

# PPTC 소자를 사용한 저전압 직류차단기의 아크소호기술

김용중<sup>1</sup>, 나재호<sup>2</sup>, 김효성<sup>†</sup>

## Arc Extinguishment for Low-voltage DC (LVDC) Circuit Breaker by PPTC Device

Yong-Jung Kim<sup>1</sup>, Jaeho Na<sup>2</sup>, and Hyosung Kim<sup>†</sup>

### Abstract

An ideal circuit breaker should supply electric power to loads without losses in a conduction state and completely isolate the load from the power source by providing insulation strength in a break state. Fault current is relatively easy to break in an Alternating Current (AC) circuit breaker because the AC current becomes zero at every half cycle. However, fault current in DC circuit breaker (DCCB) should be reduced by generating a high arc voltage at the breaker contact point. Large fire may occur if the DCCB does not take sufficient arc voltage and allows the continuous flow of the arc fault current with high temperature. A semiconductor circuit breaker with a power electronic device has many advantages. These advantages include quick breaking time, lack of arc generation, and lower noise than mechanical circuit breakers. However, a large load capacity cannot be applied because of large conduction loss. An extinguishing technology of DCCB with polymeric positive temperature coefficient (PPTC) device is proposed and evaluated through experiments in this study to take advantage of low conduction loss of mechanical circuit breaker and arcless breaking characteristic of semiconductor devices.

**Key words:** LVDC(Low Voltage DC) distribution, DCCB(DC Circuit Breaker), Arc fault current, PPTC(Polymeric Positive Temperature Coefficient)

### 1. 서 론

IEC 국제표준의 기준에 의하면 저전압직류는 1500V 이하로 정의된다. 최근 들어 직류전력을 사용하는 시장이 확대되면서, 주택 및 상업용 빌딩의 직류배전 전압을 380V로 정하려는 움직임이 활발히 일어나고 있다. 이에 따라 전력 설비의 기본적인 보호장치로서 400V급 직류 차단기의 요구도 증가되고 있다.

기계적 차단기는 두 전극의 전기적 접촉에 의하여 전기적 연결 및 차단을 수행한다. 두 전극이 접촉되었을

때는 가능한 접촉저항이 작아져서 부하전류를 자유롭게 흘릴 수 있어야 하고, 두 전극이 분리되었을 때는 전극 사이의 저항은 즉각적으로 증가하여 충분한 절연을 확보함으로써 전원 측과 부하 측을 전기적으로 완벽하게 분리시킬 수 있어야 한다. 이와 같이 기계적 차단기의 접속 및 분리 동작 시, 두 가지 극단적인 전기적 상태의 급격한 변화가 초래되며 이에 따른 전기적 과도상태가 발생하게 된다.

기계적 차단기를 교류에서 사용하는 경우는 매 반사이클 마다 부하전류 스스로 제로가 되므로 두 전극의 개리거리(gap distance)만 충분하다면 절연확보에 의하여 용이하게 차단동작이 이루어진다. 그러나 직류의 경우 전류 제로점이 없으므로 차단기가 부하전류를 영점으로 끌어내리는 작업이 요구된다. 직류에서 기계적 차단기가 차단되는 과정에서 전극저항의 급격한 변화는 전극사이에서 기중 절연과괴현상을 야기시키며, 과도적으로 매우 큰 아크전류를 발생시켜서 차단기 전극을 용착시키는 사고가 빈번히 발생한다<sup>[1],[2]</sup>. 또한 유도성 직류부하의 차단시 발생하는 역기전력은 기계적 차단기

Paper number: TKPE-2018-23-5-1

Print ISSN: 1229-2214 Online ISSN: 2288-6281

<sup>†</sup> Corresponding author: hyoskim@kongju.ac.kr, Div. of Electrical, Electronic and Control Eng., Kongju National University  
Tel: +82-41-521-9167 Fax: +82-41-563-3689

<sup>1</sup> Dept. of Electrical, Electronic and Control Eng., Kongju National University

<sup>2</sup> Electronic Powertrain System R&D Center, Katech

Manuscript received Jun. 6, 2018; revised Jun. 15, 2018; accepted Jul. 6, 2018

전극에 높은 아크전압(Varc)을 생성하므로 차단기의 동작을 더욱 어렵게 한다<sup>[3]</sup>. 차단기가 아크전류를 억제하지 못하고 차단에 실패하는 경우 고온 고압의 플라즈마성 아크전류에 의하여 주변에 화재를 야기하며 인명 및 재산적 손실이 발생할 가능성이 많다<sup>[4],[5]</sup>. 이는 많은 장점을 갖고 있음에도 불구하고 직류배전망의 보급을 저해하여왔던 중요한 요인 중의 하나이다.

이러한 문제를 해소하기 위한 방안으로 반도체차단기가 제시되었다. 반도체차단기는 차단시 전극간의 저항값이 기울기를 갖고 시간에 따라 증가함으로 상대적으로 전기적 과도현상이 급격히 발생되지 않으며, 부도체 상태에서 소자의 에너지캡이 커서 정상적인 운전조건에서는 전극 내부에서 절연과괴에 따른 아크현상이 일어나지 않는다. 그러나 반도체차단기는 큰 도통저항에 따른 방열문제로 인하여 대용량의 적용에 한계가 있다<sup>[6]</sup>.

최근 들어, 기계적 차단기의 낮은 도통저항 특성과 반도체차단기의 아크리스차단 특성의 장점을 살린 복합차단기에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그러나 복합차단기는 두 차단기의 협조를 위하여 제어회로가 복잡하게 되고 추가적으로 요구되는 반도체차단기의 제어회로는 최종제품의 신뢰성을 낮추는 요인이 된다. 따라서 능동제어를 필요로 하지 않는 수동소자에 의한 아크억제 방식이 요구된다<sup>[7]-[10]</sup>.

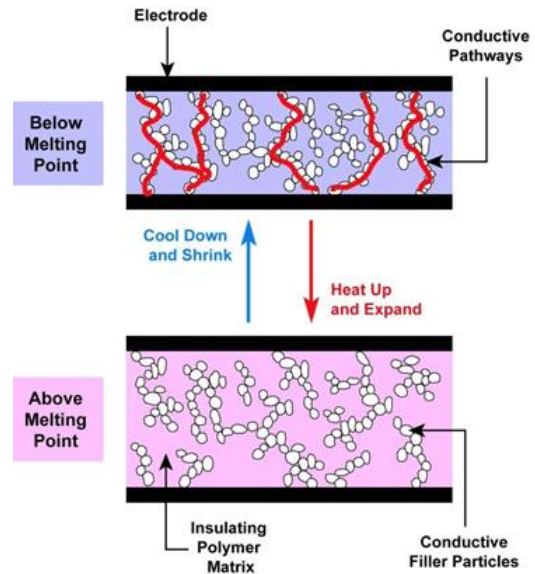
본 논문에서는 양의 온도계수특성을 갖는 전력소자인 Polymeric positive temperature coefficient(PPTC) 소자를 사용하여 기계적 차단기의 차단시 아크발생을 억제함으로써 직류에 적용할 수 있는 차단기구조를 제시하고 실험을 통하여 그 성능과 특성을 확인한다.

## 2. 아크리스 DC 차단기

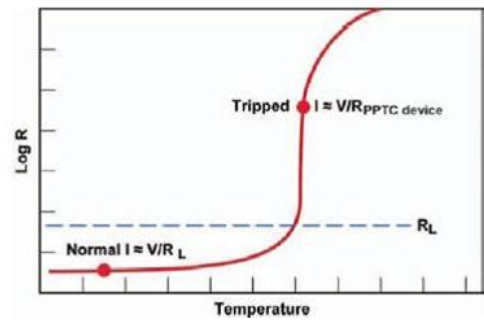
### 2.1 PPTC의 특성

PPTC는 온도에 비례하여 저항이 증가하는 특성을 갖는 소자로서 사실상 전류를 제한하는 비선형 서미스터라고 할 수 있으며, 유해한 과전류 서지와 과열로 인한 고장을 방지하는 용도로 많이 사용되어 왔다. 용단형 퓨즈와 달리, 고장 후에 전원이나 과전류 상태를 제거한 후 리셋하여 재사용할 수 있다는 특징이 있다. 그림 1(a)는 PPTC의 동작원리를 나타낸 것이다. PPTC는 반결정성 중합체와 전도성 미립자를 혼합시킨 재료로서 정상 온도에서 전도성 미립자들은 중합체 내에서 낮은 저항값을 갖지만, 높은 전류나 주위 온도가 상승하면, 폴리머 속에서 결정자가 녹아서 높은 저항 상태로 전이한다. 이 과정에서 온도의 증가에 반응하므로 저항 값의 변화가 시간적 기울기를 갖고 증가하게 되므로 반도체 차단기의 차단특성과 유사한 아크리스 차단특성을 얻을 수 있다.

그림 1(b)에 전형적인 PPTC의 특성곡선을 보인다. PPTC는 온도가 증가함에 따라 저항이 비선형적으로 증가



(a) Operation principle of PPTC



(b) Temperature characteristic of PPTC

Fig. 1. Characteristic of PPTC.

하며 트립 되었을 때 저항은 약 1000배 이상의 크기만큼 증가한다. 트립된 PPTC는 고장이 해소되고 공급전원이 제거될 때까지 래치가 걸린 상태로 유지된다.

### 2.2 PPTC의 특성을 이용한 아크리스 차단실험

그림 2는 PPTC를 사용한 아크리스 직류차단 실험회로도를 나타낸 것이다. SW<sub>1</sub>은 주스위치이며 SW<sub>2</sub>는 차단시 아크억제를 위한 보조스위치이다. 주스위치(SW<sub>1</sub>)가 온되면 전원전압이 부하에 가해져서 전력을 공급한다. 보조스위치(SW<sub>2</sub>)가 온된 상태에서 주스위치를 오픈하면 보조스위치와 직렬로 연결되어 있는 PPTC를 경유하여 부하전류가 흐른다. 이때 PPTC의 정격트립전류(Trip current)는 정격부하전류의 값보다 훨씬 작게 설정된다. 예를 들어 정격트립전류(Trip current)는 정격부하전류의 값보다 10배 이상 작게 설정될 수 있다. 부하전류가 PPTC의 트립전류(Trip current) 레벨을 넘어서게 되면 PPTC의 저항값이 아날로그적으로 급증함으로써 부하전류를 스무드하게 거의 영으로 감소시킨다. 이후 적절한 시간지연 후 보조스위치를 오픈시킴으로써 아크리스 차단이 완성된다.

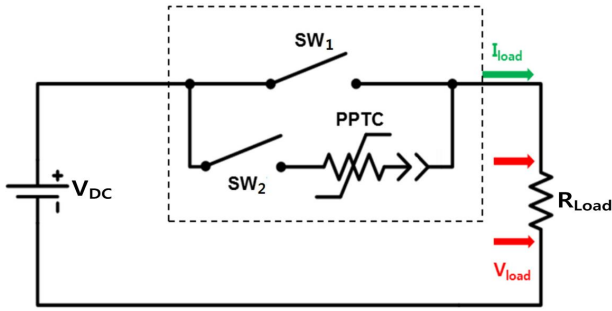


Fig. 2. Experimental circuit diagram of the proposed arc-less DC switch using PPTC.

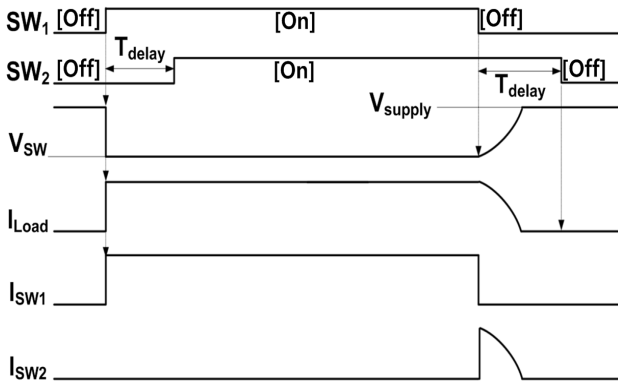


Fig. 3. Operation sequence of main switch(SW<sub>1</sub>) and auxiliary switch(SW<sub>2</sub>).

본 논문에서 설정한 주스위치(SW<sub>1</sub>)와 보조스위치(SW<sub>2</sub>)의 동작 시퀀스는 그림 3과 같다. 그림에서 T<sub>delay</sub>는 차단 동작시 PPTC의 동작이 완료되는 시간을 기준으로 설정하며 100ms 이상으로 설정하면 충분하다. 동작시퀀스를 설명하면 다음과 같다.

스위치 ON 동작 시퀀스:

- ① 주 스위치(SW<sub>1</sub>)를 “ON” 시킨다. 그러면 부하전류는 주 스위치를 통하여 흐른다.
- ② 보조 스위치(SW<sub>2</sub>)를 “ON” 시킨다. 그러나 PPTC의 저항값으로 인하여 부하전류는 보조 스위치 분기회로를 통하여 흐르지 않는다.

스위치 OFF 동작 시퀀스:

- ① 주 스위치(SW<sub>1</sub>)를 “OFF” 시킨다. 이 순간 주 스위치(SW<sub>1</sub>)를 통하여 흐르던 부하전류는 보조 스위치 분기회로를 통하여 전환(commutation) 된다.
- ② 부하전류가 PPTC의 트립전류(Trip current) 레벨을 넘어서게 되면 PPTC의 저항값이 아날로그적으로 급증함으로써 부하전류를 완만하게 거의 영으로 감소시킨다.
- ③ 보조 스위치 분기회로를 통하여 흐르는 전류가 충분히 감소되었으므로 보조 스위치(SW<sub>2</sub>)를 꺼도 차단아크는 발생하지 않는다.

TABLE I  
EXPERIMENTAL CONDITION FOR PROPOSED ARC-LESS DC SWITCH

V <sub>DC</sub>		400[V]
Load	type	Resistive
	R <sub>Load</sub>	80[Ω]
Electrode material		Copper
Saparation speed		86[mm/s]

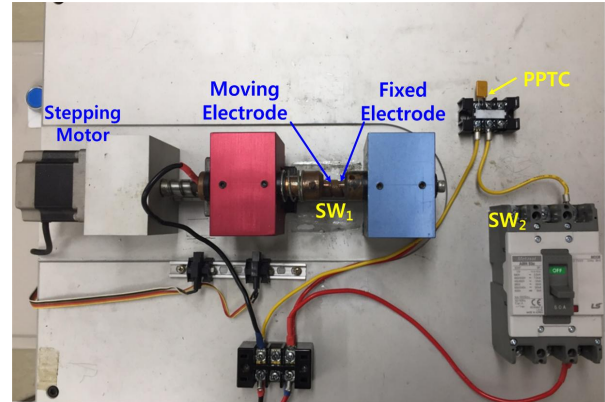
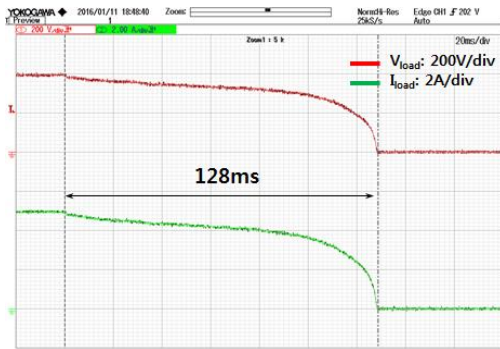


Fig. 4. Experimental environment for proposed arc-less DC switch.

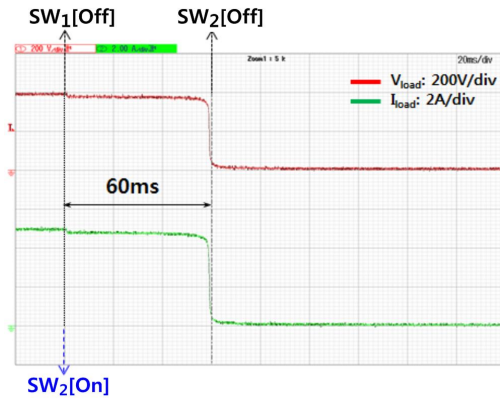
TABLE II  
PPTC SPECIFICATIONS OF PROPOSED ARC-LESS DC SWITCH

Item	Hold current [A]	Trip current [A]	Max. current [A]	Max. time to trip [s]
FRV005-240F	0.05	0.12	1.0	15.0
FRV008-240F	0.08	0.19	1.2	15.0
FRV016-240F	0.16	0.37	2.0	15.0
FRV033-240F	0.33	0.74	4.5	21.0

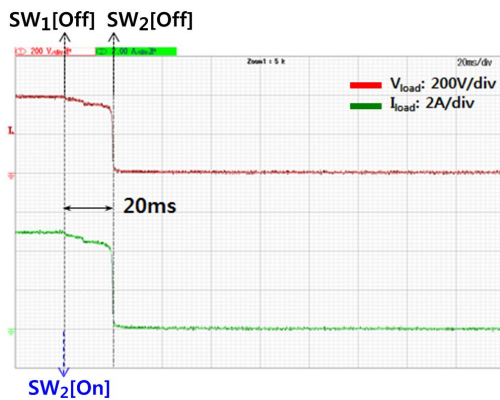
본 논문에서는 400V/5A 저항부하조건에 대하여 제안하는 아크리스 차단기의 단락전류제한 및 차단 시 아크 억제에 대한 실험을 수행하였다. 표 1은 차단실험조건을 나타내며, 그림 4는 제안하는 아크리스 차단기의 실험환경을 나타낸다. 제안하는 차단기에서 그림 2의 주 스위치(SW<sub>1</sub>)에 해당하는 기계적 차단기는 고정전극과 이동전극으로 구성된다. 이동전극의 속도와 거리는 스텝핑모터를 제어함으로써 조절되며, 이동전극은 스텝핑모터의 한 펄스당 20um 이동한다. 그림 2의 보조 스위치(SW<sub>2</sub>)에 해당하는 스위치는 일반적인 MCCB(Molded Case Circuit Breaker)를 사용하였다. 표 2는 제안하는 아크리스 차단기에 사용된 PPTC의 종류와 특성을 나타낸다. (FUZETEC TECHNOLOGY 제품). 표 2에서 차단기의



(a) DC switch without PPTC



(b) Proposed arc-less DC switch with FRV016 PPTC



(c) Proposed arc-less DC switch with FRV008 PPTC

Fig. 5. Experimental waveforms of DC switch without PTC and proposed arc-less DC switch with PPTC.

단락전류제한 및 차단시 아크억제를 위해 고려해야할 주요한 PPTC의 전기정격은 Hold current(유지전류: PPTC의 저항값이 저저항 상태로 유지되는 부하전류), Trip current(트립전류: PPTC의 저항값이 저저항 상태에서 고저항 상태로 변화하는 부하전류), Maximum current(최대정격전류: PPTC 제품이 견딜 수 있는 최대 전류)이다.

그림 5는 표 1의 실험조건에서 PPTC를 사용하지 않은 DC 차단과 PPTC를 사용한 arc-less DC차단 실험과형을 나타낸 것이다. 그림 5(a)는 PPTC를 사용하지 않고 순수한 구리의 전극을 사용하여 차단기를 구성한 경우

TABLE III  
RESULTS OF REPEATED TEST OF PROPOSED DC SWITCH USING PPTCS AT 5A LOAD CURRENT

Items	Cut-off time [ms]		Remarks
	First	Repetitive	
FRV008-240F	20	147	Non-repeatable
FRV016-240F	60	25	Repeatable
FRV033-240F	680	215	Repeatable

로서, 차단시 두 전극이 벌어짐에 따른 개리거리를 관통하는 아크전류가 기중에서 고온의 아크를 발생시키며 차단시간은 약 128ms 소요되었다. 그림 5(b) 및 그림 5(c)의 경우는 그림 1(b)의 온도에 따른 PPTC 저항변화 패턴과 유사한 전류패턴을 보이며, 차단시 부하전류가 PPTC로 바이패스되기 때문에 아크가 발생되지 않는다. 그림 5(b)는 유지전류 160mA, 트립전류 370mA인 PPTC를 사용한 경우로서 차단시간은 순수한 구리의 전극을 사용한 차단기의 경우보다 약 50% 짧은 60ms이며 차단시 전극에서 아크가 전혀 발생하지 않았다. 그림 5(c)는 유지전류 80mA, 트립전류 190mA인 PPTC를 사용한 경우로서, 차단시 전극에서 아크가 전혀 발생하지 않았고 차단시간은 약 20ms 소요되었다. 이보다 작은 유지전류 및 트립전류 특성의 PPTC를 사용하는 경우 PPTC가 부하전류를 견디지 못하고 파손되어 차단시 전극에서 아크가 발생되었다. 이는 제안하는 직류차단기에서 부하전류 크기에 따른 적절한 PPTC 설계가 필요함을 의미한다.

2.3 최적 PPTC 설계

본 논문에서는 부하전류에 따른 최적의 PPTC 설계를 위해 2가지 종류의 차단실험을 진행하였다: 1) 동일부하 조건에서 PPTC 변화에 따른 반복차단실험, 2) 부하전류 및 PPTC 변화에 따른 차단실험.

동일부하조건에서 PPTC 변화에 따른 반복차단실험의 목적은 반복적으로 안정되게 동작되는 PPTC의 전기적 정격값을 찾는 것이다. 표 3은 부하전류 5A 조건에서 PPTC를 사용한 직류차단기의 반복차단시간을 나타낸 것이다. FRV008 타입의 PPTC인 경우 최초차단시간은 20ms지만 반복차단시간은 약 147ms로 증가하였다. 이러한 차단시간의 증가현상은 부하전류에 따른 스트레스로 인해 PPTC의 전기적 특성에 문제가 발생할 수 있음을 의미한다. FRV016 타입의 PPTC와 FRV033 타입의 PPTC를 사용한 직류차단 반복실험에서 차단시간은 최초차단실험에 비하여 반복차단실험에 따라 점차 감소하였다. 이러한 차단시간의 감소현상은 PPTC가 반복운전에 의해 고유의 차단시간으로 수렴하는 것으로 판단된다. 이는 부하전류 5A 조건에서 FRV016 타입 이상의 PPTC에서 PPTC를 사용한 직류차단기의 정상적인 동작이

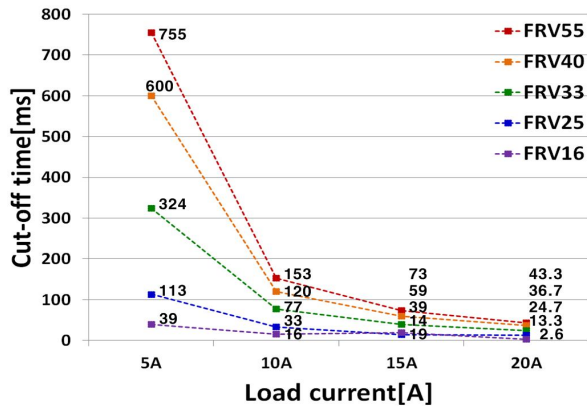


Fig. 6. Experimental results of the proposed DC switch at between 5A~20A load current.

TABLE IV  
EXPERIMENTAL CONDITIONS FOR PROPOSED DC SWITCH ACCORDING TO LOAD TYPE

	Resistive Load	Inductive Load
$V_{DC}$	200V	
$I_{Load}$	5A, 10A, 15A, 20A	5A, 10A, 20A
$R_{Load}$	40Ω, 20Ω, 13.3Ω, 10Ω	40Ω, 20Ω, 10Ω
$L_{Load}$	-	480mH, 240mH, 120mH
$\tau_L$	-	12ms

보장됨을 의미한다. 그러므로 PPTC를 사용한 직류차단기의 정상적인 동작을 확보하기 위해서는 PPTC의 트립 전류가 부하전류의 4% 이상으로 설계되어야 함을 알 수 있다.

다음으로, 부하전류 및 PPTC 변화에 따른 차단실험의 목적은 부하전류와 PPTC 변화에 따른 차단시간의 특성을 분석하는 것이다. 그림 6은 5A~20A 부하전류 조건에서 아크억제를 위한 PPTC 분기회로의 차단실험 결과를 나타낸 것이다. 그림 6을 통해 PPTC를 사용한 직류차단기의 차단시간은 부하전류에 반비례하고 PPTC의 유지전류 및 트립전류에 비례함을 확인 할 수 있다. 이때 부하전류의 크기에 대하여 9% 이상의 트립전류를 갖는 PPTC를 사용한 직류차단기의 차단시간은 순수 구리전극의 아크방전에 따른 차단시간[128ms]보다 긴 것을 알 수 있다. 그러므로 PPTC를 사용한 직류차단기의 정상적인 동작을 위하여 PPTC 트립전류는 부하전류의 크기에 대하여 4% 이상 9% 미만으로 설계되어야 한다.

본 논문에서는 제시한 설계법을 검증하기 위해 부하종류에 따른 PPTC를 사용한 직류차단실험을 수행하였으며, 실험조건은 표 4와 같다. 부하종류에 따른 PPTC를 사용한 직류차단실험에서 저항성 부하는 부하전류 [5A~20A]를 만족하도록 설계되었으며, 유도성 부하는 부하전류에 따른 부하저항과 시정수[12ms]를 만족하도록 설계하였다.

TABLE V  
CUT-OFF TIME OF ARC-LESS DC SWITCH IN RESISTIVE LOAD

Item	Proposed DC Switch Cut-off time[ms]			
	@5A	@10A	@15A	@20A
FRV016-240F	41	21	arc	arc
FRV025-240F	115	33	23	-
FRV033-240F	384	80	35	23
FRV040-240F	752	137	52	33
FRV055-240F	924	166	63	41
FRV075-240F	1457	227	84	49
FRV100-240F	4737	875	300	139
FRV125-240F	7773	1512	474	232
FRV125-240F	7773	1512	474	232

TABLE VI  
CUT-OFF TIME OF ARC-LESS DC SWITCH IN INDUCTIVE LOAD

Item	Proposed DC Switch Cut-off time[ms]			
	@5A	@10A	@15A	@20A
FRV016-240F	29.8	arc	-	arc
FRV025-240F	111	28	-	arc
FRV033-240F	305	59	-	arc
FRV040-240F	662	111	-	32
FRV055-240F	865	141	-	38
FRV075-240F	1330	205	-	52
FRV100-240F	5550	920	-	176
FRV125-240F	8346	1457	-	264
FRV125-240F	21935	4347	-	850

표 5와 표 6은 부하전류에 따른 PPTC를 사용한 직류차단기 차단시간특성을 나타낸 것이다. 표 5와 표 6에서 음영으로 표시된 차단시간은 제시된 설계범위를 만족하는 차단시간을 의미한다. 또한 표 5와 표 6를 통해 유도성 부하조건에서의 차단시간이 저항성 부하조건에서의 차단시간보다 상대적으로 짧은 것을 확인 할 수 있으며, 이는 제시하는 PPTC 설계법이 저항성 부하조건 뿐만 아니라 유도성 부하조건에서도 유효함을 의미한다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 양의 온도계수를 갖는 도전성 소자인 PPTC 분기회로를 사용함으로써 차단아크가 발생하지 않는 기계적 직류차단기의 구조를 제안하고 실험을 통하여 증명하였다. 또한 아크리스 직류차단기에 적용하기 위한 PPTC의 최적사양을 선정하는 설계방안에 대하여 제시하였고 저항성 부하와 유도성 부하조건에서 설계결과가 모두 유효함을 검증하였다. 제안하는 직류차단기는

기계적 차단기의 장점인 낮은 도통저항 특성을 유지하면서도 차단시 차단아크가 발생하지 않으므로 대용량의 설비에 적용가능하다. PPTC 뿐만 아니라 양의 온도계수를 갖는 다양한 소재를 적용할 수 있으므로 이러한 토폴로지를 사용하는 직류차단기의 적용성이 높을 것으로 사료된다.

이 논문은 2016년도 정부(교육과학기술부)의 재원을 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임. (2016R1D1A3B01008279)

본 연구는 한국전력공사의 사외공모 기초연구에 의해 지원되었음. (과제번호 : R17XA05-46)

## References

- [1] K. Tsuruta, K. Yanagi, S. Shibata, T. Yanagidaira, and T. Ikehata, "Effect of axially symmetric magnetic fields for dynamics of low-current DC vacuum arc plasma," *IEEE Transactions on Plasma Science*, Vol. 35, pp. 959-965, Aug. 2007.
- [2] L. Zhu, S. Ji, and Y. Liu, "Generation and developing process of low voltage series dc arc," *IEEE Transactions on Plasma Science*, Vol. 42, pp. 2718-2719, Jun. 2014.
- [3] F. M. Uriarte, A. L. Gattozzi, J. D. Herbst, H. B. Estes, T. J. Hotz, A. Kwasinski, and R. E. Hebner, "A DC arc model for series faults in low voltage microgrids," *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol. 3, pp. 2063-2071, Dec. 2016.
- [4] S. Lee and H. Kim, "A study on Low-Voltage DC circuit breakers," *Industrial Electronics (ISIE)*, 2013 IEEE International Symposium, May 2013.
- [5] J. Jadidian, "A compact design for high voltage direct current circuit breaker," *IEEE Transactions on Plasma Science*, Vol. 37, pp. 1084-1091, May 2009.
- [6] A. Shukla and G. D. Demetriades, "A survey on hybrid circuit-breaker topologies," *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 2, pp. 627-641, Jul. 2009.
- [7] L. Novello, F. Baldo, A. Ferro, A. Maistrello, and E. Gaio, "Development and testing of a 10-kA hybrid mechanical-static DC circuit breaker," *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, Vol. 21, pp. 3621-3627, Dec. 2011.
- [8] U. A. Khan, J. G. Lee, F. Amir, and B. W. Lee, "A novel model of HVDC hybrid-type superconducting circuit breaker and its performance analysis for limiting and breaking DC fault currents," *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, Vol. 25, No. 6, pp. 1-9, Dec. 2015.
- [9] A. Maistrello, E. Gaio, A. Ferro, M. Perna, C. Panizza, F. Soso, L. Novello, M. Matsukawa, and K. Yamauchi, "Experimental qualification of the hybrid circuit breaker developed for JT-60SA quench protection circuit," *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, Vol. 24, No. 3, pp. 1-5, Nov. 2014.
- [10] M. Mobarrez, M. G. Kashani, and S. Bhattacharya, "A novel control approach for protection of multiterminal VSC-based HVDC transmission system against DC faults," *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 52, No. 5, pp. 4108-4116, May 2016.



### 김용중(金龍中)

1988년 11월 10일생. 2013년 공주대 전기전자제어공학부 졸업. 2015년 동 대학원 전기전자제어공학과 졸업(석사). 2015년~현재 동 대학원 전기전자제어공학과 박사과정.



### 나재호(羅在皓)

1989년 3월 9일생. 2014년 공주대 전기전자제어공학부 졸업. 2017년 동 대학원 전기전자제어공학과 졸업(석사). 2016년~2018년 씨엠파트너 그린시스템연구소 주임연구원. 2018년~현재 자동차부품연구원 전기구동시스템연구센터 연구원.



### 김효성(金孝城)

1958년 10월 20일생. 1981년 서울대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 충북대 전기공학과 졸업(공학박). 1996년~1997년 일본 오카야마대학 방문교수. 1999년~2000년 덴마크 연구부교수. 1987년~현재 공주대 전기전자제어공학부 교수.