

강판운송을 위한 자기부상기술에 관한 연구

조 경 재*, 차 인 수** 이 권 현***

* 동신대학교 대학원 전기전자공학과

** 동신대학교 전기전자공학

*** 전남도립담양대학 전자과

A Study on the Magnetic Levitation Technology for Iron Plate Conveyance

Kyeng-Jai Cho*, In-Su Cha**, Kwon-Hyun Lee***

* Dept. of Electrical & Electronic Eng. Graduate School, Dongshin Univ.

** Dept. of Electrical & Electronic Eng. Dongshin Univ.

*** Dept. of Electronic Eng. ChonNam-Provincial College of Damyang

ABSTRACT

Applying the magnetically levitated transportation system, which is noncontact bearing system, to solve the problems such as transformation of original form or flaw of iron plate caused by transportation of thin iron plate which required high quality as body of motor vehicle, materials of electronic devices etc..

Magnetic saturation phenomena caused by thickness of iron plate and gap size between magnets. In case of iron plate, the vibration mode will be considered since vibration occurs during transportation. In order to solve the problems caused by vibration, choose the levitation system method using numbers of magnet, magnetic saturation for thickness and length of iron plate with parameters in location and gap of magnet.

In this paper, we will suggest the whole design technique of magnetically levitated transportation system, namely method of magnetic attraction and transportation system.

I. 서론

최근 자석의 반발력이나 흡인력을 이용하여 물체를 비 접촉에서 공중에 부상시키는 기술이 활발하게 연

구되고 있으며 제어 기술의 진보에 의하여 자기부상 기술의 개발이 가능한 상황에 이르게 되었다. 자기 부상기술은 비접촉이므로 마찰, 마모가 없는 특징을 가지고 있어 반송기술 등에 널리 응용되고 있는 형태이다[1]. 한편 산업계의 동향으로서 품질 향상의 요구가 고도화되고 있는 실정이다. 특히 자동차 산업 등에 있어서 Body표면의 고품위화로의 요구가 강화고, 특별한 표면 처리에 의한 철판이 이용되고 있는 형태에 있으므로 철판의 반송중에서 품질의 악화에 대하여 철판을 비접촉에서 반송시키는 기구의 개발이 바람직하다. 여기에서 철판의 진동 제어가 가능하고 보수의 면에서 유리한 자기부상 방식에 의한 비접촉 반송기술이 널리 이용되고 있는데 흡인 제어식 전자석에 의한 철판 지지기구는 철판의 표면 보호에 뛰어나고 또한 반송중에 철판 전면에 있어서 도장이 가능하므로 공기를 단축시킬 수 있다는 특징을 가지고 있다[2].

그러나 얇은 철판을 흡인 부상시킬 때 철판 특유의 문제점이라 할 수 있는 자기포화 현상과 와류현상 등의 영향을 받게 되므로 안전성이 높은 제어계가 요구된다[3]. 본 논문에서는 자기 부상 방식 비접촉 철판 반송 기술의 확립을 목표로 하여 연구하였으며 실제의 철판 반송 기구를 구성하는데 필요한 각종 제반 사항 대해서 연구하였다.

II. 자기부상식 철판

II.1 특징 및 구조

최근 산업계의 동향으로서 품질 향상을 통한 국제 경쟁력을 높이고자 하는 요구가 높아지고 있다. 특히 반송중인 철판의 품질 악화는 큰 문제로 대두되고 있으며 이의 대책으로 비접촉에 의한 철판 반송 방식을 이용하고 있다. 비접촉식 철판 반송의 하나인 자기부상 반송장치는 비접촉이므로 철판 표면에 scar(상처, 흠)에 의한 변질을 발생시키는 것이 거의 없고, 소음이 적으며, 보수가 간단하고, 운반 도중에 제품에 대한 전면 도장이 가능하여 공기를 단축시킬 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나 다른 한편으로 진행 및 안내 방향에 대한 제어가 필요하며, 비자성 재료에는 부적합하며, 철판이 변형되면 정상적인 동작이 불가능하고, 또한 제작비가 많이 소비되고, 철판에 발생하는 진동에 대하여 제어가 필요하다는 문제점을 가지고 있지만 다른 비접촉 반송 장치인 공기압 부상 방식에 비해 반송중에 소음이 적고, 보수의 면에서 뛰어나고, 진동의 제어가 가능한 자기 부상 방식이 주목되고 있으며 연구가 진행되고 있다[2].

그림1은 비 접촉 자기 부상 방식 철판 반송의 개념도를 나타낸 것으로서 흡인 전자석에서 지지되는 철판과 그 지지 기구가 이동하는 것을 보여주고 있다. 철판의 지지는 흡인 제어식 전자석이고 지지 구조의 진행 및 정지는 LIM(Linear Induction Motor)에 의해 구성되어 있다.

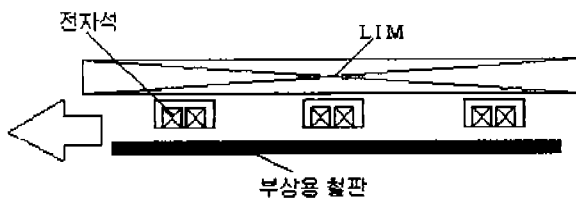


그림1. 자기 부상 방식 철판 반송 개념도

II.2 간이 부상 모델과 실제 부상 시스템

철판 반송을 행할 때 철판에는 진동이나 와류가 발생하는 문제가 있다. 이 상태에서 철판이 진행할 경우, 흡인 지지용 전자석에 의해서는 끊임없이 gap변화가 발생하게 되므로 흡인 지지용 전자석에 의해서는 철판의 진동을 제어하는 여진 작용이 필요하다.

와류에 의한 외란으로 불안정한 비 접촉 지지를 지

속하는 형태에서 전자석의 제어에는 응답성이 높고 외란에 강한 안정한 제어계가 요구된다.

여기에서는 철판의 비 접촉 유지 기구에 대한 착안과 그 안정 제어를 목적으로 연구를 진행하였다. 실제의 철판 반송 system은 얇은 철판에 발생하는 진동을 제어하고 철판의 중량 지지가 안정하고 자연스럽게 이동이 가능하도록 하기 위해서 복수의 전자석이 필요하다[3]. 여기에서 반송 system의 기초로서 y, z평면의 철판의 전송 모드의 내부 방향만을 고려하므로 평판을 같은 크기의 2개 전자석으로 얇은 철판을 부상시키는 간이 모델을 그림2에 나타내었다.

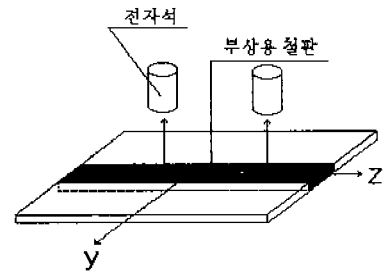


그림 2. 간이 부상 모델

간이 부상모델을 토대로 실제 부상 시스템을 그림3과 같이 고안하였다. 공극의 길이는 gap 센서에 의해 일정하게 유지시키고 복수의 흡인 전자석을 가변시킬 수 있도록 하였으며 전자석의 자속량을 일정하게 유지하도록 철심재료의 재질 및 권수를 동일하게 하였으며 전원의 on-off시간을 순간적으로 변화시킬 수 있는 스위칭 모드를 연결하여 전자석에 의하여 철판이 흡인 부상 할 수 있도록 설계하였다.

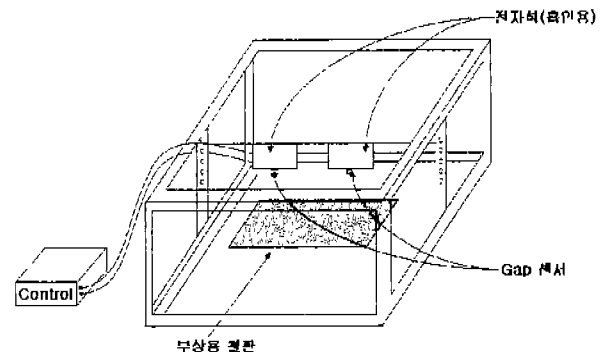


그림3. 실제 부상 시스템

II.3 철판의 진동 해석

철판의 반송시 철판에 진동이 발생하므로 본 논문에서는 진동 해석에 관해 연구했다.

그림4는 진동 해석을 위한 모델을 나타내고 있다. y, z평면상에 판을 갖추고 그것과 직교하는 x방향에 판의 변위 w 를 취한다.

단위 면적당 질량을 m , 판의 구부러진 강도를 D 라 한다. 간이 모델에서는 철판이 얇은 것으로서, 그림5의 모델에 의해서 진동을 생각한다.

그림5는 y방향에 충분히 길고 z방향은 고려하지 않은 한 방향만을 생각하기 때문에 평판의 방정식은 (1)식의 형태로 표현된다[2].

$$m \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + \mu I \frac{\partial^5 w}{\partial t \partial y^4} + D \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = 0 \quad (1)$$

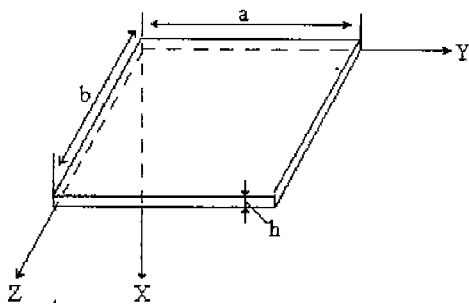


그림 4. 진동 해석 모델

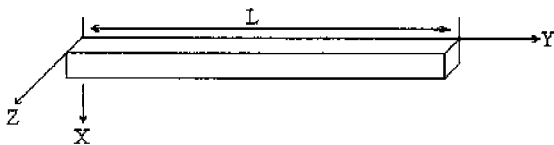


그림 5. 근사 모델

III. 평가방법

III.1 흡인 부상용 전자석의 평가방법

얇은 철판을 부상시킬 때에는 자기포화 현상이 문제가 됨은 이미 서론에서 밝힌바와 같이 이 자기포화 현상의 발생에 대하여 생각해 보자.

자기포화 현상은 철판에 큰 자속밀도가 작용한 경우에 발생하는 자기 현상으로 그림 6에 전자석이 얇은 철판을 흡인 부상시킬 때의 모델을 나타내었다.

그림 6에서 자로는 철탄사이, gap사이, 철탄사이로 구성되며 후리징 효과와 누설자속이 없다고 가정하면 각 자로를 통과하는 자속은 같은 양이다.

이 때 철탄 속의 자로의 단면 S' 라 하고 철탄 중의 자로의 단면을 S 라 하며 철탄에서의 자로의 단면적

의 폭은 철탄의 성층 두께의 크기라 가정한다.

아주 얇은 철탄을 흡인 한다고 생각하면 모델의 자로의 단면적은 자극 면적 S' 에 비해 철탄 중의 자로의 단면적 S 가 대단히 작다 ($S' \gg S$). 어떤 자로 단면도 동량의 자속량이 통과한다고 가정하였으므로 자속 밀도에 대하여 생각한다면 그림6(b)에서 나타낸 것과 같이 철탄 중에 자로의 단면에서 자속이 집중하는 일이 예상된다. 그러므로 자기포화는 얇은 철탄 중의 자로의 단면에서 발생한다.

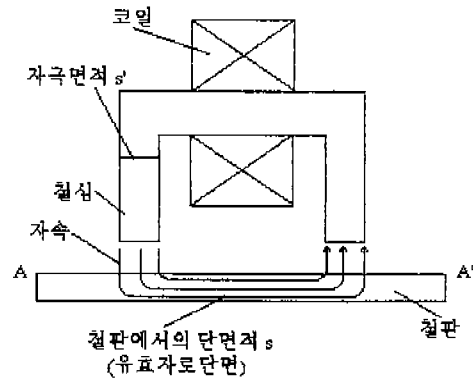


그림 6. 철탄의 흡인 모델

철탄의 윗면과 아래면의 gap방향의 자속밀도를 측정한 결과로부터 철탄 중의 자속 밀도를 추정하는 방법은 아래에 서술하였다.

그림7에서 철탄 중의 자속밀도 추정의 모델을 나타내었다. 이 모델에서 생각할 때, 전자석의 중심축상에 있는 철탄 내부의 자속의 r방향 성분 B_r 은 0 이라고 한다. 철탄 중에 들어 있는 자속은 중심으로부터 외측으로 향하여 적분하는 것으로 계산되므로 반경 r (mm) 떨어진 곳에서의 철탄 중의 자속밀도를 구하는 식을 식(2)에 나타내었다.

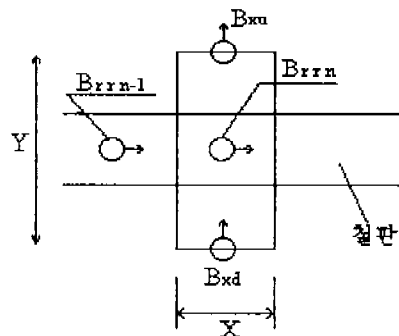


그림 7. 철탄 중의 자속밀도 추정 모델

다음은 철판 중의 자속밀도를 추정하는 방법을 나타낸다. Br에서의 x방향자속 밀도 Brx는

$$Brx = \frac{Bxu - Bxd}{2}$$

또 중심에서 n번째 Br에서의 r방향 자속밀도

$$Brrn \text{은 } Brrn = \frac{X}{Y}(Bxu - Bxd) + Brrn - 1$$

이들로부터 Bn에서의 자속밀도는

$$Bn = \sqrt{Brx^2 + Brrn^2} \quad (2)$$

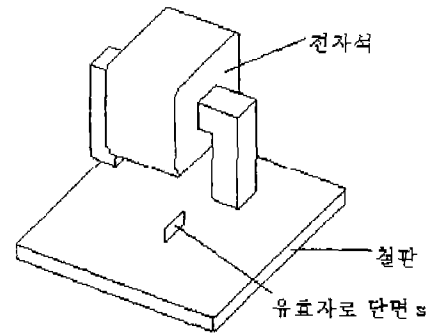


그림8. 유효자로 단면 설명도

III.2 형상양호도에 의한 평가

얇은 철판을 흡인할 때의 자기 포화 현상은 얇은 철판 중의 자로의 단면에 있는 유효자로 단면에 의해서 결정되므로 얇은 철판의 전자석은 자극 면적의 크기나 투입 가능한 기전력 등 만을 주목하여 전자석의 설계를 행한 것이 불가능하다. 따라서 비포화 영역 내에서 철판을 흡인하는 것을 생각한다면 유효자로 단면의 크기에 주목해야 한다.

유효자로 단면을 통과하는 자속밀도는 철판이 자기 포화되지 않는 범위라는 제약 조건이 따르므로 철판 중에 통과하는 자속을 많게 하면 흡인력을 크게 하기 때문에는 유효자로 단면을 크게 할 필요가 있다. 결국 자기 포화를 일어나게 하고 비포화 영역의 넓은 전자석은 유효자로 단면이 크게 된다. 여기에서 형태의 전자석을 평가하는 방법으로서 전자석이 부담해야 하는 철판의 면적에 대하여 유효자로 단면의 크기로서 비율을 생각해 보자.

이 비율을 형상양호도라 부르고 k로써 나타낸다.

$$\text{형상양호도 } K = \frac{\text{유효자로 단면적 } s}{\text{점유면적 } S} \quad (3)$$

그림8에 유효자로 단면의 설명도를, 그림9에 점유면의 설명도를 나타냈다.

점유 면적 s란 전자석이 부담해야 하는 철판의 최적이고, 이것에 의해 실제의 철판을 흡인할 때에 그것을 몇 개의 전자석에서 흡인된다고 생각하는 것이 바람직하다. 따라서 자기 포화가 시작될 때의 흡인력을 크게 하는 것이 얇은 철판의 흡인에 적당하다.

따라서, 형상양호도가 큰 전자석은 비포화 영역이 넓고 포화 개시 시의 흡인력이 크다.

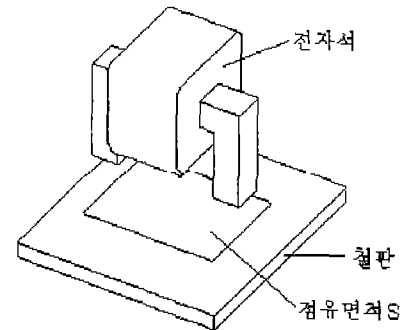
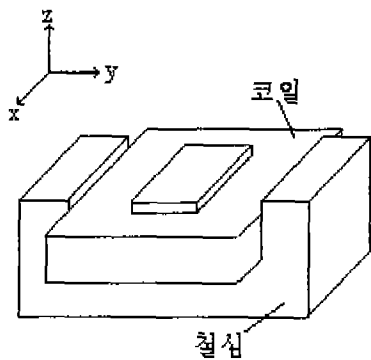


그림9. 점유도 설명도

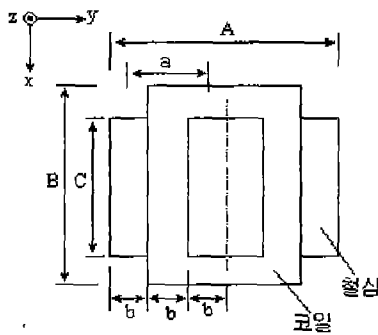
III.3 E형 전자석의 평가법

본인이 구상하여 부상 실험에 사용되는 전자석은 E형 전자석으로써 이 E형 전자석의 평가법에 대하여 연구하였다. 그림 10에서 평가하는 E형 전자석의 모델을 나타내었다. 자극 간격 a에 비해 철판과의 gap 길이는 충분히 작고 누설자속의 영향이 무시된다고 가정한다. 또 후리징의 영향이 없다고 가정하고 유효자로 단면의 폭은 철심의 성층 두께C와 같다고 한다. 이러한 가정하에서는 그림 10의 치수 설정에서 형상양호도를 계산하는 것이 가능하다.

식(4)에 형상양호도 K를 점유 면적 S와 As factor 비는 As의 계수로써 나타낸다. 여기에서 As factor비 As란 전자석 외형의 종횡비 (B/A)이다. E형 전자석에서는 As factor비를 크게 하고 철심성층 두께를 두껍게 하는 것이 형상양호도를 좋게 한다. 형상을 변화시키는 것에서 얇은 철판의 흡인에 적당한 전자석을 만드는 것이 가능하다고 생각되어진다.



(a) 전자석 외형



(b) 치수 설정

그림 10. E형 전자석 모델

기술에 대하여 이론적 근거를 토대로 하여 간단한 개요 및 구조와 특징을 연구하였으며 자기 부상식 비접촉 철탈판 반송 장치에 영향을 미치는 철탈판의 진동과 얇은 철탈판을 흡인 부상시킬 때 나타나는 자기 포화 현상에 대하여 연구 하였다.

이 철탈판의 부상 반송장치는 고품위화로의 요구가 강한 공장내에서의 반송 시스템 및 일반적인 반송 장치에 널리 응용 될것이라 기대되며 더 나아가서는 자기부상 열차에도 응용 되고 있는 실정이다.

- 참고문헌 -

- [1] 電氣學會編, “磁氣浮上과 磁氣軸受”, 磁氣浮上應用技術調査 專門委員會編, 1993.
- [2] D. Ebihara, H. Kawaguchi, Y. Muraguchi, M. Watada, T. Nakagawa, "A basic study of a transportation system for magnetically levitated thin iron plates", ISEM-Sapporo F-18 (1993)
- [3] T. Nakagawa, "Modeling of a lightweight vehicle for H^∞ control to get robust stability and high ride quality", IEE of Japen, IAS, No.28 (1992)
- [4] D. Ebihara, "Control of magnetically levitated iron plate" IEEJ No. 775 (1992)

E형 전자석의 형상양호도[4]

$$K = \frac{2t}{3\sqrt{S}} \frac{3A_s - 1}{\sqrt{A_s}} \quad (4)$$

(S :점유 면적, A_s : A_s factor비, t : 철탈판두께)

IV. 결론

최근 산업계에서 비 접촉에서 철탈판을 반송되는 기구의 개발이 요구되고 있고 특히 저 소음이고 보수의 면에서 유리한 자기부상 방식에 의한 철탈판 반송 기구가 주목되고 있다.

이 방식에서는 철탈판의 지지에 이용되는 흡인 제어식 전자석에 있어서 철탈판의 와류 등의 외란이 있으므로 안정성의 높은 제어계가 필요하다.

여기에서 자기 부상 방식 비접촉 철탈판 반송 기술에 관한 각종 제반 사항을 연구하였고 실제의 철탈판 반송에서는 진동을 제어하기 위해 복수의 전자석을 이용하여 진동을 간단히 제어 할 수 있도록 철탈판을 부상시키는 간이 모델을 기초로 하여 실제 부상 시스템을 고안하였다.

본 논문에서 실제 자기 부상방식 비 접촉 철탈판 반송