

# 有限要素法에 의한 變圧器의 勵磁電流計算

박민호, 한송엽(서울대), 이기식(단국대)

## 1. 서 론

전기공학 특히 偏微分方程式으로 표현되는 電氣機器 分野에서 有限要素法을 이용한 解析이 시도되었다.

그러나 靜電場 또는 靜磁場에 대한 것이 주였으며 특수한 경우로서 正弦的으로 변화하는 定常狀態의 Eddy Current 를 取扱한 論文도 발표된 바 있다. 本 研究에서는 變圧器를 모델로 하여 磁氣飽和를 고려한 時間領域에서 勵磁電流를 計算하였다.

## 2. 이 론

변위전류를 무시한 MAXWELL 방정식에서

$$\textcircled{1} \quad \frac{1}{\mu_r} \nabla^2 A = -\mu_0 J$$

$$J = \sigma \left( E_s - \frac{\partial A}{\partial t} \right) \quad [A/m^2]$$

즉

$$\frac{1}{\mu_r} \nabla^2 A - \mu_0 \sigma \frac{\partial A}{\partial t} + \mu_0 \sigma E_s = 0$$

$$\textcircled{2} \quad E_s = V_m \sin Wt \quad [V/m]$$

를 도출할 수 있고 유한요소법을 적용하기 위하여 각 要素에 대하여

$$\textcircled{3} \quad A^e = \underline{N}^T(x, y) \underline{\phi}^e(t)$$

$$\underline{N}^T = (N_1, N_2, N_3), \underline{\phi}^e T = (\phi_1, \phi_2, \phi_3)$$

$$N_i(x_j, y_j) = \delta_{ij}$$

로 정의하면 각 節点에 대한 微分方程式 [1]

$$(C) \frac{d}{dt} \underline{\phi} + (K) \underline{\phi} + \underline{f} = \underline{Q}$$

$$C_{ij}^e = \int_{s_e} N_i \mu_r \sigma N_j d\Omega$$

$$k_{ij}^e = \int_{s_e} \frac{1}{\mu_r} \left( \frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial N_j}{\partial x} + \frac{\partial N_i}{\partial y} \frac{\partial N_j}{\partial y} \right) d\Omega$$

$$f_i^e = - \int_{s_e} N_i \mu_r \sigma E_s d\Omega$$

를 얻을 수 있다. 여기서 (K) matrix 가 磁束密度 B 즉  $\underline{\phi}$ 의 함수이므로 式④는 비선형일 제미방이다.

解法으로서는 2点 漸化式 (2-point recurrence formula)

$$\left[ \frac{(C)}{\Delta t} + (K) \theta \right] \underline{\phi}^{n+1} + \left[ \frac{(-C)}{\Delta t} + (K) (1-\theta) \right] \underline{\phi}^n + \underline{\bar{f}} = \underline{\bar{Q}}$$

⑤

$$\underline{\bar{f}} = \underline{\bar{f}}^{n+1} \theta + \underline{\bar{f}}^n (1-\theta)$$

중에서  $\theta = \frac{1}{2}$ 인 Crank-Nicholson Method [2]를 쓴다.

또한 각 요소의 B에 대한  $\mu_r$ 을 정하기 위해서는 요소내의 B의 값을 3절점 Potential의 평균치인 中心값  $\phi_0$ 로 표현한 후 B-H 曲線을 이용한다. [3]  $\underline{\phi}^n$ 과  $\underline{\phi}^{n+1}$ 의 값이 정해지면 ③式에서 A의 값을 정하고  $\frac{\partial A}{\partial t}$ 를 구하여 式①에서 J를 計算하게 된다. 이 J가 励磁電流가 된다.

참 고 문 헌

- (1) Zienkiewicz, "The Finite Element Method," 3-rd ed., Tower Press, 1979, p. 529, p 572
- (2) Curtis F. Gerald, "Applied Numerical Analysis," end ed., Additon-Wesley P. Co., 1978, pp 400-402
- (3) O. W. Anderson, "Transformer Leakage Flux Program Based on the F.E.M," IEEE PAS, 1972, pp 682-689