Regular Paper
J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.
Vol. 33, No. 1, pp. 56-59 January 2020
DOI: https://doi.org/10.4313/JKEM.2020.33.1.56
ISSN 1226-7945(Print), 2288-3258(Online)

154 kV 송전선로 자기재 현수 애자의 전기적 특성 규명에 관한 연구

전성호[1], 최인혁[2], 김태용[1], 이윤정[1], 구자빈[2], 손주암[2], 이준신[1]

[1] 성균관대학교 정보통신대학
[2] 한국전력공사 전력연구원

Electrical Characteristic of a Suspended Porcelain Insulator with a 154 kV Transmission Line

Seongho Jeon[1], In-Hyuk Choi[2], Taeyong Kim[1], Youn-Jung Lee[1], Ja-Bin Koo[2], Ju-Am Son[2], and Junsin Yi[1]

[1] College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 16419, Korea
[2] Korea Elctric Power Corporation (KEPCO) Research Institute, Daejeon 34056, Korea

(Received August 27, 2019; Accepted October 1, 2019)

Abstract: Porcelain insulators are typically exposed to surface discharge and lightning impulse in service. This study investigates the insulation characteristics of the external and internal discharges of a porcelain insulator with respect to its flashover for a 154 kV transmission line. The experiments are also conducted using a wet flashover test and an impulse test based on the external discharge and the internal penetration, to classify the flashover voltage-time curve of the porcelain insulator. When an impulse with a strength of 2,500 kV/μs was applied three times to 6.5 mm ceramic samples, electrical penetration of approximately 70% occurred. The impulse experiment confirmed that the electrical penetration inside the porcelain insulator coincided with the area where the electric field was concentrated. The wet flashover voltage test revealed that the flashover threshold voltage increases by approximately 7% after cleaning of the surface.

Keywords: Porcelain insulator, Surface discharge, Internal penetration, Lightning impulse, Wet flashover voltage

1. 서 론

현대 사회에서 전력에 대한 수요가 점점 증가함에 따라 발전소로부터 수용가까지의 장거리 송전의 효율성을 위하여 송전선로의 전압은 꾸준히 증가되고 있다. 송전전압의 레벨이 증가함에 따라 스위칭 및 동적 과전압을 견딜 수 있는 성능이 애자의 중요한 성능을 나타내는 지표가 되었다 [1]. 활선상태에서 애자와 관련된 사고가 발생되면 화재 또는 정전이 발생할 우려가 있으며 이는 막대한 전력 손실을 야기하기 때문에, 전반적인 전력 계통의 안정도와 보안의 위협을 받게 된다 [2,3].

송전철탑의 애자는 철탑과 선로를 기계적으로 고정하고 전기적으로는 절연하는 목적으로 사용된다 [4-6]. 송전선로의 애자의 기능 중 하나인 절연이 파괴되면 송배전 계통에 고장을 일으키는 사고로 이어질 수 있기 때문에 이러한 사고를 막기 위해서는 섬락 현상이 일어나지 않도록 해야 한다 [7]. 섬락 현상의 경우, 자기 애자의 외부에서 나타나는 연면 방전과 내부로 관통하는 임펄스로 구분할 수 있다 [8]. 자기 애자의 특성은 그림 1에서 내부 경로 a-b에 따른 자기의 절연

✉ **Junsin Yi; junsin@skku.edu**

Copyright ©2020 KIEEME. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

강도가 표면 방전의 경로인 외부 경로 a_1-b_1보다 높은 경우가 이상적이다. 따라서 외부 경로 a_1-b_1를 통한 외부 표면 방전의 경우 애자 자체는 손상되지 않는다.

그림 2는 인가된 전압에 따른 애자의 V-t 특성 곡선이다. 그림 1의 경로 a-b와 a_1-b_1 해당하는 관통 및 섬락 경로는 각각 그림 2의 (1)과 (2)에 해당하며 내부로의 전기적 관통과 외부의 표면 방전으로 구분할 수 있다.

애자는 일반적으로 공기 중에서는 외부 섬락을 일으키기 전에 절연물 내부에서 전기적 관통 파괴가 일어나지 않도록 설계되어 있다. 그러나 상당히 큰 임펄스 서지 전압이 인가되면, 절연 기능을 잃고 공기 중에서 자기 내부로 전기적 관통이 일어난다. 관통 파괴의 경우 그림 1의 a-b와 같이 주로 애자 두부에서 발생한다 [9]. 자기 애자 두부 내부의 전기적 관통은 그림 2의 V-t 곡선에서 교차점 P보다 좌측의 급준 영역에서 발생한다 [10]. V-t 특성 곡선에서 단시간에 인가되는 서지 전압으로, 이는 수 μs 동안 수백 kV의 고전압이 인가되어 외부 표면 방전을 일으키지 않고 내부적으로 관통을 일으켜 자기가 손상되는 것을 의미한다. 이는 활선상태에서는 번개에 의한 급격한 뇌 임펄스에 해당하며, 상용 주파 전압보다 훨씬 높은 전압이다 [11].

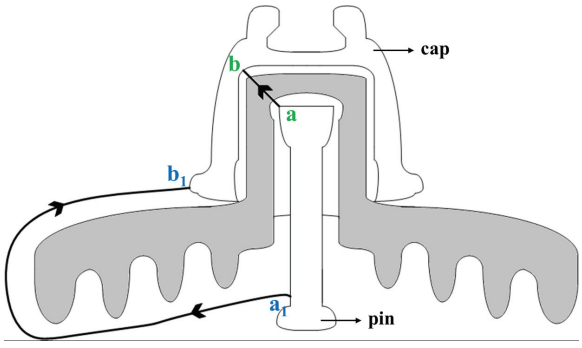

Fig. 1. Leakage paths inside and outside the insulator.

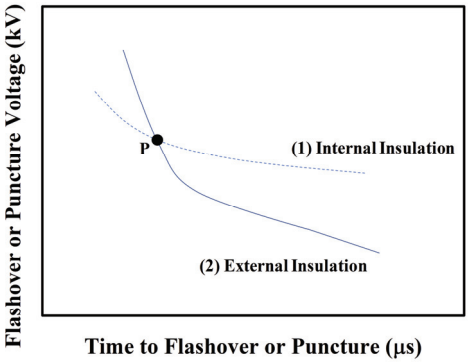

Fig. 2. V-t curve characteristics of the insulator.

외부의 표면 방전을 통한 섬락 현상은 수 초 동안 내부 결함을 발생시키는 임펄스 전압보다 낮은 전압에서 발생한다. 또 외부 표면 방전은 일시적으로 절연 강도가 저하되며 아크 전류로 인하여 표면의 유약이 녹는 현상이 발생할 수 있으나 자기 내부의 피해는 없다 [12]. 표면의 섬락 전압은 외부 환경, 특히 습도에 의해 좌우된다 [13]. 따라서 자기 애자에서 일어나는 방전의 종류를 내부와 외부로 구분하여 각 특성에 맞는 실험을 진행하였다.

2. 실험 방법

2.1 급준파 실험

급준파 전압이란 거의 일정한 준도를 가지고 상승되는 전압으로 급준파의 최소 유효상승률은 2,500 kV/μS로 IEC 60060에 의거하여 각 시료에 대하여 5회의 양극성, 음극성, 양극성, 음극성 총 20회의 급준파 섬락 실험을 행한다.

2.2 상용주파 주수섬락전압 시험

상용주파전압이란 주파수가 60 Hz, 파고율 1.34~1.48의 사이에 있는 파형을 가진 교류 AC 전압이며 상용주파 주수섬락전압은 애자를 주수 환경에서 두 전극간에 상용주파 전압을 가하여 섬락이 나타날 때의 전압을 말하며 주수 환경을 모의하기 위하여 주수는 수압이 일정한 상태에서 분사되는 물방울은 가급적 가늘고 균일하게 하며 주수 범위는 애자를 충분히 포함하는 넓이로 주수한다.

3. 결과 및 고찰

3.1 내부 관통 현상이 발생한 급준파 시험 결과 분석

자기 애자의 급준파 전압을 반복 인가하면 누적되는 전기적 스트레스로 인하여 절연 내력이 저하된다. 관통 파괴 특성은 애자의 섬락 전압과 자기 두부의 두께와 밀접한 관련이 있다. 그림 3은 NGK社에서는 애자 자

기의 두부 부분에서 전기적 관통을 유도하기 위하여 6.5 mm로 샘플을 절삭하여 전압준도 2,500 kV/μS에서 전압을 반복 인가하여 그래프를 도출하였다. 급준파 전압을 인가 3회까지 전기적 관통이 약 70%가량 나타났다. 급준파에 의한 부분 균열은 기공에서 시작되며 부분파괴가 시작되면 전계가 집중되어 [14] 반복적인 전압이 인가되었을 때 결함이 발생하게 된다. 결함의 시작점은 시멘트와 자기부를 접착하기 위해 사용된 샌드 밴드에서 시작되며 이 부분에서 전계 집중이 일어나 부분파괴가 진행되었다 [11,15].

자기 애자의 헤드부의 샌드 밴드에서 전계가 집중되는 것을 전계 해석을 통해 알 수 있다 [17]. 관통 파괴의 시작점인 샌드 밴드를 보다 가시화하기 위하여 급준파 시험에서 내부 관통이 일어난 시료의 절단면을 푹신 용액으로 염색하였다. 그림 4에서 샌드 밴드에서 크랙이 시작되어 진파되는 것을 확인할 수 있으며 전계가 집중되는 샌드 밴드에서 균열이 시작되어 그 균열을 통해 반복되는 전기적 스트레스로 인하여 부분파괴가 일어나며 결국엔 절연성이 파괴되는 내부 관통이 일어나게 된다.

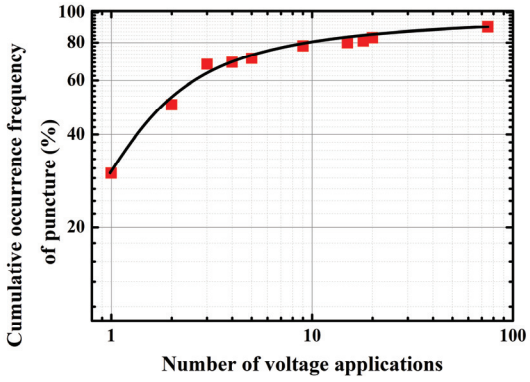

Fig. 3. Relationship between the cumulative breakdown rate and the number of voltage applications [16].

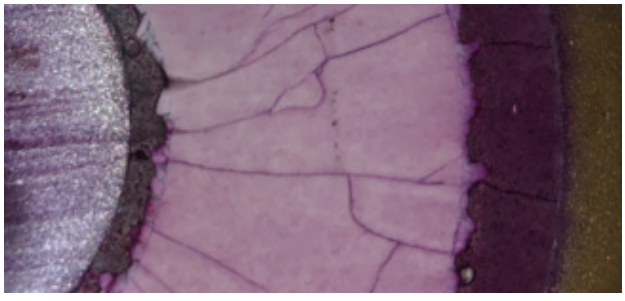

Fig. 4. Porcelain parts dyed with fucshin.

3.2 외부 표면 방전의 상용주파 주수섬락전압 시험

자기 애자의 표면의 오손물의 유무에 따라 주수섬락 임계 전압이 변화된다. 이를 시험을 통해 확인하고자 지역이 다른 두 지역에서 애자를 발췌하여 세척 전·후의 섬락 전압을 비교하였다. 강릉 지역에서 40년간 사용된 애자와 대구 지역에서 48년간 사용된 애자 시료와 더불어 동일 제조사의 신품도 주수섬락전압 시험을 진행하였다.

그림 5와 같이 신품과 경년품 간의 주수섬락 전압값은 확연히 차이가 나타났다. 이는 약 9.4 kV (21%)가량 감소되는 수치를 보였다. 경년품 간의 세정 전·후의 차이는 섬락 임계 전압이 평균적으로 약 3 kV 상승(7%)되었다. 주수 섬락전압시험 정상품 통과 기준이 45 kV이므로 세정 전의 모든 시료가 기준값에 미달되었지만 세정으로 인하여 60%의 시료가 정상 기준에 만족되는 값을 얻을 수 있었다.

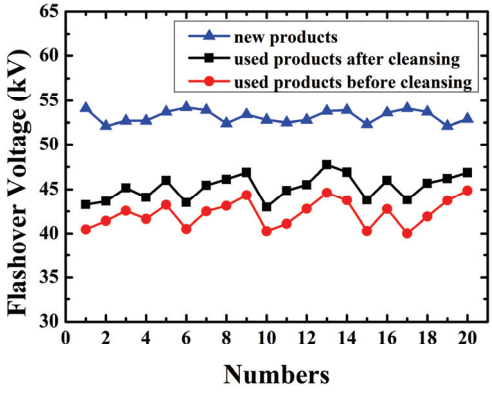

Fig. 5. Comparison of the wet flashover voltages before and after cleansing.

4. 결 론

본 연구에서는 자기 애자의 V-t 곡선에서 내부의 전기적 관통과 외부의 연면 방전에 대하여 섬락 현상에 대하여 고찰하였다.

1) 급준파 시험을 통해 내부의 전기적 관통을 유도하여 전계가 집중되는 샌드 밴드에서 결함이 진파되는 것을 확인하였다. 급준파 전압을 3회 인가했을 때 전기적 관통은 70%가량 발생하였다.
2) 외부 표면을 통한 연면 방전에서는 표면이 오염

된 상태에서 수분과 결합하여 절연내력이 감소된 상태에서 세정으로 인하여 애자의 절연 내력이 회복되어 정상 기준에 60% 이상 부합되었다.

ORCID

Junsin Yi https://orcid.org/0000-0002-6196-0035

REFERENCES

[1] P. S. Ghosh and N. Chatterjee, *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, **2**, 128 (1995). [DOI: https://doi.org/10.1109/94.368688]

[2] S. Venkataraman and R. S. Gorur, *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, **14**, 368 (2007). [DOI: https://doi.org/10.1109/TDEI.2007.344614]

[3] X. Jiang, S. Wang, Z. Zhang, S. Xie, and Y. Wang, *IEEE Trans. Power Del.*, **22**, 472 (2007). [DOI: https://doi.org/10.1109/TPWRD.2006.876705]

[4] S.M.A. Dhalaan and M. A. Elhirbawy, *Proc. 2003 IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (IEEE Cat. No.03CH37495)* (IEEE, Dallas, USA, 2003) p. 909. [DOI: https://doi.org/10.1109/TDC.2003.1335058]

[5] G. H. Vaillancourt, J. P. Bellerive, M. St-Jean, and C. Jean, *IEEE Trans. Power Del.*, **9**, 208 (1994). [DOI: https://doi.org/10.1109/61.277692]

[6] S. Kumagai and N. Yoshimura, *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, **11**, 681 (2004). [DOI: https://doi.org/10.1109/TDEI.2004.1324357]

[7] C. S. Oh, Y. J. Lee, C. H. Ryu, B. W. Lee, G. B. Choi, and J. Y. Koo, *Trans. Korean. Inst. Elect. Eng.,* **40**, 1461 (2009).

[8] G. H. Vaillancourt, J. P. Bellerive, M. St-Jean, and C. Jean, *IEEE Trans. Power Del.*, **9**, 208 (1994). [DOI: https://doi.org/10.1109/61.277692]

[9] J. M. Joung, D. M. Kim, and M. H. Choi, *Trans. Korean. Inst. Elect. Eng.*, **60**, 267 (2011). [DOI: https://doi.org/10.5370/KIEEP.2011.60.4.267]

[10] I. K. Song, S. J. Kim, J. Y. Kim, and H. R. Kwak, *J. Korean Inst. Illum. Electr. Install. Eng.*, **10**, 85 (1996).

[11] K. Morita, Y. Suzuki, and H. Nozaki, *IEEE Trans. Power Del.*, **12**, 850 (1997). [DOI: https://doi.org/10.1109/61.584404]

[12] R. S. Gorur, *Proc. 2011 Electrical Insulation Conference (EIC)* (IEEE, Annapolis, USA, 2011) p. 221. [DOI: https://doi.org/10.1109/EIC.2011.5996150]

[13] Y. S. Cho, T. S. Park, G. S. Song, and Y. S. Choi, *Trans. Korean. Inst. Elect. Eng.*, **41**, 1988 (2010).

[14] H. S. Kim, P. H. Kim, Y. K. You, K. W. Koo, H. J. Kim, and D. S. Kim, *Trans. Korean. Inst. Elect. Eng.*, 132 (2003).

[15] A. S. Krzma, M. Y. Khamaira, and M. Abdulsamad, *Proc. First Conference for Engineering Sciences and Technology* (2018) p. 176. [DOI: https://doi.org/10.21467/proceedings.2.22]

[16] K. Morita, T. Imakoma, M. Nishikawa, and H. Nozaki, *Electr Eng. Jpn.*, **115**, 21 (1995). [DOI: https://doi.org/10.1002/eej.4391150203]

[17] I. K. Song and H. R. Kwak, *Proc. the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers* (1995) p. 83.