

GIS 립 스페이스에 의한 파괴전압 특성 개선

(Improvement of Breakdown Characteristics Using Ribbed Spacer of GIS)

류성식* · 최영찬** · 곽희로***

(Sung-Sic Ryu · Young-Chan Choi · Hee-Ro Kwak)

요 약

본 논문에서는 금속성 파티클이 GIS 스페이스에 부착되었을 경우 파괴전압특성에 대한 립의 여러 조건에서의 효과를 분석하였다. 립-스페이스의 여러 위치에 금속성 파티클을 부착하고 립의 위치, 길이, 두께 등의 변화에 따른 파괴전압을 측정하여 기존에 제안된 립-스페이스보다 파괴전압을 더욱 향상시킬 수 있는 형상을 제시하고자 하였다. 그 결과 립이 없거나 립이 하나인 스페이스 보다 립이 두 개 있는 형태의 립-스페이스가 전반적으로 가장 양호한 파괴전압 특성을 가지고 있음을 알 수 있었으며, 립의 길이와 두께에 따라서도 파괴전압 특성이 달라짐을 알 수 있었다. 특히 립의 끝단을 라운드 처리함으로써 파괴전압 특성을 더욱 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

Abstract

This paper describes the effect of various conditions of the ribs on the breakdown characteristics when metal particle is attached to the spacer in GIS. More improved spacer shape in breakdown characteristics than conventional one is proposed by comparing the results acquired by varying location, length and thickness of the ribbed spacer.

As a result, it was found that the electrical breakdown characteristics of the spacer with two ribs were generally better than that with only one rib or no ribs, and it was dependent on the rib length and rib thickness. Especially, it was also confirmed that the electrical breakdown characteristics were more improved by rounding the rib edge.

1. 서 론

산업사회의 발달 및 도시기능의 고도화 등으로 전 송전압이 상승하고 있는 추세이며, 전력설비의 대응

량·고전압화는 물론 소형화와 옥내화가 불가피하다. 그러므로 운전 및 보수의 간편화, 계통운용의 신뢰성과 안정성의 확보가 요구되어 절연내력과 열적 특성이 매우 우수한 SF₆가스를 절연 소호 매체로 사용하는 가스절연개폐장치(GIS)의 사용이 증가하고 있다.

그러나 GIS는 SF₆가스를 금속용기에 밀폐시킨 매우 콤팩트(compact)한 기기이기 때문에 절연거리의 축소에 인하여 고전계 상태에서 금속성 파티클이 존재하게 될 경우 절연성능에 미치는 영향은 상대적으로

* 정회원 : 현대중공업 기전연구소 연구원

E-mail : ryuss@weppy.com

** 정회원 : 현대중공업 기전연구소 책임연구원

*** 정회원 : 숭실대학교 전기공학과 교수

접수일자 : 2001년 7월 13일

최종완료 : 2001년 7월 30일

로 크게 된다. 따라서 GIS의 제작, 조립, 운반 및 운전중의 기계적 마모 등에 의하여 파티클 등이 발생하게 되면 전계에 의하여 파티클이 가스공간을 부상·비행하기도 하고, 절연물 표면에 부착하여 기기의 절연성을 현저히 저하시켜 절연파괴로 이어지게 된다. 특히 스페이스에 금속성 파티클이 부착되어 있을 때가 GIS 사고에서 큰 비중을 차지하고 있는 것으로 알려져 있다[1,2].

금속성 파티클이 스페이스에 부착시 절연파괴가 발생하는 것을 개선하기 위하여 립-스페이스(ribbed spacer)가 제안되어 여러 연구자들에 의해서 연구되어왔다. 립-스페이스에서의 파괴전압특성이나 방전형태는 파티클의 부착위치와 전극형상, 그리고 립의 형태 등에 의존한다. 실제 GIS의 전극은 매우 긴 원통형의 도체이며, GIS내의 파티클도 스페이스의 여러 위치에 부착될 수 있다. 그러나 기존의 연구에서는 립-스페이스의 직경보다 작은 전극을 사용하여 실제 GIS의 구조와 상이한 조건에서 실험을 시행하였고, 파티클의 부착위치도 특정 부위에만 국한되었다[3,4]

따라서, 본 논문에서는 실제의 GIS 전극에 가깝게 직경이 충분히 큰 전극을 사용하였으며, 립-스페이스의 여러 위치에 금속성 파티클을 부착하고 립의 위치, 길이, 두께 등의 변화에 따른 파괴전압특성을 측정함으로써 립-스페이스에서의 전반적인 특성을 밝히고, 기존에 제안된 립-스페이스보다 파괴전압을 더욱 향상시킬 수 있는 형상을 제시하고자 하였다[5,6].

2. 실험장치 및 방법

2.1 모의 GIS 챔버

본 연구에서 사용한 실험장치는 전원부, 챔버부 및 계측기로 구성되었다. 챔버부는 모의 GIS 챔버, 로고스키 전극 및 스페이스로 구성된다. 그림 1은 립-스페이스에서의 파티클의 위치에 따른 파괴전압특성을 측정하기 위한 모의 GIS 챔버의 개략적인 구성을 나타낸 것이다.

모의 GIS 챔버는 직경 250[mm], 높이 170[mm]의 크기로 제작하였으며, 챔버 내부를 관찰할 수 있도록 관찰창을 설치하였다. 또한 가스 주입구 및 배출구, 압력계, 전압 인가선을 취부하였으며, 챔버의 외함은 접지하였다. 챔버의 재질은 스틸(steel)로 하였으며

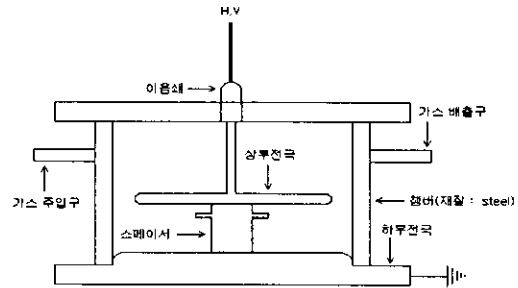


그림 1. 모의 GIS 챔버
Fig. 1. Model GIS chamber

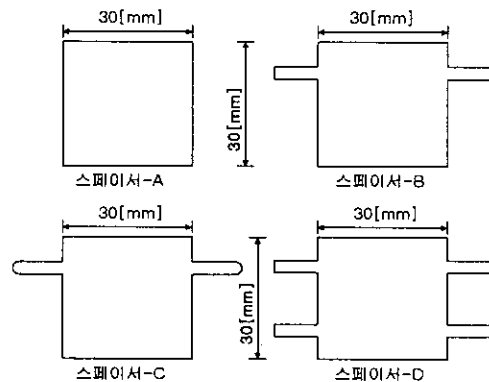


그림 2. 립-스페이스
Fig. 2. Ribbed spacer

상부의 덮개는 아크릴로 제작하였다. 상부전극은 전극 끝 부분에서 부분방전이 발생하는 것을 방지하기 위하여 라운드(round)처리한 지름 150[mm], 두께 10[mm]의 원형 평판전극으로 제작하여 모의 GIS 챔버내에 삽입하였다.

본 실험에서 사용한 진공펌프는 기름을 이용한 Rotary 형식의 진공펌프로 최대 3×10^{-4} [torr]까지 진공이 가능하다.

2.2 립-스페이스

본 논문에서는 각 스페이스에 파티클이 부착되어 있을 때와 립의 길이, 두께 등에 따른 파괴전압 측정 실험에 적용하기 위하여 그림 2와 같이 4가지 형태의 원통형 스페이스를 제작하였다. 편의상 형태에 따라 A, B, C, D의 네 가지로 분류하였다. 립-스페이스의 재질은 아크릴로 하였으며, 립을 제외한 각 스페이스의 직경 및 높이는 각각 30[mm]로 하였다. 립

GIS 립 스페이스에 의한 파괴전압 특성 개선

은 실험의 목적에 따라 스페이스에서의 위치, 길이, 두께 등을 달리하여 다양한 형태로 제작하였다.

2.3 실험방법

파티클의 위치에 따른 파괴전압을 측정하기 위하여 립-스페이스 각각의 지정된 위치에 직경 0.58[mm], 길이 2[mm]의 파티클을 부착하여 그림 1과 같이 챔버내의 상부전극과 하부전극 사이에 삽입하였다. 또한 립-스페이스에서 립의 위치, 길이, 두께 등의 변화에 따른 파괴전압을 측정하기 위하여 다양한 모양의 립-스페이스에 파티클을 부착하여 실험하였다. 전압으로는 상용주파 교류전압을 사용하였으며 0.2[kV/sec]의 속도로 전압을 상승시키며 파괴전압을 측정하였다.

챔버내의 진공은 1×10^{-3} [torr]로 한 후 SF₆가스 10[%], N₂가스 90[%]의 조성비를 갖는 SF₆-N₂ 혼합 가스를 주입하였다.

각각의 실험에서 파괴전압은 5회 이상 측정하였으며 그 평균값을 대표값으로 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 립-스페이스의 파티클 위치별 파괴전압특성

그림 3은 파티클을 립이 없는 스페이스-A의 상단(i 위치), 중단(ii 위치), 하단(iii 위치)에 각각 부착하였을 경우 절연파괴 실험결과이다. 결과에서 나타나는 바와 같이 파괴전압은 파티클이 중앙에 위치할 때 가장 높게 나타났다.

그림 4는 스페이스-B의 각각의 위치에 파티클이 부착되었을 경우의 실험결과이다. 상단(i), 중단(ii), 하단(iii)의 세 가지 위치에서의 파괴전압을 그림 3의 스페이스-A와 비교하여보면 파티클이 중앙에 부착시 파괴전압 값이 가장 높았지만 이 경우, 스페이스-A와는 달리 스페이스 상단(i)에 파티클이 부착시 파괴전압 값이 약 15% 정도 증가한 것을 볼 수 있다. 또한 립의 연면(iv, v, vi)에 파티클을 부착했을 때의 파괴전압 값들은 상단(i), 중단(ii), 하단(iii)에 파티클을 부착했을 때의 값보다 더욱 높게 나타났다. 따라서 스페이스에 립을 만들어 줌으로써 파티클이 스페이스에 부착될 경우 파괴전압을 상승시킬 수 있음을 알 수 있다.

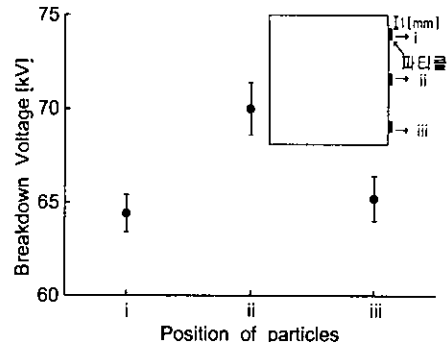


그림 3. 스페이스-A의 파티클 위치별 파괴전압
Fig. 3. Breakdown voltage by particle states (spacer-A)

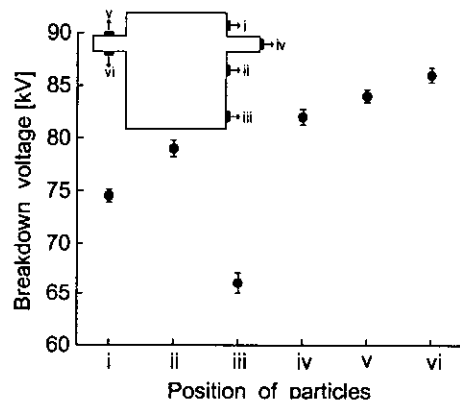


그림 4. 스페이스-B의 파티클 위치별 파괴전압
Fig. 4. Breakdown voltage by particle states (spacer-B)

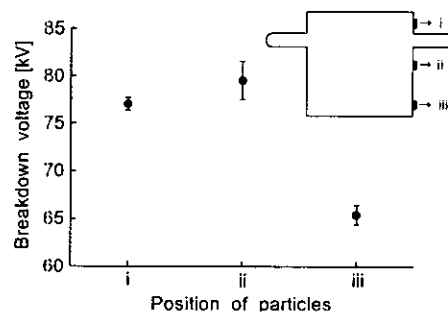


그림 5. 스페이스-C의 파티클 위치별 파괴전압
Fig. 5. Breakdown voltage by particle states (spacer-C)

그림 5는 립의 끝단을 라운드 처리한 스페이서-C에서의 실험결과이다. 그림 3의 스페이서-A와 비교해보면 립의 끝단을 라운드 처리함으로써 파티클이 전극 상단에 위치했을 때의 파괴전압 값이 약 18[%] 정도 증가했음을 알 수 있다.

그림 6은 립이 두 개 있는 경우의 스페이서-D에서 파티클이 각 위치(i~iii)에 부착되었을 경우의 실험 결과이다. 상단(i)에 파티클이 부착되었을 때 파괴전압은 그림 5의 스페이서-C의 경우와 비슷하게 나타났으며, 중단(ii)에서의 파괴전압이 가장 높게 나타났다. 따라서 립이 하나 있는 경우 보다 립이 두 개 있는 경우에는 파티클이 립의 중단(ii)에 부착될 경우 그 파괴전압을 더욱 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

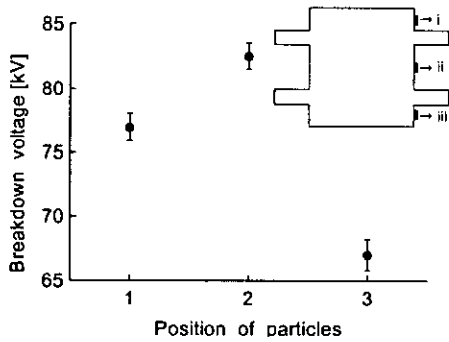


그림 6. 스페이서-D의 파티클 위치별 파괴전압
Fig. 6. Breakdown voltage by particle states (spacer-D)

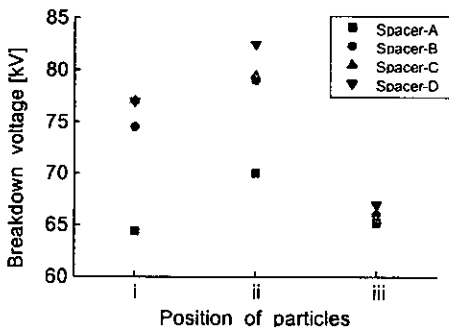
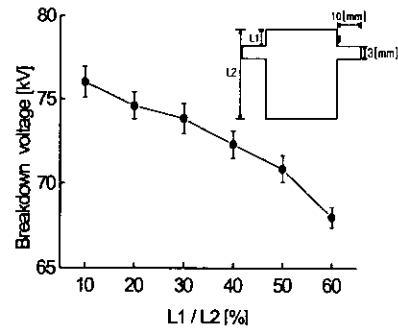


그림 7. 파티클 위치별 각 스페이서에서의 파괴전압
Fig. 7. Breakdown voltage by particle states on each spacer

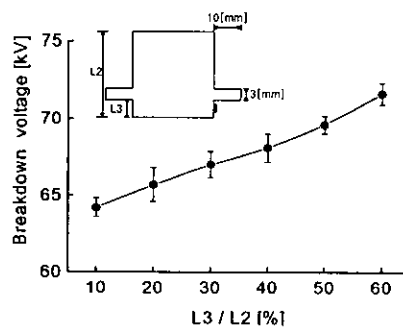
그림 7은 파티클의 위치별로 각각의 스페이서에서의 절연파괴전압을 종합적으로 비교한 것이다. 파티클이 스페이서의 상단에 부착되어 있을 때는 스페이서-B와 스페이서-C의 경우에서 파괴전압이 가장 높게 나타났으며, 파티클이 스페이서의 중단에 위치할 때는 스페이서-D의 경우 값이 가장 높게 나타났다. 그리고 파티클이 스페이서 하단에 위치할 때는 A, B, C의 스페이서의 경우에는 거의 같은 값을 보이지만 스페이서-D의 경우에는 약간 높게 나타났다. 전체적으로 살펴보면 스페이서-D가 가장 우수한 절연성능을 보임을 알 수 있다.

3.2 립의 위치, 길이 및 두께 변화에 따른 특성

그림 8은 각각 스페이서-B형의 립-스페이서 상단에서 1[mm]떨어진 곳에 파티클을 부착한 상태와 하단에서 1[mm] 떨어진 곳에 파티클을 부착한 상태에서 립의 위치를 변화시켜가면서 실험한 결과이다.



(a) 파티클 상단 부착 경우



(b) 파티클 하단 부착 경우

그림 8. 스페이서-B의 립의 위치에 따른 파괴전압
Fig. 8. Breakdown voltage by rib states (spacer-B)

GIS 립 스페이서에 의한 파괴전압 특성 개선

L2는 립의 전체 높이이며, L1은 스페이서 상단에 서부터 립까지의 거리이고, L3은 스페이서 하단에서 립까지의 거리를 나타낸다. 파티클을 상단에 부착한 경우에는 립이 스페이서의 상단에 위치할수록 파괴전압이 높게 나타났으며, 파티클을 하단에 부착한 경우에도 립이 상단에 위치할수록 파괴전압이 높게 나타났다.

따라서 립이 하나인 경우의 스페이서에서는 파티클의 부착위치와 관계없이 립이 상부 전극과 가까운 위치에 있을수록 파티클의 영향이 최소가 됨을 알 수가 있었으며, 이것은 기존 Tokio Yamagiwa 등의 연구자들이 립-스페이서의 직경보다 작은 직경을 갖는 전극에 대하여 실험한 결과와 일치하고 있다[4].

그림 9는 스페이서-B형에서 립의 길이 변화에 따른 파괴전압 시험결과이다. 결과에서 볼 수 있듯이 립의 길이가 증가할수록 파괴전압이 점차 증가함을 알 수 있다. 이것은 립의 길이가 길어질수록 방전경로 또한 늘어나기 때문이다[7].

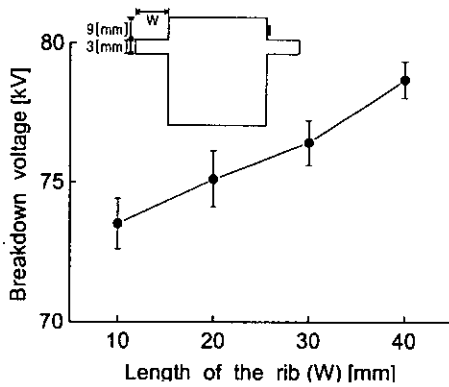


그림 9. 스페이서-B의 립의 길이 변화에 따른 파괴전압
Fig. 9. Breakdown voltage by rib length (spacer-B)

그러나, Tokio Yamagiwa 등의 연구에 따르면 전극의 직경이 립-스페이서의 직경보다 작은 경우, 립의 두께가 충분히 두꺼운 경우에는 립의 길이가 길어짐에 따라 파괴전압이 급격히 증가하다가 어느 이상 길어지면 포화되는 경향을 보였으며, 립의 두께가 아주 얇은 경우에는 립의 길이가 길어질수록 파괴전압이 증가하다가 어느 이상 길어지게 되면 오히려 파괴전압이 떨어지는 경향을 보여 본 연구에서처럼

전극의 직경이 립의 직경보다 큰 경우와는 다른 결과를 보였다[4]. 이것은 전극의 직경이 작은 경우에는 전극의 끝부분이 불평등전계를 이루기 때문에 전극으로부터 립의 연면을 통한 방전이 쉽게 일어날 수 있는데 비해서 전극의 직경이 립-스페이서의 직경보다 충분히 큰 경우에는 불평등전계가 완화되기 때문이다. 결과적으로 전극의 직경이 립의 직경보다 충분히 큰 경우에는 립의 길이가 길어질수록 파괴전압도 계속 상승함을 알 수 있다.

그림 10은 D형 립-스페이서에서 립 사이의 거리와 립의 두께에 따른 파괴전압 실험결과이다. 립의 길이는 각각 10[mm]이며, 립의 두께는 각각 3[mm]와 6[mm]인 립-스페이서 두 가지를 사용하였다.

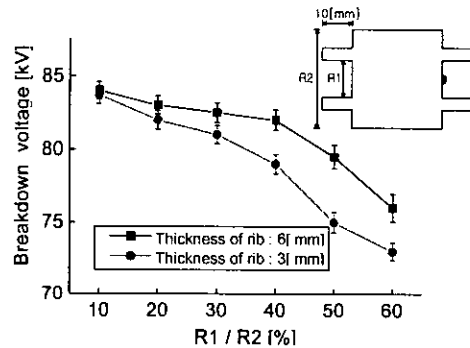


그림 10. 스페이서-D의 립사이의 거리와 립의 두께에 따른 파괴전압
Fig. 10. Breakdown voltage by distance between ribs and rib thickness (spacer-D)

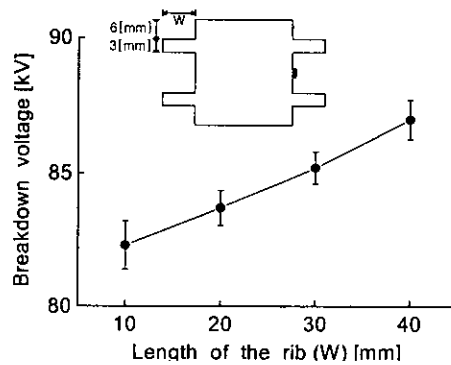


그림 11. 스페이서-D의 립의 길이 변화에 따른 파괴전압
Fig. 11. Breakdown voltage by rib length (spacer-D)

그림에서 보는 바와 같이, 각각의 파괴전압은 립 사이의 거리가 증가할수록 감소하는 경향을 보였다 또한 립의 두께가 6[mm]로 두꺼운 스페이서의 경우가 립의 두께가 3[mm]로 얇은 스페이서보다 전체적으로 파괴전압이 높게 나타났다.

그림 11은 D형 립-스페이서에서 립의 길이 변화에 따른 파괴전압 실험결과이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이, 스페이서-D형에서도 립의 길이가 증가할수록 파괴전압이 증가하는 경향을 보였다. 이는 그림 9에서 설명한 바와 같이 립의 길이가 길어질수록 방전경로가 증가되기 때문이다.

4. 결 론

본 논문에서는 스페이서에 금속성 파티클이 부착되었을 때 일어날 수 있는 절연파괴를 최대한 억제할 수 있는 한가지 방법인 립-스페이서에 대한 절연 파괴 실험을 행하여 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

1) 파괴전압 실험 결과 립-스페이서를 사용함으로써 금속성 파티클이 스페이서에 부착될 경우 립이 없는 스페이서보다 파괴전압이 높게 나타났다.

2) 립이 2개인 스페이서에 파티클이 부착되었을 경우의 파괴전압, 특히 파티클이 두 개의 립사이에 부착되었을 경우의 파괴전압이 립이 한 개이거나 없는 스페이서에 파티클이 부착된 경우보다 높게 나타났다.

3) 립의 끝단을 라운드 처리함으로써 립의 끝단을 라운드 처리하지 않은 스페이서보다 파괴전압을 더욱 상승시킬 수 있음을 알 수 있었다.

4) 립이 하나 있는 스페이서의 경우, 파티클의 부착위치에 관계없이 립이 하단에 위치할수록 파괴전압이 감소하는 경향을 나타내었다.

5) 립이 두 개 있는 스페이서의 경우, 립 사이의 거리가 멀어질수록 파괴전압이 점차 감소하는 경향을 보였다.

6) 립의 두께에 따른 파괴전압은 립의 두께가 두꺼운 경우가 립의 두께가 얇은 경우보다 전체적으로 높게 나타났다.

7) 립이 하나 있는 스페이서와 두 개 있는 스페이서 모두 립의 길이를 증가시킬수록 파괴전압이 증가하였다.

이상의 파괴전압 실험을 통하여 스페이서에 립을 부착함으로써 립이 없는 스페이서보다 파괴전압특성을 향상시킬 수 있음을 확인하였으며, 립의 부착위치를 전극과 가깝게 하고 립의 길이를 길게하고, 립의 두께를 두껍게 하며, 또한 립에서 각이 지는 부분을 둥글게 라운드 처리함으로써 립의 효과를 더욱 크게 할 수 있음을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- (1) 권동진 외, 변전설비 진단기술 개발 연구(최종보고서), 전력연구원, pp. 69-108, 1998.
- (2) 윤덕량 외, GIS 무정전 점검기법 연구(최종보고서), 한국전기안전공사, pp. 1-131, 1996.
- (3) Fumihiko Endo et al, "Enhancement of Insulation Reliability of GIS", Japan-Korea Symposium on ED and HVE, pp. 5-10, 1997.
- (4) Tokio Yamagiwa et al, "Particle-initiated Breakdown Characteristics on a Ribbed Spacer Surface for SF6 Gas Insulated Switchgear", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 3, No. 3, 1988.
- (5) 류성식, 곽희로 외, "GIS 립-스페이서의 형상에 대한 전개해석 및 파괴전압특성", 대한전기학회 방전 및 고전압연구회 춘계학술발표대회 논문집, pp. 107-109, 2000.
- (6) 류성식, 곽희로 외, "개선된 GIS 스페이서의 전개해석 및 파괴전압 특성", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, C권, pp. 1921-1923, 2000.
- (7) 김익모 외, "765kV GIS 기초설계기술 개발", 현대중공업 연구보고서, HEMRI-01-02-D007, pp. 152-155, 2001.
- (8) A. K. Chakrabarti et al., "Spacer Involvement in Conducting Particle-initiated Breakdown in Compressed Gas Insulated Systems", IEEE Trans. on Electrical Insulation, Vol. E-22, No. 4, pp. 431-438, 1987.

◇ 저자소개 ◇

류 성 식 (柳盛植)

1971년 7월 20일생. 1999년 숭실대 공대 전기공학과 졸업, 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 현재 현대중공업 기전연구소 연구원.

최 영 찬 (崔永燦)

1962년 6월 11일생, 1988년 단국대 공대 전자공학과 졸업, 1994년 일본 동해대 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1997 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 현대중공업 기전연구소 책임연구원.

곽 희 로 (郭熙魯)

1942년 3월 1일생. 1967년 서울대 공대 전기공학과 졸업, 1978년 호주 New South Wales 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 중앙대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1986년 MIT Visiting Scientist. 현재 숭실대 공대 전기공학과 교수. 당 학회 부회장.