

# 비접촉 철판운송용 자기부상 전자석의 설계

조금배<sup>\*</sup> 백형래<sup>\*</sup> 오금곤<sup>\*</sup> 김영동<sup>\*\*</sup> 김홍중<sup>\*\*\*</sup>  
<sup>\*</sup> 조선대 전기공학과 <sup>\*\*</sup> 조선대 제어계측공학과 <sup>\*\*\*</sup> 日本 武蔵 工業大

## Design of Magnetically Levitation Electromagnet Conveying Non-contact Steel Plate

G.B Cho H.L Baek G.K Oh<sup>\*</sup> Y.D Kim<sup>\*\*</sup> H.J Kim<sup>\*\*\*</sup>  
<sup>\*</sup> Chosun University <sup>\*\*\*</sup> Musasi Institute of Technology

### ABSTRACT

This paper considers backing structure of non-contact steel plate using magnetically levitation and aspect-quality factor is defined by estimation of electromagnet-aspect attraction steel plate. Characteristics of attraction power is studied in cylindrical electromagnet, U-type electromagnet, E-type electromagnet by aspect-quality factor. Designing and manufacturing electromagnet attraction steel plate, propriety of experimental results is confirmed.

### 1. 서 론

자동차 산업계에 있어서 자동차의 body용 철판을 운송하는 시스템은 주로 기계적 지지에 의하기 때문에 운송장치와 운송물의 접촉으로 인하여 철판표면의 손상, 변질등이 생겨 고품질화의 요구에 만족하지 못하고 있다. 따라서 철판을 자기부상 기술에 의해 부상시켜 비접촉으로 운반하는 운송시스템의 개발이 요구되고 있다. 이것은 자기부상기구에 의해 철판지지 기구가 철판의 표면을 보호하고 또 운송 중에 철판진동에 끌고부도장을 행할 수 있는 등의 우수한 특징을 갖고 있기 때문이다. 자기부상방식에 의한 비접촉철판 지지기구는 흡인부상용 전자석을 제어하고 철판을 비접촉으로 경위치로 유지해야한다. 그러나 철판을 흡인 부상시킨때에 나타나는 문제로서 자기포화현상이 있다. 이 현상 때문에 제어대상이 비선형성으로 나타나고 제어계의 모델화가 곤란하게 된다. 따라서 본 논문에서는 비포화영역에서의 흡인 부상용 전자석의 형상을 평가하여 전자석을 설계하는 방법을 제시하고 이를 설계제작하여 실험에 의한 타당성을 검토하고자 한다.

### 2. 흡인부상용 전자석

그림 1은 철판의 상면과 하면의 gap방향 자속밀도 추정의 모델을 나타낸다. 이 모델에서 전자석의 중심축상에 있는 철판내부의 자속의 r방향성분  $B_{rz}$ 는 zero라고 가정하고 자속은 적분으로 계산할 수 있기 때문에 반경 r[mm] 떨어진 자속밀도를 나타낼 수 있다.

그림 1에서  $B_r$ 의 방향 자속밀도  $B_{rn}$ 는

$$B_{rn} = \frac{B_{zu} - B_{zd}}{2} \quad (1)$$

으로 나타낼 수 있고 또한 중심으로 부터 n번째의 r방향 자속밀도  $B_{rn}$ 은

$$B_{rn} = \frac{X}{Y} (B_{zu} - B_{zd}) + B_{rn-1} \quad (2)$$

이다. 이것으로부터 자속밀도는 식 (3)과 같이 구할 수 있다.

$$B_n = \sqrt{B_{rn}^2 + B_{rn-1}^2} \quad (3)$$

식 (3)에 의하여 계산된 철판중의 자속밀도 분포는 그림 2에 나타내었다. 철판중의 자속밀도 B는 반경 25[mm]의 원통형 부분에서 가장 자속이 집중하고 자속밀도가 크다. 전자석을 설계하는 경우에 얇은 철판 중에서 자기포화를 발생 시키기 위하여 필요 이상으로 자극면적을 크게 하고 부입할 수 있는 기자력을 크게 하여도 의미가 없다. 여기서 가장 자기포화를 일으키기 쉬운 철판중의 자로의 단면을 고려해야 한다. 여러 가지의 전자석을 평가하는 방법으로서 전자석이 부담하는 철판의 면적에 대한 유효 자로단면의 크기라고 하는 비율을 형상양호도라고 정의하고 K라고 표시한다. 형상양호도는 식 (4)같이 나타낼 수 있다.

$$K = \frac{\text{유효자로단면적}}{\text{점유면적}} \quad (4)$$

형상양호도가 큰 정도의 단위 점유면적에 대하여 유효자로 단면이 크고 자속을 집중시키지 않으면 자기포화가 어렵다. 따라서 자기포화가 시작 할 때의 흡인력을 크게 할 수 있는 것이 가능하다. 따라서 형상양호도가 큰 전자석은 비포화영역이 크고 포화개시시의 흡인력이 크다고 할 수 있다. 그림 3은 U자 전자석의 모델을 나타낸다. 자극간격 a에 비하여, 철판과의 gap길이가 충분히 작기 때문에 누설자속의 영향을 무시하고 유효자로 단면의 폭이 철심두께 C와 같다는 가정 하에서 그림 3의 치수설정으로 부터 형상양호도를 계산할 수 있다. 식 (5)에 형상양호도 K를 [점유면적 S와 aspect 비율 As의 함수로서 나타낸다. 여기서 aspect비율은 전자석 외형의 중립(B/A)의 비율이다. U자 전자석에서는 aspect비율 크게 하고 철심 두께의 폭이 큰 형상으로 하는 것으로 형상양호도가 좋게 된다. 형상을 바꾸는 것으로서 철판의 흡인력에 적절한 전자석을 만드는 것이 가능하다. U자전자석의 형상양호도는 식 (5)와 같이 나타내며

$$K = \frac{t}{4\sqrt{S}} \frac{4A_s - 1}{\sqrt{A_s}} \quad (5)$$

여기서 S : 점유면적, As : Aspect 비율, t : 철판 두께이다. 그림 4는 E형 전자석의 모델을 나타낸다. 식 (4)에 형상양호도 K를 점유면적 S와의 aspect비 As의 함수로서 나타낸다. E형 전자석에서는 aspect 비율 크게 하고 철심 중의 두께의 폭이 큰 형상으로 함으로서 형상양호도가 향상 된다. E형 전자석의 형상양호도는 식 (6)으로 나타내며

$$K = \frac{2t}{3\sqrt{S}} \frac{3A_s - 1}{\sqrt{A_s}} \quad (6)$$

그림 5는 원통형 전자석의 모델을 나타낸다. 식 (7)에 형상양호도 K를 점유면적 S의 함수로서 표시한다. 원통형 전자석에서는 형상양호도 K는 얇은 철판의 두께 점유면적 S만의 함수가 된다. 따라서 전자석형상의 개선에 의해 얇은 철판의 흡인에 적절한 전자석을 제작하는 것은 곤란하다. 원통형 전자석의 형상양호도는 식 (7)과 같이 나타낼 수 있으며

$$K = \sqrt{\frac{\pi}{S}} \quad (7)$$

그림 6은 점유면적 S와 철판두께 t를 고정조건으로 하고 Aspect 비를  $A_s$ 를 변수로 한 경우 각 전자석의 점유면적  $S=5500[\text{mm}^2]$  철판두께  $t=0.8[\text{mm}]$ 로 설정한 형상양호도 특성을 나타낸다. E형 전자석과 U형 전자석에 대해서는 Aspect비를 크게 함으로써 형상양호도를 크게 할 수 있었다. 그러나 형상양호도가 큰 E형 전자석이 우수한 특성을 나타내었으며 원통형 전자석에 대해서는 형상양호도가 철판두께의 점유면적으로 결정하기 때문에 형상양호도는 일정하였다.

### 3. 형상양호도에 의한 전자석의 평가

그림 7은 실험장치로서 E형 전자석의 점유면적을 변화시키지 않고 Aspect비를 바꾸어 흡인력을 측정하고 형상양호도에 의해 전자석형상의 평가의 타당성을 검토하였다. 실험장치와 같이 측정에 있어서 변수를 점유면적  $S=5500[\text{mm}^2]$ , 철판두께  $t=0.8[\text{mm}]$ , gap길이  $g=3[\text{mm}]$ 로 고정하고 전자석의 기자력과 흡인력을 측정하였다. 그림 8에 Aspect비가 다른 각 전자석의 기자력-흡인력특성을 나타낸다. 그림 8에 있어서 기자력이 작을 경우에는 기자력의 흡인력이 비례하지만 기자력이 크면 자속에 비례하지 않게 된다. 이것은 기자력을 크게 함으로써 자기포화가 발생하고 있기 때문이다. 그림 9에 Aspect비와 포화개시시의 흡인력특성을 나타낸다. 그림 9와 같이 전자석의 포화개시시의 흡인력을 Aspect비가 크게 됨에 따라 크게 되었음을 알 수 있다. 따라서, 철판적의 두께가 E형 전자석은 비포화영역이 넓기 때문에 철판의 흡인에 적절한것도 알 수 있다. 그림 10에 포화개시시 흡인력부터 추정하는 형상양호도성을 나타낸다. 포화개시시의 흡인력부터 형상양호도는 다음과 같이 추정하였다. 철판이 자기포화 할 때의 자속밀도를  $B_s$ 라 하면 유효자속 단면을 통과하는 자속  $\phi = B_s S'$ , gap의 자속밀도  $B_g = B_s S'/S$ , 전자석의 단위 점유 면적당의 흡인력  $f = D_e^2 S'^2 / \mu_0 S$ 가 되고 이 단위 면적당의 흡인력을 Aspect비의 함수로 나타내면

$$f = \frac{9A_s B_s^2}{\mu_0 (3A_s - 1)} K^2 \quad (8)$$

이것을 상대양호도 K에 대해서 해석하면 식 (9)가 된다.

$$K = \frac{1}{3B_s} \sqrt{\frac{\mu_0 (3A_s - 1) F}{A_s S}} \quad (9)$$

### 4. 실험결과 고찰

그림 10에서 Aspect비가 큰 것이 실속으로부터 추정한 형상양호도가 계산치를 하회한 원인으로서는 누설자속의 영향이라고 생각된다. 누설자속은 자속이 철판중심을 통과하지 않고 자로를 형성한다. 이것에 의해 전자석의 흡인력이 저하하는 것을 알 수 있었으며 형상양호도에 미치는 영향을 검토 하였다.

그림 11은 누설자속의 영향을 고려하기 위한 모델이다. Aspect비가 큰 전자석의 철심형상을 그림 11(a)같이 철심두께 c가 크고 자극간격 a가 작다. gap길이에 대한 자극간격에 충분히 크게 한다면 Aspect비가 크게 되고 자극간격 a가 작게 되면, 동일 gap의 원경에서는 누설자속이 발생하기 쉽다.

그림 12에 누설자속에 의한 형상양호도 특성의 영향을 나타낸다. 누설자속의 영향은 Aspect비가 적은 곳에서는 형상양호도에 가까운 특성을 나타내지만 Aspect비가 크게 됨에 따라 gap 길이에 대한 자극간격의 비가 작게 되어 누설자속이 많아진다.

Aspect비를 크게 하므로 누설자속의 영향은 자극간격의 현상에 따라 급격하게 크게 된 것이 예상되기 때문에 형상양호도도 무한하게 크게 할 수 없다.

### 5. 결론

본 논문에서는 자기부상식 비포화철판 반송용 전자석의 설계와 자기포화가 발생하는 기구에 대해서 고찰하고 이를 근본으로 철판을 흡인하는 적절한 전자석 형상의 평가법으로서 형상양호도를 정의하고 형상양호도에 의한 평가의 타당성의 검토를 실측에 의해 검토했다. 실험 결과 형상양호도가 큰 쪽이 자기포화시의 흡인력이 크고 철판의 흡인력이 적절하다는 것을 확인 하였다. 본 연구는 철판의 흡인용의 적절한 전자석을 설계하는데 형상양호도가 하나의 지침이 될 것으로 사료된다.

### 참고문헌

- [1] 大崎, 佐藤, 藤田, "新しい原理の超傳導リモータと磁氣浮上", 電氣學會 Linear Drives 研究會, pp.37-38, LD-91-34, 1991.
- [2] H. Weh, "Attractive Levitation Technology and its Development Potential", Proc. of 11th Int. Conf. on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives, Yokohama, pp.1-9, 1989.
- [3] D. I. Jones, A. W. Pattullo and R. J. A. Paul, "Assessment of Eddy-Current Effects in the Mixed- $\mu$  Levitation System", Proc. of 10th Int. Conf. on Magnetically Levitated Systems, Hamburg, pp.361-370, 1988.

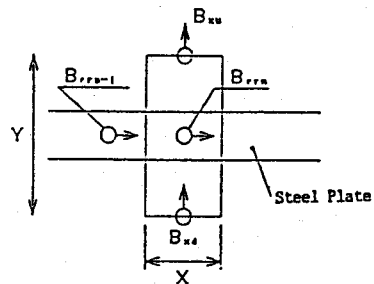


그림 1. 철판중의 자속밀도 추정모델

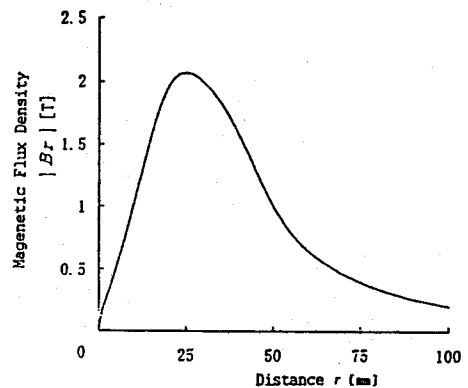


그림 2. 철판내부의 자속밀도분포

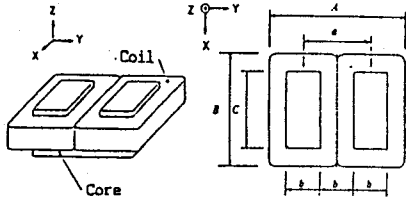


그림 3. U형 전자석 모델

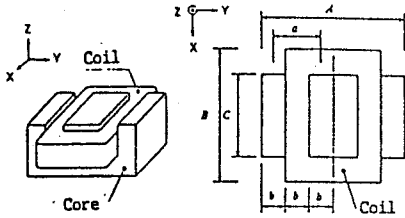


그림 4. E형 전자석 모델

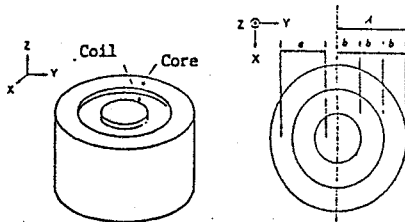


그림 5. 원통형 전자석 모델

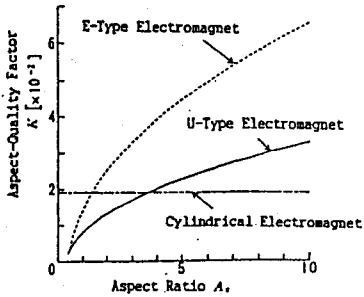


그림 6. Aspect 비율과 형상양호도 특성

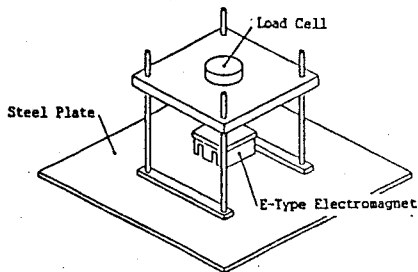


그림 7. 흡인력 측정장치

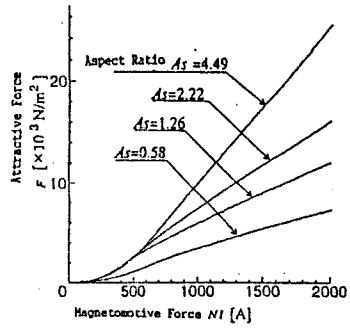


그림 8. 기자력과 흡인력 특성

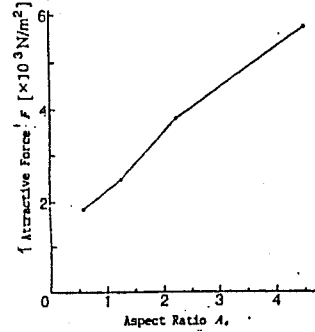


그림 9. Aspect 비와 포화계시의 흡인력특성

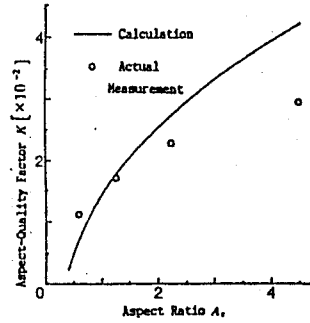


그림 10. Aspect 비와 형상양호도 특성

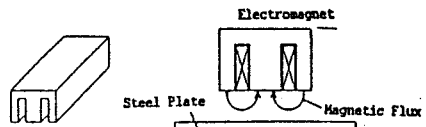


그림 11. 누설자속의 영향고찰 모델

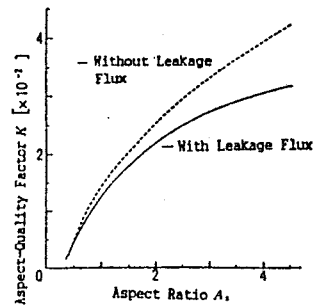


그림 12. 누설자속의 영향에 의한 형상양호도 특성