

# 유한 요소법을 이용한 PT 설계 시뮬레이션

박건호<sup>○</sup>  
<sup>○</sup>청강문화산업대학 이동통신과  
e-mail: ghpark@ck.ac.kr

## A Design Simulation of PT using Finite Element Method

Geon-Ho Park<sup>○</sup>  
<sup>○</sup>Dept. of Mobile Communication, Chungkang College of Cultural Industries

### ● 요약 ●

본 연구에서는 절연파괴가 일어나기 쉬운 변압기 1차권선의 절연내력을 향상시키기 위하여 전위분포가 일정하게 되도록 인입선 부근의 권선 배치를 최적화하는 프로그램을 작성하여 유한요소법(Finite Element Method; 이하 FEM)을 이용하여 반복 분석하였다. 우선 기존의 권선 배치에 대한 국소점의 전계 분포를 고찰한 후 전계의 최대치를 구하였다. 그리고 권선 배치를 자동화된 순환 계산형 시뮬레이터를 제작하여 적절한 분포로 교정하고 최초의 기대 함수치를 극소화하는 형상을 반복하여 추적하는 알고리즘을 이용하여 기존의 PT에 적용될 수 있도록 고압측의 권선 배치를 최적화하는 설계 기법을 개발하였다.

키워드: 절연파괴(Dielectric Breakdown), 유한요소법(Finite Element Method), 절연내력(Dielectric Strength)

### I. 서론

본 연구에서는 절연 파괴가 일어나기 쉬운 PT 1차 권선의 절연 내력을 향상시키기 위하여 전위 분포가 일정하게 되도록 인입선 부근의 권선 배치를 최적화 하는 시뮬레이터를 작성하여 유한 요소법(FEM)을 이용하여 에폭시 몰드형 PT의 최적 설계를 도모하였다.

우선 기존의 권선 배치에 의한 국소점의 전계 분포에 대해서 검토분석하여 전계의 최대치를 도출한 후, 권선 배치를 자동화된 순환 계산형 시뮬레이터를 작성하여 적절한 분포로 교정하고 최초의 기대 함수치를 극소화하는 형상을 반복하여 추적하는 알고리즘을 통하여 기존의 PT에 적용될 수 있도록 고압 측의 권선 배치를 최적화하는 설계 기법을 제안하였다.<sup>[1],[2]</sup>

### II. 시뮬레이션

#### 1. 알고리즘

본 연구에서 사용한 기본 알고리즘은 모듈화된 요소 분할과 다중 배치법, 유한 요소 해법으로 이루어져 있으며, 선 처리를 위한 요소 규칙의 정식화와 주 프로그램과의 효율적인 link가 복합적으로 결합되어 있다. 다음의 그림 1에 시뮬레이터의 기본적인 알고리즘을 나타내었다.<sup>[3]</sup>

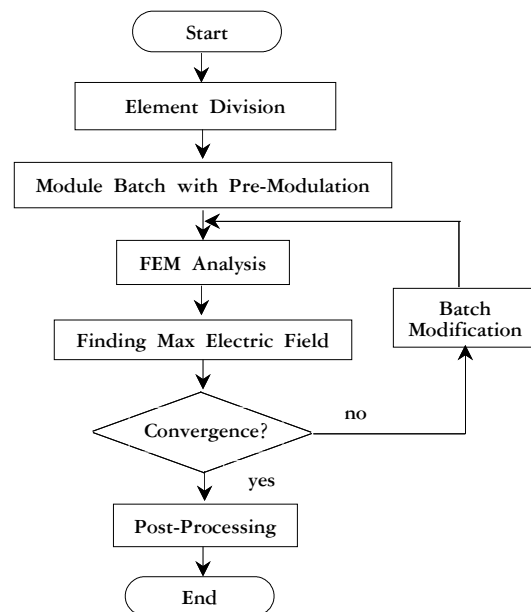


그림 1. 시뮬레이션 알고리즘  
Fig. 1. Simulation Algorithm

#### 2. 요소 분할

본 연구에서는 이러한 이분법을 기초로 한 2종류의 모듈화된 요소 분할 섹터를 제작하여 각 섹터마다 속성을 부여하고 이를 종합적으로 link하여 전체 해석 영역을 요소 분할하는 방법을 제시하였다.<sup>[4]</sup>

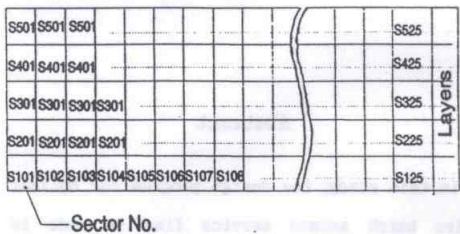
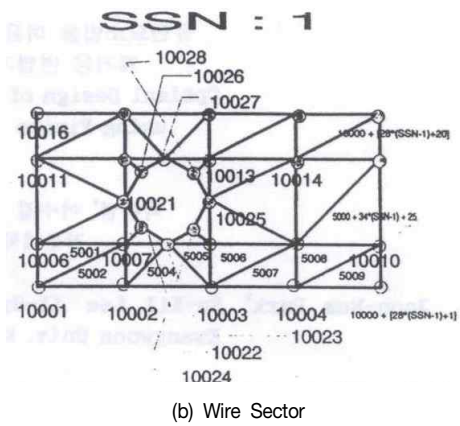
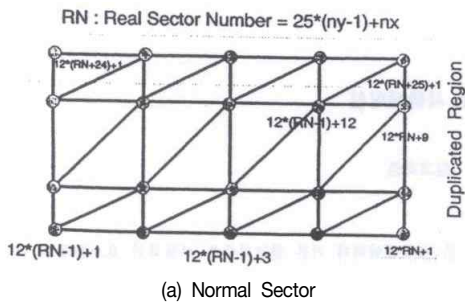


그림 2. 요소 분할

Fig. 2. Element Tearing

기존의 자동 요소 분할 방법은 각각의 목적 형상에 알맞은 분할 도를 제공하지만 최적 형상으로 수렴해가는 과정마다 재분할이 필요한 반면에 모듈화 된 요소 분할의 link법은 전체 해석 영역의 속성을 2가지로 크게 나누어 최소화시킨 섹터를 필요에 따라서 적절히 재배치할 수 있다는 점과 더불어 형상이 바뀌어 나가도 섹터의 속성을 변화시킬 필요가 없고 단순한 기본 벡터의 합성만으로 전체 해석 영역을 포함시킬 수 있다는 장점이 있다. 그림 2에 섹터를 속성별로 구분하여 나타내었다.<sup>[5]</sup>

### 3. 최적 설계

본 연구에서는 약 46층에 이르는 권선의 부피를 유지하면서 인입선 부근의 최대 전계를 극대화하는 방법으로서 권선수의 재배열을 시도하였으며, 이러한 과정을 요약하면 다음과 같다.<sup>[6]</sup>

- 1) 층당 최대 turn수(400turn)를 기준으로 5층까지의 권선을 기준 해석 영역으로 설정하였다.
- 2) 400turn의 1/4에 해당하는 100turn을 목적 해석 영역으로 설정하였다.
- 3) 목적 해석 영역의 평면을 약 100개의 모듈로 나누었다.
- 4) 각각의 모듈을 권선 포함 모듈과 단순히 에폭시만 molding 한 모듈로 구분하였다.
- 5) 실제의 권선 배치 중 절연 파괴가 가장 쉽게 이루어질 가능성이 높은 배치로 재배열하여 이를 기본 배치로 설정하였다.
- 6) 기본 배치에서 나타나는 최대 전계를 계산하고 권선의 수를 바꾸어 가면서 최대 전계를 각각 계산하였다.

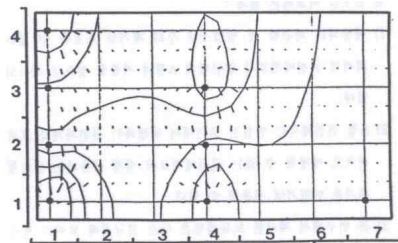
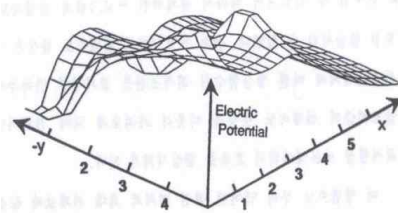
## III. 결과 및 고찰

### 1. 선행 처리 알고리즘 개선

본 연구에서 제시한 모듈화된 요소 분할법은 형상내의 각 위치에 알맞은 모듈을 선택하여 사용할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 자동 요소 분할법에서 사용하는 몇 가지 제약 조건은 실행 속도의 급격한 저하를 초래하여 해석 대상체의 특성에 부합하는 요소 분할을 완벽하게 이루는 것이 매우 난해한 문제였으나 모듈화된 요소 분할법은 해석 대상체의 각 부분에 대한 최적의 섹터를 임의로 선택할 수 있다는 장점이 있기 때문에 실행 속도를 저하시키는 제약 조건을 따로 분리하여 모듈 단위로 비교적 적절하게 처리하는 것이 가능하였다. 더불어 기존의 자동 요소 분할법을 사용하는 알고리즘은 본 프로그램의 실행과 비슷한 시간을 소요하였으나 모듈화된 요소 분할법을 사용하는 알고리즘의 경우에는 약 1/60에 해당하는 소요 시간의 상대적 우위가 있었음을 확인하였다.

### 2. 해석 영역의 전위 분포

다음의 그림 3에 각각의 권선 배치에 따른 해석 영역의 전위 분포, 등전위 분포 및 전계 분포를 나타내었다.



(a) A형 권선 배치

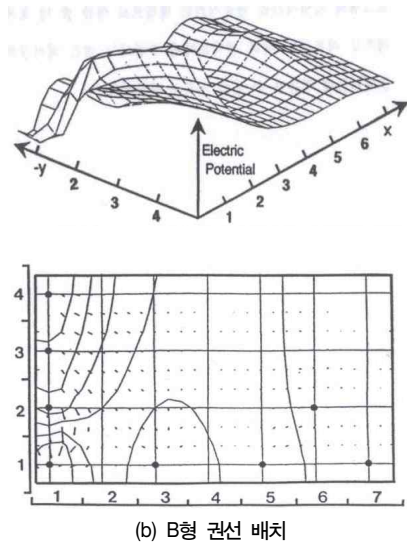


그림 3. 권선 배치에 따른 해석 영역의 전위 분포, 등전위 분포 및 전계 분포

Fig. 3. Electric Potential Distribution, Electrostatic Contour and Electric Field Distribution according to Wire Combination

#### IV. 결론

본 연구에서는 해석 영역의 요소 분할 시에 자동 요소 분할법을 대체하여 모듈화된 요소 분할법을 사용하여 요소 분할에 소요되는 시간의 단축을 이루어 궁극적으로 전체적인 프로그램의 실행 속도를 향상시킬 수 있었다. 또한, 전체 프로그램의 실행 속도의 향상은 최적 권선 배치에 의한 형상 함수의 최적 조건을 도출하기 위한 반복 추적 알고리즘의 실행 속도 향상을 이루어 최적 형상 시뮬레이션의 효율 향상에 크게 기여하였다. 이러한 방법으로부터 얻어진

권선 배치의 최대 전계값과 등전위 분포를 비교하면, 과전압 등으로부터 계기를 보호할 수 있는 최적의 권선 배치는 A형 권선 배치가 보다 적합할 것으로 사료되며, 또한 A형 권선 배치는 인입선 부근에서 발생하는 절연 파괴를 효과적으로 예방할 수 있으므로 mold형 PT에 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 나아가 모듈화된 요소 분할법은 다소 불규칙한 형상에서도 규칙성을 발견하여 요소 분할에 소요되는 시간과 프로그램의 실행 시간을 단축시키는 방법으로 제반 공학 분야에서 야기되는 해석상의 문제점을 어느 정도 극복할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

- [1] H. Steinbiber and D. Haller, "Comparative Analysis of Method for Computing 2-D and 3-D Electric Fields", IEEE Trans. on Electrical Insulation, Vol.26, No.3, pp.529-536, 1991
- [2] 한송협, 정형교, "전기기기의 최적 형상 설계를 위한 민감도 해석에 관한 연구", 대한전기학회, Vol.40, No.9, 1991
- [3] M. C. Rivara, "Algorithms for rewinding triangular grids suitable for adaptive and multi-grid techniques", I. J. N. M. E., Vol.20, No.4, pp. 745-756, 1984
- [4] Klaus-Jürgen Bathe, "Finite Element Procedures in Engineering Analysis", 1987
- [5] K. H. Heubner, "The Finite Element for Engineers", John Willy & Sons Inc., 1975
- [6] Mark R. Simpson, "An Integrated Design Environment for Semiconductor Device Simulation", IEEE Trans. on Computer Aided Design. Vol.10, No.9, pp. 1163-1174, 1991