

전기장이 인가된 상태에서 폴리에틸렌으로 피복된 기울어진 전선을 통해 전파하는 화염에 대한 실험적 연구

임승재* · 김민국** · 박정***† · 정석호**** · Osamu Fujita*****

Experimental Study on Spreading Flame over Slanted Polyethylene Insulated Electrical Wire with AC Electric Field

Seungjae Lim*, Minkuk Kim**, Jeong Park***†, Sukho Chung****, Osamu Fujita*****

ABSTRACT

An experimental study on downwardly and upwardly spreading flames over slanted electrical wire, which is insulated by Polyethylene(PE), was conducted with applied AC electric field. The result showed that downwardly and upwardly spreading flames with angle of inclination leaned toward burnt side and unburned side, respectively. With applied AC electric fields, size of downwardly spreading flame decreased slightly and that of upwardly spreading flame increased significantly. Flame spread rate showed various trends in terms of inclination, applied voltage and frequency.

Key Words : AC electric field, Angle of inclination, Flame spread rate, Electrical wire

우주에서의 전선화재는 우주에서 발생할 수 있는 화재의 대표적인 경우로써 우주개발을 진행함에 있어 우주에서의 안전과 생존가능성에 대한 여러 가지 문제를 일으키는 주요 요인으로 인식되고 있다. 이러한 전선화재에 대한 연구는 미래의 우주개발을 위한 필수적인 전제조건이 될 것이다. 이러한 관점에서 전선을 통해 전파하는 화염에 대해 주위의 유동과 압력, 피복재의 종류, 중력의 세기 등 화염전파에 영향을 미치는 요인에 대한 다양한 연구가 수행되어 왔으며[1-8], 이를 토대로 전선화재에 대한 화재안전코드가 존재해 왔다. 하지만 현재까지의 전선화재에 대한 화재안전코드는 전선에 전기장이 인가되지 않았을 경우에 국한되어 있으며, 전선화재에 대한 전기장 효과의 이해는 전기장이 인가되었을 경우의 전선화재에 대한 화재안전코드의 수립에 기여할 것이다. 이에 선행 연구에서는 지면과 수평하게 놓인 전선에 교류전기장을 인가하였을 경우의 화염전파에 대해 보고한 바 있다[9]. 그러나 지상에서의 경우에 전선은 중력의 영향 하에 존재하기

때문에, 전선이 기울어져 있을 경우의 화염은 기존과는 다른 특성을 보일 것이라 판단된다. 이에 기울어진 상태의 전선에 교류전기장을 인가하였을 경우의 화염전파거동에 대한 실험적 연구가 수행되었다.

Fig. 1은 전선과 와이어홀더(Wire Holder), 함수발생기(Function Generator), 증폭기(Amplifier), 비디오카메라로 구성된 본 연구의 실험장치 개략도이다. 길이가 350mm이고 직경이 0.5mm인 니크롬선에 폴리에틸렌(Polyethylene)으로 피복된 직경 0.8mm의 전선이 사용되었으며, 비전도성 아세탈 수지로 만들어진 와이어홀더에 설치되었다. 전선의 한쪽 끝은 와이어홀더의 고정체에 연결되었으며, 다른 한쪽 끝은 스프링과 연결하여 화염이 전파하는 동안 열팽창에 의한 전선의 변형을 방지하였다. 전선을 단일전극상태로 만들기 위해 전선의 한쪽 끝에만 고전압 터미널에 연결되었다. 전선에 인가되는 교류전압은 함수발생기와 증폭기에 의해 인가되었으며, 오실로스코프를 통해 전선에 인가된 전압과 주파수를 확인하였다. 화염은 에어실린더(Air Cylinder) 끝에 설치된 점화기에 의해 점화되었으며, 점화기에 의해 발생할 수 있는 전기장 교란을 방지하기 위해 PLC(Programmable Logic Controller)회로를 이용하여 점화 후 전선에서 제거되도록 하였다. 전선에 인가되는 교류전압의 세기는 RMS값으로 0-5kV까지 다양하게 변화시켰으며, 교류주파수는 0-1000Hz까지 변화시켜가며 실험을 수행하였

* 부경대학교 의생명융합공학협동과정
** 한국기계연구원 환경에너지기계연구본부
*** 부경대학교 기계공학과
**** KAUST, Clean Combustion Research Center
***** Hokkaido University, Division of Mechanical and Space Engineering
† 연락처, jeongaprk@pknu.ac.kr
TEL : (051) 629-6141 FAX : (051) 629-6126

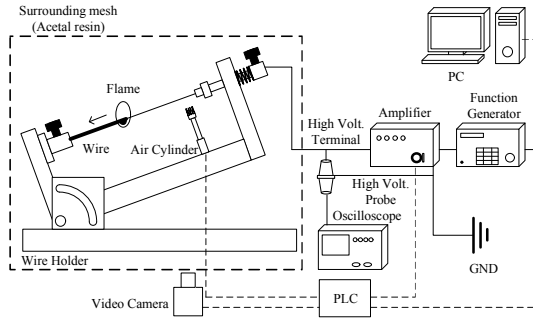


Fig. 1 Schematic illustration of experimental setup

다. 또한 전선이 기울어진 각도는 -90° 부터 70° 까지 다양하게 변화시켰으며, 기울기가 (-)인 경우는 화염이 아래로 전파하는 경우이고 (+)인 경우는 위로 전파하는 경우로 정의하였다. 와이어 홀더에 연결된 부분을 제외한 213mm구간에서 실험이 수행되었으며, 점화 후 점화천이구간 70mm와 끝에서 와이어홀더와의 영향을 고려한 10mm를 제외한 133mm구간에서 Matlab기반의 코드를 사용하여 분석하였다.

Fig. 2(a)는 전선에 전기장이 인가되지 않았을 경우 전선이 기울어진 각도별 시간에 따른 화염의 위치를 나타낸 그래프이고, Fig. 2(b)는 전선의 기울기가 -30° 로 일정하고 전선에 인가되는 주파수가 30Hz일 경우 전선에 인가되는 전압에 따른 화염의 위치를 나타낸 그래프이다. 화염의 위치는 Fig. 2의 상단에 표시한 것처럼 화염이 전파하는 방향에서 화염과 전선이 만나는 부분으로 정의하였고, 시간은 화염이 점화 후 70mm만큼 전파하였을 경우를 기준으로 하였다. 두 그래프에서 나타난 것처럼 화염의 위치는 시간에 대해 선형적인 거동을 보이며, 전선에 인가되는 전압과 주파수, 기울어진 각도, 화염전파방향에 따라 그 기울기가 달라짐을 알 수 있다.

Fig. 3은 전선에 전기장이 인가되지 않았을 경우 전선이 기울어진 각도에 따른 화염의 모습을 나타낸 사진이다. 사진에서 알 수 있는 것처럼 화염은 전선을 통해 아래로 전파하게 되면 -30° 까지 화염의 크기는 급격히 감소하고 화염은 기연측 방향(Burnt side)으로 기울어지게 된다. 이후 전선이 더 기울어지게 되면 화염의 크기는 변화가 거의 없고 기울어진 각도에 따라 화염은 기연측 방향으로 더 기울어지게 된다. 화염이 위로 전파하는 경우에는 전선이 기울어질수록 화염은 미연측 방향(Unburned side)으로 기울어지게 되고 화염의 크기는 50° 와 70° 인 경우와 같이 급격히 커지게 된다. 이와 같은 화염의 크기변화와 기울어진 방향은 화염전파속도의 변화에 영향을 줄 것이다. Fig. 4(a)는 화염이 -30° 의 각도로

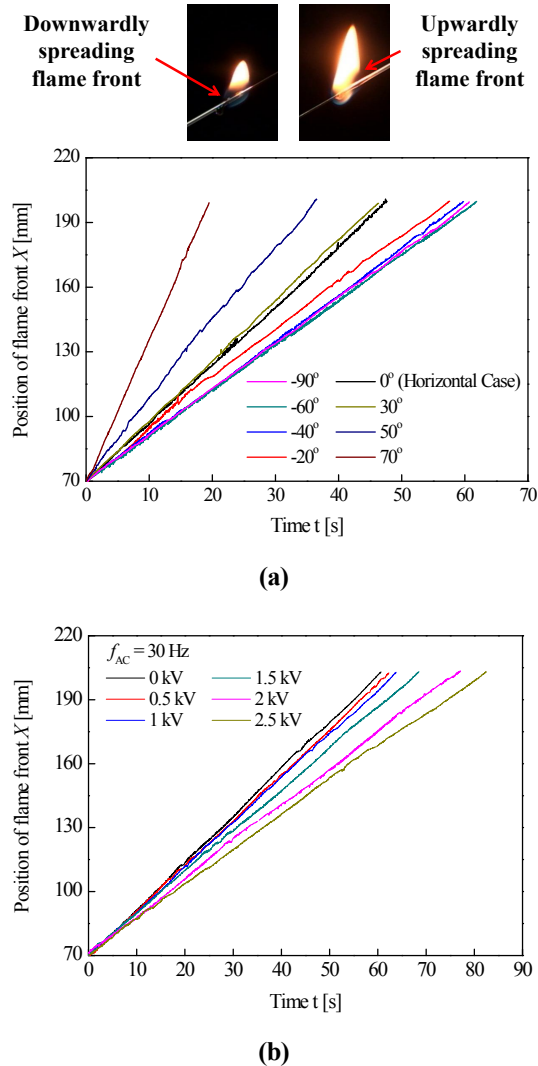


Fig. 2 Temporal position of flame front with the time for several (a) angles of inclination without electric field and (b) voltages at 30Hz with inclination angle of -30°

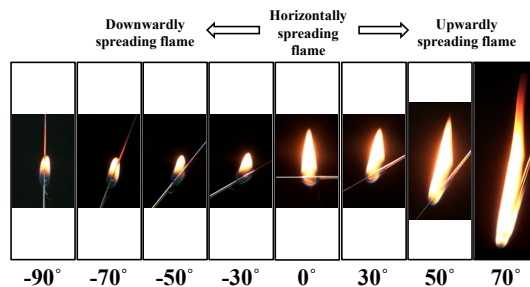
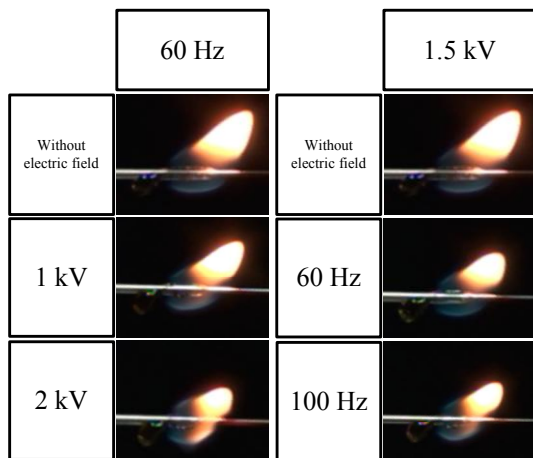
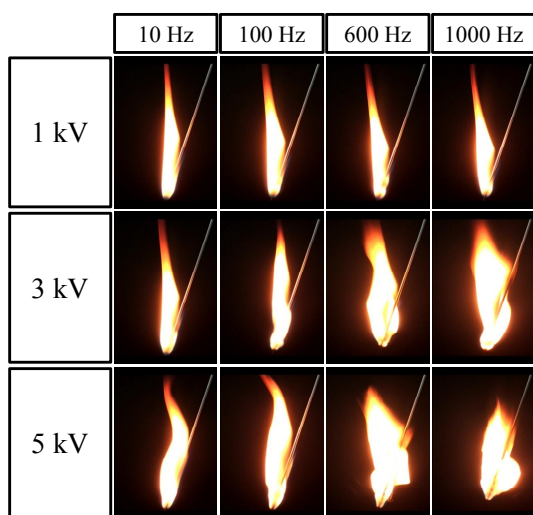


Fig. 3 Spreading flame images with angle of inclination for absence of electric field



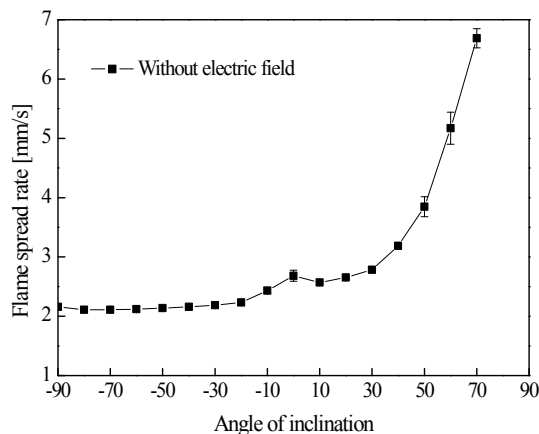
(a)



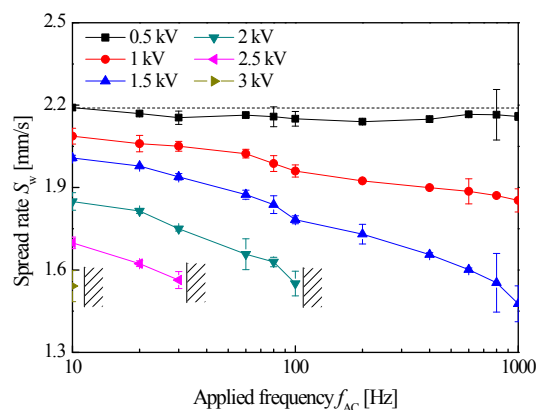
(b)

Fig. 4 Instantaneous flame images for (a) downwardly spreading and (b) upwardly spreading flame with applied voltages and frequencies at -30° and 70° , respectively

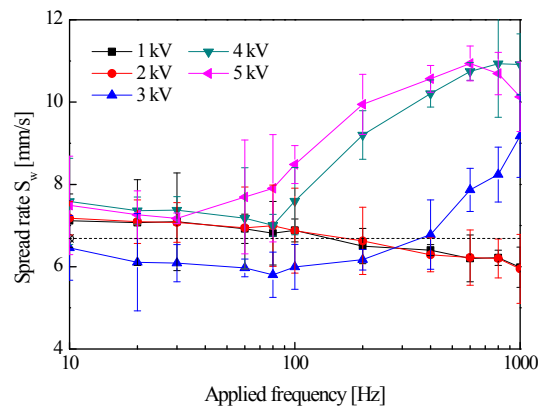
아래로 전파할 경우에 전선에 인가되는 전압과 주파수에 따른 화염의 모습을 전선에 대한 상대적인 모습으로 나타낸 사진이고, Fig. 4(b)는 화염이 70° 의 각도로 위로 전파할 경우에 전선에 인가되는 전압과 주파수에 따른 화염의 모습을 나타낸 그림이다. 화염이 아래로 전파할 경우에는 인가되는 전압과 주파수가 증가함에 따라 화염이 기연측 방향으로 기울며 화염의 크기가 조금 작아지는 것을 알 수 있다. 반대로 화염이 위로 전파하는 경우 전선에 인가되는 전압이 1kV 일 경우에는 인가되는 주파수에 따라 화염의 변



(a)



(b)



(c)

Fig. 5 Flame spread rate with (a) angle of inclination without electric field, applied frequency for several voltages at (b) -30° and (c) 70° , respectively

화가 미미하였고, 3kV만큼 인가되었을 경우에 화염은 인가되는 주파수가 100Hz부터 주파수에 따라 화염크기가 증가하였다. 5kV일 경우에는 인가되는 주파수가 600Hz까지 화염크기가 증가하였으며, 이후 1000Hz까지는 감소하였다.

앞에서 언급한 것처럼 화염의 위치는 시간에 따라 선형적인 거동을 보인다고 언급하였다. 그리고 이로부터 선형근사(Linear fitting)를 통해 화염전파속도를 구할 수 있다. Fig. 5(a)는 전선에 전기장이 인가되지 않았을 경우 전선이 기울어진 각도에 따른 화염전파속도를 나타낸 그래프이고, Fig. 5(b)와 Fig. 5(c)는 각각 화염이 -30° 만큼 아래로 전파할 경우와 70° 만큼 위로 전파할 때, 전선에 인가되는 전압별 인가되는 주파수에 따른 화염전파속도를 나타낸 그래프이다. 전기장이 인가되지 않았을 경우의 화염전파속도는 화염이 아래로 전파할 경우에 -20° 까지 감소하다가 이후 -90° 까지 거의 일정함을 알 수 있고, 위로 전파할 경우에는 10° 에서 최솟값을 보이며 70° 까지 화염전파속도는 급격히 증가한다. Fig. 5(b)와 같이 화염이 아래로 -30° 만큼 전파하는 경우에는 전선에 인가되는 전압에 따라 화염전파속도는 감소한다는 것을 알 수 있으며, 인가되는 전압이 0.5kV일 경우 인가주파수에 영향을 거의 받지 않았으며 1kV이상의 경우에는 인가되는 주파수가 증가함에 따라 화염전파속도는 감소한다는 것을 알 수 있다. 또한 전선에 인가되는 전압의 크기가 증가할수록 화염이 소화되는 주파수의 크기는 감소하였다. 반대로 화염이 70° 만큼 위로 전파할 때, 1kV와 2kV만큼 인가하였을 경우에는 전선에 인가되는 주파수가 증가함에 따라 화염전파속도가 감소하였으며 3kV일 경우에는 인가주파수가 100Hz이상에서 화염전파속도가 급격히 증가하였다. 그리고 5kV와 같이 높은 전압에서는 화염전파속도가 30Hz까지 조금 감소하다가 400Hz까지 증가하였으며, 이후 1000Hz까지 화염전파속도가 증가하였다.

후 기

본 연구는 한국연구재단의 우주핵심기술개발사업으로부터 지원을 받아 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] O. Fujita, K. Nishizawa and K. Ito, Effect of low external flow on flame spread over polyethylene-insulated wire in microgravity, Proc. Combust. Inst., 29 (2002) 2545-2552
- [2] M. Kikuchi, O. Fujita, K. Ito, A. Sato and T. Sakuraya, Experimental study on flame spread over wire insulation in microgravity, Proc. Combust. Inst., 26 (1998) 2507-2514
- [3] Y. Nakamura, N. Yoshimura, H. Ito, K. Azumaya and O. Fujita, Flame spread over electrical in sub-atmospheric pressure, Proc. Combust. Inst., 32 (2009) 2559-2566
- [4] Y. Nakamura, N. Yoshimura, T. Matsumura, H. Ito and O. Fujita, Opposed-wind effect on flame spread of electric wire in sub-atmospheric pressure, Journal of thermal science and technology, 3 (2008) 430-441
- [5] A. Umemura, M. Uchida, T. Hirata and J. Sato, Physical model analysis of flame spreading along an electrical wire in microgravity, Proc. Combust. Inst., 29 (2002) 2535-2543
- [6] S. Takahashi, H. Takeuchi, H. Ito, Y. Nakamura and O. Fujita, Study on unsteady molten insulation volume change during flame spreading over wire insulation, Proc. Combust. Inst., 34 (2013) 2657-2664
- [7] Y. Nakamura, N. Yoshimura, T. Matsumura, H. Ito and O. Fujita, Flame spread over polymer-insulated wire in sub-atmospheric pressure : Similarity to microgravity phenomena, Progress in scale modeling, (2008) 17-27
- [8] X. Huang, Y. Nakamura, F. A. Williams, Ignition-to-spread transition of externally heated electrical wire, Proc. Combust. Inst., 34 (2013) 2505-2512
- [9] M.K. Kim, S.H. Chung and O. Fujita, Effect of AC electric fields on spread rate over electrical wire, Proc. Combust. Inst., 33 (2011) 1145-1151