

고속전철 추진 Simulator용 와전류 제동장치 설계

강도현, *곽수태, **홍정표, **강경호
 한국전기연구소, *유진전기공업(주), **창원대학교 전기공학과

Eddy Current Brake Design for High Speed Railway Train Simulator

D.H. Kang, *S.T. Kwak, **J.P. Hong, **K.H. Kang
 KERI, *Jujin Electric. Co. Ltd, **Dep. of E.E. Changwon Nat'l Univ.

Abstract - Recently, the interest of the high speed railway train is increased. Because it is energy-conserving and largely independent of fuel oil, an electric train is environmental friendly. In this paper we designed the eddy current brake for simulator of the Korean High Speed Railway Train(hereafter KHRT). Braking force and normal force according to current and speed are calculated.

1. 서 론

고속전철 시스템은 고속운전뿐 아니라 전기에너지를 사용하므로 환경 친화적이며 에너지를 절약할 수 있어 선진국들을 중심으로 많은 연구가 이루어지고 있으며 우리 나라에서도 자체기술로 고속전철을 개발운행하기 위해 1996년부터 G-7 과제로 이를 추진하고 있다. 본 논문에서는 현재 고려되고 있는 동력 집중식 한국형 고속전철의 Baseline Model 기본사양에 따라 와전류 제동장치의 설계를 수행하였다.

고속 전철 simulator에 사용되는 전동기 2/3의 용량에 해당하는 와전류 제동장치를 설계하고(20kW급), 레일은 그림1 고속전철 모의 시험장치 Fly wheel을 이용하였다. 전자석의 기본형상에 따른 제동력과 흡인력을 2차원 유한요소법으로 계산하였다.

2. 전자석 기본형상 설계

그림 2는 전자석의 2차원 기본 설계 모델로 전자석 자극 폭 P_b , 공극 δ , 권선 창의 높이 W_h , 폭 W_b , 전자석의 길이는 l_{mag} 로 표시되고, 이 때 전자석에서 힘을 발생시키는 '단면적 S_{mag} '는 다음과 같다.

$$S_{mag} = 2P_b l_{mag} [m^2] \quad (1)$$

그림3은 공극 $\delta = 10[mm]$, 기자력 $NI = 12,000 [AT]$ 일 때 속도에 대한 자극 단위 면적당 제동력 F_{bd} 과 흡인력 F_{nd} 을 2차원 유한요소법으로 해석한 결과이다.

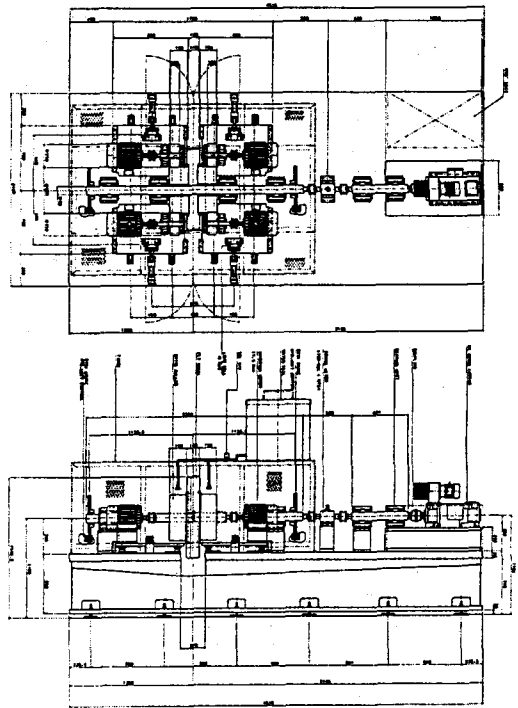


그림 2. 모의시험장치 구성

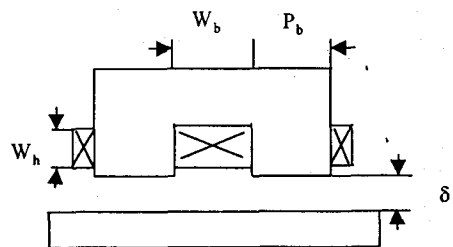


그림 3. 전자석의 기본 설계 모델

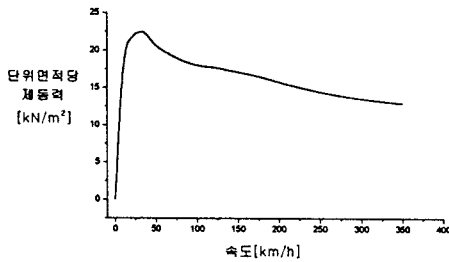
그림4는 계산에 사용된 자성재료 ST37의 자기포화곡선이고 fly wheel의 도전율은 3.92×10^6 (σ/m)으로 계산하였다. 그림3의 속도 350 km/h에서 제동력 밀도는 $F_{bd} = 13,000(N/m^2)$ 로 나타나있다. 속도350km/h(96.98m/s)에서 추진 전동기의 약 2/3 용량에 해당하는 20(kW)의 용량으로 비접촉 제동력을 발생시 제동력 F_b 는 다음 식 (2)와 같다.

$$F_b = \frac{P_{br}(\text{제동용량})}{v(\text{차량속도})} = \frac{20,000[W]}{96.98[m/s]} = 206[N](2)$$

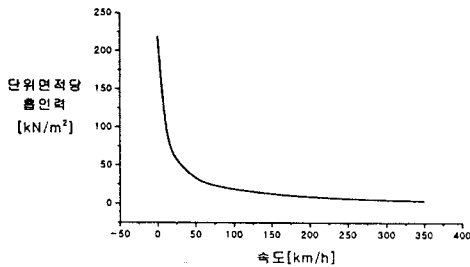
따라서 요구되는 전자석의 표면적과 제동력은 다음 식(3)으로 된다.

여기서 전자석의 길이 $l_{mag} = 0.12(m)$ 로 두면 전자석의 폭 $P_b = 0.065(m)$ 로 된다.

$$F_b = F_{bd} S_{mag} = F_{bd} 2P_b l_{mag} \quad (3)$$



(a) 제동력(F_{bd})



(b) 흡인력(F_{nd})

그림 3. 단위면적당 제동력과 흡인력
($\delta = 10(mm)$, 기자력 = 12,000(AT))

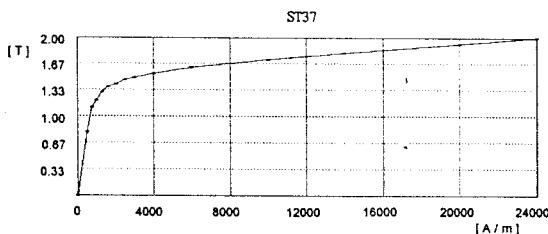
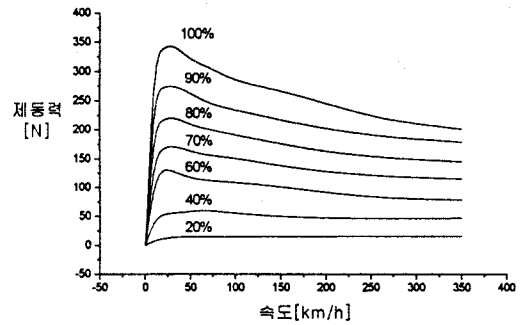
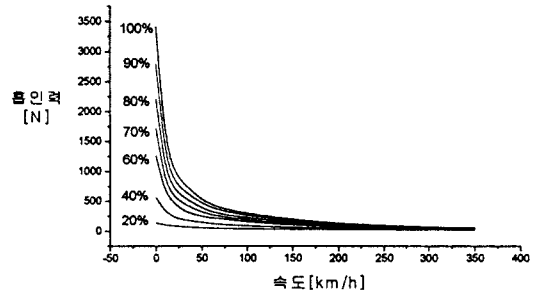


그림 4. ST37의 자기포화특성 곡선



(a) 제동력



(b) 흡인력

그림 5. 설계전자석의 기자력에 대한 제동력과 흡인력

$$(\delta = 10(mm), l_{mag} = 0.12(m), P_b = 0.065(m))$$

그림 5는 기자력 12,000(AT)을 기준으로 하였을 때 기자력 비율에 따른 제동력과 흡인력으로 제동력은 속도 25(km/h)부근에서 최대값 약 350(N)을, 흡인력은 속도 0(km/h)에서 약 3.5(kN)을 발생시키고 있으며 고속시 흡인력 값은 현저하게 줄어들고 있다.

한편, 그림6은 설계 전자석의 형상과 치수를 나타내고 있다.

3. 권선 설계

그림3에서 필요한 기자력 $NI = 12,000(AT)$ 이고(여기서 권선수 N , 전류 I), 전류밀도 J [A/m^2], 점적율을 k 라고 두면 필요한 코일 창의 면적은 다음 식 (4)와 같다.

$$W_b W_h = \frac{NI}{J \cdot k} \quad (4)$$

여기서 전류밀도 $J = 3[A/mm^2]$, 점적율 $k = 0.714$ 로 정하면, 코일창의 면적은 5,600 [mm^2]이 되므로 창의 여유를 고려하여 $W_b = 90(mm)$, $W_h = 70(mm)$ 로 정했다.

권선의 1회 평균길이 l_{coil} 는 전자석 자극 폭 P_b 와 전자석 길이 l_{mag} 에서 약 0.5m로 정한다.

따라서 단면적 1mm^2 의 권선을 사용할 경우 권선수는 4,000회로 되고 권선의 길이는 2,000m로 된다.

한편 권선의 저항 R은 다음과 같다.

$$R = \rho \frac{N l_{\text{coil}}}{S_{\text{cu}}} \quad (5)$$

여기서 S_{cu} 는 권선의 단면적이고, ρ 는 권선의 저항률이다. 저항 값 $R = 34.4[\Omega]$ 이며, 이때 기자력 $12,000[\text{AT}]$ 을 만들기 위해서 권선의 전류값은 $3[\text{A}]$ 이다.

따라서 전자석에서 필요한 전압 V와 소비전력 P는 다음 식(6), 식(7)과 같다.

$$V = IR \quad (6)$$

$$P = I^2 R \quad (7)$$

즉 전자석 단자에서 필요한 전압과 전류는 각각 $103[\text{V}]$, $3[\text{A}]$ 이고 소비전력은 $309[\text{W}]$ 이다.

인덕턴스 L은 다음 식(8)과 같이 된다.

$$L = \frac{N^2}{R_m} \quad (8)$$

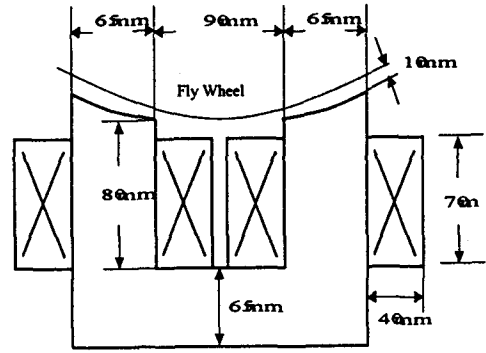
여기서, N은 권선수, R_m 은 자기저항으로 철심의 자기저항과 누설을 무시하면 다음 식(9)로 된다.

$$R_m = \frac{2\delta}{\mu_0 l_{\text{mag}} P_b} \quad (9)$$

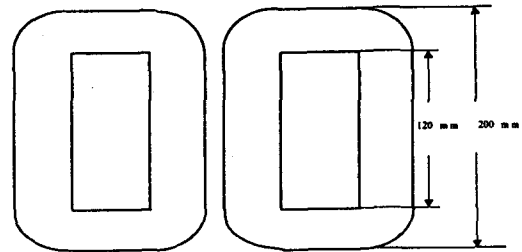
식(8)과 식(9)에서 인덕턴스 $L = 7.8[\text{H}]$ 로 된다.

표 1. 설계 전자석 사양

	사양	비고
전자석 자극 폭 P_b	0.065[m]	
전자석 길이 l_{mag}	0.12[m]	
권선창 높이 W_h	0.07[m]	
권선창 폭 W_b	0.09[m]	
공극 δ	0.01[m]	
기자력 NI	12,000[AT]	권선수 4000회 전류 $I = 3[\text{A}]$
전류밀도 J	3[A/mm ²]	
점적률 k	0.714	
권선단 면적 S_{cu}	1[mm ²]	가로 0.5[mm] 세로 2[mm]
권선 저항 R	34.4[Ω]	
정격 전압 V	103[V]	
인덕턴스 L	7.8[H]	
전자석 소비전력 P	309[W]	



(a) 정면도



(b) 평면도

그림 6. 설계 전자석 형상 및 치수

이상 설계된 전자석의 사양을 정리하면 표 1과 같다.

4. 결 론

본 논문은 현재 제작중인 고속전철 모의 시험장치의 와전류 제동장치 전자석을 설계하고 이의 제동력과 흡인력을 계산하였다. 본 설계에서 제동력, 흡인력, 전자석의 형상, 권선등 와전류 제동장치의 사양을 작성하였다.

앞으로 고속전철의 모의 시험장치가 완성될 경우 제동력, 흡인력을 측정하여 설계의 타당성을 검증할 필요가 있다.

(참고 문헌)

- [1] "비접촉 제동시스템 개발 1차년도 보고서", 한국전기연구소, 1997, 11.
- [2] 조영식, 강길환, 홍정표, 김규탁, 강도현, "전자유도 브레이크의 동특성 및 열해석", 대한전기학회 하계학술대회, 1997.
- [3] 강도현, 김용주, 박수태, "고속전철 제동장치 개념 설계에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회, 1997.