

# 전자기 반발 구동장치를 사용한 고속 차단기 개발

황광수\* · 김영일\*\* · 문채주\*\*\*

Development of High Speed Circuit Breaker using Electromagnetic Repulsion Actuator

Kwang-Soo Hwang\* · Young-Il Lim\*\* · Chae-Joo Moon\*\*\*

## 요 약

배전분야 전력계통에 적용되는 보호기기류는 변전소 차단기, 배전선로의 리클로저, 최소 전류 용량 회로, 고장구간 차단기 등이 있다. 이들은 부분 정전이나 대규모 사고를 방지하고 선로의 순간고장 또는 영구고장 발생 시 정상 계통이 건전성을 유지할 수 있도록 광역 정전 파급을 방지한다. 그러나 사고가 발생할 경우 변전소 차단기와 배전선로 보호기기 간의 보호협조 미비로 인하여 광역 정전을 초래할 수 있다. 더 좋은 전력시스템의 건전성을 확보하기 위하여 1주기(16ms) 이내로 동작하는 차단기를 개발할 필요성이 요구된다. 본 연구에서는 친환경 가스절연 방식의 고속도 차단기를 개발하였으며, IEC 62271-111 표준에 기반한 시험에서 우수한 결과를 얻었다. 이 기기는 고장구간을 정확하고 빠르고 신속하게 분리하여 광역 정전 예방에 기여할 것으로 기대된다.

## ABSTRACT

In the distribution system, there are multiple power protection systems such as circuit breakers at substations, and reclosers, minimum circuit ampacities, fault interrupters on distribution lines. They are widely used to prevent partial outages, cascading power failure or blackout so that other healthy systems could maintain the integrity in case of the instant fault or permanent failure on the power lines. However, when a fault happens, it could cause a major black out due to the lack of the protection cooperation between the protection relay of the circuit breaker at a substation and a protection system on the distribution lines. To achieve the power system integrity better, it is required to develop the circuit breaker which can be operational within 1 cycle(16ms). In this study, the high speed circuit breaker which is filled up with eco-friendly gas is developed. This equipment achieved an excellent test results based on IEC 62271-111 standard. It is respected that this equipment would contribute to prevent the wide area blackout by isolating a fault area quicker and faster.

## 키워드

Circuit Breaker, Distribution System, Power Line, Blackout, Protection Coordination  
차단기, 배전 계통, 전력선, 광역 정전, 보호 협조

\* 국립목포대학교 대학원(kwangsoo.hwang@kepcoc.ac.kr) • Received : Apr. 10, 2022, Revised : May. 14, 2022, Accepted : Jun. 17, 2022  
\*\* 인택전기전자(yikim@entecene.co.kr) • Corresponding Author : Chae-Joo Moon  
\*\*\* 교신저자 : 국립목포대학교 스마트그리드연구소 Smart Grid Institute, Mokpo National University,  
• 접수 일 : 2022. 04. 10 Email : cjmoon@mokpo.ac.kr  
• 수정완료일 : 2022. 05. 14  
• 게재확정일 : 2022. 06. 17

## I. 서론

기후변화, 화석연료의 고갈과 환경오염의 문제로 전 세계적으로 신재생 에너지 보급이 지속적으로 증가하고 있으며, 국내에서도 정책적, 제도적 지원으로 계통에 연계되는 신재생에너지가 급증하고 있다. 지중선로로 연계되는 신재생 발전소는 지중선로의 높은 커패시턴스로 인해 계통으로 주입되는 무효전력이 높아져서 과전압 문제가 발생할 수 있다. 태양광이나 풍력 등 재생에너지가 몰려있는 전남 지역에서는 신재생 발전이 지중선로로 연계되어 송전선로를 통해 높은 무효전력 유입됨이 확인되었으며, 주말 경부하시간대에 높은 전압상승이 발생하는 사례도 있었다. 우리나라의 전력계통은 독립적이고 거대한 단일 계통이면서도 특정지역 대규모 발전원 밀집, 특정지역 전력수요 밀집, 발전력 증가 및 대용량 송전망 다중연계, 대용량 단위 발전기 채용 등으로 고장전류 증가, 발전기 또는 송전선로 고장시 과도 불안정 등으로 상정 가능한 고장시 과급 등으로 대규모 정전의 위험성을 가지고 있는 전력계통 구조를 가지고 있다. 간헐성 특성을 갖는 재생에너지의 급속한 보급 정책으로 전력계통의 안정성 문제가 제기되고 있으며, 이러한 재생에너지의 가변성은 전력계통의 운영에서 많은 어려움을 유발하고 있다. 한편, 재생에너지의 배전선로 접속용량 포화에 따른 출력제한 사례가 최근 제주도에서 빈번하게 발생하고 있다[1-3].

배전계통은 수용가에 직접 연결되기 때문에 선로고장 시에 과급효과가 다른 인근 수용가들에게 정전을 일으킬 수 있으므로 배전선로의 보호협조는 선로고장의 범위를 최소화 할 수 있는 시스템으로 설계되어야 한다. 배전분야 전력계통에 적용되고 있는 보호기기류는 변전소 차단기, 가공선로용 리클로저, 지중선로용 다회로 차단기, 가공용 고장구간 차단기, 컷아웃 스위치 등이 있다. 이들은 선로의 순간고장 및 영구고장 발생 시 광역 정전 과급을 방지하며, 고압 수용가의 1차측 사고 시 건전선로로의 고장과급 방지를 목적으로 사용되고 있다. 그러나 변전소 차단기와 배전선로 보호기기 간의 보호협조 미비로 순간 또는 영구고장 제거 시, 불필요하게 정전구간이 확대되어 고품질의 전력공급 달성에 어려움이 있으며, 핵심적인 기술 문제는 배전용 보호기기의 차단시간에 대한 한계성에 있었다[4-6].

사고 전류가 발생하였을 때 이를 신속하게 차단하여후단의 설비를 보호하는 목적의 진공차단기(Vacuum Circuit Breaker, VCB)는 진공의 우수한 절연 능력 및 아크 소호 능력을 이용한 차단기로서, 전류 차단 시 발생한 아크 플라즈마를 진공 중으로 급속히 확산시켜 전극에 주입되는 아크 에너지를 최소화하여 신속하게 아크를 소호시킨다. 진공차단기 내에서 전류를 통전시키고, 부하 개폐 및 사고 전류를 차단하는 역할을 하는 주요 부품인 진공인터럽터(Vacuum Interrupter, VI)는 다양한 방식의 전극형상이 적용되고 있으며, 전극의 형상과 더불어 사용되는 접점의 소재도 차단 성능에 중요한 역할을 하고 있다. 최근에는 차단용량 증대에 따라 초고압, 대전류 차단을 요구하는 분야에 신규 접점의 개발이 요구되어 이러한 수요에 기반한 신규접점이 개발되고 있다[7-8].

AC와 DC 전력계통에서 사고전류 제한과 신속한 차단을 수행하는 하이브리드 회로 차단기가 연구되고 있으며, 초고속 차단 성능을 갖는 전기-기계 구동기의 모델도 제시되고 있다. 지금까지 사용되고 있는 전형적인 계통보호는 과전류계전기에서 동작신호를 받아 차단기가 동작하여 계통에서 분리되는 시간은 최소 57ms에서 400ms 이상이 소요되고 있어 내부기기의 소손에 따른 인명 및 정전피해, 복구비용이 증가한다. 우리나라의 피더용 차단기는 최소 차단시간이 50-80ms인 3-5사이클이고, 배전선로의 경우 가공용 리클로저와 지중용 다회로 차단기는 50ms인 3사이클을 갖고 있다[9-12].

이러한 기술적 한계점을 극복하기 위해서는 종래의 고장 검출 알고리즘의 변경과 ERA(Electromagnetic Repulsion Actuator)를 적용한 차단기와 같은 새로운 차단기 동작 구조의 개발이 필요하며, 본 연구에서는 ERA를 이용하여 1사이클 이하의 차단시간을 갖는 차단기를 개발하고자 한다.

## II. 고속 차단기 설계요건

### 2.1 차단기 기본구성

ERA를 적용한 차단기의 본체는 진공차단부, 전류 검출부 및 전압검출부의 구성품이 내장되어 성형된 절연하우징, 조작함체, 함체 내의 ERA를 포함한 조작부로 구성된다. 그 외에도 조작장치 및 제어장치 등으로 구성된다.

### 2.2 ERA 모듈 동작원리

ERA 조작부는 그림 1과 같이 순간적인 전자기적 구동에너지를 발생시키는 핵심 구성요소인 톰슨코일에 전류가 통전되면, 이 전류에 의한 자기장이 반발판에 쇠교가 되고, 반발판에 와전류가 발생되면, 이때 와전류에 의해 반발판에 2차적으로 자기장이 쇠교가 된다. 이 자기장이 연계되어 발생된 힘은 반발판을 전방으로 방출시키는 원리를 ERA방식에 적용하였다. 이 조작부는 와전류를 발생시키는 톰슨코일 방식을 응용한 초고속응답형 조작기로 3ms 이내에 6행정을 완료하며, 1/2사이클 이내의 차단시간을 갖는 새로운 방식이다. IEC 62271-111에서 정의한 interrupting time은 1/2사이클로 고압 한류형 퓨즈의 동작시간과 동등한 성능을 갖게 된다.

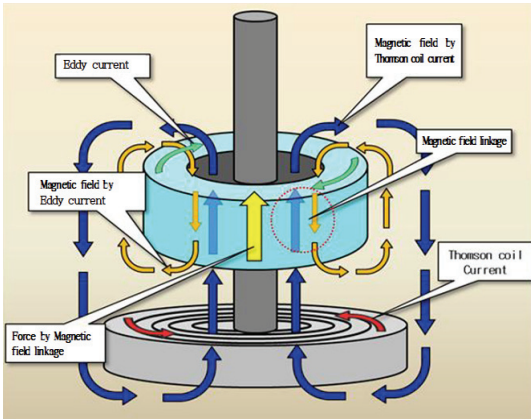


그림 1. ERA 모듈 동작 원리  
Fig. 1 The operation principle of the ERA module

### 2.3 절연가스

고속 다회로 차단기 개발을 위하여 SF<sub>6</sub>, CO<sub>2</sub> 및 Dry air의 절연내력을 시험하였다. 절연 가스별 절연내력을 측정하기 위하여 그림 2와 같이 불평등 전계와 준평등 전계를 구-평판 전극시스템을 통해 모의하였다. 다양한 전극 간극 및 압력조건을 설정한 후, AC 내전압 시험과 뇌충격과 내전압시험을 실시하여 절연내력을 측정하고 전계이용율을 산출하여 고속 차단기 설계에 적용한다.

측정을 위해 AC(100kV/60kVA)와 선로임피던스 LI(600kV) 시험기자재를 활용하여 절연내력을 구분하였

고, SF<sub>6</sub>, CO<sub>2</sub> 및 Dry air의 절연내력 특성을 비교하였다. 이 시험을 위해 구-평판 전극시스템을 시험조에 구성하고 잔존하는 공기를 회전펌프로 20분간 10<sup>-2</sup>Torr까지 탈기한 후, 절연가스별 각각의 압력조건까지 가압하여 시험을 실시하였다. AC 전압시험의 경우, AC 시험기자재를 활용하여 1kV/s 상승조건으로 전압을 인가하여 절연과피 전압값을 측정하였다. LI 전압시험의 경우, 5~10kV씩 전압을 단계적으로 상승하며, 절연과피 전압값을 측정하였다.

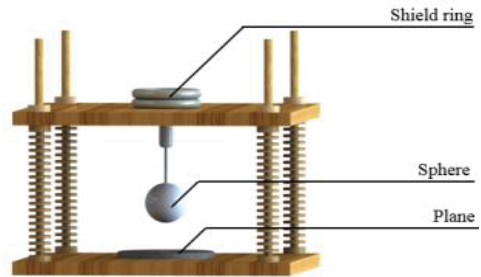


그림 2. 절연검증을 위한 전극시스템  
Fig. 2 The electrode system for insulation verification

시험결과로 얻어진 최대값과 최소값을 제외한 8개의 측정값에 대한 평균값을 산출하여 분석하고, 시험조건에 대한 전산해석을 수행하여 비교하여 산정하였다. Dry air에 대한 전계상수, SF<sub>6</sub>에 대한 전계상수 및 CO<sub>2</sub>에 대한 전계상수는 표 1, 표 2 및 표 3에 각각 나타냈다.

표 1. 건조공기에 대한 전계상수  
Table 1. Coefficient of electric field on the dry air

sphere size(mm)	electrode gap(mm)		
	10	30	50
2	0.0226	0.035	0.0554
6	0.0683	0.0813	0.0841
8	0.1261	0.1439	0.2146
15	0.2184	0.2581	0.3078
30	0.3225	0.368	0.3741
40	0.4353	0.4748	0.4861
50	0.6373	0.694	0.7324

표 2. SF<sub>6</sub>에 대한 전계상수  
Table 2. Coefficient of electric field on the SF<sub>6</sub>

sphere size(mm)	electrode gap(mm)		
	10	30	50
2	0.0350	0.0683	0.0685
6	0.0841	0.1016	0.1257
8	0.1261	0.1782	0.1801
15	0.3628	0.368	0.4032
30	0.4861	0.5319	0.5833
40	0.5922	0.6373	0.6940
50	0.7494	0.7629	0.7965

표 3. CO<sub>2</sub>에 대한 전계상수  
Table 3. Coefficient of electric field on the CO<sub>2</sub>

sphere size(mm)	electrode gap(mm)			
	2	15	30	50
10	0.101	0.480	0.656	0.757
30	0.041	0.222	0.378	0.521
50	0.019	0.016	0.259	0.400

### III. 고속 차단기 설계

#### 3.1 본체 설계

본체는 그림 3과 같이 2.1에서 제시한 구성 부품으로 설계하였다.

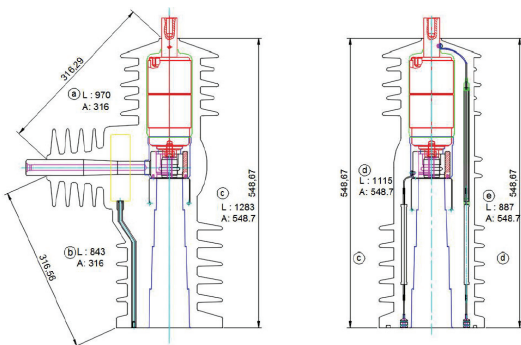


그림 3. 본체 설계(단위 : mm)  
Fig. 3 Design of main body(Unit : mm)

본체의 절연하우징의 절연설계는 국제표준규격인 IEC 60815-3에 준하여 실시하였다. 절연하우징은

일반적으로 정상사용상태 하에서는 고압측과 부하측이 동전위이며, 조작장치가 수납된 함체가 접지상태이므로, 반드시 전극의 최하단과 함체와의 전기적 절연을 유지해야 한다. 또한 개방 시, 절연하우징의 최상부를 고전위라 규정했을 경우, 부하단과의 전기적 절연 및 함체와의 전기적 절연이 요구되며, 이와 함께 인접한 상과의 절연을 유지해야 하는 절연조건을 반드시 만족해야 한다. 이와 함께 계통에서 고장전류가 발생했을 경우, 고장전류에 의해 고압측과 부하측, 각 상간의 전자 반발력이 발생되므로, 이러한 외력에 견딜 수 있는 요구되는 기계적 특성이 필요하다.

그림 3은 절연하우징의 도체간의 직선거리와 연면거리를 나타내고 있다. 규격 IEC 60815-3의 9.7항으로부터 섬락거리 A와 연면거리 L의 관계에 있어서 L/A의 결과가 4.8을 초과하지 않도록 규정되어 있으므로, ㉠구간에서는 3.07, ㉡구간에서는 2.67, ㉢구간에서는 2.34, ㉣구간에서는 2.03, ㉤구간에서는 1.62가 되도록 설계하였다.

#### 3.2 조작장치

설계된 ERA는 기존 PMA(Permanent Magnetic Actuator)와 pulse closer용 Dual PMA와 다르게 차단시간을 만족시키도록 하기 위해 외형적으로 가동자와 연동되는 반발판을 내측 또는 외측에 구성할 수 있도록 반영하였다. 톨슨코일은 다양한 설계변수(코일 두께 및 폭, 권선수) 외에 반복적인 충격량에 지속적인 내구성을 발휘할 수 있어야 하는 사용환경을 반영하였으며, 권선 간의 절연을 위해 반복적인 시행착오를 거쳐서 최적의 부품을 설계하여 제작하였다.

구동에너지를 수ms 이내로 최대한 발휘할 때, 기계적 충격량은 ERA 조작장치 자체는 물론이고 구성요소들이 내장되어 성형된 절연하우징에도 바로 전달되므로, 이 충격량을 흡수하는 댐퍼가 요구되어 이를 설계에 반영함으로써 충격량 저감요소의 역할을 부가하여 반영하였다.

#### 3.3 제어장치

고속 보호기기를 제어하며 주장치와 통신을 수행하는 제어장치는 크게 MPM(Main Processing Module), PSM(Power Supply Module), HMIM(High-performance Multifunction Interface MI

Module) 및 TSM(Transformer Shift Module) 4개의 모듈로 나누어 설계하였다. 이들은 CPU 기반 제어 및 통신처리를 담당하는 MPM, 아날로그 값을 입력받는 TSM, 외부 전원을 입력받아 회로 내에 필요한 전원을 생성하고 DI/DO(디지털입력/디지털출력) 신호를 보호기기 또는 외부와 연결되는 PSM 그리고 사용자가 고속 배전용 보호기기의 조작상태, 정정치, 이력 등을 확인하고 조작할 수 있는 HMIM으로 구성되었다.

특히, 고속 차단을 위해서는 고장검출 및 차단지령이 고속으로 동작하여야 하므로, 제어장치는 MPU 및 DSP를 단일칩화한 CPU를 사용함으로써 MPU 및 DSP 간의 연계 소요시간을 최소화하였다. 또한, CPU 및 보호기기 간 SPI 고속통신을 통하여 고장검출시, 시간지연 없이 차단지령을 즉시 보호기기에 전달하도록 설계하였다.

MPM은 주연산기 및 DSP가 단일칩화된 CPU를 기반으로 소수점 기반 연산, 실시간 과형 변환 및 계측 부분, 보호관련 부분은 DSP에서 수행하며, 각종 입출력 데이터 처리 및 이벤트 모니터링, 분석, 통신처리 등 나머지 모든 부분은 주연산기가 담당하도록 구성되었다. 단, 보호기기 동작 관련한 입·출력 데이터 처리는 DSP에서 수행하여 고장 검출 후, 시간지연 없이 즉시, 보호기기에 차단지령을 고속통신을 통하여 출력할 수 있도록 설계하였다.

PSM은 제어장치 내부의 전원공급을 위한 전원장치들과 일반 DI/DO장치들로 구성된다. 또한 외부 모듈의 전원출력을 위한 24V 전원단자도 포함하고 있으며 축전지 입력단자, 고속 Driver 모듈 인터페이스용 단자도 포함하고 있다.

#### IV. 시험 및 평가

제작된 고속 차단기 시제품은 그림 4와 같이 하우징, 기계모듈, 제어기모듈 등으로 구성된다. 한국 전기연구원에서 수행된 차단시험은 단시간 전류시험과 정격동작 T100, T50, T20으로 시험하였다. 단시간 전류시험은 인용 표준 IEC 62271-111의 시험조건에 준하여 실시하였다. 전류 피크가 C상에 인가되어 33.5kA 피크와 12.8kA rms 조건에서 약 1.02s 간 실시한 후, 요구 조건인 최초 1회 개방시도에서 정상적으로

개방됨을 확인하였다. 시험완료 후, 주회로 저항의 전·후 측정결과는 -3.92~ -10.98% 범위의 변화율을 확인하여 열적 및 기계적 내구성을 모두 만족함을 확인하였다. 단시간 전류시험 결과는 표 4에 나타내었다.

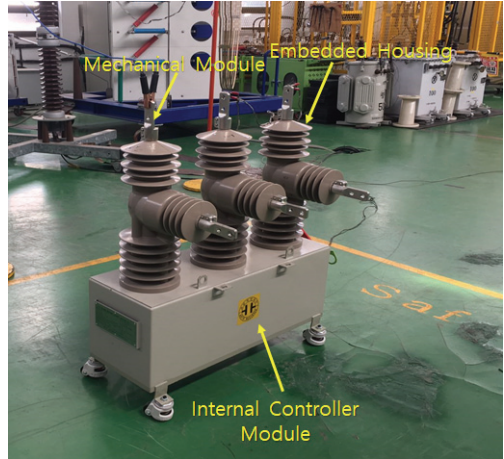


그림 4. 고속 차단기 시제품  
Fig. 4 Prototype of high speed circuit breaker

표 4. 단시간 전류시험  
Table 4. Short-time and peak withstand current tests, STC

Test requirements	
Test current	Peak = 32.5 kA, r.m.s. = 12.5 kA
Test frequency	60 Hz
Duration	1.0 s

Test results			
Condition before tests	New and clean		
Test number	Test current		Durations
	Peak kA	r.m.s. kA	
HPC 17-148-007	-23.5 +6.7 +33.5	12.5 12.5 12.8	1.02
Condition during and after tests	No visible damages externally. After the test, the test object opened at the first attempt.		

정격동작은 정격차단전류 중 T100에서, 총 16회 차단시, 2F2D(:2Fast 2Delay)로 단일 동작되는 시험시퀀스



로 실시한 결과, 1차와 2차 차단 시, clearing time은 기준인 1±0.2사이클(14~20ms) 이내를 만족하는 14.3~16.3ms 범위임을 확인하였다. 정격동작 T50에서, 총 56회 차단 시, 2F2D로 실시한 단일 동작되는 시험시퀀스로 실시한 결과, 1차와 2차 차단 시, clearing time은 기준인 1±0.2사이클(14~20ms) 이내를 만족하는 14.7~17.3ms 범위임을 확인하였다. 정격동작책무 T20에서, 총 44회 차단 시, 2F2D로 실시한 단일 동작되는 시험시퀀스로 실시한 결과에서도 1차와 2차 차단시, clearing time은 기준인 1±0.2사이클(14~20ms) 이내를 만족하는 13.1~16.8ms 범위임을 확인하였다. T100, T50, T20에서의 정격동작책무 시험의 시험조건 및 시험결과 표 5, 표 6 및 표 7에 각각 나타내었다.

표 5. 정격동작책무 시험(T100)

Table 5. Rated symmetrical interrupting current tests,T100

Test requirements	
Test voltage	27 kV
TRV	uc = 50.9 kV, t3 = 47 μs, td = 7 μs, RRRV = 1.08 kV/μs
Test current	Interrupting = (11.3 - 12.5) kA
Test frequency	60 Hz
Control voltage	AC 187 V
Operating duty	O-0.3 s-CO-1 s-CO-1 s-CO
Number of unit operation	16 units

Test results			
Condition before tests	After line-charging current switching tests (LC)		
Test number	Operation	Test voltage (phase to earth) kV	Clearing time ms
HPC 17-148-081	O	18.1	15.8
		18.1	15.8
		18.1	12.4
	0.3 s CO	18.3	16.2
		18.3	13.5
		18.3	16.2
	1 s CO	16.6	112.2
		16.6	116.3
		16.6	116.3
	1 s CO	16.5	120.3
		16.5	116.3
		16.5	120.3

표 6. 정격동작책무 시험(T50)

Table 6. Rated symmetrical interrupting current tests,T50

Test requirements	
Test voltage	27 kV
TRV	uc = 55.5 kV, t3 = 27 μs, td = 4μs, RRRV = 2.03 kV/μs
Test current	Interrupting = (5.6 - 6.9) kA
Test frequency	60 Hz
Control voltage	AC 187 V
Operating duty	O-0.3 s-CO-1 s-CO-1 s-CO
Number of unit operation	56 units

Test results			
Condition before tests	After rated symmetrical interrupting current switching tests (T100)		
Test number	Operation	Test voltage (phase to earth) kV	Clearing time ms
HPC 17-148-090	O	16.1	15.0
		16.0	15.0
		16.1	15.8
	0.3 s CO	16.1	15.8
		16.0	15.8
		16.2	11.6
	1 s CO	16.0	107.8
		16.0	112.3
		16.1	108.3
	1 s CO	16.2	122.6
		16.0	122.6
		16.0	120.3

표 7. 정격동작책무 시험(T20)

Table 7. Rated symmetrical interrupting current tests,T20

Test requirements	
Test voltage	27 kV
TRV	uc = 58.6 kV, t3 = 19 μs, td = 3 μs, RRRV = 3.10 kV/μs
Test current	Interrupting = (1.9 - 2.5) kA
Test frequency	60 Hz
Control voltage	AC 187 V
Operating duty	O-0.3 s-CO-1 s-CO-1 s-CO
Number of unit operation	44 units

Test results			
Condition before tests	After short time and peak withstand tests (STC)		
Test number	Operation	Test voltage (phase to earth) kV	Clearing time ms
HPC 17-148-016	O	16.1	9.2
		16.2	13.4
		16.1	13.4
	0.3 s CO	16.5	10.2
		16.5	15.6
		16.5	15.1
	1 s CO	16.6	136.0
		16.7	140.2
		16.6	139.5
	1 s CO	16.9	139.0
		16.9	139.1
		16.9	135.1

## V. 결론

변전소 차단기 및 배전선로 보호기기 간의 보호협조를 통한 광역 정전 유발을 근본적으로 개선하기 위해서는 변전소 차단기와 배전선로 보호기기의 차단시간 차가 최소 20ms 이상이 되어야 하지만, 현재 운영되고 있는 변전소 개폐장치의 배전 피더용 차단기와 배전선로 보호기에 적용된 고장검출 알고리즘과 차단기 동작 구조가 유사하여 3-5사이클 정도로써 거의 유사한 차단시간을 발휘하고 있어 실제 보호협조를 구현하는데 기술적 한계를 가지고 운영되었다. 이러한 기술적 한계점의 극복과 배전분야 전력계통에서 선로의 순간고장 또는 영구고장 발생 시 따르는 광역 정전 방지와 고압 수용가의 1차측 사고 시 건전선로로의 과급을 방지하기 위해서는 ERA를 적용한 고속 회로차단기 연구개발이 요구되었다.

반복적인 특성시험을 통한 설계개선과 특성 향상 및 보안을 통해 구체화되고, 요구되는 특성발휘가 가능함을 확인하였으며 핵심 구성요소들에 대한 지속적인 내구성 검증단계를 거치면서, 구체적인 고유모델이 확고히 정립되었다. 구체적인 고유모델에 대한 공인시험기관인 한국전기연구원에서 차단성능에 대한 검증을 위해 단시간 전류시험, 정격동작책무 시험 등의 차단시험과 충전전류 개폐시험 등을 단계적으로 수행하여 IEC 62271-111의 요구수준을 만족하는 성능 시험결과 값을

검증하였다.

개발된 고속 회로차단기는 25.8kV 배전자동화용 폴리머 리클로저와 25.8kV 친환경 가스절연 다회로 차단기 기능을 갖는 보호기기 역할을 수행할 수 있다. 또한, 가공 또는 지중 배전선로에서 전력을 공급받는 고압 또는 연계된 분산형전원의 책임분기점에 설치하여 사용자 설비 고장발생 시, 25.8kV 배전자동화용 폴리머 리클로저는 배전계통으로 고장과급을 방지하는데 목적으로 사용되고 있는 25.8kV 예폭시 절연 고장구간 차단기의 역할까지도 가능할 것으로 생각된다.

## References

- [1] S. Kim and S. Song, "Comparison of Voltage Regulation Characteristics According to Reactive Power Control Strategies of Renewable Energy Generation Systems in Transmission Grid," *Proc. of the Korean Institute of Power Electronics, Yesan Chungnam, Korea, 2019*, pp. 41-43.
- [2] E. Kwak and C. Moon, "Analysis of Power System Stability by Deployment of Renewable Energy Resources," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 4, 2021, pp. 633-642.
- [3] E. Kwak, J. Min, H. Jung, and C. Moon, "A Study on HVDC and BESS Application for High Penetration of Renewable Energy Sources," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 6, 2021, pp. 1339-1348.
- [4] H. Lee, J. Moon, and J. Kim, "A Study on the Protective Coordination of Distribution Automation System under Loop Coordination," *J. of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 58, no. 7, 2009, pp. 1281-1286.
- [5] S. Kim, J. Oh, O. Kim, H. Lim, and C. Moon, "A Study on Decision Plan of Hosting Capacity for Distribution Feeder," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 4, 2021, pp. 653-660.
- [6] S. Kim, Y. Chang, K. Jim, S. Kim, and C. Moon, "Operation System Design of Distribution Feeder with Distributed Energy Resources," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 6, 2021,

pp. 1183-1194.

- [7] D. Lim, S. Jung, H. Jung, and Jo. Ro, "An Optimal Design Strategy for a Thomson Coil Actuator," *J. of Electrical Engineering & Technology*, vol. 12, no. 1, 2017, pp. 182-188.
- [8] Y. Cha, I. Lee, H. Ju, T. Shin, and K. Park, "Evaluation of Breaking Performance of New Contact Material for the Vacuum Interrupter," *J. of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineer*, vol. 34, no. 1, 2021, pp. 50-55.
- [9] D. Lim, D. Woo, I. Kim, D. Shin, J. Ro, T. Chung, and H. Jung, "Characteristic Analysis and Design of a Thomson Coil Actuator Using an Analytic Method and a Numerical Method," *IEEE Trans. on Magnetics*, vol. 49, Issue 12, 2013, pp. 5749-5755.
- [10] C. Peng, I. Husain, A. Huang, B. Lequesne, and R. Briggs, "A Fast Mechanical Switch for Medium Voltage Hybrid DC and AC Circuit Breakers," *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol. 52, issue 4, 2016, pp. 2911-2918.
- [11] A. Bissal, A. Eriksson, J. Magnusson, and G. Engdahl, "Hybrid Multi-Physics Modeling of an Ultra-Fast Electro-Mechanical Actuator," *J. of Actuators*, vol. 4, no. 4, 2015, pp. 314-335.
- [12] J. Kim, J. Kim, and S. Yoon, "A Study on the Conceptual Design and Verification for Development of Smart Arc Eliminator," *The Trans. of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 70, no. 2, 2021, pp. 276-283.

## 저자 소개

### 황광수(Kwang-Soo Hwang)



1986년, 2020년 부산대학교 공학사, 기술창업학 석사  
1989년~현재 한국전력공사 근무 (2015년~현재 처장)  
2020년~현재 목포대학교 대학원 신재생에너지공학협동 박사과정

한국전력공사 동반성장실장, 중소벤처지원처장, 에너지전환처장, 빛가람창조경제혁신센터장, 중소기업기술혁신추진위원회 위원, 대한전기학회 스마트그리드연구회 회장 역임

※ 관심분야 : Smart Grid시스템, 초전도전력기기, 신재생 전력변환시스템

### 김영일(Young-Il Kim)



1990년 한국항공대학교 공학사  
1996년~현재 인택전기전자(주) 근무  
2018~현재 인택전기전자(주) 부사장, 전기부문장, 전력기기 연구소장

2014년 서울대 차세대융합기술연구원 월드클래스 융합 최고전략과정 수료, CIRED 집행위원, 탄소중립위원회 전기, 전자분야 위원

※ 관심분야 : 송, 배전전력기기, 신재생에너지, 해상풍력발전시스템

### 문채주(Chae-Joo Moon)



1981년, 1983년 및 1994년 전남대학교 공학사, 공학석사, 공학박사  
1997년~현재 목포대학교 공과대학 전기 및 제어공학과 교수  
2017년~현재 에너지밸리산학융합원장

한국전력기술(주) 책임연구원, 광주일보 테마칼럼니스트, 전력전자학회 부회장, 이투뉴스 및 한국전기신문 칼럼니스트, 기초전력연구원 에너지밸리분원장 역임

※ 관심분야 : 풍력발전시스템, 전력변환시스템, 전력시스템