

진공차단기용 전자식 보조접점 컨트롤러 개발 및 성능인증시험에 관한 연구

A Study on the Development of Controller which is used Electric Operating Cell(EOC) for Vacuum Circuit Breaker and the Controller Performance Certification Test

이 기 선* · 박 정 철** · 추 순 남†
(Ki-Seon Lee · Jung-Cheul Park · Soon-Nam Chu)

Abstract - This study is about the controller development of the Electric Operating Cell(EOC) which will replace the Mechanical Operated Cell(MOC) of the vacuum circuit breaker which has been used in the power plant and the performance test for the developed controller. The controller developed through this study was manufactured considering the harsh installation environment and electrical condition of the power plant, and the controller performance certification test for confirming the product reliability was taken to know whether or not to withstand fully in various electrical and mechanical problems. Items for performance certification test were AC power frequency voltage withstand test, combined surge immunity test, 1 [MHz] oscillatory SWC test, fast transient SWC test, radiated electromagnetic interference test, vibration test. As a result, all tests has passed an examination without malfunction.

Key Words : Controller development, Electronic type sensor, EOC, MOC, VCM, Performance certification test

1. 서 론

차단기는 전기회로에서 정상상태인 통상전류의 개폐 및 이상상태인 단락 등의 사고시 사고전류의 차단과 사고점의 분리 등을 목적으로 설치하며 전력기기를 보호함은 물론 계통의 안정성 유지 및 사고과급을 방지하는 역할을 수행한다. 차단기 종류중 하나인 진공차단기(Vacuum Circuit Breaker, VCB)는 소호매체로 진공을 사용하는 VI (Vacuum Interrupter)를 적용하는데, 개폐 시 발생하는 아크를 밀도가 낮은 고진공(10^{-5} Torr)속에서 확산하여 소호하고 소호부가 밀봉된 용기 내에 내장하고 있기 때문에 유 독가스 발생, 화재 등의 걱정이 없고 소음도 없으며 점점 보수가 쉬우며 유도전동기와 같은 유도성 부하의 개폐기로 널리 이용되고 있으며 최근 신철 발·변전소 큐비클에 널리 사용되고 있다[1, 2].

국내 발전소용 진공차단기는 345kV 옥외변전소 또는 발전기 모선으로부터 소내변압기를 거친 전력을 공급받는 6.9kV 인입용 차단기와 251HP 이상의 전동기 및 480V Load Center에 전력을 공급하는데 사용하는 부하용 차단기로 크게 분류된다.

국내 대부분의 발전소용 진공차단기는 기계식 연결 구조의 진공차단기 보조접점(MOC)를 적용하고 있어 보조접점을

구동시키는 레버 동작시 강한 충격으로 보조접점에 체터링 및 리바운스 현상이 발생하여 점점 오동작이 빈번히 발생할 수 있는 구조적 취약점을 가지고 있다[3, 4]. 본 논문은 이러한 취약점을 개선하기 위하여 진공차단기의 기계식 보조접점을 비접촉식 전자식 센서 동작을 입력 받아 릴레이 접점을 출력하는 전자식 보조접점을 개발하는데 최종 목표를 두었으며, 이 목표를 달성하기 위해 선행연구로 발전소에 설치되어 운용중인 독일의 Sick(사)의 진공차단기를 가혹한 설치 환경을 고려한 전기적 시험을 거쳐 진공차단기에 부착 될 최적의 센서를 선정하는 내용을 발표하였다[4]. 금번 연구에서는 최종 선정된 전자식 센서를 토대로 비접촉식 전자식 센서 동작을 입력 받아 릴레이 접점을 출력하는 전자식 보조접점 컨트롤러를 개발하여 현장의 진공차단기에 설치 운영하는 것에 대한 내용으로, 컨트롤러 시제품을 제작 하여 현장 적용시 발생할 수 있는 문제점을 발굴하여 한국전기연구원(KERI)의 성능인증시험을 실시하여 합격함으로써 현장 적용에 문제가 없음을 증명하였다[5, 6].

2. 본 론

2.1 컨트롤러 일반사항

컨트롤러 외함 전면에는 HMI interface, 상태표시부, battery test부로 구분하고, 외함 후면에는 전원 및 제어 단자대, 출력 단자대, 휴즈박스, 전원 및 제어스위치 및 부저 등이 위치 하 도록 하였다. 컨트롤러 출력은 릴레이 접점으로 출력하며 진공차단기가 투입시 “a”접점이 출력되고 개방시 “b” 접점을 출력하며, 출력 접점 수는 5a5b, 접점의 정격은 IEC 62271-1 5.4.4.5.4항 class1, 정격전류는 10A, 정격차단용량은 440W로 했다. 컨트롤러는 두 개의 센서입력으로

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering
Gachon University, Korea

E-mail : snchu@gachon.ac.kr

** Dept. of Electronic Engineering Gachon University, Korea

* Dept. of Electrical Engineering Gachon University, Korea

접수일자 : 2015년 7월 24일

수정일자 : 2015년 8월 24일

최종완료 : 2015년 8월 27일

진공차단기의 상태 판단 및 진공차단기의 상태를 dry contact으로 출력하고 입력신호의 안정성 판단을 위하여 지연시간을 0 ~ 1000 (3step: 100, 500, 1000)ms로 설정할 수 있도록 했다. 두 개의 센서입력이 일치하지 않을 경우 경보 기능이 있도록 설계하였다. 하나의 센서 입력이 "ON"으로 전환될 경우, 다른 하나의 센서의 입력이 "OFF"로 전환되지 않을 경우 또는 이의 반대 경우에 알람이 울리도록 설계하였다.

2.2 컨트롤러 구성요소

2.2.1 Noise filter

전원입력부, 센서신호 입력부, 접점 출력부, 배터리충전부 등 모든 입력 및 출력부에는 그림 1과 같이 서지보호용 필터를 설치했다.

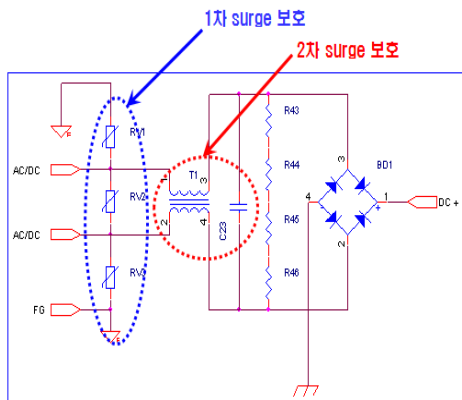


그림 1 Surge 보호용 filter 회로도

Fig. 1 Filter circuit diagram for surge protection

2.2.2 SMPS

적용된 SMPS는 입력전압이 DC 125V와 AC 110V를 공용으로 사용할 수 있으며 출력전압은 DC 12V, 입력전압의 변동율은 85% ~ 110%이내, Ripple $\pm 1\%$ 이하로 설계하였다. 그림 2는 SMPS 회로도도를 나타냈다.

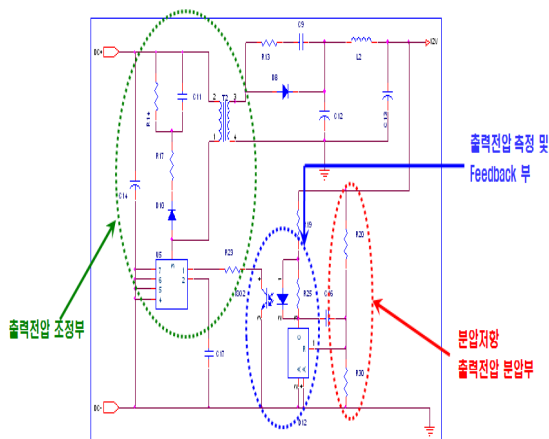


그림 2 SMPS 회로도

Fig. 2 SMPS circuit diagram

2.2.3 신호 입력부 및 연산부

신호입력부는 적당한 전자소자를 사용하여 전기적으로 절연되고 컨트롤러 연산을 수행하며 이를 출력하는 기능을 가지는 회로로 그림 3과 같이 구성하였다.

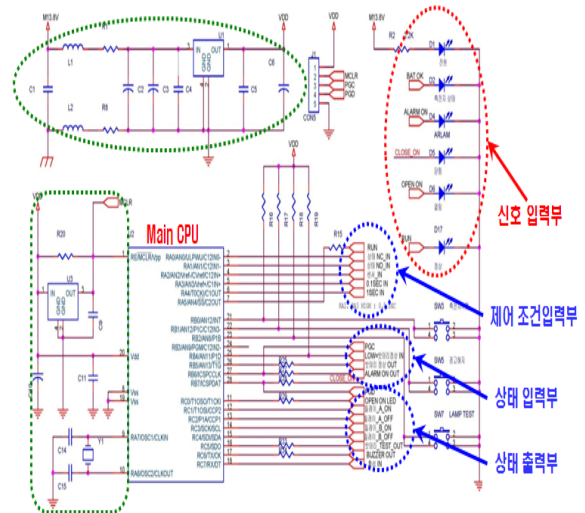


그림 3 신호 입출력부 및 연산부

Fig. 3 signal input/output and arithmetic part

2.2.4 접점 출력부

Analog relay를 사용하여 상기 "2.1 컨트롤러 일반사항"의 접점 출력 기능을 가지도록 하였다.

2.2.5 배터리 충전부

그림 4와 같이 DC 12V 배터리를 충전하는 회로를 가지며 부동충전방식이다. 배터리 충전부는 컨트롤러에 설치된 배터리를 8시간 이내에 99% 이상 충전할 수 있는 용량이다.

2.3 진공차단기용 컨트롤러 제작

그림 5와 같이 HMI 보드와 신호입력 및 출력부로 2개의 전자식 센서 입력을 사용하였으며, 포토커플러를 사용하여

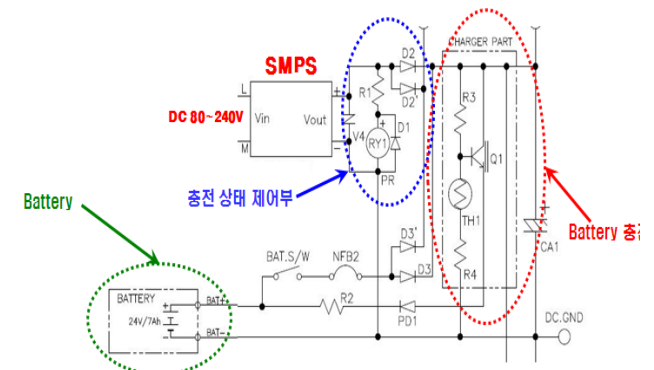


그림 4 Battery 충전부

Fig. 4 Battery charging part

입출력 신호를 전기적으로 절연하였다.

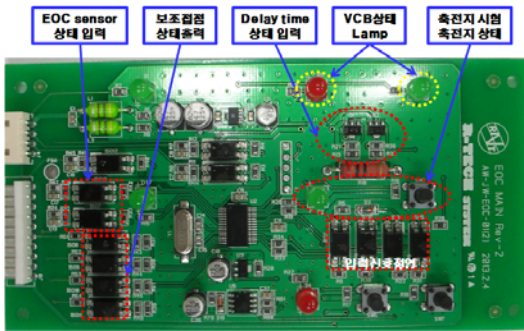


그림 5 컨트롤러 HMI board 및 신호입력 및 출력부
Fig. 5 A controller HMI board and signal input/output part

그림 6은 릴레이 보드 및 SMPS부를 나타낸 것으로 써지 필터를 외부 입출력단자 PCB부분으로 옮겨 제어회로부와 입출력 써지 필터부를 분리시켰으며, PCB의 크기를 키워 접점출력 릴레이를 일직선으로 배열하였다.

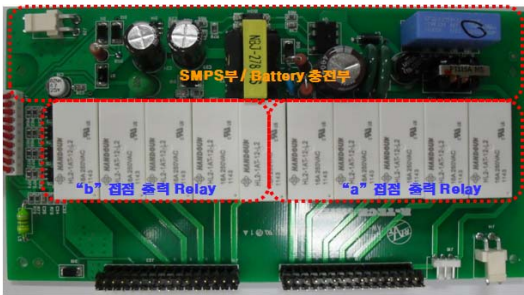


그림 6 컨트롤러 Relay board 및 SMPS부
Fig. 6 A controller relay board and SMPS part

그림 7은 입출력 단자대부를 나타낸 것으로 배선을 간단히 하기 위해 출력 단자대와 입력 단자대의 거리를 이격시키고, 단자대 뒷면에 써지 필터를 설치하여 내부회로에 써지 침입을 방지시켰다.

그림 8은 용접구조 외함을 나타낸 것으로 컨트롤러의 내진동 특성의 향상을 위해 용접구조의 PCB 지지대 외함을 적용하였다.

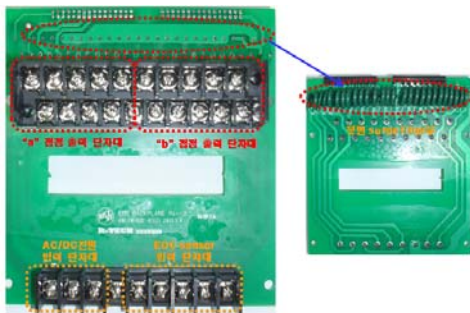


그림 7 컨트롤러 입력 및 출력 단자대부
Fig. 7 A controller input/output terminal block part

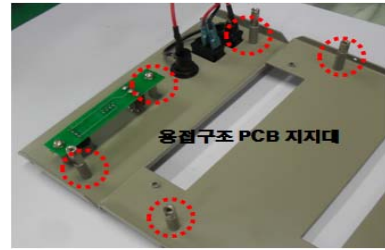


그림 8 컨트롤러 용접구조 외함
Fig. 8 A controller welded component enclosure

상기의 구성요소들을 포함하는 컨트롤러 제작 후 현장 시범 설치 전에 컨트롤러 시험을 위하여 그림 9와 같이 시험 판넬을 제작한 후 컨트롤러를 설치하여 자체 시험을 실시하였다.

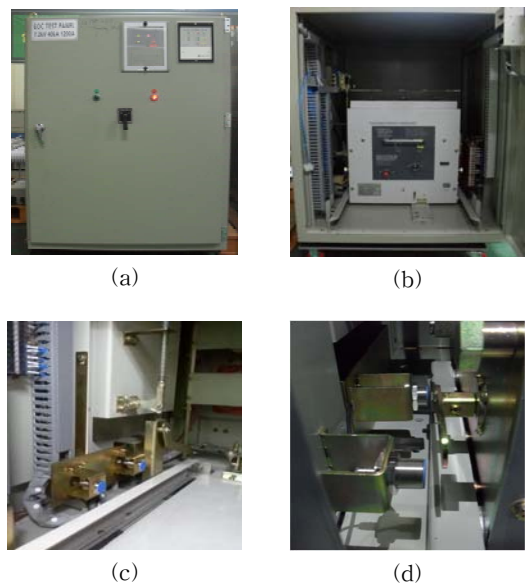


그림 9 시험판넬 및 전자식 보조접점 설치사진
(a) 시험판넬, (b) 진공차단기 투입상태,
(c)~(d) 배전반내 보조접점 설치사진
Fig. 9 Test panel and EOC installation picture
(a) test panel, (b) VCB close state,
(c)~(d) EOC installation picture in switch board

2.4 컨트롤러 성능인증시험

아래는 컨트롤러의 발전소 현장 사용 환경을 고려하여 시행한 성능인정시험으로 상용주파 및 충격과 등에서 발생 할 수 있는 써지(Surge) 시험 및 내진동시험과 신뢰성 수명시험을 한국전기연구원(KERI)에 의뢰하여 시행하였다.

2.4.1 써지 시험 및 내진동시험

첫 번째 써지시험은 상용주파 내전압시험으로 KSC 8330 (1999년)의 규격을 적용하였으며, 전기회로와 대기간에 시험 전압(2kV/1분)을 인가하여 시험하였다[7]. 그 시험결과는 표 1과 같다.

표 1 상용주파 내전압 시험

Table 1 AC power frequency voltage withstand test

Test conditions and requirement			Result(s)
Electric circuits to ground	AC 60 Hz 2000V 1min	Aux.Power to ground	Withstood
		Close sensor input (+,out,-) to ground	Withstood
		Open sensor input (+,out,-) to ground	Withstood
		DO(A1~A5, B1~B5) to ground	Withstood
※ () is contact name.			

두 번째 써지시험은 충격과 내전압시험으로 ANSI/IEEE C62.45 (2002년) 규격을 적용하였으며, 시험전압은 제어전원과

전압/전류회로는 6[kV] 및 접점회로 4[kV], 전압파형 1.2×50 [μs], 전류 파형 8×20[μs], 극성은 정극성 및 부극성으로 인가 횟수는 각 5회 실시하였다[8]. 시험결과는 표 2와 같다.

세 번째 써지시험은 1[MHz] 진동 써지내력(SWC, Surge Withstand Capacity)시험으로 ANSI/IEEE C37.90.1 (2012년) 규격을 적용하였으며, 시험조건으로는 진동 주파수 1 [MHz], 전압 상승시간 75[ns], 반복 주파수 400[Hz], 극성은 정극성 및 부극성으로 2초이상 인가하였다[9]. 시험결과는 표 3과 같다.

네 번째 써지시험은 순간감쇠 써지내력시험으로 ANSI/IEEE C37.90.1 (2012년) 규격을 적용하였으며, 시험조건으로는 전압 상승시간 5[ns], 50% 피크전압 유지시간 50[ns], 반복 주파수 2.5[kHz], 버스트 유지시간 15[ms], 버스트 주기 300[ms], 극성은 정극성 및 부극성이며 인가시간은 극성별로 각 1분을 시험하였다[10]. 시험결과는 표 4와 같다.

다섯 번째 써지시험은 전자파 장애시험으로 ANSI/IEEE C37.90.2 (2004년) 규격을 적용하였으며, 시험조건으로는 전계강도 35[V/m], 인가 주파수 80[MHz]~1[GHz], 주파수 변조 1

표 2 충격파 내전압 시험

Table 2 Combined surge immunity test

Test conditions and requirement	Test port	Test mode	Test voltage kV	Results
o Test specification - Voltage waveform : (1.2×50)μs - Current waveform :(8×20)μs - Output impedance : 2Ω - Relation to power supply : asynchronous - Polarity : positive and negative - Repeat : 5 times, each polarity - Repetition rate : 60 s o EUT setting - Aux. power : DC 125V o Performance criteria - No damage and malfunction during the test	Aux. power	Common	6.0	No malfunction
		Differential	6.0	No malfunction
	DI	Common	4.0	No malfunction
		Differential	4.0	No malfunction
	DO	Common	4.0	No malfunction
		Differential	4.0	No malfunction

표 3 1[MHz] 진동 써지내력시험

Table 3 1[MHz] Oscillatory SWC Test

Test conditions and requirement	Test port	Test mode	Test voltage kV	Results
o Test specification - Voltage rise time : 75 ns - Oscillation frequency : 1 MHz - Repetition rate : 400 Hz - waveform envelope : decaying to 50% of peak value between 3rd and 6th periods - Output impedance : 200Ω - Relation to power supply : asynchronous - Polarity : positive and negative - Burst duration : not less than 10 s, each polarity o EUT setting - Aux. power : DC 125V o Performance criteria - No damage and malfunction during the test	Aux. power	Common	2.5	No malfunction
		Differential	2.5	No malfunction
	DI	Common	2.5	No malfunction
		Differential	2.5	No malfunction
	DO	Common	2.5	No malfunction
		Differential	2.5	No malfunction

표 4 순간감쇠 써지 내력시험

Table 4 Fast transient SWC test

Test conditions and requirement	Test port	Test mode	Test voltage Repetition rate	Results
o Test specification - Voltage rise time : 5 ns - Duration time to 50% peak voltage : 50ns - Burst duration : 15 ms - Burst period : 300 ms - Relation to power supply : asynchronous - Polarity : positive and negative - Test duration : 1 min, each polarity o EUT setting - Aux. power : DC 125V o Performance criteria - No damage and malfunction during the test	Aux. power	Common	4.0 kV 2.5 Hz	No malfunction
		Differential	4.0 kV 2.5 Hz	No malfunction
	PT	Common	4.0 kV 2.5 Hz	No malfunction
		Differential	4.0 kV 2.5 Hz	No malfunction
	CT	Common	4.0 kV 2.5 Hz	No malfunction
		Differential	4.0 kV 2.5 Hz	No malfunction

표 5 전자파 장애시험

Table 5 Radiated electromagnetic interference test

Test conditions and requirement	Test port	Field strength	Result(s)
o Test specification - Frequency : 80 MHz ~ 1GHz - Modulation : 80% AM by 1kHz sine wave - EUT position : Front - Dwell time : 1 s - Step size : 1 % of fundamental - Antenna direction : Vertical and horizontal - Placement : 0.8 m above the ground plane o EUT setting - Aux. power : DC 125V o Performance criteria - Malfunction, failure or damage shall not be observed during the test	Enclose	35	No malfunction

[kHz], 정현파 80 % AM, 인가방향은 전면이며 안테나 방향은 수직 및 수평, 지속시간(Dwell time)은 1초로 정하였다 [11]. 시험결과는 표 5와 같다

여섯 번째 시험은 내진동시험으로 KSC 4511 (2001년) 9.8.1의 규격을 적용하였으며, 시험조건으로는 시험 주파수 16.7[Hz], 최대변위 4[mm], 진동방향은 X, Y, Z으로 하였다. 시험결과는 표 6과 같다.

표 6 내진동시험

Table 6 Vibration withstand test

Test methods	Requirement	Test result(s)
- Aux. power : non energized - Frequency : 16.7 Hz - Peak displacement(peak to peak) : 4mm - Direction : three different axes of the specimen in turn - Duration : 1 h	No failure or damage during the test	No damage

2.4.2 신뢰성 수명시험(MTBF)

가속인자를 온도로 정의한 어셈블리의 가속계수를 얻기 위해 필요한 개별 부품에 대한 가속계수의 값은 식 (1)을 통해 얻는다[12]. 여기서 개별 부품의 활성화 에너지는 Telcordia SR-332의 값을 따르는 것으로 한다.

$$AF_i = \exp\left[\left(\frac{E_a^i}{k}\right)\left(\frac{1}{T_{normal}} - \frac{1}{T_{accelerated}}\right)\right] \quad (1)$$

여기서, AF_i 는 종류 i 의 가속계수, k 는 Boltzmann 상수 ($8.623 \times 10^{-5} eV/K$), E_a^i 는 종류 i 부품의 활성화 에너지, T_{normal} 는 정상사용조건에서의 절대온도, $T_{accelerated}$ 는 가속조건에서의 절대온도를 의미한다.

표 7은 부품 별 활성화 에너지를 나타냈다. 개별부품의 고장률과 개수 등을 이용하여 식(2)에 적용시켜 어셈블리 가속계수(AF_{assy})를 계산한다

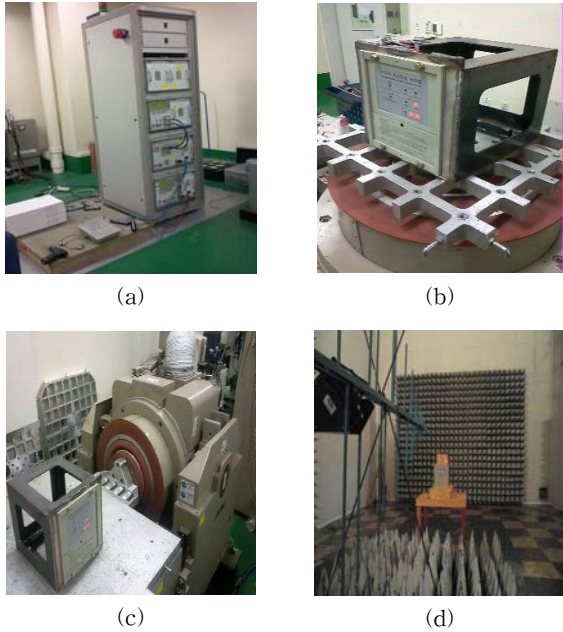


그림 10 시제품 성능인정시험 사진
 (a)~(c) 상용주파 내전압시험/ 충격파내전압시험/ 진동써지내력시험/ 순간감쇠써지내력시험, (d) 전자파 장애시험
Fig. 10 A performance certification test picture for test product (a)~(c) AC power frequency voltage withstand test/Combined surge immunity test/Oscillatory SWC test/Fast transient SWC test, (d) Radiated electromagnetic interference test

$$AF_{assy} = \frac{\sum_{i=1}^m (n_i \times \lambda_{normal}^i \times AF_i)}{\sum_{i=1}^m (n_i \times \lambda_{normal}^i)} \quad (2)$$

EOC는 표본의 개수가 제한적이고 가속수명시험에 따른 비용이 상당히 크기 때문에 아래와 같은 우회적인 방법으로 정상 사용조건인 수명예측해석의 결과인 MTBF(m_e)를 보증한다.

$$P[MTBF_{real} \geq \frac{2t}{\chi_{1-\alpha, 2r+2}^2}] = 1 - \alpha \quad (3)$$

시험시간 t 는 $m_e = MTBF_{real} = \frac{2t}{\chi_{1-\alpha, 2}^2}$ 의 전제하에 계산하면, 식(4)로 표현할 수 있다.

$$t = m_e \frac{\chi_{1-\alpha, 2}^2}{2} \quad (4)$$

이론적 시험시간을 구하기 위한 방법으로 온도를 가속요소로 한 EOC의 가속계수를 계산하기 위해서는 정상사용조건인 고장률, 개별 부품의 가속계수 등을 계산해야 한다.

표 7 개별 부품의 활성화 에너지

Table 7 An activation energy of discrete component

부품의 종류	E_a (eV)
디지털 IC/마이크로 프로세서/RAM	0.5
아날로그 IC	0.56
ROM계열/광소자	0.7
트랜지스터/다이오드(실리콘 타입)	0.22
다이오드(게르마늄 타입)	0.45
Regulator/Varistor/Thyristor	0.15
열저항기/커패시터/스위치	0.4
저항(복합형)/가변저항	0.22
저항(필름형)/인덕터/릴레이	0.15
캐패시터	0.44

정상사용조건 30℃에서 EOC의 고장률은 2,670/10⁹회이다. 따라서, MTBF = 374.397 시간으로 약 42.7년이다. 그러므로, 이 값을 근거로 온도가속을 했을 때의 MTBF를 표 8에 나타냈다.

표 8 가속온도에 따른 가속계수와 추정 MTBF

Table 8 Acceleration factor and estimated MTBF by accelerating temperature

가속온도	어셈블리 가속계수	MTBF(추정)
60℃	11.4	32,785
70℃	23.4	15,978
80℃	46.2	8,014
90℃	87.8	4,264

표 9은 식 (4)을 이용하여 각 신뢰수준에 따른 필요한 시험시간을 계산하여 나타냈다.

표 9 가속조건에 따른 필요 시험시간

Table 9 necessary test time by accelerating condition

가속 온도	신뢰수준에 따른 필요시험시간					
	60%	70%	80%	90%	95%	99%
60℃	2,503	3,289	4,397	6,291	8,184	12,582
70℃	1,220	1,603	2,142	3,065	3,988	6,131
80℃	618	813	1,086	1,555	2,023	3,110
90℃	325	427	571	818	1,064	1,636

표 9를 통해 신뢰수준을 99%, 그리고 시험온도 80℃로 설정하고 시험을 위한 표본을 12개로 하면 시험 조건은 다음과 같다. 시험시간 = 3,110 시간/12개 시료 = 259.16시간 그러므로, 약 10.8 days 이다.

위에서 산출한 신뢰성 수명시험을 위한 시험시간과 각종 시험조건을 기준으로 하여 도출된 결과는 표 10과 같으며, MTBF 시험회로는 그림 11과 같다.

표 10 건열 시험

Table 10 Dry heat test

Test condition	Test requirement	Result
o Temperature : 80 ℃ + 3 ℃ o Duration : 12 days o Quantity of test specimen : 12 o Operating sequence: Close, Open o Number of operation sequences : not less than 640 (See Photo, SG001~SG016) (See Attachment SG001)	The output contacts(5 " a " contact and 5 " b " contact) of each EUT shall operate normally without trouble the test.	Satisfied (Osc. SG001~SG128)

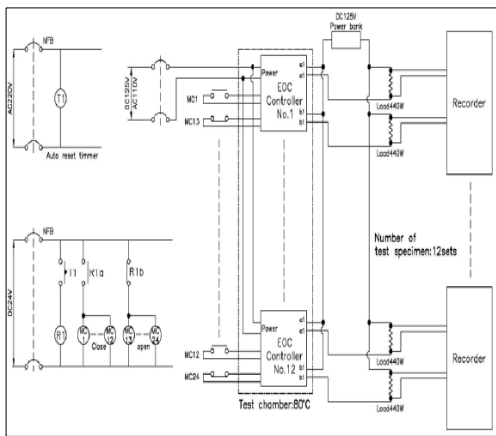


그림 11 MTBF 시험회로
Fig. 11 MTBF test circuit

3. 결 론

본 연구는 진공차단기의 기계식 접점의 취약점을 개선하기 위해 전자식 센서 기술을 전력기에 적용하는 최신의 기술을 토대로 선정된 최적의 센서를 활용하여 전자식 접점 컨트롤러를 개발한 후 진공차단기에 부착하여 운영함으로써 기계식 접점 사용 대비 전자식 센서를 사용한 진공차단기의 동작 신뢰도 및 차단기

고장발생 최소화로 전력공급 안정화에 크게 기여하고자 하였다. 이를 보증하기 위해 제작된 컨트롤러에 대하여 발전소 현장의 가혹한 환경을 고려한 성능인증시험, 즉 5가지의 전기적 시험과 내진동시험을 시행하였고 발전소 현장에 시제품 설치시험을 시행함으로써 제품의 신뢰성을 확고히 하였다. 그 시험결과는 아래와 같다.

1. 상용주파내전압시험은 KSC 8330 (1999년)의 규격에 따라 측정된 결과 이상없음(Withstood)을 확인하였다.
2. 충격과 내전압시험은 ANSI/IEEE C62.45 (2002년)의 규격을 적용하여 시험한 결과 오동작이 없음(No malfunction)을 확인하였다.
3. 1[MHz] 진동 썬지내력시험은 ANSI/IEEE C37.90.1 (2012년)의 규격을 적용하여 시험한 결과 오동작이 없음(No

malfunction)을 확인하였다.

4. 순간감쇠 썬지내력시험은 ANSI/IEEE C37.90.1 (2012년)의 규격을 적용하여 시험한 결과 오동작이 없음(No malfunction)을 확인하였다.
5. 전자과 장애시험은 ANSI/IEEE C37.90.2 (2004년)의 규격을 적용하여 시험한 결과 오동작이 없음(No malfunction)을 확인하였다.
6. 내진동 시험은 KSC 4511 (2001년) 9.8.1의 규격을 적용하여 시험한 결과 손상이 없음(No damage)을 확인하였다.
7. 마지막으로 성능인증시험을 통과한 후 제작된 시제품 컨트롤러를 발전소 현장에 6개월간 설치한 결과 양호하였음을 확인하였다.

위 시험과 시제품 설치시험을 통해 개발된 센서와 컨트롤러는 향후 지속적인 품질관리와 기술개발을 통해 시리즈 제품개발이 가능하리라고 판단이 되며, 외산대비 고성능 및 저원가로 공급할 수 있는 기반이 되어 발전소의 증설 및 보수 교체시 원가절감에 크게 기여할 것으로 기대된다. 또한 타 발전소에 확대 적용이 가능하여 고신뢰성 발전설비 운전이 가능하여 파급효과가 클 것으로 판단된다.

References

- [1] J.H.Hwang, J.C.Lee, Y.J.Kim, "Effects of Electrode Configurations on the Characteristics of Axial magnetic Fields in Vacuum Interrupter", Trans. KSME p.7~p.8, 2008
- [2] J.G. Kim et al, "A Study on the Reduction Method and the Anaylsis of VCM Switching Surge for High Voltage Induction Motor", Trans. KIEE, Vol.43, No.5, pp.761~769, May, 1994
- [3] Flurscheim, Charles. H, Power circuit breaker theory and design, IEE Power Engineering Series1, Chapter8, pp.356~P389
- [4] D.C. Bacvaro et al., "Risk of winding Insulation Breakdown in Large AC Motors Caused by Steep Switching Surge; Part1, Computed Switching Surges", IEEE Trans. EC, Vol. 1, No. 1, pp. 130-137, March 1986
- [5] K.S.Lee, J.C.Park, S.N.Chu, "A Study on the selection and noise test of electronic sensor for Vacuum Circuit Breaker", JKICE, Vol.18, No.10, pp. 2503 - 2508, 2014
- [6] "Testing Turn-to-Turn Insulation on Form-Wound Stator Coils for Alternating Current Rotating Electric Machines", IEEE Standard 522-1992
- [7] J.G.Kim, "Surge Characteristics Analysis and Reduction Method of Vacuum Circuit Breaker", Trans, KIEE pp.190-191, 2013
- [8] Liu, Yigang Xue, Chang Liu, Gang , "Analysis for AC Voltage Withstand Test of HV XLPE Power Cable", Solid Dielectrics, ICSD '07. IEEE International Conference, vol. 2007 no. 7, pp.666-668, July. 2007.

- [9] Zhai Xiaoshe, geng Yingsan, Wang Jianhua, Zhang Guogang, Wang Yan, "Modeling of the Combination Wave Generator and Simulation of the Surge Immunity Test" Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, technical report. EMD 110(270), pp. 147-150, Nov. 2011.
- [10] Vlah, Z.J, Ontario Hydro Research Division, Harvey, S.M "Multi-Frequency Surge Withstand Capability Tests for Protective Relays" Power Apparatus and Systems, IEEE Transactions on. vol. PAS-100, Issue 3, pp. 1065 - 1071, Feb. 2007
- [11] Tengdin, J.T, OPUS Consulting Group, San Clemente, CA, USA "History - events leading to the development of IEEE Std1613TM-2003 and its predecessor standards (IEEE Std C37.90, IEEE Std C37.90.1, IEEE Std C37.90.2, and IEEE Std C37.90.3)" Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2010 IEEE PES, pp. 1-7, April. 2010
- [12] Burgett, R.R, AC Spark Plug Division, General Motors Corporation, Flint, Mich. 48556, Massoll, R.E, Van Uum, D.R "Electromagnetic interference (EMI) reduction from printed circuit boards (PCB) using electromagnetic bandgap structures" Electromagnetic Compatibility, IEEE Transactions on, vol. EMC-16, Issue 3, pp. 160-172, Feb. 2007

저 자 소 개



이 기 선 (Ki-Seon Lee)

2002년 8월 인천대학교 전자공학과(학사)
 2011년 8월 한양대학교 전기공학과(석사)
 2013년 3월 ~ 현재 가천대학교 전기공학과(박사과정)
 1995년 12월 ~ 현재 한국남부발전(주)



박 정 철 (Jung-Cheul Park)

1983년 명지대학교 전자공학과 학사
 1892년 명지대학교 전자공학과 석사
 2000년 명지대학교 전자공학과 공학박사
 2007년 ~ 현재 : 가천대학교 전자공학과 교수



추 순 남 (Soon-Nam Chu)

1980년 명지대학교 전자공학과 학사
 1984년 명지대학교 전자공학과 석사
 2000년 경원대학교 전기전자공학부(공학박사)
 2007년 ~ 현재 : 가천대학교 전기공학과 교수