

커패시터 방전 임펄스 착자기 회로와 페라이트 자석의 착자특성

A Circuit of Capacitor-Discharge Impulse Magnetizer and Magnetizing Characteristics of Ferrite Magnet

백수현 윤수봉
동국대학교 전기공학과

김필수
충청전문대학 전기과

< ABSTRACT >

In a capacitor-discharge impulse magnetizer, one of the magnetic application system, a magnet is magnetized by the discharging current of capacitor. The conventional design of the magnetizer has been based on many year's experience. The behaviour of flux in the magnetizer should be calculated in order to produce the desired magnets. The analysis of the flux distribution is quite difficult. This is because both the magnetizing current and the applied voltage to the magnetizer are unknown.

This paper describes the development of a computer model for a capacitor-discharge impulse magnetizer using SPICE. Also, the detailed distribution of the flux density in a magnet magnetized by the impulse magnetizer be analyzed.

I. 서 론

산업용 기기를 비롯한 각종 전기·전자기기의 발달에 따라 기기의 고성능화, 고경량화, 고효율화 경향이 가속되고 있으며, 이러한 기기에 항상 이용되는 영구자석의 성능이 상기한 경향에 큰 영향을 줌에 따라 영구자석에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 각종 영구자석 재질상의 문제에 앞서서 영구자석의 고성능화에 관심이 되고 있는 커패시터 방전 임펄스 착자기(Capacitor-Discharge Impulse Magnetizer)의 회로설계에 대한 연구가 중요문제로 대두되고 있는 실정에 있다 [1, 2, 3]. 이러한 착자기의 경우 착자기 회로의 착자전류 및 충·방전 전압등 여러 요소가 시변인 관계로 추정이 어렵고, 고성능화됨에 따라 착자전류도 수만 [A]에 이르는 등 여러 문제가 발생되어 바람직한 설계 방안이 제시되지 못하고 경험에 의하여 설계되어 왔다. 특히 양질의

영구자석을 생산하기 위해서는 착자기의 회로해석 뿐만 아니라 착자시의 자속분포해석은 필수적인 조건이 된다 [1, 2, 4]. 따라서 본 연구에서는 커패시터 방전 임펄스 착자기의 회로를 범용 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램의 하나인 SPICE를 이용하여, 커패시터 충방전시의 전압 및 전류 특성등을 관찰하였고 [5, 6, 7, 8], 페라이트 자석을 이용하여 착자시의 자속분포를 유한요소법에 의하여 해석하여, 체계적인 착자기 설계가 가능함을 제시하였다.

II. 커패시터 방전 임펄스 착자기

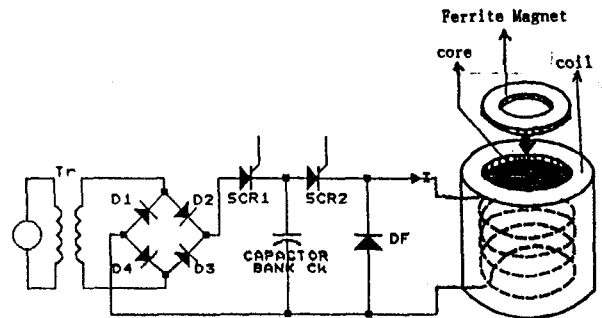


그림1. 커패시터 방전 임펄스 착자기

그림1은 본 연구에서 사용된 커패시터 방전 임펄스 착자기를 나타낸다. 교류입력전원은 승압기를 통하여 고압으로 되고 브릿지 정류기를 통하여 적절한 크기의 직류로 변환된다. 이 직류를 초기에 SCR1의 턴온에 의하여 커패시터 뱅크 CB에 그림과 같은 극성으로 충전이 완료되며, SCR2의 턴온에 의하여 대용량의 방전전류 I가 순간적으로 착자기의 코일에 흐르고 강자계가 발생되어 자석을 착자하게 된다. 본 연구의 경우 브라운관용 페라이트 자석을 모델로 하여 수행되었다.

III. SCR 모델링

컴퓨터 시뮬레이션 프로그램 SPICE는 저항, 커패시터, 인덕터, 다이오드 및 트랜지스터 등과 같은 기본소자의 모델링에 주로 사용된다. 그러나 SCR에 대한 모델은 없으므로 표준 라이브러리 화일을 이용하여 그림1의 SCR모델링에 이용하기로 한다. 다수의 학자들이 제안한 여러 SCR모델 [5, 6, 7, 8] 중 본연구에서는 그림에서 나타낸 Avant-Lee 모델 [7]을 이용하기로 한다. 그림 2에 나타낸 Avant-Lee 모델은 기본적인 3층·P-N접합 구조를 가지면서 기존 SCR 모델이 갖고 있는 여러 단점 [6]을 제거하면서 소자의 각종 특성을 관찰할 수 있는 우수한 모델이다.

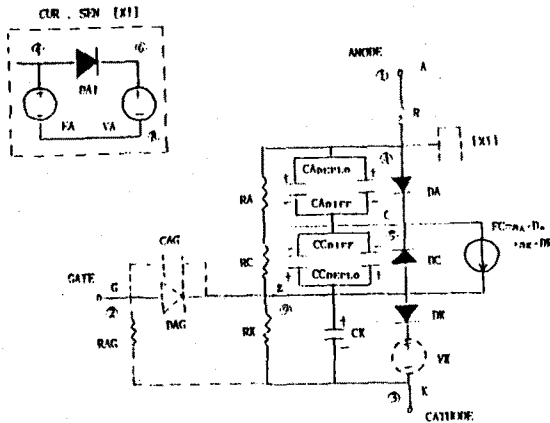


그림2. Avant-Lee SCR 모델

그림2의 SCR 모델의 파라미터를 산정하기 위해서는 제조업체에서 제공되는 각종 데이터가 필요로 되며, 이 데이터를 이용하여 Avant-Lee SCR 모델의 파라미터가 계산된다 [7]. 다음은 Avant-Lee 모델에서 사용되는 파라미터이다.

- Resistors RA, RC, R, RK
- Transport Factors α_n, α_p
- Optional Amplifying Gate Elements I_{A1}, I_{A2}, RAG, CAG
- Reverse Saturation Current I_{SA}, I_{SC}, I_{SK}
- Thermal Voltage V_A, V_C, V_K
- Linear Capacitor C_w
- Depletion-Layer Zero-Bias Capacitance $CC_{D1}, CC_{D2}, CC_{D3}$
- Diffusion Capacitance Lifetime Constants τ_c
- Junction Reverse Breakdown Voltage $BV_{JA}, BV_{JC}, BV_{JK} = V_{BRM}$

표1은 제너럴 일렉트릭사의 GE C602LM SCR을 대상으로 한 Avant-Lee SCR 모델의 파라미터이다.

표1
Avant-Lee SCR 모델 파라미터

Table 1.
Avant-Lee Model Parameters for GE C602LM

RA	10^8 [ohm]
RC	10^{10} [ohm]
R	0.005[ohm]
RK	9.375[ohm]
α_n	1.0
α_p	0.8
CK	3.54[μ F]
I_{SA}	2.967E-14[A]
I_{SC}	2.082E-12[A]
I_{SK}	5.933E-15[A]
ADPFL0	3.54E-6[F]
CCD1FL0	3.27E-8[F]
τ_c	1.06E-7
V_A	17.7E-6
BVJA	2700[V]
BVJC	2700[V]
BVJK	5 [V]

IV. 특성해석 방법

커패시터 방전 임펄스 착자기에서 영구자석은 커패시터의 방전전류에 의하여 착자된다. 착자기의 종래 설계 방법은 여러해 동안의 경험에 의하여 설계되었다. 이것은 착자시 전원역할을 하는 커패시터 충전전압 및 방전전류가 가변성이 심하고 대응량인 관계로 착자시의 순시 특성을 파악하기 어려웠기 때문이다.

따라서 본 연구에서는 범용 패키지 프로그램인 SPICE를 이용하여 그림1의 착자기회로를 여러측면에서 고찰하였고 브라운관용 페라이트 자석을 모델로 하여, 착자시의 자계해석특성을 유한요소법을 이용하여 고찰하였다. 그림3은 그림1의 착자기회로를 등가회로화한 것으로 그림3(a)는 충전회로를 나타내며, 그림3(b)는 방전회로를 나타낸다. 그림(a)의 경우 R_c 및 L_c 는 커패시터 충전시의 권선저항 및 인덕턴스이다. 그림(b)의 경우 점선부분은 유한요소법의 적용영역을 나타낸다. 여기서 R 및 L은 유한요소영역내의 권선저항 및 인덕턴스이다. 또한 C는 커패시터이고, R_d 및 L_d 는 유한요소영역 이외의 저항 및 누설 인덕턴스이다.

따라서 본 연구에서는 그림 3(a) 및 (b)의 회로 해석을 위하여 SPICE를 이용하였으며, 착자시의 자체 해석(그림 3(b)의 점선부분)에 유한요소법을 이용하였다.

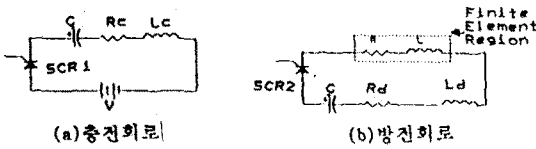


그림3. 임펄스 착자시의 등가회로

V. 결과 비교 및 고찰

SPICE를 이용한 시뮬레이션이 그림1에 대하여 수행되었고 실측치와 비교되었다. 표2는 $R=0.03[\Omega]$, $L=1.679[mH]$ 의 부하에 대한 측정치와 계산치 결과를 비교한 것이다. 두 결과가 거의 일치하는 것을 확인할 수 있다.

표2. 실측치 및 시뮬레이션 결과 비교

항 목	계 산 치	실 측 치
첨두 방전 전류	440 [A]	420 [A]
첨두 충전 전압	480 [V]	445 [V]
충전 시간	3.01 [sec]	3.1 [sec]
방전 시간	1.05 [sec]	1.15 [sec]

그림4와 5는 충전전압과 방전전류의 시뮬레이션 및 실측 파형을 각각 나타낸 것이다. 그림5의 실측 파형에서 그림4의 시뮬레이션 파형과 같은 미세한 변화를 관찰하기는 상당히 어렵다는 것을 알 수 있다. 주 1[μs]마다 발생하는 변화를 10[μs]로 다룰 경우 감지가 불가능하다는 것이다. 그러나 SPICE를 이용한 컴퓨터 시뮬레이션의 경우 회로 모델링이 적절이 이루어질 경우 회로 동작에 대한 완전한 해석이 가능하다는 것을 알 수 있다. 본 연구의 경우는 변압기에 대한 SPICE 자체 모델이 불완전하고, SCR모델의 경우도 도전율변조(Conductivity modulation)등의 특성에 의하여 정확성이 떨어지는 관계로 회로의 완전한 해석에는 충분한 보장이 행해져야 함 것으로 생각된다.

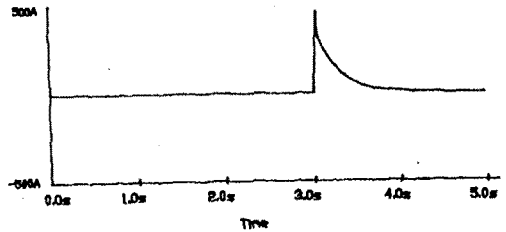
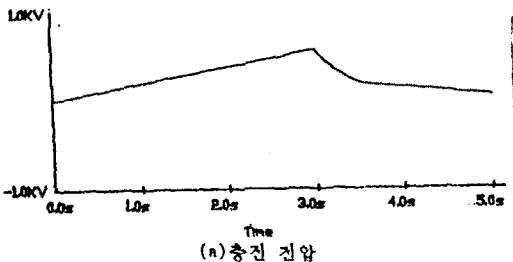


그림4. 시뮬레이션 파형
($R=0.03[\Omega]$, $L=1.679[mH]$, $C=4000[\mu F]$)

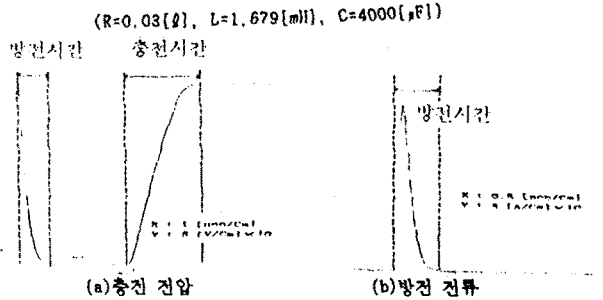


그림5. 실측파형

한편 브라운관용 영구자석을 모델로 하여 자체 해석을 한 결과는 다음과 같다. 그림6은 브라운관용 자석의 요소분할도를 나타낸 것이며, 그림7과 8은 각각 자속분포 상태 및 벡터 포텐셜을 나타낸 것이다.

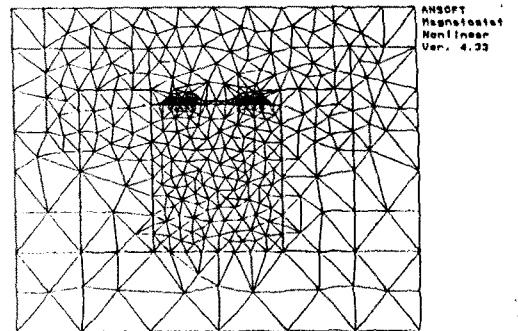


그림6. 요소 분할도

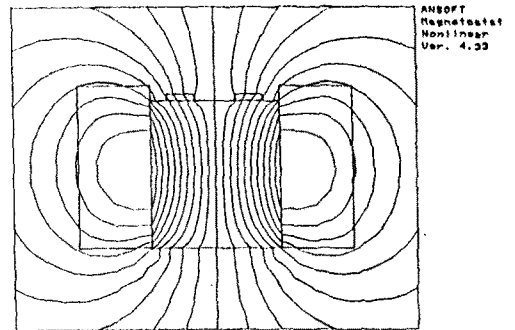


그림7. 자속 분포

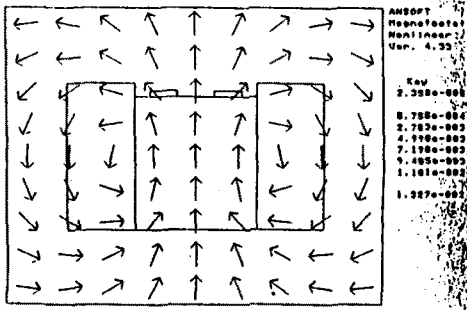


그림8. 벡터 포텐셜

그림9는 브라운관용 영구자석의 각 부분에 따른 실측치와 계산치를 비교한 것이다. 여기서 자속밀도의 측정은 가우스 미터(YEW 3251, 용 측정기 두께: 0.8(mm))를 이용하였다. 그림9(a)는 브라운관용 영구자석의 형태를 나타내며, 그림9(b)는 영구자석의 측정위치를 나타낸 것이다. 표3은 착자기에서 착자후 분리시킨 자석을 그림9(b)의 측정위치에 따라서 외부표면에서의 자속밀도를 나타낸 것이다. 역시 거의 일치되는 것을 확인할 수 있다.

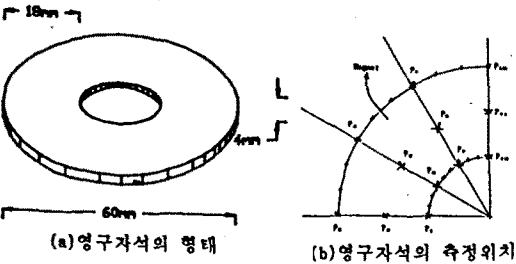


그림9. 영구자석의 형태 및 측정위치

표3. 자속밀도

Points	자 속 밀 도 (Gauss)	
	계 산 치	측 정 치
P ₁	505	520
P ₂	220	230
P ₃	365	370
P ₄	536	530
P ₅	221	230
P ₆	361	380
P ₇	490	500
P ₈	231	240
P ₉	414	400
P ₁₀	531	540
P ₁₁	218	230
P ₁₂	367	380

VI. 결론

본 연구에서는 커패시터 방전임펄스 착자기를 SPICE를 이용하여 컴퓨터 모델링 하였으며 착자시의 영구자석의 자계분포를 해석한 결과 다음과 같은 특성을 알 수 있었다.

1. SPICE를 이용한 착자기회로의 모델링을 통하여 충전 전압, 방전전류 특성등을 알 수 있었다.
2. 착자자석의 자속분포를 유한요소법을 이용하여 해석함으로써, 고성능 착자기의 체계적 설계 가능성을 확인 하였다.
3. 대용량 임펄스 착자기의 시험 및 제작이전에 컴퓨터 모델링을 통하여 비용, 시간 및 위험요소등의 감소 가능성을 살펴볼 수 있었다.

앞으로, SCR 및 스너버 회로, 변압기 등 우수한 컴퓨터 모델의 개발을 통하여 측정 및 보안이 이루어 진다면 실제회로와 매우 근접된 특성을 얻을 수 있으리라 보며, 고성능 착자기의 체계설계도 가능하리라 본다.

< 참고 문헌 >

- [1] 中田高義, 他, "有限要素法によるパルス 着磁器の過渡磁界解析", 日本電氣學會回轉機研究會 RM-85-57(1985)
- [2] T.Nakata and N.Takahashi, "Numerical Analysis of Transient Magnetic Field in a Capacitor-Discharge Impulse Magnetizer", IEEE Trans. on Magnetics, VOL. MAG-22, No. 5, 1986
- [3] T.Nakata and N.Takahashi, "Direct Finite Element Analysis of Flux and Current Distributions under Specified Conditions", IEEE Trans. on Magnetics, VOL. MAG-18, No. 2, 1982.
- [4] T.Nakata, et al, "Numerical Design Method for Magnetizers", Journal of Magnetism and Magnetic Materials 41, P418-420, 1984.
- [5] L.J.Giacioletto, "Simple SCR and TRIAC PSPICE Computer Models", IEEE Trans. Indus. Elec., vol. 36, Aug. 1989.
- [6] C. Hu and W. F. Ki, "Toward a practical computer aid for thyristor circuit design.", IEEE Power Electronics Specialists Conf. 1980.
- [7] R.L.Avant and F.C.Lee, "A unified SCR model for continuous Topology CADA", IEEE Trans. Ind. Elect-ron., vol. IE-31, No. 4, Nov. 1984.
- [8] S. C. Wong and H. C. Lin, "An Improved Model for SCR and TRIAC", IEEE IAS Conf. Record, 1988.