

직류용 콘센트-플러그의 초기-후기접점 특성

나재호¹, 왕용필², 김효성[†]

Characteristics of Pre-Post Contacts of DC Consent-Plug

Jaeho Na¹, Yongpeel Wang², and Hyosung Kim[†]

Abstract

Socket-outlets and plugs are essential devices that supply electric power into user appliances. During plug-out operation of an engaged plug from the socket-outlet, the consistent arc between the plug and the socket-outlet could develop into heavy fires in DC systems but only a small spark in AC systems. This paper proposes a pre-/post-electrode method to prevent plugs and socket-outlets from melting by sustaining arc energy. To implement the proposed pre-/post-electrodes, an experimental plug is manufactured with two electrodes, in which a post resistance R_s is connected in between. This paper investigates the function of the post resistance R_s , in which the best value of the post resistance R_s is obtained through simulation and experiment.

Key words: Electric arc, DC distribution, Pre-post contacts, Socket-outlet and Plug

1. 서 론

신재생에너지 발전의 급증으로 인해 DC배전에 대한 관심이 높아지고 있다. DC배전에서 활선상태인 콘센트-플러그를 차단할 경우, 차단접점에서 아크가 발생하고 이러한 아크는 개방되기 직전에 흐르는 전류의 크기에 비례하는 특성을 가지고 있다. 그러므로 DC배전계통의 인체 안전성과 전력설비 및 기기의 안전성을 확보하기 위한 적절한 차단기술이 필요하다^[1]. 교류의 경우 만주기마다 전류의 영점이 존재하므로 차단접점에서 발생하는 아크가 자연적으로 소멸될 수 있으나 직류의 경우 개방직전 전류가 영점을 포함하지 않고 일정하기 때문에 그에 따라 발생하는 아크는 교류에 비해 지속적이고 상대적으로 매우 큰 에너지를 방출한다. 교류에서 사용되는 플러그와 콘센트를 직류에서 사용하는 경우, 접속이 끊어질 때 매우 큰 아크전류가 발생하여 플러그와 또한 유도성 직류부하에서 발생하는 역기전력은 플러그

에 유도되어 아크전압(V_{arc})을 생성하므로 사용자의 안전을 위협할 수 있다. 이는 많은 장점을 갖고 있음에도 불구하고 직류배전망의 보급을 저해하여왔던 중요한 요인 중의 하나이다^{[2]-[5]}.

본 논문은 콘센트-플러그의 용착 사고를 예방하기 위해 전극의 초기-후기접점 기법을 제안한다. 2개 이상의 단계로 구분하여 접속 및 차단 시 중간단계의 접촉 저항을 설정하고 부하전류가 단계적으로 바뀔 수 있도록 설계함으로써 최종 차단 아크전류를 감소시키는 기술을 제안한다. 그에 따라 다양한 DC전원조건과 유도성 부하조건에서 제안하는 차단기술을 적용하여 DC차단특성을 분석하고 차단성능을 검증한다.

2. 초기-후기접점에 의한 아크류 소호기술

콘센트와 플러그는 두 전극의 전기적 접촉에 의하여 전기적 연결 및 차단을 수행한다. 두 전극이 연결되었을 때는 가능한 접촉저항이 작아져서 부하전류를 자유롭게 흘릴 수 있어야 하고, 두 전극이 차단되었을 때는 전극 사이의 저항은 무한대로 증가하여 전원측과 부하측을 전기적으로 분리시킬 수 있어야 한다. 따라서 콘센트와 플러그의 연결 및 차단 동작시에는 두 가지 극단적인 전기적 상태의 변화가 초래되며 이에 따른 전기적 과도 상태가 존재하게 된다. 이러한 문제를 완화 시켜주기 위하여 콘센트와 플러그의 전극을 2개 이상의 단계로 구분하여 접속 및 차단시 중간단계의 접촉저항을 설정하

Paper number: TKPE-2016-21-4-2

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

[†] 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

¹ Dept. of Electrical, Electronic and Control Eng., Kongju National University

² Electrical Industry Research Institute of Korea

Manuscript received Dec. 10, 2015; revised Jan. 18, 2016; accepted May 10, 2016

— 본 논문은 2015년 전력전자학술대회 우수추천논문임

여 부하전류가 단계적으로 바뀔 수 있도록 하는 개념이 초기접점/후기접점 설계이다.

이러한 설계에 의하여 최종 차단 아크전류를 감소시킬 수 있다. 그림 1에 콘센트-플러그 전극의 초기접점/후기접점 개념을 보인다. 그림 1a는 플러그전극의 재료성분을 달리하여 초기접점/후기접점의 저항 값을 달리 설계한 것이고, 그림 1b는 반대로 콘센트전극의 재료성분을 달리하여 초기접점/후기접점의 저항 값을 달리 설계한 것이다.

이를 전기적 등가회로로 표현하면 그림 2와 같다. 즉, R_s 의 저항 값을 갖는 초기접점의 삽입정도에 따라 콘센트-플러그 전극의 저항 값이 $0 \sim R_s$ 사이에서 선형적으로 달라지는 현상을 이용한다. 이러한 설계가 구현가능하다면, 콘센트-플러그를 접속시키는 경우 초기의 전극 저항은 R_s 의 큰 값을 갖게 되어 돌입전류를 억제할 수 있으며, 점진적으로 플러그전극이 콘센트 전극에 삽입됨에 따라 전극저항 값이 선형적으로 감소하게 되어, 최종적으로 접속이 완료되면 전극저항은 영의 값이 되어 부하전류를 충분히 흘려줄 수 있게 된다. 반대로 콘센트-플러그를 분리시키는 경우, 초기의 전극저항 값은 영이지만, 플러그전극이 콘센트 전극으로부터 빠지면서 점진적으로 플러그전극과 콘센트 전극 사이의 저항 값이 R_s 의 큰 값으로 증가하게 되고, 최종적으로 저항 값 R_s 에 의하여 전류가 충분히 감소된 상태에서 분리가 되므로 아크현상을 경감시킬 수 있다.

그림 3은 초기접점/후기접점의 시뮬레이션 결과파형이다. 시뮬레이션 조건은 $V_s=400[V]$, $R_L=40[\Omega]$, $L=800[mH]$, R_s 는 부하저항과 동일한 $40[\Omega]$ 에서 최대 100배로 설정한 $4,000[\Omega]$ 사이의 값이다. 따라서 정상적인 부하전류는 $10[A]$ 이고 초기접점저항에 의하여 제한되는 전류는 약 $0.1[A]$ 가 된다. 부하 인덕터는 부하시정수를 $20[ms]$ 로 하여 IEEE C37의 부하시험조건 규정을 맞추도록 하였다^{[6]-[7]}. 콘센트 슬리브와 플러그 사이에서 접속이 일어나는 초기전극의 길이는 $10[mm]$ 로 가정한다. 플러그는 사용자가 수작업으로 조작하는 제품이므로 통상적으로 $100[ms]$ 이상의 조작시간이 요구될 것으로 사료되며 아무리 빨리 조작해도 $10[ms]$ 보다 빨리 조작하는 것은 어려우므로 최악의 조건으로 $10[ms]$ 의 조작시간까지 고려하기로 한다.

그림 3a는 플러그를 $100[ms]$ 의 비교적 긴 시간 간격으로 접속 및 분리를 반복한 경우의 시뮬레이션 파형이다. 콘센트-플러그를 통하여 흐르는 전류는 $10[A]$ 의 부하전류 레벨로부터 $0.1[A]$ 의 작은 전류레벨까지 선형적으로 증가/감소하는 것을 볼 수 있다. 한편 콘센트-플러그 전극양단에 나타나는 전압은 약 $-80 \sim 480[V]$ 사이에서 변화를 보이고 있다. 즉, 콘센트-플러그를 분리시키는 경우, 콘센트-플러그 전극양단에는 약 $480[V]$ 의 전압이 유기되며, 전류는 약 $0.1[A]$ 로 감소된다. 따라서 최종 분리시 초기전류가 $0.1[A]$ 로서 작으므로 아크현상이 약화되고 쉽게 분리가 가능해 진다.

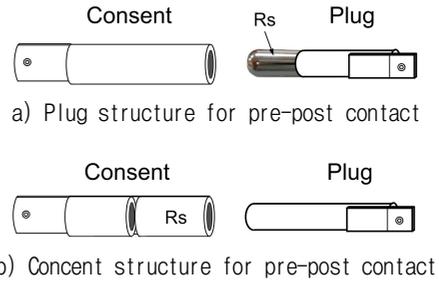


Fig. 1. Concept of pre-post contact.

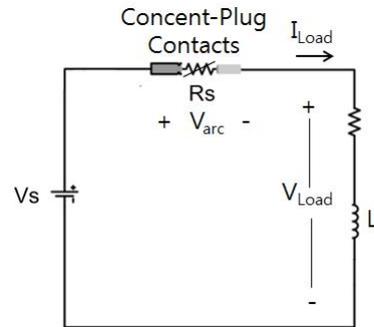
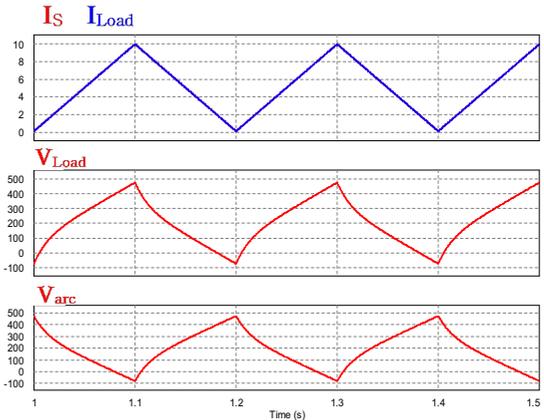
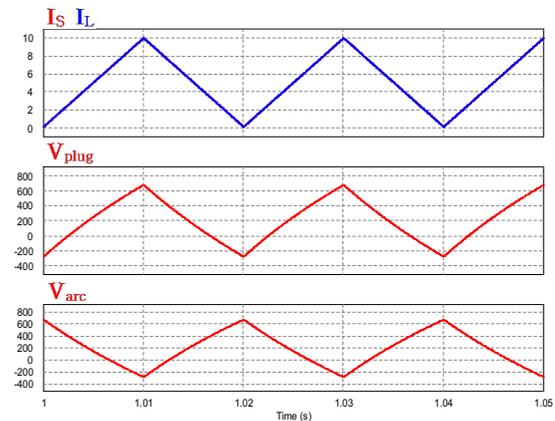


Fig. 2. Equivalent circuit of pre-post contact.



a) Connection and disconnection time = 100[ms]



b) Connection and disconnection time = 10[ms]

Fig. 3. Simulation waveform of pre-post contact.

그림 3b는 플러그를 10[ms]의 아주 짧은 시간 간격으로 접속 및 분리를 반복한 경우의 시뮬레이션 파형이다. 콘센트-플러그를 통하여 흐르는 전류는 역시 10[A]의 부하전류 레벨로부터 0.1[A]의 작은 전류레벨까지 선형적으로 증가/감소한다. 한편 콘센트-플러그 전극양단에 나타나는 전압은 조금 증가하여 약 -280~680[V] 사이에서 변화를 보이고 있다. 즉, 콘센트-플러그를 분리시키는 경우, 콘센트-플러그 전극양단에는 약 680[V]의 전압이 유기되며, 전류는 약 0.1[A]로 감소된다. 이 경우 최종 분리시 전류가 0.1[A]로서 작으므로 아크현상이 약화되고 쉽게 분리가 가능하지만, 플러그 양단 및 콘센트-플러그 전극양단에 유기되는 전압이 크므로 위험할 수 있다. 이 경우 초기접점저항 R_s 의 값을 조금 작게 설계하여 전류의 기울기를 감소시킴으로써, 최종 분리시 전류는 약간 증가되더라도 플러그 양단 및 콘센트-플러그 전극양단에 유기되는 전압을 낮출 필요가 있을 것이다.

그림 3의 초기접점/후기접점의 시뮬레이션 결과를 종합적으로 분석하면, 플러그의 분리시 선형적인 저항의 변화는 부하전류를 부드럽게 연속적으로 낮추어 줌으로써 아크발생을 억제할 수 있음을 알 수 있다. 또한 플러그를 매우 빠르게 분리시키지 않는 한(분리속도 1[mm/s] 이상), 플러그 양단에 유기되는 순간전압은 최대 480[V]를 넘지 않을 것이다. 그러나 초기접점/후기접점 설계의 가장 큰 문제는 초기접점/후기접점의 저항 값을 달리 설계하기에 적절한 전기적 성질을 갖는 재료를 확보하기가 용이하지 않다는 점이다. 다시 말해, 전도성이 좋은 구리, 알루미늄 등의 재료와 전도성이 나쁜 스테인레스, 텅스텐 등의 재료간의 도전성은 50배 정도밖에 되지 않기 때문에, 주어진 콘센트-플러그의 물리적 구조 내에서 충분한 값의 R_s 를 확보하기가 쉽지 않은 것이다.

3. 제안하는 직류용 플러그 및 콘센트

3.1 초기접점/후기접점 설계

직류용 콘센트-플러그의 전극에서 발생하는 아크문제를 해결하기 위한 실제적인 방법으로서, 전극의 초기접점 및 후기접점의 저항 값을 2단계로 설계하는 방법을 제안한다. 제안하는 2단계 초기접점/후기접점에 의한 직류용 콘센트-플러그콘센트의 접촉자 구조의 기본적 사상을 그림 4에 보인다. 이와 같은 구성에 의해 임의의 원하는 저항체를 이용하여 2단계 접점 구조를 구현함으로써, 직류용 콘센트-플러그의 연결시 전극에서 발생하는 아크를 효과적으로 방지할 수 있다.

3.2 초기접점/후기접점 시뮬레이션

그림 5에 초기접점/후기접점에 의한 직류용 콘센트-플러그의 전기적 등가회로를 보인다. 순수한 콘센트-플러그 전극의 사이에 연결된 저항 R_s 가 후기접점의 저항 값에 해당된다. 후기접점 저항 R_s 의 크기에 따라 차단시 전류/전압의 특성이 달라진다.

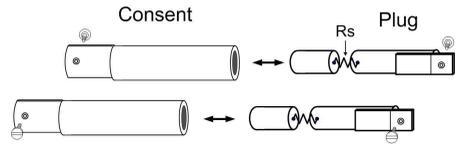


Fig. 4. Structure of pre-post contact.

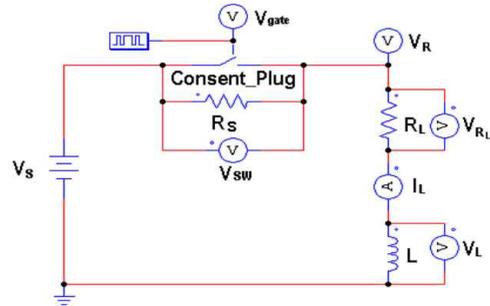
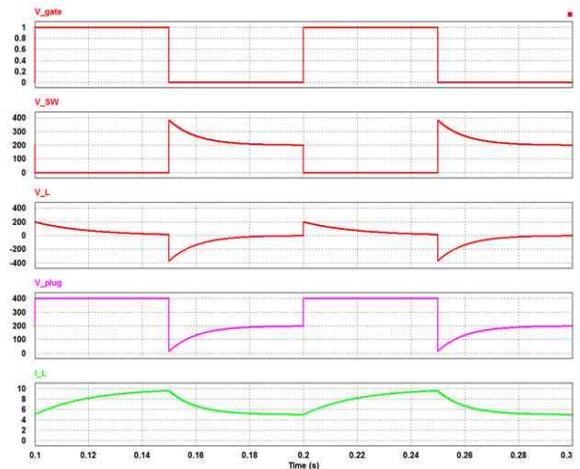
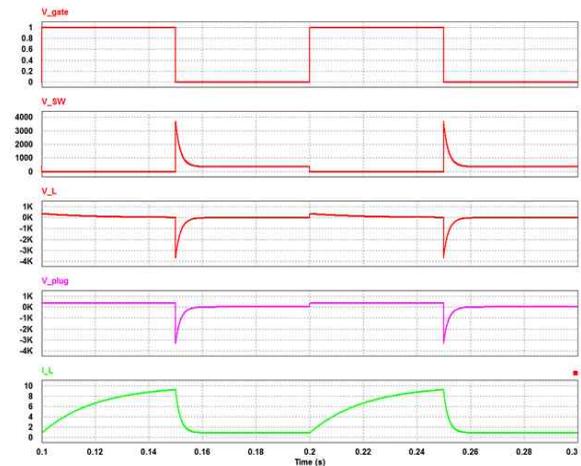


Fig. 5. Simulation circuit for pre-post contact.



a) $R_s=40[\Omega]$



b) $R_s=400[\Omega]$

Fig. 6. Simulated waveforms of pre-post contact.

그림 6는 초기접점/후기접점의 저항 값에 따른 특성을 시뮬레이션한 결과 파형이다. 그림 6a의 경우는 R_s 를

부하저항 값과 같이 설정한 경우이고, 그림 6b의 경우는 R_S 를 부하저항 값의 10배로 설정한 경우이다. 후기접점 저항 R_S 값이 커질수록 후기접점 전류의 값이 줄어들어 차단이 용이해 지지만, 반대로 플러그 양단의 역기전압이 위험한 수준으로 증가하는 것을 볼 수 있다.

4. 실험

4.1 실험조건

제안한 직류용 콘센트-플러그에 대하여 실험을 통하여 특성을 파악하고 적용가능성을 판단하고자한다. 표 1은 제안된 2단계 초기/후기접점형 직류용 플러그 전극의 특성을 파악하기 위한 실험 조건을 보인다. 차단실험의 부하는 부하전류 10[A], 시정수 20[ms]의 특성을 갖는 유도성 부하를 사용 제안한 직류용 콘센트-플러그에 대하여 실험을 통하여 특성을 파악하고 적용가능성을 판단하고자한다. 부하 시정수 20[ms]는 IEEE standard C37.14 -2002에서 규정한 직류차단기의 수명시험조건을 준하여 설정하였다^[6].

그림 7은 실험을 위한 회로도를 나타내고, 표 1은 제안된 2단계 초기/후기접점형 직류용 플러그 전극의 특성을 파악하기 위한 실험 조건을 보인다. 차단실험의 부하는 부하전류 10[A], 시정수 20[ms]의 특성을 갖는 유도성 부하를 사용 하였다. 실험에서 사용한 초기-후기접점형 플러그는 그림 8과 같이 초기전극의 가는 축이 절연체로 절연한 상태에서 속이 빈 실린더 구조의 후기전극을 관통하도록 제작한 후, 두 전극 사이를 저항체를 사용하여 전기적으로 용접하여 연결시킨다. 그림 9는 제안하는 2단계 초기/후기접점형 직류용 플러그 전극의 제작된 모양을 보인다.

KSC IEC60884-1 "가정용 및 이와 유사한 용도의 플러그 및 콘센트 제1부: 일반요구사항"의 21항 정상동작 규정에 의하면, 콘센트는 황동편을 사용하고 적용가능하면 절연슬리브가 있으며, 공차 +0.05mm의 최대 규정치수를 갖고 공차 -0.05mm의 공차간격을 가진 플러그를 사용하여 시험하도록 되어 있다. 또한 플러그를 콘센트에 삽입하고 빼는 동작은 다음과 같은 속도를 5,000회 (10,000스트로크) 실시하도록 명시되어있다^[8]. 그림 10은 제안하는 콘센트-플러그의 자동 반복실험을 위한 실험 장치의 외관을 보인다.

4.2 실험결과

그림 11은 제안하는 2단계 초기/후기접점형 직류용 플러그 전극을 사용한 실험파형을 보인다. 실험에서는 후기접점의 저항을 750[Ω], 500[Ω], 125[Ω], 40[Ω], 20[Ω]으로 다양하게 적용하면서 분리시 아크특성을 파악하였다. 각 파형에서 첫 번째 파형은 부하전압, V_{Load} 를 나타내고 두 번째 파형은 부하전류, I_{Load} 를 나타내며, 세 번째 파형은 플러그전류, I_{Plug} 을 나타낸다. 각 파형에서

TABLE I
EXPERIMENT CONDITIONS

Parameters		Value
Source voltage range		400[V _{DC}]
Load	Current	10[A]
	Time constant	20[ms]
Contact	Materiel	Cu
	Tripping speed	50~150[mm/sec]

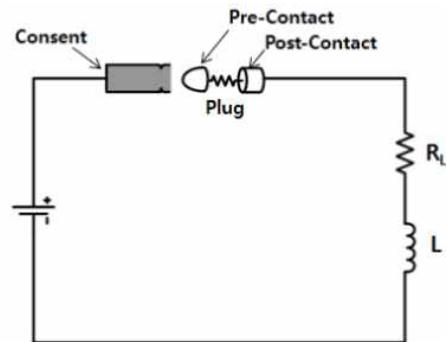


Fig. 7. Experiment circuit for pre-post contact.

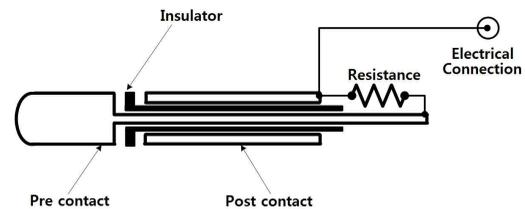


Fig. 8. Proposed scheme of pre-post contact for two-trip stage.



Fig. 9. Consent-plug product by proposed scheme of pre-post contact.



Fig. 10. Experiment environment for proposed consent-plug.

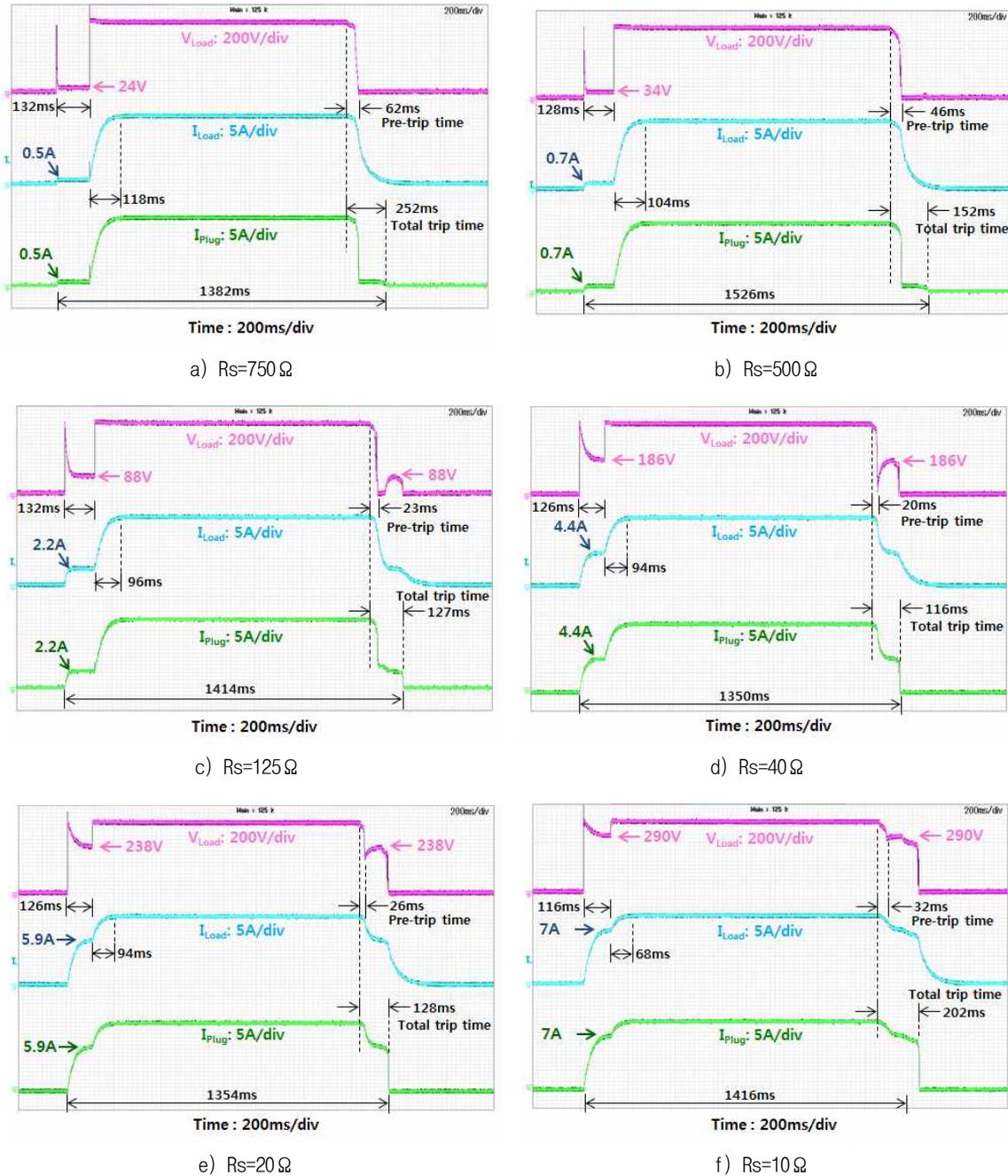


Fig. 11. Experiment waveform by proposed consent-plug with variations of post-contact resistances.

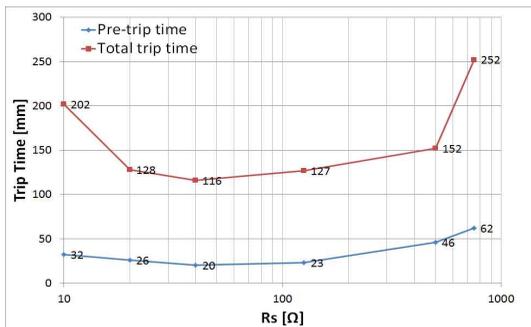


Fig. 12. Trip time characteristic graphs by proposed consent-plug with variations of post-contact resistances.

상승하는 구간은 콘센트와 플러그가 접촉하는 순간으로 초기/후기접점으로 인해 2단계로 상승하는 것을 확인할 수 있다. 마찬가지로 파형에서 하강하는 구간은 콘센트와 플러그가 분리되는 상황으로 2단계로 하강하게 된다. 그림 11에서 후기접점 저항 변화에 따라 차단시간이 변화함을 확인할 수 있으며 후기접점 저항이 부하저항과 값이 동일한 40[Ω]일 때 콘센트-플러그 개방에 의한 차단시간과 후기접점 저항에 의한 차단시간은 116[ms], 20[ms]로 차단시간이 가장 짧은 것을 확인할 수 있다. 그림 12는 제안하는 2단계 초기/후기접점형 직류용 플러그 전극의 특성곡선을 나타내며, 직류용 플러그 전

극의 특성곡선을 통해 접점저항이 부하저항과 동일할 경우 제한하는 콘센트-플러그의 성능이 가장 효과적임을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 직류배전에 사용할 수 있는 초기/후기 접점형 콘센트-플러그의 구현 가능한 구조를 제안하였고 시뮬레이션과 실험을 통하여 단순한 2단계 초기/후기 접점형 콘센트-플러그 구조에 대하여 기초적인 특성을 분석하였다. 기초 실험 결과 부하가 결합된 상황에서 콘센트-플러그의 분리시 초기접점 저항을 부하저항 값과 같은 값으로 할 때 가장 좋은 특성을 확보할 수 있음을 확인 하였다. 따라서 다단계 초기/후기 접점형 콘센트-플러그를 제작하는 경우 적절한 직렬 저항 값을 설계하는 지침을 확보하게 되었다. 본 연구결과를 바탕으로 하여 추후의 연구로 다단계 초기/후기 접점형 콘센트-플러그를 설계·제작하여 실험을 검증하고자 한다.

본 논문은 산업통상자원부 기술표준원 국가표준기 술력향상사업으로 지원된 연구결과입니다 (과제번호: 10049436).

References

[1] H. S. Kim, "DC distribution systems and circuit breaking technology," *KIPE Magazine*, Vol. 15, No. 5, pp. 40-46, Oct. 2010.

[2] S. M. Lee and H. S. Kim, "Development of DC circuit breaker using magnet arc extinguisher," *The Transactions of Korean Institute of Power Electronics*, Vol. 17, No. 1, pp. 21-26, Feb. 2012.

[3] T. Babasaki, T. Tanaka, Y. Nozaki, T. Aoki, and F. Kurokawa, "Developing of higher voltage direct-current power-feeding prototype system," *INTELEC 2009. 31st International*, pp. 1-5, 2009.

[4] S. M. Lee and H. S. Kim, "Experiment on DC circuit breaker for inductive load by improved magnetic arc-extinguisher and arc-attenuation circuit," *The Transactions of Korean Institute of Power Electronics*, Vol. 17, No. 6, pp. 21-26, June 2012.

[5] S. S. Baek, "Development of plug and socket-outlet for 400 volts direct current distribution system," *Conference record on ICPE-2011*, pp. 218-222, June 2011.

[6] C37.14-2002, IEEE Standard for Low-Voltage DC Power Circuit Breakers Used in Enclosures, 2002.

[7] C37.16-2000, IEEE Standard for preferred ratings, related requirements, and application recommendations for low-voltage AC (635 V and below) and DC (3200 V and below) power circuit breakers, 2000.

[8] KS C IEC 60884-1, Switches for household and similar fixed-electrical installations-Part 1 : General requirements, 2010.



나재호(羅在皓)

1989년 3월 9일생. 2014년 공주대 전기전자 제어공학부 졸업. 2014년~현재 동 대학원 전기전자제어공학과 석사과정.



왕용필(王龍泌)

1966년 8월 25일생. 1992년 동아대 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1999년~2001년 뉴질랜드 캔터베리대학 전기공학과 Post-Doc. 2002년~2008년 동아대 전기공학과 초빙교수. 현재 한국전기산업연구원 선임연구실장(책임연구원).



김호성(金孝城)

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