

용융금속 이송용 편축식 선형유도전동기의 설계 및 해석

김창업* · 홍성욱* · 김성원* · 심동준**
 *호서대학교 전기공학과 · **포항산업과학연구소

Analysis and Design of the Single-sided Linear Induction Motor for Transferring Molten Metal

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

Abstract - This paper presents the design and characteristics analysis of a linear induction motor applied to molten metals.

A linear induction motor is designed to increased to thrust and is applied to the experimental instrument. The experiment shows the availability of the LIM for transferring the molten metals.

이 모델이 가지는 특징중의 하나로 2차측의 용융금속 부분인 II-2의 d₂값을 들 수 있는데, 이 영역이 다른 영역들에 비하여 매우 크게 된다. 그러나 이 때의 추력 특성은 깊이가 어느 정도 커지면 일정한 값으로 수렴하면서 유지되었다(3).

2.1 등가회로 해석

그림 2는 용융금속 이송을 위한 편축식 선형유도전동기의 등가회로이다. 본 설계에서는 입력전압을 3상 220[V]로 설계하였다. 여기서 r₁, x₁은 1차권선저항과 리액턴스이고, r_{2e}'과 x_{2e}'은 단부효과를 고려한 등가 2차저항과 리액턴스이다(3-5).

1. 서 론

선형유도전동기는 비접촉 이송 특성으로 인해 폭발성 용융금속을 밀폐해서 이송시키는 원자로의 냉각 매체용 순환 펌프, 제철소 주조공장에서 주철, 알루미늄, 동합금의 주탕 장치등에 이용되고 있다(1-2).

본 논문은 비접촉 용융금속 이송용으로 1차 제작된 선형유도전동기 특성을 개선하기 위한 2차 시작기의 설계에 대해 기술하고 이를 실험에 적용한 결과를 나타내었다. 1차 시작기에서 공간적인 제약으로 적층폭을 줄이고 추력을 향상시키기 위해서 극수, 적층폭 등을 변수로 하고 최대 추력이 발생할 수 있게 선형유도전동기를 설계, 제작하였다. 설계 특성은 기존의 설계치 보다 구속시 추력이 약2.1배 증가하고 폭은 20% 줄어들었다. 제작된 시험기에 대해서 용융금속 이송용으로 실험장치를 구성하고 용융점이 낮은 용융주석에 대해서 실험하였다.

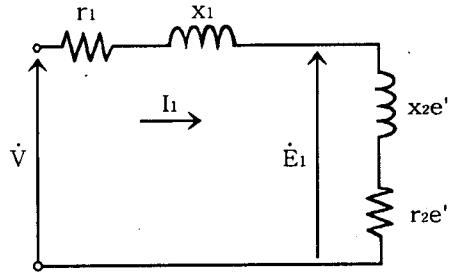


그림 2. 편축식 선형유도전동기 1상 등가회로

2. 편축식 선형유도전동기의 특성 해석

그림 1은 편축식 선형유도전동기의 1차측 철심, 용융금속과 주탕을 2차측으로, 하는 해석모델이다.

등가회로 정수를 이용한 특성식은 다음과 같다(3-5).

$$F_x = m V_1^2 r_{2e}' / v_s Z_1^2 \tag{1}$$

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

$$\eta = P_0 / P_1 = (1 - s) r_{2e}' / (r_1 + r_{2e}') \tag{3}$$

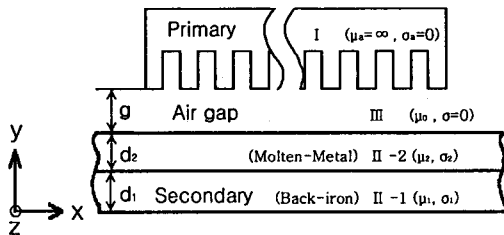


그림 1. 편축식 선형유도전동기의 해석 모델

3. 편축식 선형유도전동기의 설계

편축식 선형유도전동기를 사용하여 용융금속을 이동시키는 것은 뜨거운 금속과 직접 접하는 부분이 없다는 점에서 다른 전자기펌프에 비하여 설치 및 운전, 보수가 용이하다. 때문에 본 연구에서도 이를 이용한 용융금속의 이송시의 특성을 고려하여 설계를 하였다.

3.1 설계조건

기본설계에 대한 설계변수들을 가지고 몇가지 제약조건에 대하여 최적설계를 하였다. 먼저 편축식 선형유도 전동기가 설치되는 장소에 대한 제약조건으로, 전동기의 길이(L), core의 적층폭(h)이 각각 최대 500 [mm]와 100[mm]이므로 이에 대한 조건 내에서 전류밀도가 $5.5[A/mm^2]$ 를 넘지 않게 슬롯 폭, 치 폭, 슬롯깊이, coil의 직경, fill factor, core의 적층폭, 극수, 매극 매상의 슬롯수를 변수로 하여 여러 가지 급속의 도전을 (σ)를 가지고 최대의 추력이 나오도록 설계를 하였다.

3.2 설계사양 선정

편축식 선형유도전동기를 기초설계시의 6극에서 4극으로 극수를 바꾸었다. 길이를 500[mm]내외로 한정하고 슬롯의 모양을 고정시킨 상태에서 극수를 바꾸었기 때문에 매극매상의 슬롯수를 2에서 3으로 바꾸었고 β 값을 5/6에서 7/9로 바꾸었다. 이로 인하여 슬롯의 수는 41에서 43으로 2슬롯 증가하였으나, 전체적인 길이는 519.2[mm]로 제한길이보다 약간 증가하여 이대로 설계를 하였다.

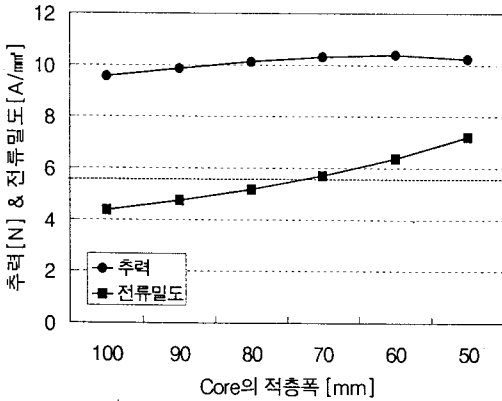


그림 3. Core의 적층폭에 따른 추력과 전류밀도

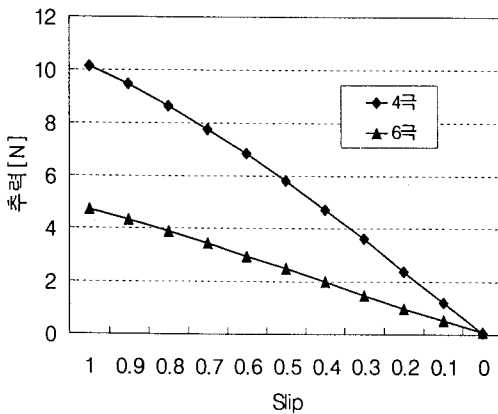


그림 5. Slip에 따른 추력 (6극, 4극)

여기서 coil의 직경이 1[mm]가 넘어가면 전류밀도가 제한치인 $5.5[A/mm^2]$ 를 넘는다. 따라서 본 설계에서는 coil의 직경을 1[mm]인 것을 사용하였다.

또한 그림 3에서와 같이 core의 적층폭을 변화하면서 추력과 전류밀도를 보면 80[mm]까지는 줄여도 전류밀도가 허용범위 내에 수렴 할 수 있음을 알 수 있다. 전동기의 설치공간이 그리 넉넉하지 못하기 때문에 크기가 작아지면 유리하다. 앞에서 언급한 제반 사항들에 대한 설계로 인하여 발생 추력이 6극 일때의 4.73[N]에서 10.13[N]으로 증가하였다.

표 1. 전동기 설계사양

	기본설계사양	최대추력을 고려한 설계사양
선간전압[V]	220	220
주파수[Hz]	60	60
극수	6	4
슬롯수	41	43
매극매상의 슬롯수	2	3
극간격[mm]	72	108
슬롯깊이[mm]	47	47
슬롯폭[mm]	8.8	8.8
치폭 [mm]	3.2	3.2
1상의 직렬 turn수	480	480
반코일의 길이[mm]	190	206
1차저항[Ω]	3.0967	3.3575
1차누설리액턴스[Ω]	8.5240	8.1145
용융주석도전율[Ω/m]	2.2×10^7	2.2×10^7
1차축길이[mm]	495.2	519.2
1차축 적층폭[mm]	100	80
기계적 공극[mm]	20	20

위와 같이 제약에 의한 설계를 통하여 편축식 선형유도 전동기를 제작한 것이 아래 그림 5이다.

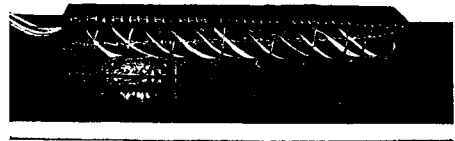


그림 6. 편축식 선형유도 전동기 (4극)

4. 실험 및 고찰

용융금속 이송실험을 위해서 용융온도가 비교적 낮은 주석을 이용하여 이송 실험을 하였다.

4.1 선형유도전동기 구속실험

그림 6은 1차 시작기의 구속실험 결과이다. 알루미늄과 back-iron으로 구속시험을 하였다(6). 여기서 계산식에 의한 값과 실험값이 거의 일치함을 알 수 있다.

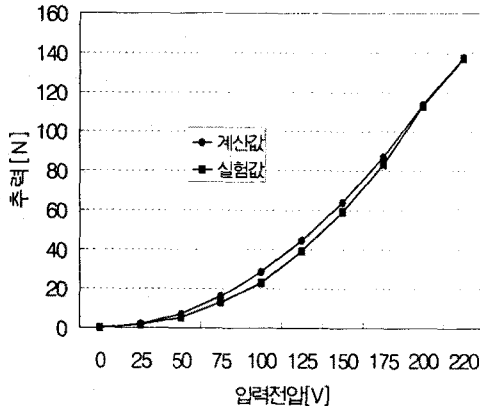


그림 7. 구속시험에서의 추력값 (6극)

4.2 용융금속 이송실험

실험장치는 아래 그림7과 같이 아래쪽에 금속을 녹일 수 있는 주탕을 설치하고 그 위쪽에 편축식 선형유도전동기 2대를 나란히 설치하여 용융금속 위에 일정한 공극을 유지 또는 조정 할 수 있게 하였다.



그림 8. 용융금속 이송실험장치

위의 그림과 같이 설치된 실험장치에서 용융금속과의 공극을 20(mm)로 유지하였을 때 추력을 받아서 빠르게 움직이는 것을 볼 수 있었다. 그림 8은 실험중인 장치의 사진이다. LIM 아래부분에서 용융금속의 흐름을 볼 수 있었다.

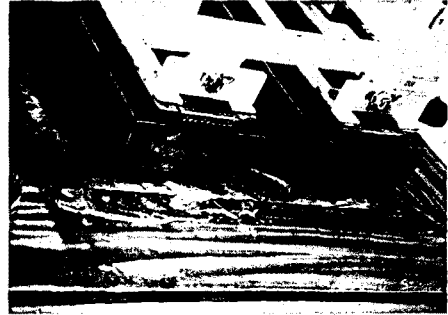


그림 8. 용융금속의 이송실험

5. 결 론

용융금속의 이송을 위한 편축식 선형유도전동기의 특성을 고찰하고 그에 대하여 설계를 하였으며, 실기를 제작하여 이송실험을 하였다. 실험결과 용융금속 이송 목적으로 선형유도전동기의 적용 가능성을 확인하였다. 본 모델의 경우 6극과 4극에 대한 구속시 추력특성에서 4극쪽이 추력값이 크고, core의 적층폭을 줄일 수 있어서 공간적 제약이 있는 위 과제의 목적에도 부합하였다. 그러나 이와 같은 선형유도전동기는 2차측이 solid상태가 아니고 liquid상태인 점에서 전자기적 현상뿐 아니라 유체역학적 현상을 고려해야 하므로 해석은 더욱 복잡해진다. 향후 유체의 이동현상을 고려한 해석 및 측정 방법에 대한 연구를 진행할 예정이다.

(참 고 문 헌)

- (1) 장석명, 우종섭, 김형규, "원자로 냉각재 이송을 위한 평판형 리니어 유도펌프의 설계", 대한전기학회추계학술대회논문집, pp.10-12, 1998.
- (2) 장석명, 김형규, "MHD 기기의 전자기적 특성 고찰" 대한전기학회추계학술대회논문집, pp.266-268, 1998.
- (3) 김성원, 홍성욱, 김창업, 심동준 "용융아연 이송용 선형 전자기 펌프의 특성에 관한 연구", 대한전기학회추계학술대회논문집, pp.142-144, 1999.
- (4) S. Nonaka & K. Yoshida, "Equivalent Circuit Quantities and Equations for Calculation of Characteristics of Double-sided Linear Motors", J.I.E.E.J, Vol.90, No.5, pp.128-137.
- (5) K.Fujisaki, J. Nakagawa, H.Misumi, "Fundamental Characteristics of Molten Metal Flow Control by Linear Induction Motor", IEEE Transactions on Magnetics, Vol.30, pp.4764-4766, 1994.
- (6) 김규탁, 강규홍, 최태희, 이준규, "구속시험에 의한 선형 유도전동기의 등가회로정수산정 및 특성 계산", 대한전기학회 논문집 Vol.43, No.4, pp.580-585, 1994.