

가스절연 원통형 관로 내의 스페이서 전계 최적화 알고리즘에 관한 연구

論 文
51C-3-4

Investigation on Electric Field Optimization Algorithm of Spacer in Gas Insulated System

金應植* · 閔錫源**
(Eung-Sik Kim · Suk-Won Min)

Abstract - This paper describes an algorithm for the design of axi-symmetrical spacer under specified field conditions. The electric field has been calculated by combination method of Integral Equation Method(IEM) and Charge Simulation Method(CSM). The contour of spacer is represented with NURB(Non-Uniform Rational B-spline) curve of which effectiveness has been proved. This algorithm introduces a design process in the aspect of electrical field, when a spacer in airtight cylinder is designed. Also various field conditions for obtaining optimal shapes have been proposed. Due to the algorithm, the entire process shows a stable convergence. Both tangential and total electrical field are taken into consideration as specified field criteria.

Key Words : Electrical Field Optimization, Spacer Design, GIS

1. 서 론

전압계급의 상승, 설비의 대형화 및 초고압화, 높은 신뢰도의 운전 등은 송배전 계통에 있어서의 관심사가 되고 있다. 협소한 부지에 차단기, 단로기 등의 여러 설비들이 설치되어야 하기 때문에 같은 부피에 비하여 높은 절연내력을 갖는 가스 절연 설비(Gas Insulated System)등에 대한 수요가 높아지고 있다. 그러나 좁은 공간에 설치된 밀폐된 구조의 GIS는 절연과파의 원인 분석 및 복구가 어렵다는 단점을 가지고 있어 설계 단계에서부터 주의를 요하게 된다. 기기의 전계최적화는 GIS의 절연과파를 막기 위한 연구중의 하나이며, 주어진 설계조건을 만족하는 형상을 설계하는 작업이 된다. GIS의 절연 매체인 SF₆ 가스는 현저한 최대 전계 의존성[1]을 갖고 있어 사고 감소를 위해서는 GIS 내부의 전계분포를 정확히 파악하여야 하며 설계 시부터 도체와 절연체의 최대 전계강도를 줄이기 위한 노력이 필요하다.

전계최적화는 대상이 도체와 절연체 설계로 나뉜다. 도체 최적화는 봉 대 평판 전극 및 765[kV] 송전선 설드링 설계등에 관한 연구결과들이 발표되었다[2]~[4]. 이들 형상 설계에는 NURB 곡선이라는 근사곡선이 사용되었는데, 이 곡선은 형상 설계에 알맞는 여러 성질이 있는 것으로 보고되고 있다[5]. 한편 절연체 형상 설계는 외국에서도 아직 정형화된 방법이 없으며 절연체 형상을 각각의 알고리즘에 의거하여 연면 전계강도가 균일하게 되도록 반복 계산

하는 것이 주류를 이루고 있다[6][7]. 그러나 위에 언급된 연구의 대상은 대개 기기가 氣中에 노출된 半無限場 모델에의 적용이었다.

본 논문에서는 GIS의 일반적인 형상인 밀폐된 관로 속에 축대칭 스페이서를 설치하고 여러 가지 설계조건하에서 최적화 하였으며, 이에 따른 알고리즘 및 최적화에 필요한 여러 가지 설계 기준식 등을 제시하였다. 스페이서 형상은 NURB곡선으로 형상화하였다. 설계대상으로는 沿面방향 및 全體 전계치 두 가지를 사용하였으며, 전계계산으로는 적분방정식법과 전하중첩법이 병용된 혼합법[8]이 사용되어 각각 절연체와 도체에 나뉘어 적용되었다. 얻어진 형상은 수[%] 내의 오차 범위로 수렴하였다.

2. 스페이서 전계 계산 및 목적함수의 구성

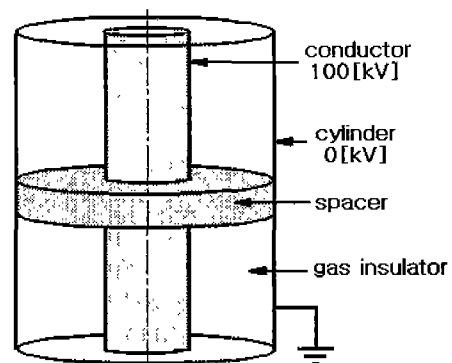


그림 1. GIS 내부의 스페이서
Fig. 1. Spacer in cylindrical GIS

* 正 會 員 : 湖西大學 環境安全工學部 副教授 · 工博
** 正 會 員 : 順天鄉大學 情報技術工學部 副教授 · 工博
接受日字 : 2001年 7月 12日
最終完了 : 2001年 12月 23日

그림 1은 GIS 내부의 스페이서의 형상이다. 스페이서는 내부 100[kV] 인가도체와 접지 외관사이를 지지해주고 있다. 인가전압의 크기는 큰 의미가 없으며 언제든지 다른 값으로의 변환이 가능하다. 스페이서와 기체 유전체의 유전율의 비는 2 : 1로 하였다. 이 비율은 값을 바꿔 전계계산에 임하여도 형상에는 큰 차이가 없이 유사 패턴을 보여주게 된다.

그림 2는 전계계산을 위한 모의전하의 배치를 나타내는 그림이다. z축을 중심으로 내부도체와 접지 실린더를 모의하기 위하여 ring전하를 도체내부와 실린더 바깥쪽에 배치시켰으며 스페이서를 모의하기 위하여 strip전하를 유전체 표면 위에 배치시켰다. 또한 가로 중심선을 중심으로 상하 대칭이 되므로 상부의 모의전하를 대칭으로 하부에 배치시켰다. 따라서 하부 모의전하는 영상전하와 배치 같고 극성이 반대가 된다. 전체 최적화에 사용된 전하 갯수는 ring전하 66개, strip전하 40개가 사용 되었다.

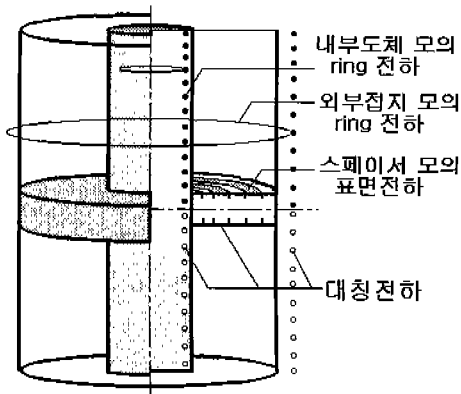


그림 2. 혼합법에 사용된 모의전하의 배치
Fig. 2. Simulation charges in combination method

위의 모의전하들의 전하량을 구함으로 위의 모델의 전계분포를 해석할 수 있게 되고 이를 위한 시스템 방정식은 아래와 같이 세워진다. Q 와 σ 는 각각 ring전하 및 strip전하의 전하량이 되고 P 는 경계조건이 된다. 식 (1)은 다음 두 부분으로 나뉜다. $[A(X)][Q] + [B(X)][\sigma] = 0$ 은 스페이서 경계면에서 전하밀도 연속 조건을 만족시키는 식이고, $[C(X)][Q] + [D(X)][\sigma] = P$ 은 도체와 실린더에서의 전위를 만족시키는 식이 된다. 여기서 X 는 형상을 결정하는 변수가 된다.

$$\begin{bmatrix} 0 \\ P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A(X) & B(X) \\ C(X) & D(X) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q \\ \sigma \end{bmatrix} \quad (1)$$

$A(X)$: ring 전하의 전계계수, $B(X)$: strip 전하의 전계계수
 $C(X)$: ring 전하의 전위계수, $D(X)$: strip 전하의 전위계수
 Q : ring 전하의 전하량, σ : strip 전하의 전하량
 0 : 0 벡터 행렬, P : 경계조건 (100[kV], 0[kV])

식 (1)에서 $[Q | \sigma]^T$ 가 구해지면 이것을 식 (2)에 넣어서 스페이서 표면의 전계치 E_s 를 구하게 된다. 여기서 식 (3)과 같이 $\|E_s - E_{ref}\|$ 가 최소값을 갖는 스페이서의 형상변

수 X 를 결정하게 되면 최적화를 끝나고 형상이 결정된다. E_{ref} 는 설계목표 전계치가 된다.

$$\begin{bmatrix} E_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F(X) \\ G(X) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q \\ \sigma \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\text{minimize } \| [E_{ref}] - [E_s] \| \quad (3)$$

$F(X)$: ring 전하의 전계계수, $G(X)$: strip 전하의 전계계수
 E_s : 스페이서 표면의 전계값

3. NURB 곡선 및 최적화 기법

절연설계를 위해서는 절연기기의 형상을 어떤 형태로든지 함수화 시킬 필요가 있다. NURB 곡선식은 적은 수의 형상 결정변수로도 매우 매끈한(Smooth) 형상을 얻을 수 있고, 통상 2계 이상의 미분치 연속 조건을 만족시킴으로 곡률의 연속 조건이 자동적으로 만족되어 매우 안정된 전계분포를 갖을 수 있게 해준다. 또한 局部性(Locality)이 존재하여 한 부분의 형상 변화가 전체 형상의 변화로까지 연결되지 않음으로 반복되는 최적화 계산에 적합한 곡선이다. NURB 곡선은 보간함수와 콘트롤 포인트 그리고 각 콘트롤 포인트의 가중치(Weighting)로 구성되어 있다. 콘트롤 포인트는 형상을 움직이는 점들로 보간함수들로 연결되어 지며 각 점의 가중치는 콘트롤 포인트의 영향도를 나타낸다. 가중치가 0 이면 콘트롤 포인트는 없는 것으로 간주되고 가중치가 무한대의 값을 갖게 되면 곡선은 콘트롤 포인트를 지나게 된다. 따라서 최적설계의 형상변수는 콘트롤 포인트 및 가중치가 된다. 식 (2)의 X 가 이들 형상변수가 되고 식 (3)을 최소화시키는 X 를 찾아야한다. 이를 위해 Least Square Gauss법을 사용하였다.

4. 전계최적화 알고리즘

4.1 순서도

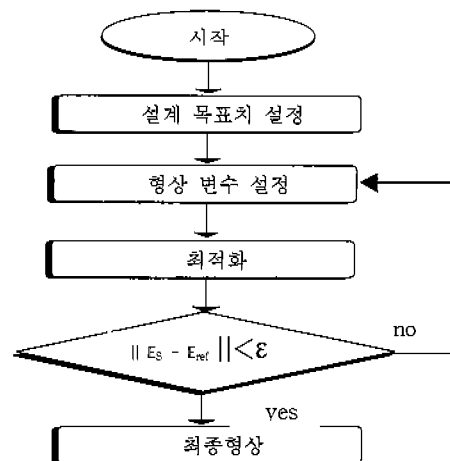


그림 3. 최적화 순서도
Fig. 3. Flow chart

그림 3은 최적화 과정에 대한 순서도이다. 최적화와 이에 따른 전계값의 설계목표 값에의 수렴 여부에 따라 계속적인 반복 계산을 행한다. 매 반복 계산마다 형상이 수정되며, 수렴되었어도 오차가 클 경우에는 형상변수를 늘이거나 콘트롤 포인트를 증가시켜 다시 최적화에 임한다.

4.2 스페이서의 모델링

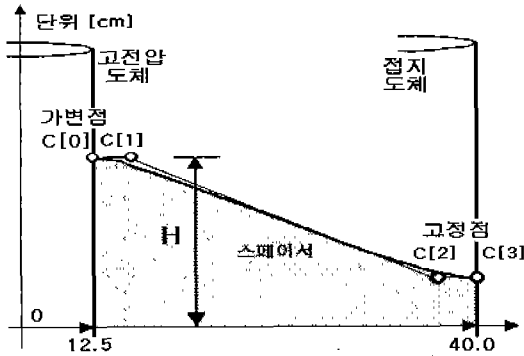


그림 4. NURB 곡선으로 표현된 스페이서
Fig. 4. Spacer modeling by NURB curve

그림 4는 최적화 대상인 스페이서의 표면을 4개의 콘트롤 포인트(C[0]~C[3])들로 이루어진 간단한 NURB 곡선으로 모의한 형상이다. 내부도체와 외부 점지전극의 반지름은 각각 12.5[cm], 45[cm]이다. 모의 시에는 한가지 제약조건이 있는데 이는 C[0]에서 C[3]로 끝나는 스페이서의 양끝 경계가 도체와 실린더의 접촉부위에서 이루는 기울기를 90°로 유지시켜야 한다는 것이다. 이것은 삼중점(절연가스, 절연체와 전극의 세 가지 매질이 만나는 점)에서는 수직조건을 만족시켜야 하기 때문이며 이를 embedding effect 라고 부른다.[8] 이 조건의 만족을 위해 각각 C[0]과 C[1], C[2]와 C[3]를 평행으로 배치시킨다. 여기서 C[0]와 C[1]은 높이 H가 가변이고 C[2]와 C[3]는 고정된다. 실제적인 최적화가 진행될 경우에는 복잡한 형상의 표현을 위해 몇 개의 콘트롤 포인트를 중간부위에 추가하여 최적화를 행한다.

4.3 설계목표 전계치

최적화를 행할 경우 먼저 고려할 문제는 설계대상에서 우리가 원하는 전계분포를 구현할 수 있는지 검토하여야 한다. 간단한 예로 평판 콘덴서에서는 간극의 전계값을 무한정 낮출 수가 없는데 이는 그 값이 간극거리, 즉 형상에 따라 결정되기 때문이다.

전계최적화에서 설계목표치의 결정은 형상과 밀접한 관계를 가지므로 형상이 주어지면 설계 가능한 목표치를 정하는 것이 중요한 문제가 된다.

본 논문에서 다루는 형상은 기존에 논문에서 다루어졌던 반 무한장과는 달리 밀폐된 공간이라는 큰 제약조건을 갖는다. 스페이서의 설계목표치의 설정은 다음과 같은 방법으로 행하였다.

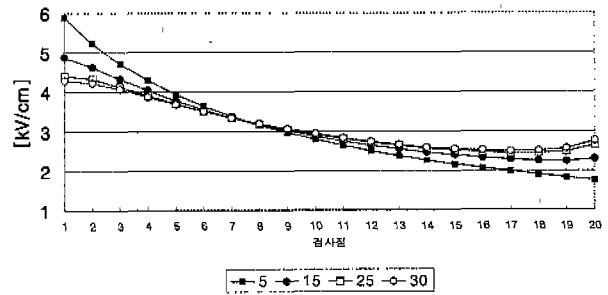


그림 5. H 변화에 따른 스페이서 표면의 전계세기의 변화
Fig. 5. Variations of electric field with changes of spacer shape

그림 5는 그림 4의 스페이서의 높이 H를 5~30[cm]로 변화시킬 경우 스페이서 연면에서의 전계의 변화를 나타낸 그래프이다. 스페이서의 H가 커질수록 전계가 점점 일정한 값으로 수렴해감을 알 수 있다. 스페이서의 기울기가 무한대가 되면 스페이서의 표면이 내부도체와 평행하게 되고, 전계가 일정한 값을 갖게된다. 스페이서의 전계 스트레스가 균일해지면 최적화 문제에서는 가장 이상적인 해가 되지만 이 경우 스페이서로서의 물리적 역할을 하지 못한다. 실제로 이 모델에 균일한 전계분포나 낮은 전계값을 설계목표치로 하여 최적화를 진행하면 H가 점점 커지는 방향으로 변화하므로 전계 최적화를 행할 때 스페이서의 H에 제약을 두어야 한다.

그림 1과 같은 형상에서 전계분포는 그림 5에서 보여지듯이 최대치가 약 6[kV/cm]가 되며 이 값의 30[%]를 줄인 4[kV/cm]를 설계목표로 하여, 주어진 형상에서 이 값의 전계가 어떻게 구현되어지는지 검토하였다.

5. 계산 결과

본 연구에서는 다음과 같은 네가지 조건으로 최적화를 행하였다.

- 1) 沿面 電界의 분포를 4[kV/cm]이하로 낮추는 조건
- 2) 앞부분의 1/3가량의 연면 전계의 분포를 4[kV/cm]로 균一하게 만드는 조건
- 3)全體 전계의 분포를 4[kV/cm]이하로 낮추는 조건
- 4) 앞부분의 1/3가량의 전체 전계의 분포를 4[kV/cm]로 균일하게 만드는 조건

그림 6은 그림 4의 H를 높여가며 연면성분 전계의 분포를 4[kV/cm] 이하로 낮추는 것을 목표로 계산한 결과 주어진 형상과 이에 따른 전계분포이다. 이 경우 설계목표 전계치는 매 반복 계산마다 식 (4)를 따르게 된다.

$$E_i^{ref} = E_i - (n-i)/n \times \Delta E \quad (4)$$

E_i^{ref} : i 번째 계산점의 설계목표 전계치

E_{ii} : i 번째 계산점에서의 전계값

n : 스페이서 연면의 총 계산점 갯수

ΔE : 매 반복계산에서의 전계 감소분

E_i^{ref} 은 i 번째 계산점에서의 다음 반복계산에서의 목표치가 된다. 전 단계에서의 전계값 E_i 에서 ΔE 에 가중치를 곱한 만큼 씩 감소한다. 가중치는 i 가 작을수록 1.0에 가까워지며 커질수록 작아지는데 이는 내부 도체쪽에서 시작되는 계산점에서의 목표치 감소가 접지 실린더 쪽보다 크게 하기 위한 식이다. 그 이유는 내부 도체 쪽의 형상이 실제 최적화의 대상이기 때문이다. ΔE 는 0.2로 정하여 목표치가 점진적으로 작아지게 하면서 4[kV/cm] 이하로 되기까지 최적화를 행하게 된다. ΔE 가 커지면 형상의 변화가 커지며 발산할 가능성이 있기 때문이다.

그림 7은 얻어진 형상을 40개의 검사점에 대하여 전계를 구한 결과로 연면성분과 전체 전계의 값으로 모두 4[kV/cm]에 근방에 와 있음을 알 수 있다. C[0]과 C[3]의 z좌표값은 각각 16.84와 5.0이므로 그 차이가 약 11.84 정도가 된다. 여기서 사용된 콘트롤 포인트는 총 5개이며 이중 C[0]의 z좌표와 C[2]의 r, z좌표가 설계 변수로 사용되었다.

이와 같이 계산초기에 적은 변수로 탐색계산을 행하여 설계치 4[kV/cm]와 이에 따른 최적형상의 타당성에 대하여 검사과정을 거치며, 여기서 물리적으로 불가능한 목표치에 대해서는 수정을 가하게 된다. 이 계산의 결과로 목표치를 4[kV/cm]로 정하고 콘트롤 포인트의 시작점과 끝점의 높이 차이를 최대 10[cm]로 하여 네 가지 최적화 모델에 이 제한 조건을 공히 적용시켰다.

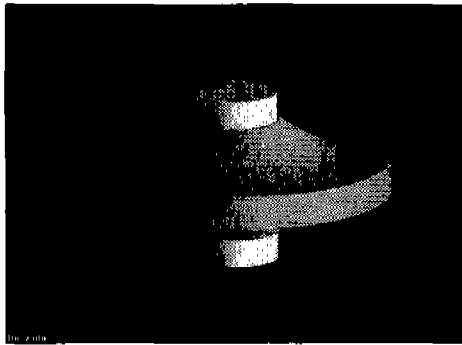


그림 6. 최적화 형상
Fig. 6. Optimized Contour

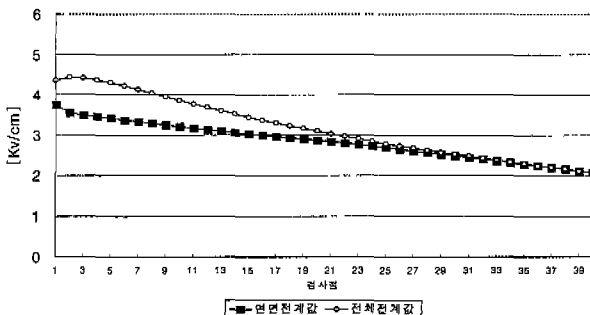


그림 7. 최적화 형상의 연면전계 분포
Fig. 7. Tangential field distribution of optimized contour

그림 8과 9는 스페이스 앞부분의 1/3가량 연면 전계의 분포를 4[kV/cm]로 균일하게 만드는 것을 목표로 최적화된 결과 주어진 형상과 이 경우의 전계분포이다.

$$\text{Minimize } [F_{obj} = \sum_{i=1}^{f_i(\text{앞부분}1/3)} (f_i - 4.0)^2] \quad (5)$$

f_i : 내부 도체측에서 앞부분 1/3지점까지의 계산점 i 에서의 연면 전계값

설계조건은 식 (5)와 같이 되어 f_i 가 4보다 적거나 커져도 목적함수 F_{obj} 가 커지므로 f_i 가 균일하게 분포하는 방향으로 형상이 변하게 된다. 앞서 언급한 대로 처음과 끝점의 높이 차이를 10[cm]로 제한하였으며 도체부 부근 스페이스의 정밀한 제어를 위하여 1개의 콘트롤 포인트를 추가 배치하였다. 사용된 콘트롤 포인트는 모두 6개이며 이중 C[0]의 z좌표와 C[2]와 C[3]의 r,z좌표가 설계 변수로 사용되었다. 최대 설계 오차는 1번 계산점 부위에서 1.6[%]로 나타난다. 연면 전계값은 균일하게 나온 반면 전체 전계의 값은 앞부분에서 이보다 큰 값을 가진다. 형상은 완만하게 내려가다가 불룩하게 올라옴으로서 내부 도체부위를 균일전계로 만들어준다.

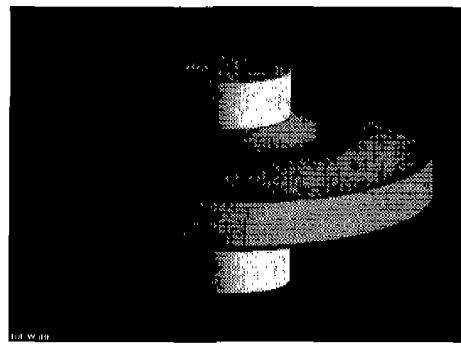


그림 8. 최적화 형상
Fig. 8. Optimized Contour

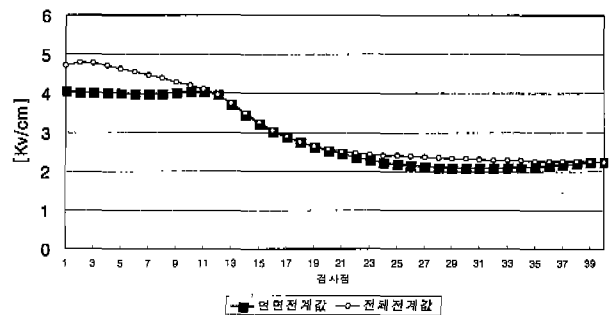


그림 9. 최적화 형상의 연면 전계 분포
Fig. 9. Tangential field distribution of optimized contour

앞의 두가지 예에서 볼 수 있듯이 연면 전계를 설계대상으로 잡을 경우 만족한 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 전체 전계는 연면 전계보다 높은 값을 갖는다. 따라서 이번에는 전체 전계를 설계목표로 삼았다. 그림 10과 11은 전체 전계의 분포를 4[kV/cm] 이하로 만드는 최적화를 행하였을 때의 형상과 전계 분포이다.

$$\text{Minimize } [F_{obj} = \sum_{f_i \geq 4[kV/cm]} (f_i - 4.0)^2] \quad (6)$$

f_i : 연면 전계값이 4[kV/cm] 이상 되는 계산점 i에서의 연면 전계값

설계조건은 식 (6)과 같이 하였다. 식 (5)와 다른 점은 f_i 가 4[kV/cm] 이상 되는 계산점 만을 목적함수 F_{obj} 에 포함시켜 f_i 가 4[kV/cm]이하로 분포하는 방향으로 형상이 변하게 된다. 처음과 끝점의 높이 차이를 10[cm]로 제한하였으며 도체부 부근 스페이서의 정밀한 제어를 위하여 1개의 콘트롤 포인트를 추가 배치하여 사용된 콘트롤 포인트는 모두 7개이며 이중 C[0]의 z좌표와 C[2], C[3]와 C[4]의 r, z좌표가 설계 변수로 사용되었다. 그림 11에서 4[kV/cm]를 넘는 부분이 있으나, 값이 수렴하여 더 이상 최소화시킬 수 없었다. 최대 설계 오차는 3번 계산점 부위에서 4.3[%]로 나타난다. 형상은 큰 변화를 갖게되어 스페이서가 움푹하게 들어가면서 내부 도체 부근 스페이서의 전계를 감소시킨다. 여기서 움푹 들어간 부분의 콘트롤 포인트를 위로 올리면 도체 부분의 전계가 4[kV/cm]보다 커짐이 확인되어 한 부위의 형상변화가 반무한장의 경우와 달리 전체 전계분포에 영향을 주고있음을 알 수 있다. 이러한 현상은 좁은 공간에서 원하는 전계분포를 얻으려면 전체 형상 변수가 동시에 설계되어야 함을 말해준다.

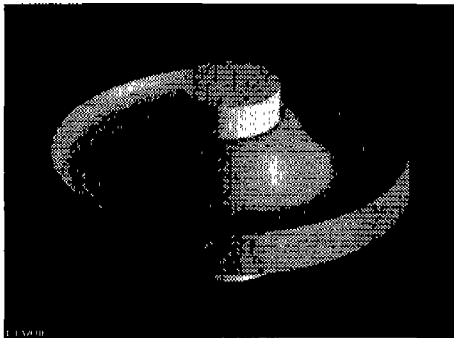


그림 10. 최적화 형상
Fig. 10. Optimized Contour

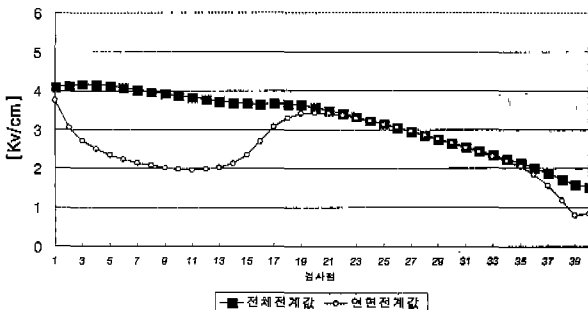


그림 11. 최적화 형상의 전체 전계 분포
Fig. 11. Total field distribution of optimized contour

이번에는 공간제약에 의하여 최적화가 미완으로 끝난 경우를 소개한다. 앞서 설명했듯이 스페이서 줄구간을 균일전계

로 설계하는 일은 불가능하므로 스페이서 앞부분의 1/3가량의 전체 전계를 4[kV/cm] 균일전계로 만드는 것을 목표로 삼았다. 설계조건은 식 (7)와 같이 하였다.

$$\text{Minimize } [F_{obj} = \sum_{i=1}^{f_i(\text{앞부분}1/3)} (f_i - 4.0)^2] \quad (7)$$

f_i : 도체측에서 앞부분 1/3지점까지의 계산점 i에서의 연면 전계값

그림 12과 13은 이 조건으로 계산한 결과 주어진 형상과의 전계분포이다. 이 경우 최적화가 진행됨에 따라 그림 13 b)에서 보듯이 앞부분의 균등전계를 유지하기 위해, 도체 부근 실린더 끝의 스페이서 형상을 닮아가며, 충분한 길이를 확보하기 위하여 콘트롤 포인트가 아래로 내려간다. 형상은 가는 병목이 생기고 이 부분에 전계가 집중되어 그림 12의 검사점 20번 부분에서 전계가 기준치 이상으로 치솟는다. 또한 공간적으로는 하한 경계를 넘는 형상이 발생하여 최적화가 더 이상 진행될 수 없다. 최대 설계오차는 계산점 13번 부위에서 7.5[%] 낮게 나타난다. 처음과 끝점의 높이 차이를 10[cm]로 제한하였으며 도체 부근 스페이서의 정밀한 제어를 위하여 1개의 콘트롤 포인트를 추가 배치하였다. 사용된 콘트롤 포인트는 모두 8개이며 이중 C[0]의 z좌표와 C[2], C[3]와 C[4]의 r, z좌표가 설계 변수로 사용되었다. 이 경우 식 (7)과 다른 설계조건을 사용하던지 처음과 끝점의 높이 차이의 제한을 풀어 최적화에 임해야한다.

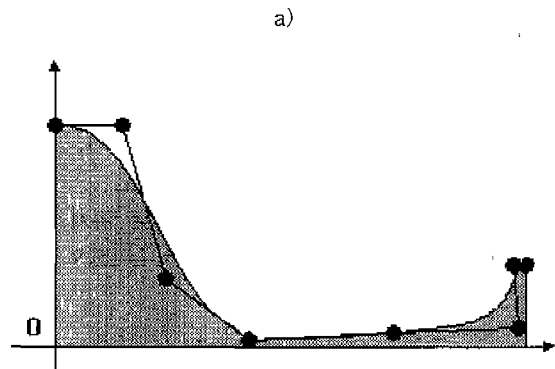
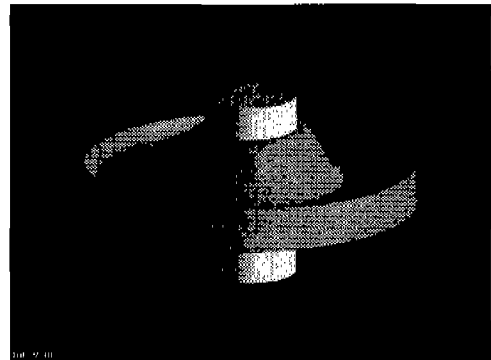


그림 12. 최적화 형상
Fig. 12. Optimized Contour

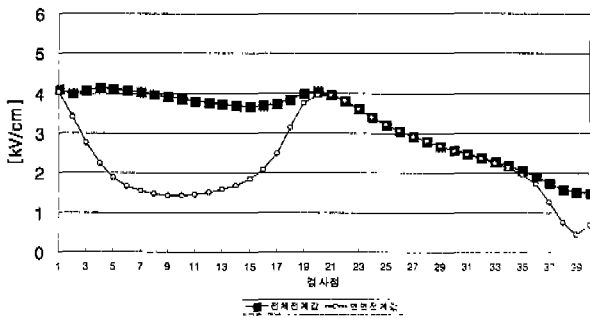


그림 13. 최적화 형상의 전체 전계 분포
Fig. 13. Total field distribution of optimized contour

위 네 개의 전계 최적화에서 설계기준에 오차범위 $5 \pm 3\%$ 로의 형상들을 얻을 수 있었으며 형상변수로 사용된 콘트를 포인트의 수는 4개를 넘지 않아 적은 변수로 효과적인 전계최적화가 이루어짐을 알 수 있었다. 그림 9와 11의 전계 분포를 비교할 경우 전체 전계를 최적화 대상으로 잡은 그림 11이 연면 및 전체 전계의 측면에서 매우 유리함을 알 수 있으나 이는 실제 절연 시험을 통하여 검증되어야 한다.

6. 결 론

본 논문은 전계의 측면에서 형상을 설계하였으며 일단으 설계가 마친 형상이라도 보다 나은 설계 여지는 남아있게 된다. 최적 설계 후 어떤 형상을 채택할 것인가는 절연 시험을 통해 결정하여야 한다. 이상의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 밀폐된 관내의 스페이스의 연면형상 설계의 알고리즘을 개발하였다.
- 2) 제약조건하에서 물리적으로 실현 가능한 설계목표치를 결정 한 후 최적화를 행하였다.
- 3) 밀폐된 공간내의 최적화의 경우 한 부위의 변화는 전체 전계분포에 비교적 큰 영향을 미친다. 따라서, 공간제약 하에서 원하는 전계분포를 얻으려면 전체 형상 변수가 동시에 설계되어야 한다.
- 4) 여러 가지 최적화 설계조건식을 사용하여 최적화를 행하였다.
- 5) 전체 전계값의 최적화는 변수의 갯수, 최적 형상의 설계 오차, 작업량 등에서 같은 설계 기준값을 갖는 연면 전계치의 최적화보다 어려웠으나 전계계산 결과를 비교할 경우 보다 낮은 전계분포를 구현할 수 있었다.

본 연구(관리번호:00-역-02)는 한국전력 공사의 지원에 의하여 기초전력공학공동연구소가 주관으로 수행 되었음

참 고 문 헌

- [1] 정성계, “개정 고전압공학”, 문운당, 1982
- [2] B.Y. Lee 외, “The Use of Rational B-Spline Surface to Improve the Shape Control for Three-Dimensional Insulation Design and Its Application to Design of Shield Ring”, IEEE, Trans, on PD, Vol. 13, No. 3, July 1998
- [3] E.S. Kim 외, “Electric Field Optimization Using NURB Curve and Surface”, 日本 電氣學會誌, Vol. 113, No.10, October 1993
- [4] 坪井외, “ニュートン法による電極形状および絶縁物形状の最適化”, pp. 9-16, 106卷, 7号, 電氣學會論文誌A, 1986.
- [5] 이진우 “컴퓨터 그래픽과 CAD”, 영지문화사, 1994
- [6] J.Á. Gomollón García 외, “Contour Optimization of High Voltage Insulators by Means of Smoothing Cubic Splines”, 9th Int’l Symposium on High Voltage Engineering, pp. 8343-1~4, August, 1995, Graz Austria.
- [7] H.H. Däumling 외, “Investigation on Field Optimization of Insulator Geometry”, pp. 787-793, IEEE Trans. on PD, Vol. 4, No. 1, January 1989
- [8] 河野외, “數値電界計算法”, 코나社, 1980

저 자 소 개



김응식 (金應植)

1961년 12월 26일생. 1984년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 호서대 학교 환경안전 공학부 부교수
Tel : 041-540-5453, Fax : 014-540-5450
E-mail : eskim@dogsuri.hoseo.ac.kr



민석원 (閔錫源)

1958년 1월 3일생. 1981년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1984년~1991년 한전 기술연구원 계통연구실 근무. 1996년~1997년 일본 교토대 방문교수. 현재

순천향 대학교 정보기술공학부 부교수
Tel : 041-530-1338, Fax : 041-530-1548
Email : swonmin@sch.ac.kr