 매질로 하는 진공차단부를 채택하였으며, 이를 고정하기 위하여 전기적 및 기계적 내구성을 감안한 베리어에 설치하도록 설계하였다.

3단 개폐 접점부로는 단일 접점에 의해 투입, 개방, 접지 가능한 접점구조로 설계되었으며, 전기적 통전능력을 확보하기 위하여 다중 접촉구조의 접점으로 설계하였다.

절연 스페이스로는 큐비클형 가스절연개폐장치의 콤팩트화를 실현하기 위한 설계로 절연 스페이스를 3상일괄형으로 설계하였으며, 전기적 통전능력을 확보하기 위하여 충분한 단면적을 갖도록 설계하였다. 특히 기계적 내구성을 위하여 에폭시(Epoxy)에 접점을 삽입하여 성형하도록 설계하였다.

3. 성능평가 결과

3.1 동작특성시험 결과

가스절연개폐장치의 동작특성은 단락시험을 실시함에 있어서 매우 중요한 특성이기 때문에 조작전압별로 개폐 동작 특성시험을 실시하였다. 트립은 정격트립조작전압 125V_{dc}의 60%, 100%, 125%에서, 투입은 정격투입조작전압 125V_{dc}의 75%, 100%, 125%에서 실시하였으며, O, C, C-O, O-0.3초-CO의 동작채우에 대해 동작시간, 트리퍼 전류, 트립 및 투입 속도를 측정하였고, 그 결과를 정리하면 표 1과 같이 요약된다.

표 1. 동작특성시험 결과 요약

제어 전압	동작 채우	동작 시간 (ms)	트리퍼 전류 (A)	속도 (m/s)	
최소전압 O : 75.00V _{dc} C : 93.75V _{dc}	O	61.6	1.87	1.5	
	C	50.1	2.09	1.2	
	C-O	C	49.6	2.12	1.1
		O	49.1	1.83	1.3
	O-0.3초-CO	O	61.0	1.83	-
		C	48.9	2.13	-
정격전압 O : 125.00V _{dc} C : 125.00V _{dc}	O	40.6	3.06	1.5	
	C	44.8	3.07	1.1	
	C-O	C	44.3	3.04	1.1
		O	39.2	3.06	1.4
	O-0.3초-CO	O	40.5	3.05	-
		C	43.5	3.06	-
최대전압 O : 156.25V _{dc} C : 156.25V _{dc}	O	36.0	3.84	1.3	
	C	41.1	3.82	1.1	
	C-O	C	41.7	3.81	1.1
		O	35.5	3.85	1.5
	O-0.3초-CO	O	35.8	3.83	-
		C	41.1	3.82	-
	O	35.7	3.84	1.4	

동작특성 시험결과 최소전압에서 트립시간이 다소 일정하지 못하게 나타나는 점이 있었고, 3극 부동시간의 조정에 다소 어려운 점이 있었기 때문에 이 점들은 향후 개선할 예정이다.

3.2 단시간전류시험 결과

C-GIS의 3가지 통전경로에 대해 IEC 62271-100에 따라 시험한 결과 이상이 없어 단시간전류에 의한 전자기 계력을 충분히 견디고, 열적인 통전능력도 충분함을 확인하였다. 시험결과를 요약하면 표 2와 같다.

표 2. 단시간전류시험 결과 요약

시험조건	시험결과
시험전류: 25kArms 시험전류: 65kAp(+5%, -10%) 주파수: 60Hz(+10%, -10%) 통전시간: 1.0초	통전경로: CB(Q)-DS(Q1)-BUS(1) Ip: 65.0kAp, 0.35sec I: 25.3kArms, 1.04sec
	통전경로: CB(Q)-DS(Q2)-BUS(2) Ip: 65.5kAp, 0.33sec I: 25.3kArms, 1.04sec
	통전경로: CB(Q)-ES(Q) Ip: 66.3kAp, 0.35sec I: 25.3kArms, 1.04sec

3.3 기본단락시험(T60) 결과

기본단락시험 T60은 충전전류개폐시험을 하기 위한 전처리시험(Preconditioning test)으로 이상현상이 발견되지 않았으며, 시험결과를 요약하면 표 3과 같다.

표 3. 기본단락시험(T60) 결과 요약

시험조건	시험결과
시험전류: 15kArms 주파수: 60Hz 제어전압 : 125V _{dc} 조작전압 : 125V _{dc} 동작채우 : O 3회	- 동작채우: O 3회 - 시험전류: 15.2/15.1/15.1 kArms - 약크시간: 6.8/8.6/7.5 ms - 차단시간: 44.6/46.4/45.3 ms

3.4 케이블 충전전류(CC1) 및 콘덴서 뱅크전류(BC1) 개폐시험 결과

소전류 개폐성능을 확인하기 위해 케이블 충전전류 개폐시험 및 콘덴서 뱅크전류 개폐시험을 실시한 결과 케이블 충전전류 개폐시험에서 비유지파괴방전(NSDD: Non-Sustained Disruptive Discharge) 2회가 발생하였으나 소전류 개폐성능에는 이상이 없었다. 따라서 이 C-GIS는 소전류를 차단하고 0.5 사이클 후에 계통최고전압의 2배가 극간에 인가되어도 잘 견딜 수 있다는 것이 검증되었으며, 이 시험결과를 요약하면 표 4와 같다.

표 4. 케이블 충전전류 및 콘덴서 뱅크전류 개폐시험 결과요약

시험조건	시험결과
시험채무 : CC1 시험전압 : 20.9kV(단상) 시험전류 : 3.15-12.6A 시험회수 : 48회(15도 간격 각 극성에서 12회 = 24회, 각 극성에서 최소 아크 시간 6회 = 12회, 15도 간격으로 추가 12회) 시험주파수 : 60Hz±2% 과도회복전압 : $u_c \geq 58.4kV$, $u_1 \leq 0.83kV$, $t_1 \geq 105\mu s$, $t_2 \leq 7.3ms$ 제어/조작전압 : 125V _{dc}	시험채무 : CC1 시험전압 : 20.9kV 시험전류 : 9.7A 과도회복전압 : $u_c = 59.2kV$, $u_1 = 0.8kV$, $t_1 = 143.6\mu s$, $t_2 = 7.3ms$ 아크시간 : 0.1-9.7ms 차단시간 : 37.9-47.5ms 개폐과전압 : 1.0pu 시험회수 : 48회 피시험상 : B상 ※ 첫2회 NSDD 발생
시험채무 : BC1 시험전압 : 20.9kV(단상) 시험전류 : 40-160A 시험회수 : 48회(15도 간격 각 극성에서 12회 = 24회, 각 극성에서 최소 아크 시간 6회 = 12회, 15도 간격으로 추가 12회) 시험주파수 : 60Hz±2% 과도회복전압 : $u_c \geq 58.4kV$, $u_1 \leq 0.83kV$, $t_1 \geq 105\mu s$, $t_2 \leq 7.3ms$ 제어전압 : 125V _{dc}	시험채무 : BC1 시험전압 : 20.9kV 시험전류 : 102A 과도회복전압 : $u_c = 59.2kV$, $u_1 = 0.8kV$, $t_1 = 143.6\mu s$, $t_2 = 7.3ms$ 아크시간 : 0.1-8.5ms 차단시간 : 37.9-46.2ms 개폐과전압 : 1.0pu 시험회수 : 48회 피시험상 : B상

3.5 기본단락시험(T100s & T100a) 결과

100% 정격단락전류 차단성능을 검증하기 위해 기본단락시험 T100s 및 T100a를 실시하였으며, 시험결과 이상 현상이 발견되지 않았다. 시험결과를 요약하면 표 5와 같다.

표 5. 기본단락시험 T100s 및 T100a 결과요약

시험조건	시험결과
시험채무 : T100s 회복전압 : $\geq 24.5kV$, 0.3초 시험전류 : 25kA _{rms} , 65kA _p 시험주파수 : 60Hz±8% 과도회복전압 : $u_c = 44kV$, $t_3 = 105\mu s$, $t_d = 16\mu s$ 시험회로 역할 : ≤ 0.15 제어/조작전압 : 125V _{dc}	시험채무 : T100s 회복전압 : 24.7kV 시험전류 : 24-25.7kA, 65.1-66.6kA _p 과도회복전압 : $u_c = 44.6kV$, $t_3 = 85\mu s$ 아크시간 : 7.1-9.1ms 차단시간 : 44.9-46.9ms 시험회수 : O 3회, O-0.3초 -CO 1회, CO 1회 %dc : 20% 이하
시험채무 : T100a 회복전압 : $\geq 24.5kV$, 0.3초 시험전류 : 25kA _{rms}	시험채무 : T100a 회복전압 : 24.7kV 시험전류 : 25.7kA

%dc : 37.3%	% dc : 38.0-39.5%
시험주파수 : 60Hz±8%	과도회복전압 : $u_c = 44.6kV$, $t_3 = 85\mu s$
과도회복전압 : $u_c = 44kV$, $t_3 = 105\mu s$, $t_d = 16\mu s$	아크시간 : 6.6-10.3ms
시험회로 역할 : ≤ 0.15	차단시간 : 44.9-48.1ms
제어/조작전압 : 125V _{dc}	시험회수 : O 3회

3.6 단상지락 및 2상지락 고장전류 차단시험 결과

단상 지락 및 2상 지락 사고가 발생할 경우 C-GIS의 차단성능을 검증하기 위해 시험을 실시하였으며, 시험결과 이상현상이 전혀 발생하지 않았다. 시험결과를 요약하면 표 6과 같다.

표 6. 단상 및 2상 지락고장전류 차단시험 결과요약

시험조건	시험결과
시험채무 : 단상지락 시험전압 : 14.9kV 시험전류 : 25kA _{rms} %dc : 20% 이하 시험주파수 : 60Hz±8% 과도회복전압 : $u_c = 29.5kV$, $t_3 = 70\mu s$ 제어/조작전압 : 125V _{dc}	시험채무 : 단상지락 회복전압 : 14.7kV 시험전류 : 25.2kA %dc : 20% 이하 과도회복전압 : $u_c = 30.2kV$, $t_3 = 52\mu s$ 아크시간 : 8.7ms 차단시간 : 46.5ms 시험회수 : O 1회
시험채무 : 2상지락 시험전압 : 25.8kV 시험전류 : 21.75kA _{rms} %dc : 20% 이하 시험주파수 : 60Hz±8% 과도회복전압 : $u_c = 51kV$, $t_3 = 122\mu s$ 제어/조작전압 : 125V _{dc}	시험채무 : 2상지락 회복전압 : 24.7kV 시험전류 : 22.1kA % dc : 20% 이하 과도회복전압 : $u_c = 51.2kV$, $t_3 = 100\mu s$ 아크시간 : 9.3ms 차단시간 : 47.1ms 시험회수 : O 1회

4. 결론

최근 진광이앤씨(주)는 원형 탱크구조에 비해 기술성 및 경제성이 우수한 큐비클형 가스절연개폐장치(C-GIS)를 자체적으로 설계하고 제작하여 한국전기연구원에서 참고적으로 설계성능을 검증하여 보았다.

C-GIS의 구조 및 설계는 한국전력공사에서 사용하기에 불편함이 없도록 한전의 구매규격과 IEC 62271-100을 만족할 수 있도록 설계하였으며, 특히 차단부, 3단 개폐점점부, 절연 스페이스 등 주요 구성부가 충분한 내구성 및 신뢰성을 가지도록 설계하였다.

이와 같이 설계된 피시험품을 제작하여 중요한 시험항목만을 골라 참고시험을 실시한 결과 충분한 설계성능을 확인할 수 있었다.

향후에는 시험중에 발생한 NSDD 문제와 동작특성의 불안정성을 개선하여 개발시험을 진행할 예정이며, 국산화 개발에 성공할 수 있을 것으로 전망하고 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] IEC, "IEC 62271-100 High-voltage switchgear and controlgear Part 100: High-voltage alternating-current circuit-breaker" 2001년 5월
- [2] 신영준, 김진기, 김귀식 "25.8kV C-GIS 국산화 개발을 위한 구조 및 설계", 2002년도 대한전기학회 경남지부 춘계학술대회 논문집, 2002년 4월 20일