

SPICE를 이용한 커패시터 방전 임펄스 착자 회로의 특성 해석

論文
43~2~4

Characteristics Analysis of Capacitor Discharge Impulse Magnetizing Circuit using SPICE

白壽鉉*·金必洙**

(Soo-Hyun Baek·Pill-Soo Kim)

Abstract— A method for simulating general characteristics and temperature characteristics of discharging SCR of the capacitor discharge impulse magnetizer—magnetizing fixture system using SPICE is presented. This method has been developed which can aid the design, understanding and inexpensive, time—saving of magnetizing circuit. As the detailed characteristic of magnetizing circuit can be obtained, the efficient design of the magnetizing circuit which produce desired magnet will be possible using our SPICE modeling. Especially, computation of the temperature rise of discharging SCR is very important since it gives some indication of thermal characteristic of discharging circuit. It is implemented on a 486 personal computer, and the modeling results are checked against experimental measures. The experimental results have been achieved using 305[V] and 607 [V] charging voltage, low—energy capacitor discharge impulse magnetizer—magnetizing fixture of air cleaner DC motor.

Key Words : Capacitor Discharge Impulse Magnetizer—Magnetizing Fixture System

(커패시터 방전 임펄스 착자기—착자요크 시스템), SPICE Modeling(SPICE 모델링), Thermal Characteristics(열 특성), Heat Transfer Modeling(열전달 모델링)

1. 서 론

산업용 기기로부터 가전제품에 이르기까지 대부분
의 전기전자제품에 필수적으로 사용되고 있는 영구자
석은 사용기기의 목적 및 종류에 따라 일반 페라이트
자석에서부터 Ne—Fe—B와 같은 고성능 영구자석
에 이르기까지 종류도 다양하고 성능도 광범위하다.
초기에 개발되기 시작한 바륨 페라이트 및 스트론튬
페라이트 등의 영구자석은 최대자석밀도가 수천
[Gauss] 정도이며, 기계적으로 약하고 충격에 약한

세라믹 계통이므로 사용장소에 제한이 되어 왔다[1].
이후 개발된 알니코 자석은 기존의 페라이트 자석에
비하여 에너지밀도가 높은 관계로 출현당시 자석관련
전문가들에게 큰 자극이 되었지만 가공이 어려운 관
계로 정밀한 부위에는 사용하기 어렵다는 단점이 있
다. 따라서 향후 개발되고 있는 Nd계열, SmCo계의
고성능 영구자석은 기존의 자석이 갖고 있는 단점을
보완하면서 최대의 에너지밀도를 갖는 부품으로 각광
을 받을 것이라 생각된다[2].

특히 각종기기의 고성능화, 극소형화 및 고경량화
추세에 따라 기기의 규모가 작아지면서 이에 따라 장
착되고 있는 영구자석도 고성능화 되어가고 있는 실
정에 있으므로 Nd계열, SmCo계의 영구자석 개발은
극히 중요하다고 할 수 있다. 이러한 영구자석 생산
시스템의 하나인 커패시터 방전 임펄스 착자기—착

*正 會 員 : 東國大 工大 電氣工學科 教授·工博

**正 會 員 : 忠淸專門大學 電氣科 專任講師

接受口字 : 1993年 8月 27日

1次修正 : 1993年 12月 8日

자요크 시스템(Capacitor Discharge Impulse Magnetizer - Magnetizing Fixture System)의 경우 착자회로의 충·방전 현상이 착자요크와 영구자석 재료에 따라 의존되고 사용전원이 고전압·대전류화 되어 위험요소까지 내포하며, 착자장치의 제작 및 시험에는 고가의 비용이 소요되므로 합리적인 설계방안이 수립되어야 한다[3~10]. 지금까지는 바람직한 설계방법을 찾기보다는 실험을 통한 경험에 의해 설계함으로써 착자회로 및 착자요크의 성능이 떨어지고 에너지 효율이 낮으며, 영구자석의 다량 착자로 인한 착자빈도가 클 경우 온도상승으로 인하여 착자장치의 수명이 단축되고 고장이 빈번한 단점을 갖게 되었다[7, 9, 10].

한편, 컴퓨터를 이용한 다양한 형태의 회로해석 프로그램이 연구, 개발되고 있으며, 그중에서도 SPICE 프로그램은 유사 프로그램중 가장 범용화되어 용이하게 사용할 수 있으며, 반도체 회로 설계등 소신호에 의한 저전류용 전자회로에만 이용되던 초기와는 달리 요즘에는 SCR등 대용량 전력용 반도체 소자에도 이용될 수 있는 기능이 추가되는 등 다른 형태의 회로해석 프로그램에 비하여 큰 장점을 내포하게 되었다. 이에 따라 SPICE를 이용한 대용량 회로해석의 응용예가 다수 발표[11~15] 되는 등 다방면에 광범위하게 이용되고 있는 추세에 있다.

따라서 본 연구소에서는 가장 광범위하게 이용되고 있는 SPICE프로그램을 이용하여 상기한 커패시터 방전 임펄스 착자기-착자요크 시스템을 컴퓨터 모델링함으로써, 착자시스템의 설계에 가장 중요시 되는 착자회로의 전기적 특성을 반복적인 시험제작 이전에 파악하였고 시간, 비용 및 위험요소를 감소시킬 수 있는 방법을 제시하였으며, [16~18] 특히 방전회로의 스위칭 소자인 SCR의 열전달 모델을 제시하여 열특성을 파악함으로써 [19~25] 온도상승요인의 해결가능성을 제시하였다. 또한 자동차 에어크리너 직류 모터용 고정자 자석을 착자할 수 있는 착자요크를 시험대상으로 여러 특성을 실측하여 SPICE 모델링 결과와 비교하여 우수한 특성을 얻었다.

2. 커패시터 방전 임펄스 착자기-착자요크 시스템

그림1은 본 연구에서 이용된 커패시터 방전 임펄스 착자기-착자요크 시스템을 나타낸다. 교류입력 전원은 승압기를 통하여 고압으로 되고 브릿지 정류기를 통하여 적절한 크기의 직류로 변환된다. 이 직류는 초기에 SCR1의 턴온에 의하여 커패시터 뱅크 C_B에 그림과 같은 극성으로 충전이 완료되며, SCR2

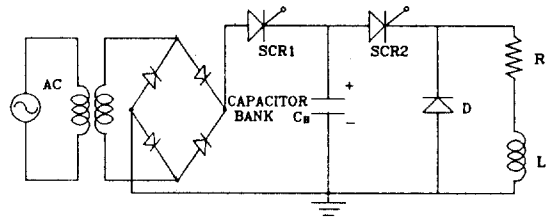


그림 1 커패시터 방전 임펄스 착자기-착자요크 시스템
Fig.1 Capacitor discharge impulse magnetizer - magnetizing fixture system

의 턴온에 의하여 대용량의 방전전류가 순간적으로 착자요크 코일(부하R-L)에 흐르고 강자계가 발생되어 자석을 착자하게 된다. 특히 고성능의 영구자석을 생산하기 위하여 착자전류가 더욱 대용량이 되어 시간, 비용 및 위험요소등이 커지게 되므로 큰 난제가 되고 있으며, 방전회로의 온도상승 및 착자요크의 최적형상등은 설계상 해결하여야 할 문제가 되고 있다. 이상의 여러 문제중 착자요크의 최적형상을 찾는 방법은 유한요소법에 의한 자체해석을 통하여 해결이 가능하며, 나머지 문제는 착자시스템의 컴퓨터 모델링을 통하여 해결이 가능하다. 특히 방전회로의 온도상승요인은 그림1에서 여러 부분이 나타날 수 있으나 본 연구에서는 방전스위치인 SCR의 온도상승요인만을 확인하였다.

3. SPICE 모델링

3.1 임펄스 착자기-착자요크 시스템의 회로해석

그림2는 그림1의 착자기 주회로를 등가회로화한 것으로 그림2(a)는 충전회로이며, 그림2(b)는 방전회로로서 점선부분(부하R-L)에 해당되는 착자요크는 유한요소법의 적용영역을 나타낸다. 여기서 C는 커패시턴스이며 R_d 및 L_d는 각각 유한요소영역이외의 권선저항 및 권선 인덕턴스이다. 역시 그림2(a)의 R_c 및 L_c는 커패시터 충전시의 권선저항 및 권선인덕턴스이다.

그림2(b)의 동작특성을 나타내는 방정식은 식(1) 및 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$d^2i/dt^2 + (Rt/Lt)di/dt + 1/(CLt) = 0 \tag{1}$$

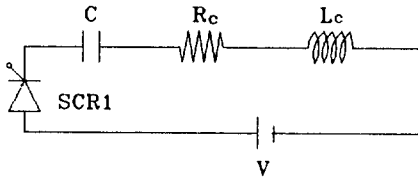
$$di/dt + (Rt/Lt)i = 0 \tag{2}$$

또한 초기조건은 식(3) 및 식(4)와 같이 표현된다.

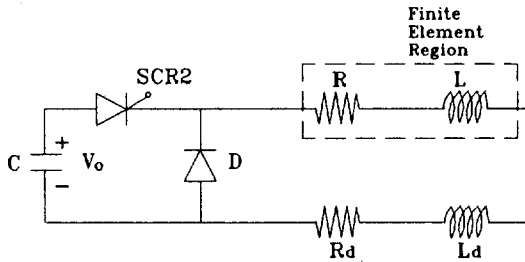
$$i(0) = 0 \tag{3}$$

$$di/dt(0) = V_0/Lt \tag{4}$$

여기서 i는 전류[A], R_t(=R+R_d)는 합성저항



(a) 충전회로



(b) 방전회로

그림 2 임펄스 착자기-착자요크 시스템의 등가회로
Fig.2 Equivalent Circuit of Impulse Magnetizer
-Magnetizing Fixture System

[ohm], $L_t (=L+L_d)$ 는 합성인덕턴스[H]이며 V_0 는 커패시터의 초기 충전전압[V]이다. 일반적으로 식(1)과 식(2)의 해, 즉 시간의 변화에 따른 전류값은 Euler의 공식을 이용하여 구할 수 있다.

또한 상기한 방전회로의 온도상승부분중의 하나인 착자요크의 저항 R은 식(5)를 이용하여 간단히 계산할 수 있지만 온도의 급격한 상승에 따라 저항값이 크게 변화하므로 정밀한 모델링을 위해서는 온도에 따른 변화를 고려하여야 한다.

$$R = \rho_e \cdot (1/s) \tag{5}$$

여기서 R은 저항[ohm], ρ_e 는 비저항[ohm·m], l은 길이[m] 그리고 s는 단면적[m²]이다. 식(6)과 식(7)은 각각 착자요크의 온도상승 및 온도변화에 따른 저항의 증가를 나타낸다.

$$\Delta T(t') = \frac{\rho_e}{Pd \cdot Ch} \int_0^{t'} J^2 dt \tag{6}$$

여기서 $\Delta T(t')$: 온도상승[K]

ρ_e : 도체의 비저항 [ohm·m]

Pd : 도체의 밀도 [kg/m³]

Ch : 열용량 [J/(K·Kg)]

J : 전류밀도 [A/m²]

t : 시간 [sec]

$$\Delta R = \frac{R_0 \cdot \alpha \int_t^{t+dt} I^2 R dt}{Ac \cdot Ic \cdot Pd \cdot Ch} \tag{7}$$

여기서 Ac : 도체의 면적[m²]

Ic : 권선의 길이[m]

R_0 : 시간구간 Δt 를 세분화할 때의 구간별 초기저항 [ohm]

α : 저항의 온도계수

3.2 착자 시스템 모델링

임펄스 착자기-착자요크 시스템의 컴퓨터 모델링 과정에서 주요 모델링부분은 충전부의 변압기, 스위치에 해당되는 SCR 및 방전회로 각부의 온도상승고려라 할 수 있다. 따라서 이 세부분을 주요 모델링 대상으로 하여 언급하고자 한다.

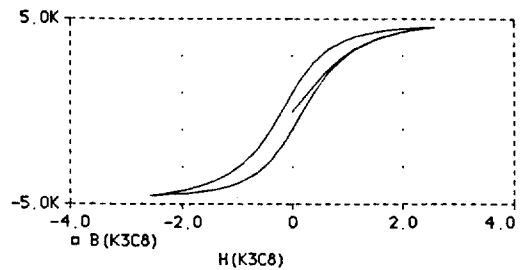
SPICE에는 인덕터 모델이 내장되어 있으나 이상적인 변압기모델이므로 실제회로와는 큰 오차가 있다. 따라서 SPICE에 내장되어 있으면서 자성재료의 비선형 특성이 고려된 Jiles-Atherton 모델[28]을 이용하기로 한다. 이 모델은 자성재료의 히스테리시스 특성을 고려할 수 있어서 실제 모델의 특성을 크게 반영할 수 있는 특징이 있다. 그림3은 본 연구에서 이용된 SPICE 내장모델의 파라미터와 히스테리시스 특성곡선을 나타낸다. 한편, 방전 SCR의 모델링은 내장 아날로그 동작 모델링을 통하여 실제 모델과 매

```

*=====
*Transformer model description
*-----
.model k_3C8 core(area=90 path=15.5
+ms=420e3 alpha=2e-5 a=26 c=1.05 k=18)
*=====
*SCR model description
*-----
.SUBCKT 258RT180 anode gate cathode
X1 anode gate cathode Scr PARAMS:
+ Vdrm=2500v Vrrm=2500v Ih=80ma Vtm=1.76v
+ Itm=785 dVdt=200e6 Igt=200ma Vgt=3v
+ Ton=3.5u Toff=30u Idrm=80m
*92-6 Nihon Inter Elec. Co.
.ENDS
*=====
    
```

(a)

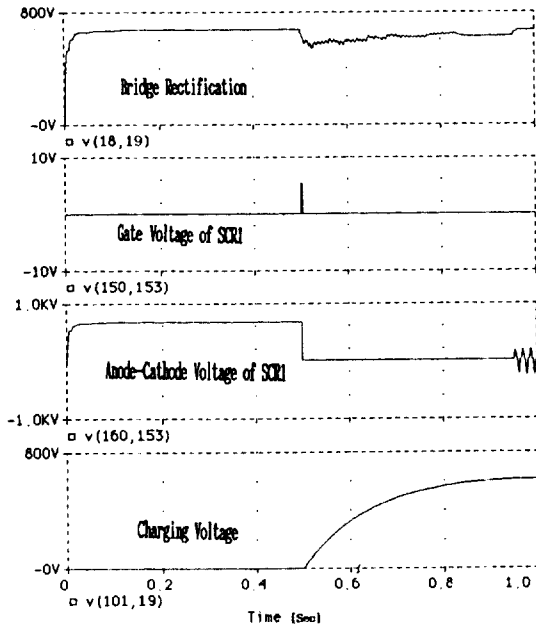
(a) SPICE파라미터



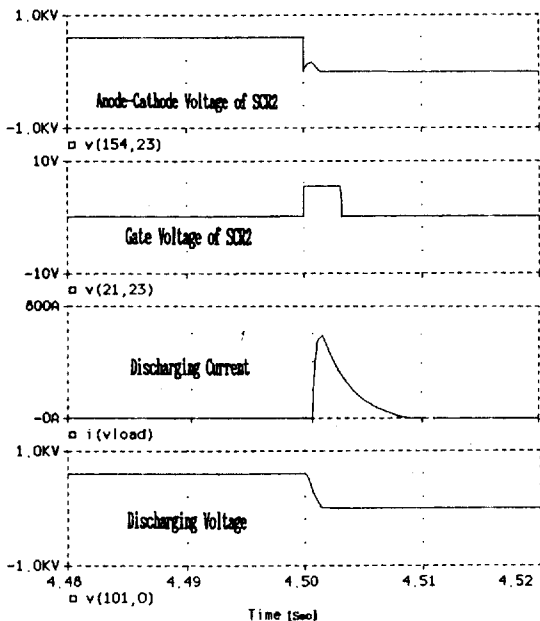
(b) 히스테리시스 특성곡선

그림 3 SPICE 파라미터 및 히스테리시스 특성곡선
Fig.3 SPICE parameter and hysteresis loop

우 근접된 특성을 나타내도록 하였으며, 본 연구의 시험용 소자인 258RT180 SCR(일본 inter Co.)의 SPICE 파라미터는 역시 그림3(a)에 포함되어 있다.



(a) 충전회로의 특성



(b) 방전회로의 특성

그림 4 충·방전 회로의 특성

Fig.4 Characteristics of charging and discharging circuit

그림4는 착자회로의 SPICE모델링을 이용하여 얻은 각부 특성으로서 그림4(a)는 충전회로의 특성을 나타내고 그림4(b)는 방전회로의 특성을 나타낸다. 그림4(a)의 경우 SCR1의 게이트 신호에 의하여 SCR1이 도통되고 이와 동시에 커패시터에 충전이 시작되는 것을 알 수 있으며, 그림4(b)의 경우 역시 SCR2의 게이트 신호에 의하여 SCR2가 도통되고 이에 따라 충전된 전원이 방전되면서 일정량의 방전전류가 흐르는 것을 확인할 수 있다. 이 경우 커패시터 용량 3825[μF], 충전전압 607[V]로 모델링 하였다.

3.3 방전 SCR의 열전달 모델링

그림2(b)의 방전회로에서 방전전류에 의하여 온도 상승이 발생할 수 있는 부분으로는 방전스위치 SCR2, 착자요크의 저항 R 및 순환다이오드 D라고 할 수 있다[23~25]. 이 중 가장 큰 온도상승요인으로 작용하는 착자요크의 저항 R은 착자요크의 형상 및 크기에 따라 온도상승이 달라서 고려되어야 할 여러 조건이 요구되므로 열전달모델링이 간단치 않게 된다. 따라서 본 연구소에서는 착자요크의 경우는 다음 기회에 논하기로 하고 상대적으로 열전달 모델링이 수월한 방전스위치 역할의 SCR에 대하여 연구하고자 하며, 일반적인 관계식은 다음과 같다.

고체물질에서의 일반적인 열전달식을 이용하여 반도체에 적용가능한 방정식은 식(8)과 같이 나타낼 수 있다[20].

$$P_D = \Delta T / R_{oIC} \quad (8)$$

여기서 P_D 는 소비전력[W], ΔT 는 열전달거리 L에 대한 온도차로서, 예를 들면 평균 반도체칩온도 T_J 와 케이스 온도 T_C 사이의 차이이다. 또한 R_{oIC} 는 소자접점-케이스의 열저항[K/W]이다. 식(8)의 열저항 R_{oIC} 는 열임피던스 $r_{oIC}(t)$ 를 이용할 경우 식(9)에 의하여 계산된다.

$$r_{oIC}(t) = R_{oIC} \cdot (1 - \exp(-t/\tau_0)) \quad (9)$$

여기서 τ_0 는 반도체소자 접점-케이스의 열시정수이다.

식(8)의 소비전력 P_D 는 과도기간동안 손실되는 전력 P_0 로 대체될 수 있으며, 여기에는 $\Delta T(t) = P_0 r_{oIC}(t)$ 의 온도변화가 발생한다. 만약 P_0 가 상수가 아닐 경우 일반적인 형태의 평균과도값 ΔT 는 식(10)과 같이 표현된다.

$$\Delta T = P_{ave}(t) \cdot r_{oIC}(t) \quad (10)$$

여기서 $P_{ave}(t)$ 는 시간 t에서의 소자의 평균소비전력[W]이다.

따라서 식(10)을 이용하여 소자의 평균소비전력을 구

하고 제조업체에서 제공되는 열임피던스 $r_{OJC}(t)$ 를 구하여 소자의 온도를 구할 수 있다.

한편, 온도에 관한 SPICE 모델링 방법으로는 방전 SCR의 애노우드전류 I_A 와 애노우드-캐소우드전압 V_{AC} 의 곱에 의하여 SCR의 소비전력을 구하고 여기에 열임피던스 $r_{OJC}(t)$ 를 곱하여 온도상승을 확인하였으며, SPICE 입력방법으로 테이블을 이용하였다. 또한 주변온도는 $27[^\circ\text{C}]$ 를 기준으로 산정하였다. 그림5는 방전 SCR의 열전달 모델링에 관한 SPICE 입력화일을 나타내며, 그림6은 방전 SCR의 온도특성을 비롯한 착자회로의 각부 특성을 나타낸 것으로서 SCR2의 턴-온시 발생하는 각부의 변화를 즉시 관찰할 수 있다. 이때 모델링에 필요로 되는 파라미터는 그림6 상단에 제시되어 있다. 그림6(a)~(c)는 SCR2의 양단전압 및 방전전류를 나타낸 것이며, 그림6(d)는 시간변화에 따른 열임피던스 $r_{OJC}(t)$ 를 나타낸 것으로 $11.2[\text{W}]$ 의 손실이 발생하였으며, 그림6(f)는 이때의 온도상승을 나타낸 것으로 $1.059[^\circ\text{C}]$ 의 온도상승이 발생하였다. 따라서 그림6으로부터 SCR소자의 온도상승은 거의 없으므로 착자회로의 온도상승부분중 방전스위치 SCR2의 온도상승은 거의 없는 것으로 판단된다. 그 이유로서는 방전전류는 대용량이지만 극히 짧은 순시전류로 인하여 소자의 온도상승요인으로 작용하지 않은 것이라 생각된다. 특히 본 연구에 이용된 SCR은 그림3에서와 같이 대용량이므로 높은 온도상승은 없었다고 본다. 그러나 고성능 영구자석의 생산을 위하여 방전전류가 크게 증가하였을 경우 SCR의 소모전력도 크게 증가하여 온도상승의 요인이 되므로 적절한 크기의 방열판을 이용하여 발생한 열을 방출시켜야 한다. 본 연구의 경우는 방열판의 최적설계방법은 제시하지 않았다.

```

**** Calculation of SCR Junction temperature ****
*****
epinset 501 0 value={v(*)*i(*)}
rop 501 502 imeg
cop 502 503 1u ic=0
epint 0 503 0 502 imeg
epave 505 0 value={v(0,503)/(time+1n)}
ra 505 0 1k
et 510 0 value={({v(505)*i*v(520))+27}
rt 510 0 1k
erjcsin 520 0 table {time}=
+(4.50001,2.499e-5) (4.50002,4.9987e-5)
+(4.50005,1.2492e-4) (4.5001,2.4988e-4)
+(4.5002,4.9875e-4) (4.5005,1.2422e-3)
+(4.501,2.469e-3) (4.502,4.877e-3) (4.505,0.01175)
+(4.51,0.02211) (4.52,0.03934) (4.55,0.07134)
+(4.5,0.09179) (4.7,0.09932) (5,0.09999)
rrjc 520 0 1k
*****
    
```

그림 5 방전 SCR의 열전달 모델링을 위한 SPICE 입력화일

Fig.5 SPICE input listing for heat transfer modeling of discharging SCR

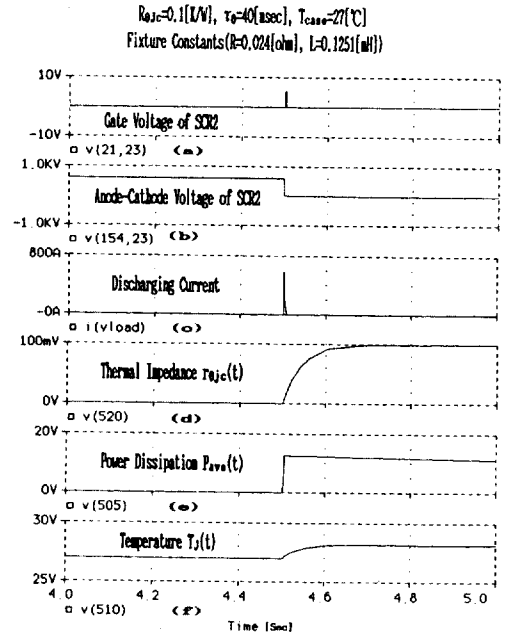


그림 6 방전 SCR의 온도특성
Fig.6 Temperature characteristic of discharging SCR

4. 응용에

4.1 실험장치

그림7은 본 연구에서 전압 및 전류특성을 측정하기 위한 시스템 구성도를 나타낸다. 실측에 이용된 착자요크는 그림8과 같이 자동차 에어 크리너 직류 모터용 고정자 자석을 착자하는 요크로서 $1.6[\text{mm}]$ 나동선이 $32[\text{회}]$ 감겨 있으며, 예폭시 물딩된 것이다. 이때의 요크코일의 저항은 $R=0.024[\text{ohm}]$, 요크코일의 인덕턴스는 $L=0.1251[\text{mH}]$ 이다.

그림7의 구성도에서 충전전압 및 방전전압의 측정을 위하여 커패시터뱅크 C_B 양단 및 착자요크 양단에 각각 $21[\text{Kohm}](3[\text{Kohm}] \times 7[\text{개}])$ 의 저항을 병렬연결하였으며, 방전전류의 측정을 위하여 방전회로에 직렬로 shunt저항 (Type : YS-3, Rating : $400[\text{A}] \times 10[\text{배}]$, $50[\text{mV}]$, Yamaki Electric)을 연결하였다. 여기서 측정된 각부의 정보는 Tektronics Co.의 측정시스템 (2510 Test Lab.)의 입력모듈을 통하여 입력되며, 모니터 및 플로터 등의 출력장치를 통하여 출력되게 된다.

한편, 이용된 커패시터뱅크 C_B 는 (주)삼화의 커패시터 ($225[\mu\text{F}]$, $475[\text{WV}]$) $62[\text{개}]$ 를 직·병렬 연결하여 사용하였다.

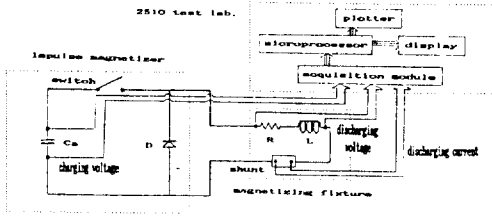
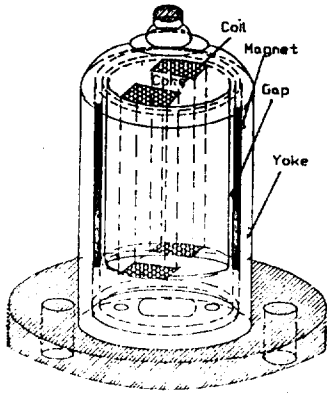
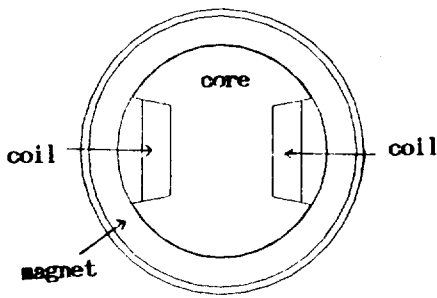


그림 7 측정시스템
Fig.7 Measurement system



(a) 착자요크 및 고정자자석



(b) 착자요크의 단면

그림 8 자동차 에어 크리너 직류모터의 고정자 자석을 위한 착자요크 및 단면

Fig.8 Magnetizing fixture for stator magnet of air cleaner DC motor and cross section

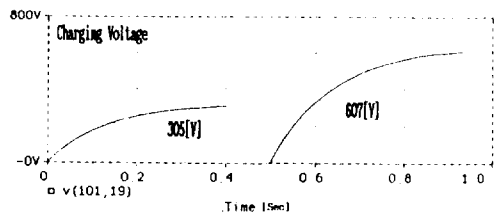
4.2 특성 비교 및 검토

3장의 SPICE 모델링 방법을 이용하여 관찰한 여러 특성을 비교하면 다음과 같다.

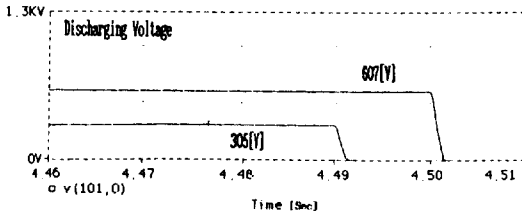
그림9와 그림10은 충전전압, 방전전압 및 방전전류

에 대한 각각의 모델링 결과 및 실측결과를 나타낸 것으로 충전전압 305[V]와 607[V]의 두 경우에 대하여 고려했다. 그림10(a)의 충전전압파형의 경우 1[V] 당 288[V], 샘플링 주기 14[ms]로 실측되었으며, 그림10(b)의 방전전압파형과 그림10(c)의 방전전류파형의 경우 각각 1[V] 당 325[V], 샘플링 주기 4[μs] 그리고 50[mV] 당 400[A], 샘플링 주기 4[μs]로 실측되었다. 그림9(a)와 그림10(a)의 충전전압파형을 비교하면, 충전시간은 305[V]의 경우 약 0.04[sec], 607[V]의 경우 약 0.02[sec]의 근소한 오차를 나타내는 것을 알 수 있다. 여기서 그림10(a)의 실측파형이 맥동하는 것은 다수의 커패시터를 직·병렬 연결하여 사용한 관계로 에너지 전달과정상의 지연이라 생각된다. 또한 그림9(b)와 그림10(b)의 방전전압파형의 경우 방전시간의 최대오차는 607[V]에서 약 0.6[msec]가 발생하며, 그림9(c)와 그림10(c)의 방전전류파형의 경우 방전시간의 최대오차는 607[V]에서 약 0.003[sec]인 것을 알 수 있으며, 따라서 오차가 거의 없는 유사한 특성을 확인할 수 있다. 특히 방전전류는 자성재료의 자계강도를 결정하는 가장 중요한 요소이므로 이에 대한 정확한 모델링이 요구되는데, 그림9(c)의 모델링 결과의 경우 최대방전전류는 305[V]에서 294[A], 607[V]에서 596[A]이며, 그림10(c)의 실측치의 경우 최대방전전류는 305[V]에서 299[A], 607[V]에서 590[A]인 것을 알 수 있다. 여기서 모델링 결과 및 실측결과에 대한 오차는 착자요크 코일의 임피던스와 권선의 내부 임피던스 측정시의 오차 및 방전회로 구성시의 접촉 저항 등에 기인한다고 판단되므로 이에 대한 정확한 고려가 필요하다고 본다.

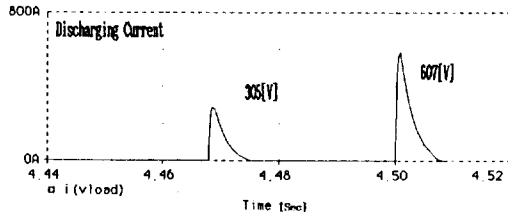
한편, 그림9(b) 및 그림10(b)에서와 같이 방전전압파형이 다른 것은 실측의 경우 평균 전압이 0인 상태에 있다가 전류가 흐르는 동시에 감지기가 동작되어 측정된 반면에 SPICE모델링의 경우는 충전된 상태에서 모델링이 되었기 때문이다.



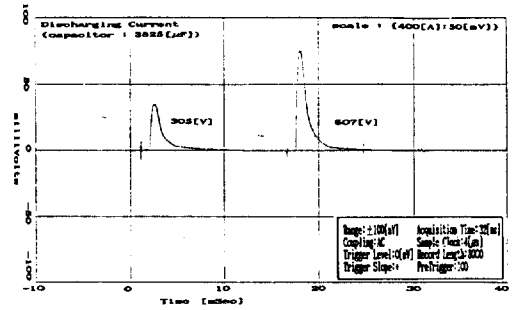
(a) 충전전압파형



(b) 방전압과형



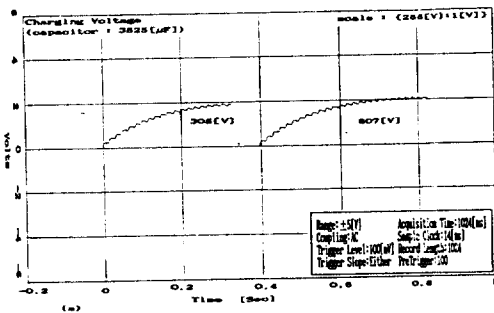
(c) 방전전류과형



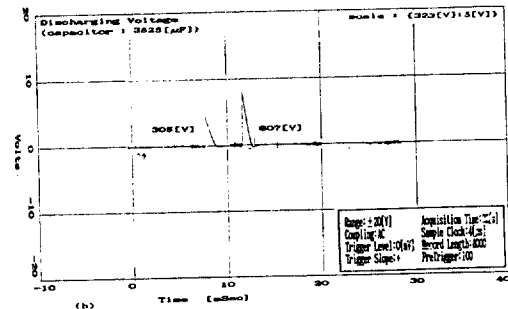
(c) 방전전류과형

그림 9 SPICE 모델링 결과 ($C=3825[\mu F]$, $R=0.024[\text{ohm}]$, $L=0.1251[\text{mH}]$)

Fig.9 Results of SPICE modeling



(a) 충전전압과형



(b) 방전전압과형

그림 10 실측결과 ($C=3825[\mu F]$, $R=0.024[\text{ohm}]$, $L=0.1251[\text{mH}]$)

Fig.10 Results of measurement

5. 결론

본 연구에서는 범용 패키지 프로그램인 SPICE를 이용하여 커패시터 방전 임펄스 착자기-착자요크 시스템을 모델링함으로써 다음과 같은 특성을 얻을 수 있었다.

첫째, 착자시스템의 충·방전특성을 시험제작 이전에 단기간내에 관찰할 수 있는 방법을 제시하였다. 둘째, SPICE를 이용하여 방전회로의 전력용 반도체 소자인 SCR의 열전달 모델링을 통하여 온도상승특성을 확인할 수 있었다. 셋째, 본 방법을 이용하여 착자시스템의 용량에 관계없이 시험상의 위험부담 및 비용을 감소시킬 수 있으리라 보며, 본 방법을 착자요크의 유한요소해석과 더불어 사용할 경우 착자시스템의 최적 설계도 가능하리라 본다. 넷째, 방전시 온도상승에 따른 각부의 용량변화를 고려한 모델이 보완되어야 더욱 정밀한 특성관찰이 가능하리라 본다.

앞으로 본 연구를 기초로 하여 온도상승의 주요인인 착자요크의 열전달 모델링에 관한 지속적인 연구를 할 예정이다.

참고문헌

- [1] 平賀貞太, 他, フェリット, (株)丸善, 1988.
- [2] David Jiles, Introduction to Magnetism and Magnetic Materials, Chapman and Hall, 1990.
- [3] 中田高義, 他, “有限要素法によるパルス着磁機の過渡磁界解析”, 日本電氣學會回轉機研究

- 會, RM-85-57, 1985.
- [4] 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.
- [5] T. Nakata, et al, "Numerical Design Method for Magnetizer," Journal of Magnetism and Magnetic Materials 41, pp.418-420, 1984.
- [6] T. Nakata, et al, "New Technique for Producing a Strong Multi-Pole Magnet," IEEE Trans. on Magnetics, Vol.MAG-22, No.5, 1986.
- [7] G. W. Jewell, et al, "Simulation of Capacitor Discharge Magnetisation," IEEE Trans. on Magnetics, Vol.26, NO.5, 1990.
- [8] E. Sabonnadiere, "Two and Three Dimensional Models of an Eletromagnetic Velocity Sensor", IEEE Trans. on Magnetics, Vol.25, No.5, 1989.
- [9] J. Kelly and E. Furlani, "The Optimization of Multipole Magnetizing Fixtures for High-energy Magnet," J. Appl.Phys. 67(3), 1, 1990.
- [10] J. Kelly Lee, "The Analysis of a Magnetizing Fixture for a Multipole Nd-Fe-B Magnet," IEEE Trans. on Magnetics, Vol.24, No. 5, 1988.
- [11] Y. C. Liang and V. J. Gosbell, "Realistic computer model of DC machine for CADA topology on SPICE2", in Proc. IEEE Power Electronics Specialist Conf., pp. 765-771, 1988.
- [12] C. Hu and W. F. Ki, "Toward a practical computer aid for thyristor circuit design", IEEE Power Electronics Specialists Conf. (PESC), 1980.
- [13] R. L. Avant and F. C. Lee, "A unified SCR model for continuous Topology CADA", IEEE Trans. Ind. Electronics., Vol. IE-31, No.4, Nov. 1984.
- [14] H. A. Neinhuis and J. C. Bowers, "A general purpose computer model for a high power SCR", Tech Rep. AFAPL-TR-76-82, Air Base.
- [15] S. C. Wong and H. C. Lin, "An Improved
- [16] Soo-Hyun Baek, Pill-Soo Kim, Tae-Bin Im, "Computer Simulation of a Capacitor Impulse Discharging Circuit," International Symposium on Power Electronics(ISPE), 1992.
- [17] 백수현, 윤수봉, 김필수, "커패시터 방전 임펄스 착자기회로와 페라이트 자석의 착자특성," 1992년도 대한전기학회 하계학술회의 논문집, 1992.
- [18] 백수현, 김필수 등, "커패시터 방전 임펄스 착자기 및 시스템의 정수산정에 관한 연구," 동국대학교 대학원 연구논문집 제22집, pp.361-376, 1992.
- [19] D. L. Blackburn, et al, "Thermal characterization of power transistors," IEEE Trans. on Elec. Dev., Vol. ED-23, No.8, pp.831-838, August 1976.
- [20] D. L. Blackburn, et al, "Power MOSFET Temperature Measurements," 13th Annual IEEE PESC, pp.400-407, 1982.
- [21] R. S. Vogelsong, et al, "Simulation of Thermal Effects in Electrical Systems," Applied Power Electronics Conference and Exposition(APEC), pp.353-356, 1989.
- [22] 백수현, 김필수, 박영호, 함중걸, "연구자석 착자회로의 온도모델링," 1993년도 대한전기학회 전력전자연구회 논문집, 1993. 5.
- [23] 백수현, 김필수 등, "임펄스 착자요크시스템의 온도특성에 관한 연구," 1993년도 대한전기학회 하계학술회의 논문집(B), pp.1098-1100, 1993.
- [24] Soo-Hyun Baek and Pill-Soo Kim, "Design and Analysis of Capacitor Discharge Impulse Magnetizer-Magnetizing Fixture System," The 5th International Energy Conference(ENERGEX'93), 1993. 10.
- [25] 백수현, 김필수 등, "온도특성을 고려한 착자회로 및 요크의 특성해석," 1993년도 대한전기학회 추계학술회의 논문집, 1993. 11.
- [26] Jiles D. C. and D. L. Atherton, "Theory of Ferromagnetic Hysteresis", Journal of Magnetism and Materials, Vol.61, pp.48-60, Amsterdam, 1986.