

## 선형유도전동기를 이용한 전자기 펌프내 액체 금속의 유동해석

차 재걸<sup>1</sup>, 전 문호, 김 창업, 성 보람찬, 임 효재, 이 석원  
호서대학교

### Flow Analysis of Molten Metals in Electromagnetic Pump using LIM

Jea-Keul Cha<sup>1</sup>, Mun-Ho Jeon, Chang-Eob Kim, Bo-Ram-Chan Sung, Hyo-Jae Lim, Seok-Won Lee  
Hoseo University

**Abstract** - This paper presents the characteristics analysis of an electromagnetic pump using the linear induction motor(LIM). The characteristics of the pump are analyzed solving two equations : the electromagnetic equation and hydrodynamic one.

### 1. 서 론

선형 유도전동기(LIM)는 19세기 중반에 발명되어 현재까지 광복할 만한 성과를 거두며 발전해 왔으며, 초고속 자기부상열차, 자동 반송장치, 정밀기기 산업에 널리 이용되고 있다. 특히 자동 반송장치 등에 응용하는 경우를 놀라, 벨트 등을 이용한 시스템에서 문제가 되는 슬립에 의한 가, 감속의 제한이 없고, 기계적인 가동부 및 접촉부가 존재하지 않아 소음이 없다[1]. 본 논문에서는 LIM을 응용금속 이동용 전자기 펌프에 이용하여 그 특성과 성능을 해석하였다. 그럼 1은 LIM을 사용한 응용금속을 이동시키는 전자기 펌프의 실제 모형이다. 편측식 LIM을 사용하여 공극 유지가 용이하고, 이동시키고자 하는 물체를 2차 축으로 이용할 수 있게 하였다.

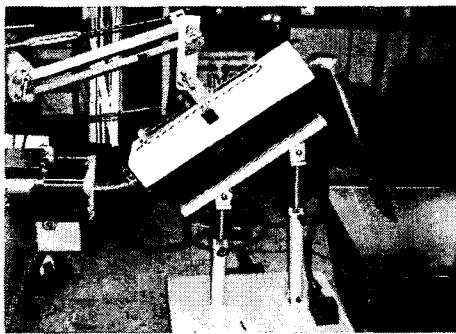


그림 1. LIM을 이용한 전자기 펌프

### 2. LIM 특성해석

#### 2.1 LIM Pump 모델

그림 2는 선형 유도 전동기의 해석 모델과 등가회로이다. 그림 2의 (a)에서 덕트는 스테인리스(304)를 사용하여 만들었으며, 관 내부의 두께는 30mm, 길이 600mm이다. 그림 2의 (b)에서  $V_1$ 은 입력전압,  $r_1, x_1$ 은 1차권선 저항과 리액턴스,  $r_{2e}, x_{2e}$ 는 단부효과를 고려한 등가 2차 저항과 리액턴스를 나타내고 등가회로에 의한 특성식은 다음과 같이 나타낼 수 있다[2].

$$\text{동기 와트} : P_{el} = m V_1^2 r_{2e} / Z_1^2 [W] \quad (1)$$

$$\text{추력} : F_x = m V_1^2 r_{2e} / V_S Z_1^2 \quad (2)$$

$$\text{출력} : P_o = (1-s)m V_1^2 r_{2e} / Z_1^2 [W] \quad (3)$$

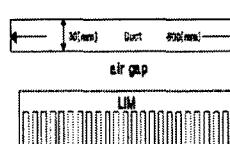
$$\text{1차 입력} : P_1 = m V_1^2 (r_1 + r_{2e}) / Z_1^2 [W] \quad (4)$$

$$\text{1차 동순} : P_{cl} = m V_1^2 r_1 / Z_1^2 [W] \quad (5)$$

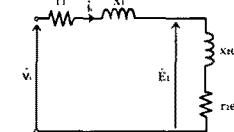
$$\text{2차 동순} : P_{cl} = sm V_1^2 r_{2e} / Z_1^2 [W] \quad (6)$$

$$\text{피상 입력} : P_A = m V_1^2 / Z_1 [VA] \quad (7)$$

$$\text{효율} : \eta = P_0 / P_1 = (1-s) r_{2e} / (r_1 + r_{2e}) \quad (8)$$



(a)LIM 해석모델



(b)LIM의 등가회로

그림2. LIM 해석모델과 등가회로

표1. LIM 설계사양

항목	설계모델
극수	6
선간 전압[V]	220
주파수[Hz]	60
극간격[mm]	72
슬롯깊이[mm]	47
슬롯폭[mm]	8.8
치폭[mm]	3.2
1차축길이[mm]	495.2
기계적 공극[mm]	20
1상의 직렬턴수	480
반코일의 길이[mm]	190
1차 저항 [ $\Omega$ ]	3.0967
직총폭[mm]	100
1차축 중량 [Kg]	22.96
단절율	5/6

표1은 전자기 펌프에 사용된 LIM의 설계 사양이다.

## 2.2 LIM 특성 해석

그림 3은 6극 LIM 모델의 슬립에 따른 추력 특성이다. Back-iron이 없는 상태에서, 공극을 20mm로 주었을 때, 용융금속의 슬립 변화에 따른 추력 특성은 슬립이 높을 수록 추력이 커짐을 알 수 있다.

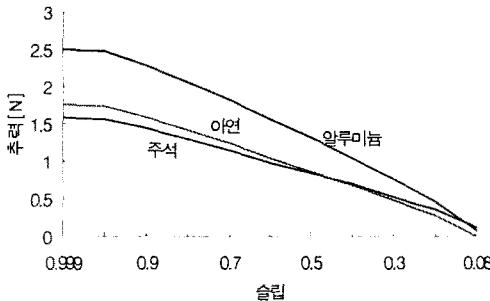


그림 3. 슬립에 따른 추력

그림 4는 공극 변화에 따른 추력 특성이다. 공극의 길이가 줄어들수록 추력이 커지는 결과를 알 수 있다.

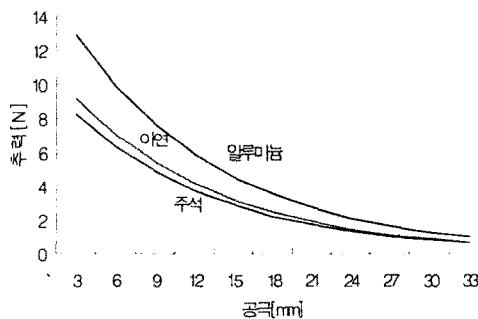


그림 4. 공극 변화에 따른 추력

## 2.3 자기유체역학(MHD)에 의한 유동해석

MHD는 전기 전도성을 지니는 유체의 전자기장 속에서의 운동이다. 유체가 자기력선을 가로지르는 방향으로 운동하면, 전류가 흘러 새로운 자기장이 발생하고, 또 자기장속에 전류가 흐르면 유체에 힘이 작용하여 운동 상태를 바꾸는 것으로 1937년 J. 하르트만으로부터 시작되었고, H. 알베니 본격적으로 발전시켰다[3]. 본 논문에서는 이 MHD를 사용한 프로그램인 Fluent를 사용하여 덕트 내에서의 용융금속의 특성을 구하였다.

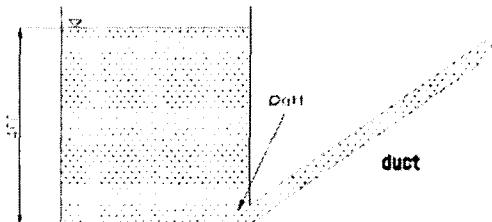


그림 5. 실험장치 및 해석모델

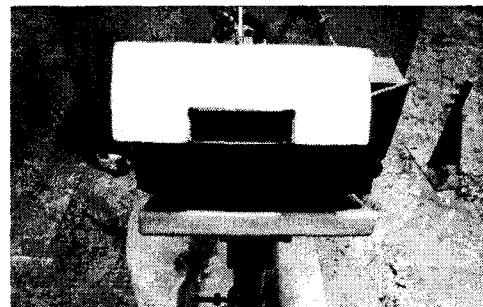
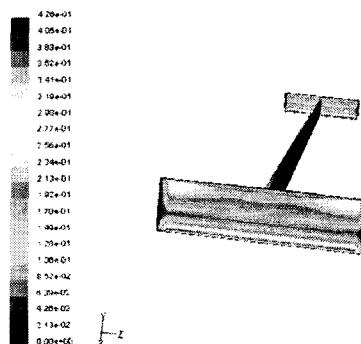
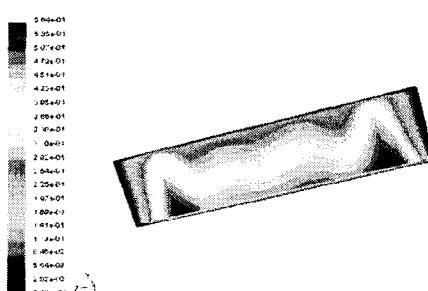
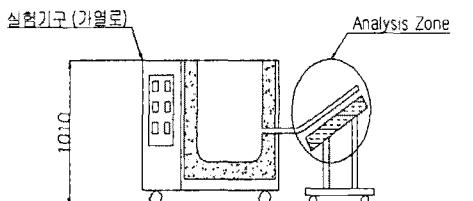


그림 6. 출구단

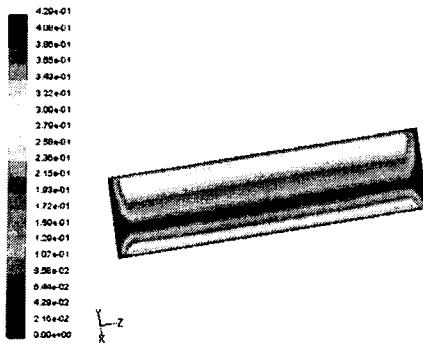
그림 5는 본 연구의 실험장치 및 해석모델을 나타낸 것이다. 전기로 안에 용융금속이 차 있다고 가정하면 그 전기로내의 용융금속 양과 대기압을 고려하여 덕트의 각도를 정해주어야 한다. 만약 400mm의 용융금속이 노에 차 있다고 하면 덕트의 각도는 41.9°의 각도를 가져야 용융금속이 흘르지 않는다. 그림 6은 덕트 출구단의 실제 모형이다. 본 논문에서는 공극자속밀도가 0.05~0.2[T]로 변할 때 용융 아연, 주석, 알루미늄에 대하여 유량과 유속을 해석하였다.



(a) 공극자속밀도 0.05[T]인 경우( $Z_n$ )

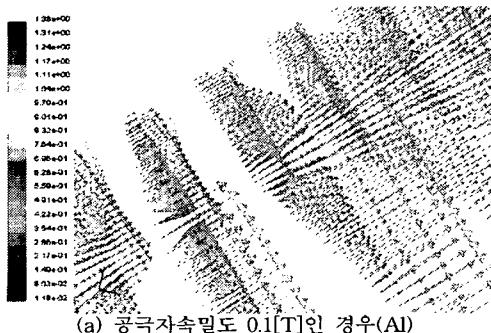


(b) 공극자속밀도 0.1[T]인 경우 입구단( $Z_n$ )

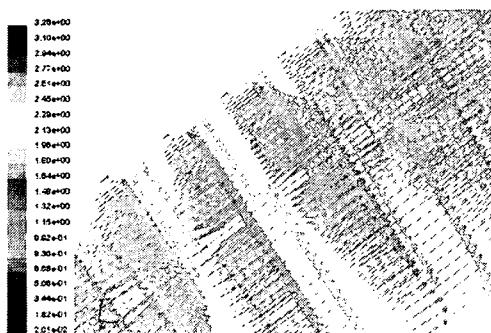


(c) 공극자속밀도 0.2[T]인 경우 출구단(Zn)  
그림 7. MHD를 사용한 유속 해석

그림 7은 2차축에 용융아연인 경우 공극자속밀도가 0.05[T]에서 0.2[T]로 변할 때 덕트 내부의 유속을 나타낸 것이다. 출구단 아래쪽이 상대적으로 유속이 빠름을 알 수 있다.



(a) 공극자속밀도 0.1[T]인 경우(AI)



(b) 공극자속밀도 0.2[T]인 경우(AI)  
그림 8. 덕트 중간 부분에서의 유속 벡터도

그림 8은 덕트 중간 부분에서의 유속 벡터도를 나타낸 것이다. 자기장의 영향이 더 크게 유체에 작용했을 때 유속이 빨라지며 덕트의 아래 부분에서 역류현상이 일어나는 것을 보여 준다.

표2. 공극자속밀도의 변화에 따른 유량

단위 : kg/sec

공극자속밀도 [T]	주석	아연	알루미늄
0.05	0.516	0.354	0.39
0.1	0.995	0.6967	1.528
0.15	1.3281	2.09	3.4879
0.2	2.4952	3.45	6.68

표2는 용융금속의 재료 및 공극자속밀도의 변화에 따른 유량을 나타낸 것이다. 공극자속밀도와 도전율이 클수록 유량이 많음을 알 수 있다.

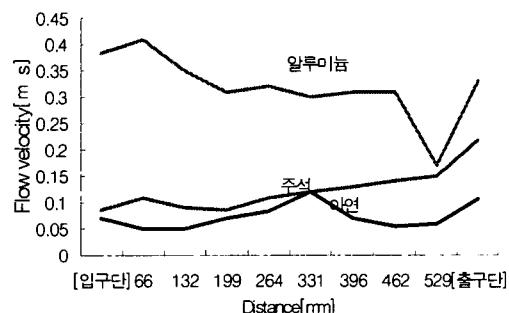


그림 9. 덕트내의 길이방향에 따른 유속  
(자속밀도 : 0.1[T])

그림 9는 자속밀도 0.1[T]인 경우 덕트의 입구단에서 출구단 방향으로 용융금속의 유속을 나타낸다. 입구단 및 출구단의 유속이 중간 부분 보다 크며 도전율이 클수록 커짐을 알 수 있다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 선형유도전동기를 이용한 전자기 펌프의 유동해석에 대하여 연구한 결과를 제시하였다. 용융금속으로는 주석, 아연, 알루미늄을 사용하였고 자속밀도가 0.05[T]에서부터 0.2[T]까지 변할 때 용융금속의 유속 및 유량을 해석하였다. 해석결과 유체 내부의 자속밀도와 유체의 도전율이 클수록, 유량 및 유속이 큼을 알 수 있었다. 또한 덕트 아래 부분에서의 역류현상도 관찰 할 수 있었다. 향후 실험기에 의한 실험 특성을 제시할 예정이다.

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원(과제번호 R-2004-B-128)주관으로 수행된 과제임.

### [참 고 문 헌]

- [1] Jacek F. Giers, Linear Induction Drives, Oxford, 1994.
- [2] 이주현, 유전알고리즘과 신경회로망을 이용한 선형 유도전동기 최적설계, 호서대학교 석사학위청구논문, pp.3-41, 2002.
- [3] Fluent Inc, Magneto hydro dynamics(MHD), 2003.