

용융아연 이송용 선형 전자기 펌프의 특성에 관한 연구

°김성원*, 홍성욱*, 김창업*, 심동준*
*호서대학교 전기공학과, **포항산업과학연구소

A Study on the Characteristics of the Liner Electromagnetic Pump for Transferring Molten Zinc

°S. W. Kim*, S. O. Hong*, C. E. Kim*, D. J. Shim**
*Department of Electrical Engineering, Hoseo University, **RIST

Abstract - This work deals with an application of linear induction motor. In the process of making steel, the molten zinc is required to flow by electromagnetic force. For this purpose, the characteristics of a single sided linear induction motor are analyzed at various conditions.

1. 서 론

전자펌프는 용융 금속을 비접촉으로 이동할 수 있는 특징에 착안하여 폭발성 용융금속을 밀폐해서 이송시키는 원자로의 냉각 매체용 순환 펌프, 제철소 주조공장에서 주철, 알루미늄, 동합금의 주탕 장치로서 이용되고 있다[1-4]. 본 논문은 전자펌프의 일종으로 제철소에서 철의 아연도금 과정에서 생기는 아연재가 철에 부착하여 철의 품질을 떨어 뜨리는 것을 방지하기 위하여 선형유도전동기의 전자기력을 이용하여 용융 아연통의 표면에 있는 아연의 제거에 관한 것이다. 용융 금속이 선형유도전동기의 2차측으로 작용하며, 1차측의 이동자속 방향으로 전자기력이 작용하여 힘의 방향으로 용융 금속이 흐르도록 고안하였다. 그림 1은 철판이 도금되는 과정이며

된다. 또한 아연통의 깊이가 상대적으로 깊어서 일반적인 선형유도전동기의 Back-iron 역할을 기대하기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 전자기 펌프의 변수(공극, 용융금속의 도전율, 용융금속의 깊이)들에 대한 특성을 검토하여 실제 기기 제작에 적용하기 위한 1차 연구 결과이다.

2. 전자기 펌프용 선형유도전동기 특성 해석

그림 2는 전자기 펌프용 선형유도전동기의 해석모델이다. 본 해석 모델에서는 1차측 길이와 폭에 비해 2차측인 용융 아연통의 치수가 매우 큰 특징을 가진다. 특성 해석은 편축식 선형유도전동기의 등가회로법에 의한 해석 방법을 사용하였다[5,6].

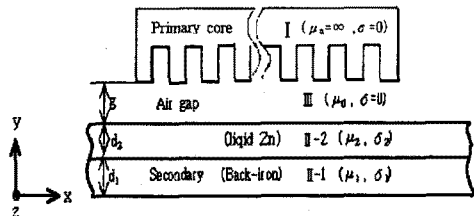


그림 2. 선형유도전동기의 해석 모델

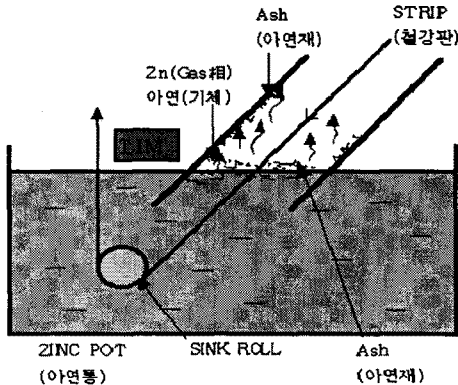


그림 1. 아연 도금 과정

LIM은 선형유도전동기의 1차측을 나타낸다. 용융 아연통의 온도는 400℃ 이상이며, 선형유도전동기 주변의 온도도 200℃ 이상의 고온으로 용융금속 표면과 선형유도전동기 사이의 공극이 일반적인 경우보다 충분히 커야 된다. 또한 용융 아연의 도전율 및 투자율이 낮아 2차측 전류와 공극자속밀도가 매우 낮으리라 예상

2.1 표면전류 밀도

그림 2의 영역 I에서 전류는 1차 표면전류로 가정하고 z방향으로만 흐르며 그 크기는 x방향으로 정현적으로 변화하면서 동기속도 V_s 로 이동한다면, 표면전류밀도 j_1 (A/m)는 다음식과 같이 표현할 수 있다[5].

$$j_1 = J_m \exp[j(\pi/\tau)(V_s t - x)] \\ = J_m \exp[j(\omega t - (\pi/\tau)x)] \quad (1)$$

여기서, J_m 은 표면전류밀도의 최대치로 다음과 같다.

$$J_m = 2\sqrt{2}m \frac{k_w N_{ph}}{p\tau} I_1 \quad (2)$$

단, m 은 상수, I_1 은 상전류의 실효치, k_w 는 권선계수, 그리고 N_{ph} 는 1상의 직력 turn수이다.

2.2 공극자속 밀도

그림 2의 해석모델에 대한 2차원 지배방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial^2 A_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A_z}{\partial y^2} = \mu \sigma \left\{ \frac{\partial A_z}{\partial t} + (1-S) V_s \frac{\partial A_z}{\partial x} \right\} \quad (3)$$

이식을 풀어서 각 영역 사이의 자속밀도의 수직성분의 연속성 및 자계 세기의 법선성분의 연속성을 적용하여 풀면 공극자속밀도의 최대치 B_m 은 다음과 같이 구해진다(5-7).

$$B_m = 2\sqrt{2}m I_1 \frac{k_w N_{ph}}{p\tau} \mu_0 \times \sqrt{\frac{\cosh \frac{\pi}{\tau} (g_e + d_2 a_2) + \cosh 2 \frac{\pi}{\tau} d_2 \beta_2}{\cosh \frac{\pi}{\tau} (g_e + d_2 a_2) - \cosh 2 \frac{\pi}{\tau} d_2 \beta_2}} \quad (4)$$

2.3 등가회로 정수 및 특성고찰

단부효과를 고려한 선형유도전동기의 1상 등가회로는 그림 3과 같다.

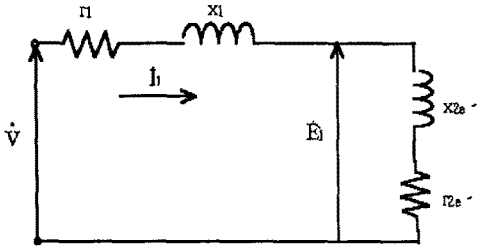


그림 3. 선형유도전동기의 1상 등가회로

여기서, 1차 임피던스 및 등가 2차 임피던스는 다음과 같이 주어진다(6,7).

$$r_1 = \frac{2 N_{ph} \rho_1 l_a}{a A_c} \quad (5)$$

$$x_1 = 16mfh \frac{(k_w N_{ph})^2}{p} \times 10^{-7} \quad (6)$$

$$r_{2e'} = k_{e1} r_{2e}$$

$$x_{2e'} = k_{e2} x_{2e} \quad (7)$$

등가회로 정수에 기초한 추력 F_x , 효율 η , 역률 $\cos \varphi$ 은 다음과 같이 주어진다(5).

$$F_x = P_{el} / V_s = m r_{2e} I_1^2 / V_s \quad (8)$$

$$\eta = P_o / P_1 = (1-s) r_{2e}' / (r_1 + r_{2e}')$$

$$\cos \varphi = (r_1 + r_{2e}') / Z_1 \quad (9)$$

2.3 해석 결과 및 고찰

본 연구에서 적용된 LIM의 사양은 표 1과 같다.

표1. 해석 모델의 사양

선간전압[V]	220	슬롯깊이(mm)	47
주파수[Hz]	60	1상의직렬 turn수	480
극수	6	반코일 길이(mm)	190
극간격(mm)	72	1차 저항[Ω]	2.3522
1차철심적축폭(mm)	100	1차누설리액턴스[Ω]	8.524
슬롯폭(mm)	88	용융아연도전율(S/m)	2.71×10^6
치폭(mm)	32	고체아연도전율(S/m)	1.7×10^7
1차축길이(mm)	500	고체주석도전율(S/m)	9.9×10^6

그림 4는 슬롯 1일때의 자속분포도이고, 그림 5는 이때의 공극자속밀도이다.

그림 5와 6으로부터 2차측에서 와전류에 의한 영향을 알 수 있으며 공극자속밀도가 500[Gauss]이하로 극히 낮음을 알 수 있다.

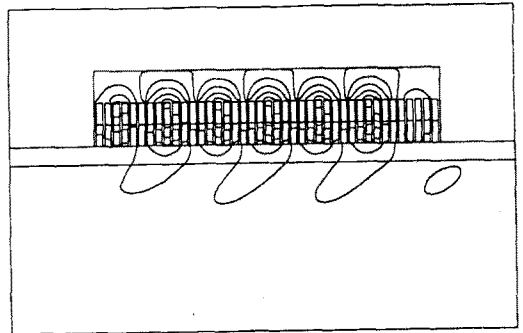


그림 4. 자속분포

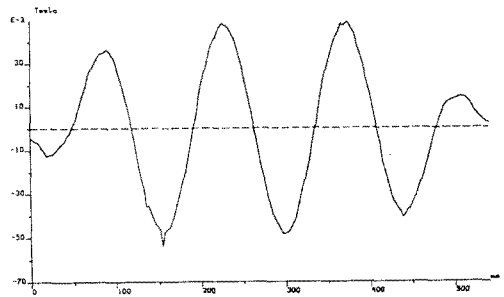


그림 5. 공극 중앙에서의 자속밀도(y성분)

그림 6은 공극에 따라 2차측 금속의 도전율과 공극에 따른 추력 특성을 나타낸다. 해석 결과 2차측의 도전율과 공극이 작을수록 추력값이 작아짐을 알 수 있다.

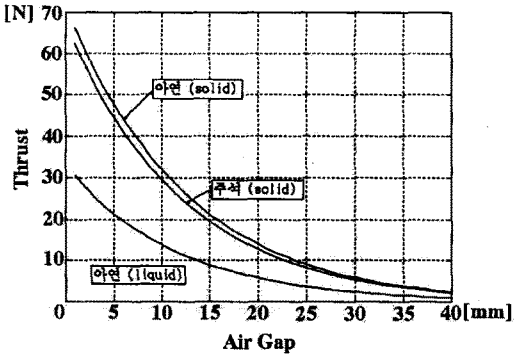


그림 6. 공극에 따른 추력

그림 7은 Back-iron을 20[mm]로 일정하게 두고 2차측의 도전율과 2차측의 길이의 변화에 따른 추력특성을 해석한 것이다. 그림으로부터 2차측 길이가 클수록 추력값이 적어지며 공극100[mm]이상에서는 길이의 변화에 대한 추력 변동이 거의 없음을 알 수 있다.

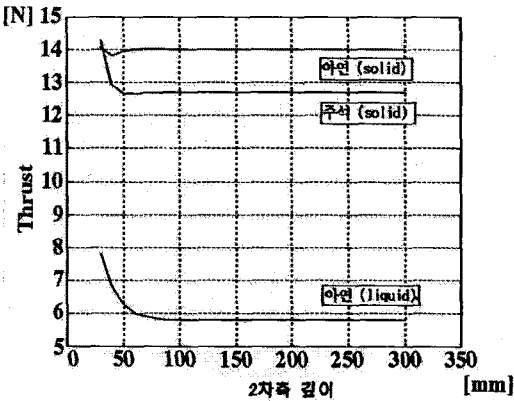


그림 7. 2차측 길이에 따른 추력

그림 8은 2차측의 도전율 및 슬립 변화에 대한 추력 특성을 나타낸다. 슬립이 작을수록 추력이 작아지는 수하 특성을 나타내었다.

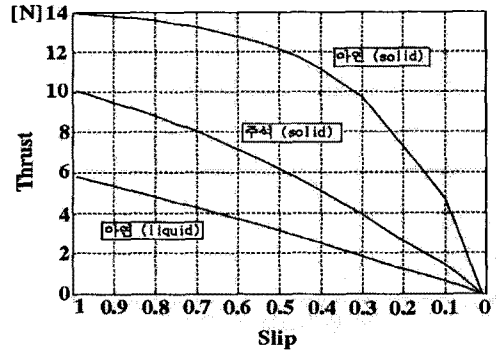


그림 8. 슬립에 따른 추력

3. 결 론

본 논문에서는 용융 금속 이송용 선형유도전동기의 특성 해석에 대하여 검토하였다. 용융금속의 도전율과 금속통의 깊이에 따라 발생하는 전자력을 등가회로법을 이용하여 해석하였다. 해석결과 공극 및 2차측의 깊이가 매우 커서 공극 자속밀도가 0.1[T]이하로 매우 낮고, 2차측의 도전율이 용융 아연의 경우 구리의 1/20이하로 매우 낮아서 슬립 1에서의 전자력이 약 6[N]으로 계산되었다. 본 연구결과는 현재 제작중인 실험기의 실험 결과와 비교하여 평가한 후 실기 제작시 설계 자료로 사용할 예정이다.

(참 고 문 헌)

- [1] K. Fujisaki, J. Nakagawa, H. Misumi, "Fundamental characteristics of molten metal flow control by linear induction motor", IEEE Transactions on Magnetics, vol.30, no.6, pp.4764-4766, 1994.
- [2] 장석명, 우종섭, 김형규, "원자로 냉각재 이송을 위한 평판형 리니어 유도펌프의 설계", 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp.10-12, 1998.
- [3] 김희령, 남호운, 김용근, 최병해, 김중만, 황종선, "간열제거용 40 l/min급 환단면 선형유도전자펌프의 설계", 전기학회 추계학술대회 논문집, pp.13-15, 1998.
- [4] 리니어모터 응용핸드북, 세화출판사, 1988.
- [5] 임달호, 이철직, 박승찬, "등가회로법과 SUMT를 이용한 편축식 선형유도전동기의 설계변수 최적화", 대한전기학회 논문집, vol.42, no.5, pp.340-343, 1993.
- [6] S. Nonaka, T. Higuchi, "Approximate equations for calculation of characteristics of the single sided linear induction motors", vol.102, no.9, pp.1-8, 1982.
- [7] S. Nonaka, K. Yoshida, "Equivalent circuit quantities and equations for calculation of characteristics of double-sided linear motors", JIEEJ, vol.90, no.5, pp.128-137, 1970.