전자력과 유동방정식을 결합한 전도성 용융금속의 유동특성 해석 및 실험

논 문
58-7-11

Analysis of Flow Characteristics and Experiment of Conductive Liquid Metal Coupling Lorentz Force with Fluid Equation

전 문 호* · 이 석 원** · 김 창 업†
(Mun-Ho Jeon · Suk-Won Lee · Chang-Eob Kim)

Abstract - This paper presents the flow characteristics in the fluid circulation loop using the tubular type linear induction motor(TLIM) electromagnetic pump. A TLIM pump was designed using the equivalent and genetic algorithm for the flow system of 40[l/min]. The flow characteristics are analyzed by coupling the Maxwell equations with the Navier-Stokes equation. The analysis algorithm also takes account of the effects of the thrust. The flow characteristics are analysed with the proposed method and compared with the commercial program and experiment and discussed.

Key Words : Tubular linear induction motor, Electromagnetic pump, Flow characteristics

1. 서 론

자기유체역학(MHD) 현상을 이용한 전자기기는 2차 측 도체가 이온 가스나 액체 금속으로 대체된 것으로서 발전기와 펌프로 분류될 수 있다. 전자 펌프는 Faraday에 의해 처음 고안된 이후 1900년대 초 액체금속을 이송하기 위한 용도로 이용되기 시작하였다. 전자 펌프의 본격적인 개발은 1928년 Einsterin과 Szilard가 수은과 소듐 및 포타슘과 같은 알카리 금속을 이송하기 위한 펌프개발 이후, Feld와 Szilard에 의해 1942년 전자 펌프 설계 방정식이 정립되었다[1]. MHD 현상을 이용한 전자 펌프는 일반 전동기와 같이 전류와 자속의 상호 작용에 의해 힘이 발생한다. 전자 펌프에서의 힘이 도전성을 가진 액체 금속에 직접 작용함으로서 기계식 펌프와는 달리 회전 날개 부분이 없고, 베어링의 마모가 없으며 장치가 단순하게 되며, 주로 주조 및 정련산업에 사용된다[2].

전자 펌프는 전자력을 발생시키는 방식에 따라 전도형과 유도형으로 분류된다. 전도형 전자 펌프의 경우 외부 전원에 의해 액체 금속과 접촉하고 있는 전극을 통해 유체 내에 직접 전류를 흘려주고 별도의 자기장을 걸어준다. 유도형 전자 펌프는 전극 없이 액체 금속 내에 전류를 유기시켜 하나의 전원 장치로 전류와 자기장을 얻을 수 있다. 유도형 전자 펌프에서 액체 금속이 이동하는 원리를 살펴보면, 유동관 내부에 흐르는 액체 금속에 대하여 1차 측에 흐르는 전류와 수직하게 자기장이 발생하고, 유동관 내 축 방향으로 액체 금속에 구동력이 발생하게 된다. 이 힘에 의해 전도성 액체 금속이 전자력에 의해서 이동하게 된다.

MHD 유동의 연구는 오랜 기간 지속되어 왔으나 실용화는 아직 활발하지 않은 편이다. 최근 야금술에서 전자기 제동을 위한 불균질한 자기장에서의 유동해석, 자기장 내 용융금속의 현상 해석, 전자기장을 이용한 불투명한 용융금속의 균질한 제조와 특성해석, 자기장 단층 X선 사진법을 기초로 한 비접촉 경계 유동현상을 결정하는 기술개발 등 MHD 유동의 물리적 특성을 해석하기 위해 전자력과 유동방정식을 결합하는 연구가 크게 대두되고 있다[3]. 또한 자기장에 의한 MHD 가속장치[4], MHD영향에 의한 혈액유동에 관한 연구[5], MHD 펌프에서 자속밀도가 온도와 속도분포에 미치는 영향[6]등 여러 분야에서 연구가 진행되고 있다. 그러나 이러한 연구진행의 구체적인 내용과 해석 방법론에 대해서는 파악하기 쉽지 않아 자체적으로 개발할 필요성이 있다.

본 논문에서는 전자 펌프의 전자력과 유동방정식을 하나의 방정식으로 결합하여 해석하는 방법을 제시하였다. 전자 펌프는 원통형 선형유도전동기(TLIM: Tubular Linear Induction Motor)를 이용하였으며, TLIM은 장하분배법과 유전알고리즘을 이용하여 설계하였다. 본 논문에서는 전자 펌프의 유량이 40[l/min]가 되도록 설계하고 시스템의 유동특성을 해석하였다. 해석 결과를 검증하기 위하여 상용프로그램인 FLUENT와 실험을 행하였다. 그 결과 FLUENT와 해석은 유사한 속도분포를 얻었고, 실험과 해석과는 오차가 있음을 확인하였다. 실험과 해석과의 오차는 실험 장치의 제약과 유동관의 불균일한 온도에 의한 용융금속의 물성 값 변화에 의한 것으로 사료된다.

† 교신저자, 정회원 : 호서대 전기공학과 교수
E-mail : cekim@hoseo.edu
* 정 회 원 : 호서대 전기공학과 박사과정
** 정 회 원 : 호서대 시스템제어공학과 교수
접수일자 : 2009년 2월 24일
최종완료 : 2009년 6월 1일

2. 전자펌프용 TLIM

2.1 TLIM 설계

그림 1은 TLIM을 축방향으로 자른 형상과 변수를 나타내며, 표 1은 40[l/min]의 유량을 만족하기 위한 TLIM의 설계변수를 나타낸다. TLIM은 장하분배법과 유전알고리즘을 이용하여 설계하였다[7].

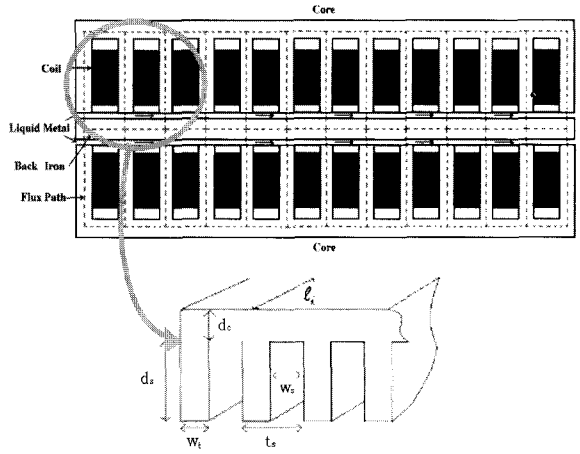


그림 1 TLIM 형상과 변수
Fig. 1 Design of Primary core

표 1 TLIM 설계 값
Table 1 TLIM design parameter

명칭 및 단위			1차측 철심 설계값
기계적 설계	슬롯폭(W_s)	[mm]	22
	슬롯 깊이(d_s)	[mm]	27
	치 폭(W_t)	[mm]	7
	슬롯 피치(t_s)	[mm]	29
	계철의 높이(d_c)	[mm]	12
	1차측 코아적층폭	[mm]	31
	펌프 길이(L)	[mm]	348
	1차측 코아직경	[mm]	124.5
	2차측 코아직경(D_2)	[mm]	46.8
	2차측 유체두께	[mm]	5.2
	2차측 덕트재질두께	[mm]	1.65
	자극 피치(τ)	[mm]	174
	슬롯폭/슬롯피치(k_t)		0.58
	슬롯수		12
	상수(m)		3
	극수(P)		2
	도체의 점적률		0.6
	슬롯당 도체수	[turn]	85

2.2 등가회로법을 이용한 특성해석

전자 펌프의 등가회로는 그림 2와 같다. 여기서 2차측 누설리액턴스는 구조상 거의 없으므로 생략하였다. 각각의 등가저항 및 리액턴스는 펌프의 기하학적 및 동작 변수로 이루어진 자기회로로부터 계산된 Laithwaite의 표준설계 식에 의해 식 (1)~(4)과 같이 표현된다[8].

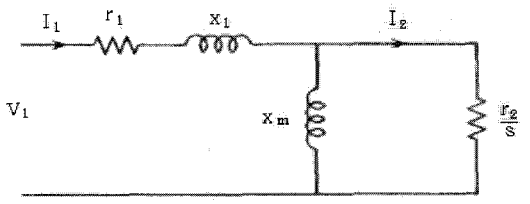


그림 2 전자펌프 등가회로
Fig. 2 Equivalent circuit of electromagnetic pump

$$r_1 = \rho_c \frac{l_c}{A_c} \tag{1}$$

$$x_1 = \frac{2\pi\mu_0 w D_0 \lambda_c N^2}{pq} \tag{2}$$

$$x_m = \frac{6\mu_0 w}{\pi^2}(k_w N)^2 \frac{\pi D_0}{pg} \tag{3}$$

$$r_2 = \frac{6\pi D}{\tau p}\rho_r'(k_w N)^2 \tag{4}$$

등가회로에서 2차측 액체금속에 유도되는 2차 전류 I_2는 식 (5)와 같고 전체 임피던스, 1차 전류, goodness facter는 각각 식 (6), (7), (8)로 나타난다. 1상에서의 구동전력은 식 (9)과 같고, 추력은 식 (10)으로부터 구할 수 있다.

$$I_2 = \frac{I_1}{\sqrt{\left(\frac{r_2}{s}\right)^2 + x_m^2}} \tag{5}$$

$$\begin{aligned} Z &= r_1 + jx_1 + \frac{1}{\frac{1}{x_m} + \frac{s}{r_2}} \\ &= r_1 + \frac{s r_2 x_m^2}{r_2^2 + s^2 x_m^2} + j\left(x_1 + \frac{r_2^2 + x_m}{r_2 + s x_m^2}\right) \end{aligned} \tag{6}$$

$$I_1 = \frac{V_1}{Z} \tag{7}$$

$$G = \frac{r_2}{x_m} \tag{8}$$

$$P_d = F_x(1-s)U_s = I_2^2 r_2 \frac{1-s}{s} \tag{9}$$

$$F_x = \frac{I_1^2 r_2}{s U_s\left[\frac{1}{(sG)^2} + 1\right]} \tag{10}$$

등가회로법을 이용하여 구한 추력은 슬립이 1일 때 72.8[N]이고, 슬립이 0.96일 때 69.6[N]이다. 그림 3은 슬립변화에 따른 추력특성과 효율, 역률 곡선이다. 표 2에 등가회로법으로 해석한 결과를 나타내었다.

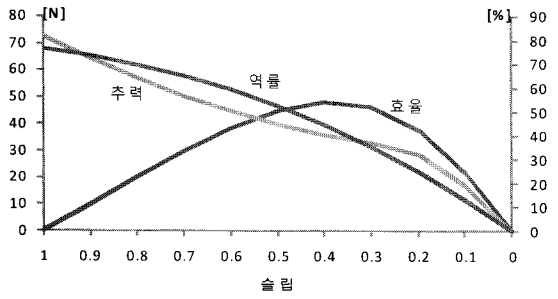


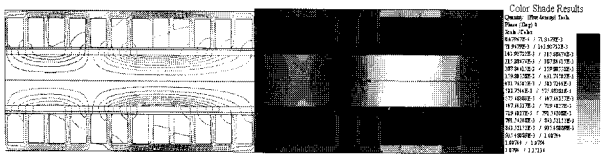
그림 3 슬립에 따른 추력, 역률, 효율 곡선
Fig. 3 Thrust, efficiency, power factor vs. slip

표 2 TLIM 해석 결과
Table 2 Characteristics of TLIM

명칭 및 단위			해석값
수력학적 변수	유량율(Q)	[l/min]	40
	유속(U)	[m/s]	0.78
	구동압력($\triangle P$)	[bar]	0.44
	슬립(s)	[%]	96
전기적 특성	입력전원	[V]	220
	입력주파수	[Hz]	60
	치의 자속밀도(B_t)	[T]	0.44
	공극 자속밀도(B_g)	[T]	0.18
	전류밀도(J_1)	[A/mm^2]	1.3
	1차전류(I_1)	[A]	5.2
	1차저항(r_1)	[Ω]	0.4
	1차누설리액턴스(x_1)	[Ω]	1.07
	2차저항(r_2)	[Ω]	29.2
	자화리액턴스(x_m)	[Ω]	36.6
	출력	[W]	58.5
	Goodness factor(G)		1.25
	효율	[%]	3.7
	역률	[%]	75
	추력	[N]	69.6

2.3 유한요소법을 이용한 특성해석

등가회로법에 의한 설계값을 검증하기 위해 유한요소법에 기초한 상용 프로그램인 Flux-2D를 이용하여 TLIM의 특성을 계산하였다. 슬립이 1일 때 유한요소법에 의해 구한 추력은 77[N]으로 최적설계 사양으로부터 계산된 추력 72.8[N]과 거의 일치함을 알 수 있었다. 또한 공극자속밀도 0.18[T], 치자속 밀도 0.44[T]를 얻었다. 그림 4는 전자펌프의 자속분포와 자속밀도 분포를 보여준다.



(a) 자속 분포 (b) 자속밀도 분포

그림 4 전자펌프의 자속 및 자속밀도 분포
Fig. 4 Flux distribution and flux density of TLIM

3. 유동 특성 해석

3.1 전자력을 고려한 유동방정식

전자력이 있을 때 액체금속의 유동 특성은 다음과 같은 세 가지 방정식을 만족하여야 한다. 전자 펌프에서 발생하는 Lorentz force, 전자력을 고려한 수정된 유체방정식(Navier-Stokes Equation) 및 유동의 연속성을 나타내는 연속방정식을 동시에 만족하여야 한다.

Lorentz force Equation
$$\vec{f_L} = \vec{J} \times \vec{B} \tag{11}$$

Continuity Equation
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \vec{V} = 0 \tag{12}$$

Modified Navier-Stokes Equation
$$\rho\left[\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + (\vec{V} \cdot \nabla)\vec{V}\right] = -\nabla p + \mu_t \nabla^2 \vec{V} + \vec{F_L} \tag{13}$$

기존의 유체유동방정식에 Lorentz force를 추가함으로써 전자기장과 유동장을 결합하였다. 운동량 방정식으로부터 속도를 구하고, 연속방정식에서 압력을 구한다. 그러나 연속방정식에는 압력 항이 포함되어 있지 않기 때문에 운동량 방정식과 결합되어야 한다. 본 논문에서는 운동량 방정식과 연속방정식이 결합하는 해법으로 SIMPLE 알고리즘을 사용하였고 계산은 TDMA(Tri Diagonal-Matrix Algotithm)을 이용하였다[9]. 유동의 경계조건으로는 벽면에서의 no-penetration, no-slip조건과 함께 출구에서는 neumann 조건을 사용하였다. 해석에 사용한 금속은 용융 우드메탈을 사용하였고, 물성 값은 표 3에 나타내었다. 그림 5는 유동해석 영역, 그림 6은 TLIM의 추력이 각각 10[N], 40[N], 77[N]일 때 유동관 내 속도 분포에 대한 유동해석 결과이다. 그림 6에서 보는 바와 같이 벽면에서의 유속은 no-slip 조건에 의해 0이고, 중앙으로 갈수록 벽면과의 마찰이 작아지기 때문에 유속이 커진다. 레이놀즈수가 2,300미만 일 때 층류, 4,000초과를 난류라 하는데 계산 결과 레이놀즈수는 10[N]에서 34.8, 40[N]에서 164.4, 77[N]일 때 283.2로 층류이며, 해석 결과로도 층류유동임을 알 수 있었다. 용융우드메탈의 평균유속은 TLIM의 추력이 10[N]일 때 0.08[m/s], 40[N]일 때 0.41[m/s], 77[N]일 때 0.7[m/s]를 얻었다.

표 3 용융우드메탈의 물성 값
Table 3 Properties of liquid wood metal

		단위	wood metal
구성(중량비)		[%]	Bi 50 Pb 25 Sn 15 Cd 10
밀도	ρ	[kg/m3]	9700 at 500K
동적점성도	v	[m2/s]	0.13
녹는점	T_m	[℃]	70
열전도율	k_h	[W/m℃]	15
비열	C_P	[J/(kg)(℃)]	0.18
전기전도율		[S/m]	1×10^6

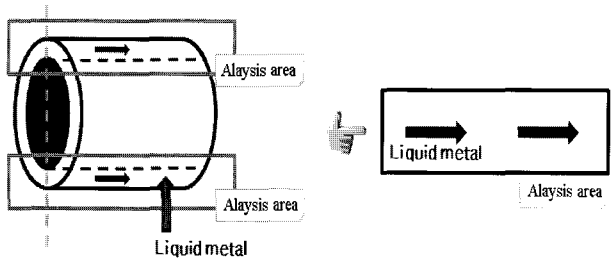


그림 5 환형관내의 유동해석 영역
Fig. 5 Analysis region of annular passage flow

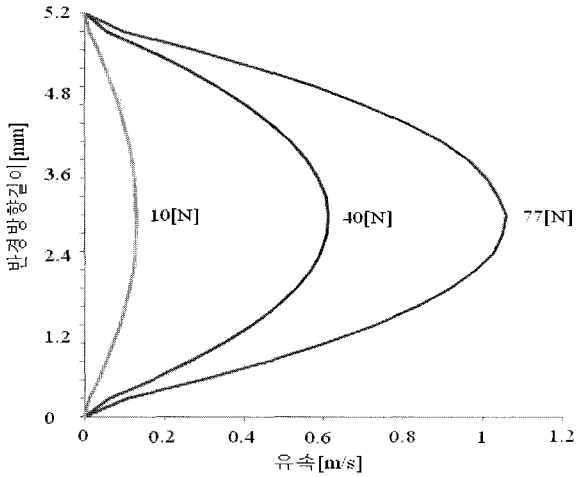


그림 6 추력에 따른 유속 해석
Fig. 6 Velocity analysis for TLIM thrust

3.2 상용프로그램에 의한 해석결과 검증

본 논문에서 해석한 결과의 검증을 위해 상용프로그램인 FLUENT를 이용하여 해석하였다. 전자력이 유동관 내 유체에 영향을 줄 때 유체에 유동이 발생하면서 압력 강하가 형성된다. 따라서 전자 펌프의 전자력에 의해 발생한 압력 강하의 값을 FLUENT에 적용하여 해석하고 비교하였다. 이때 모든 조건은 동일하게 했으며, 유동은 완전발달된 상태라고 가정하였다. TLIM의 추력이 10[N], 40[N], 77[N]일 때의 압력강하 값을 주어 해석한 결과를 표 4에 나타내었다. 본 연구에서 개발한 해석 값과 FLUENT에 의해 해석한 값은 40[N] 이상에서는 오차가 거의 없으나 10[N]인 경우 약 5% 정도 있음을 확인하였다.

표 4 Lorentz force 변화에 대한 해석과 FLUENT 비교
Table 4 Comparison of analysis with FLUENT program

Lorentz force	10[N]	40[N]	77[N]
해석 [m/s]	0.087	0.41	0.7
FLUENT [m/s]	0.077	0.4	0.71

4. 실험 및 결과분석

본 연구에서 제안한 해석 방법을 검증하기 위하여 그림 7과 같은 실험 장치를 제작하였다. 실험 장치는 금속을 용융시키는 용융로와 용융 금속을 이송시키는 전자 펌프, 폐루프를 형성시키는 유동관으로 구성되어 있다. 전자 펌프의 입력 전압을 조절하는 슬라이닥스, 데이터 수집을 위한 데이터로거, 용융금속 산화를 방지하기 위한 아르곤 가스 및 전압, 전류를 측정하기 위한 전력 분석계를 그림 8에 나타내었다. 실험은 전자 펌프의 전압을 슬라이닥스로 0-220[V]까지 변화시키며 용융로에 장착되어 있는 확인 창을 통해 유동이 발생하는지 확인하면서 시행하였다. 전압을 서서히 올려 확인 창을 통하여 확인한 결과 0-69[V]까지 유동이 없다가 70[V]가 되면서 유동이 발생 하였다. 실험은 160[V]의 전압에서 용융우드메탈을 토출하여 토출량을 측정하고, 질량유량 및 유속을 계산하였다. 그림 9는 입력전압 160[V]에서 확인 창을 통하여 용융 우드메탈이 흐르는 모습이고, 그림 10은 토출되는 장면이다.

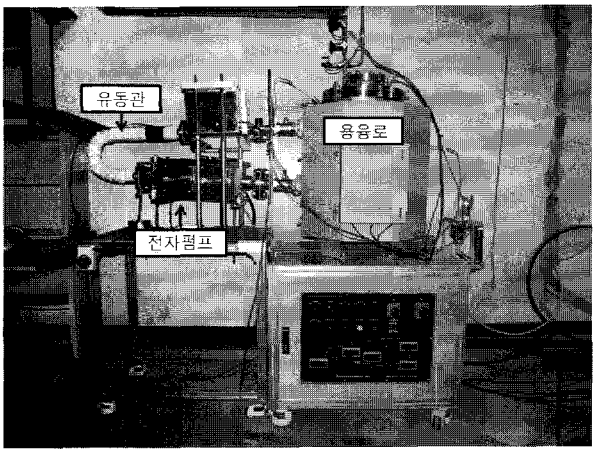


그림 7 전자펌프를 이용한 용융금속 이송장치
Fig. 7 Experiment system using electromagnetic pump

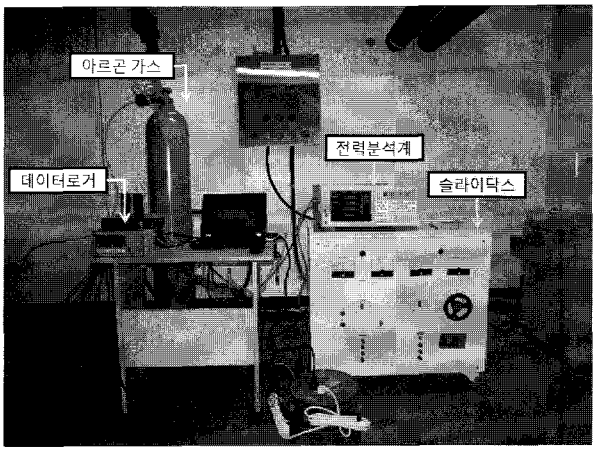


그림 8 실험용 계측 장치
Fig. 8 Measuring instruments for experiment

그림 9 용융우드메탈이 흐르는 모습(입력전압 160[V])
Fig. 9 Flow of liquid wood metal at input voltage 160[V]

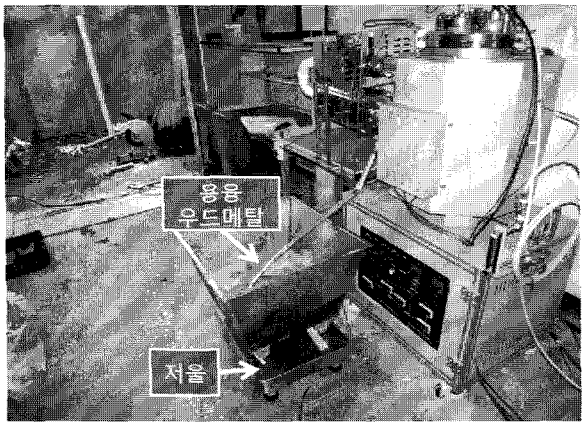


그림 10 용융우드메탈이 토출되는 모습(입력전압 160[V])
Fig. 10 Discharge of liquid wood metal at input voltage 160[V]

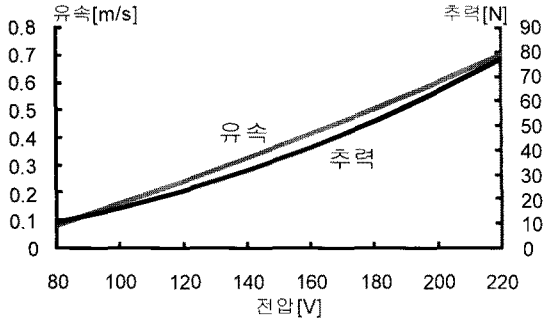


그림 11 입력전압에 대한 추력 및 유속
Fig. 11 Thrust and velocity vs. input voltage

그림 11은 전압에 따른 추력과 평균유속을 해석한 것이다. 그림 11로부터 추력에 의해 유속이 발생하며, 추력이 커질수록 유속도 추력에 비례하여 커지는 것을 알 수 있다. 실험은 입력전압 160[V]에서 용융 우드메탈을 토출하면서 토출중량을 시간별로 전자저울에 의해 측정하였다. 실험 결과 52초 동안 총 114.1[kg]의 용융 우드메탈이 토출되었다. 그림 13은 단위 시간당 질량 유량으로 2.0-2.8[kg/s]이며, 평균 질량유량은 2.4[kg/s]이다. 그림 14는 시간 변화에 대한 유속 변화로 0.34-0.24[m/s]이며, 평균 유속은 0.29[m/s]이다. 입력전압 160[V]에서 해석한 전자 펌프에 의한 평균유속은 0.41[m/s]이며 토출 실험에서의 초기유속은 0.34[m/s]로 해석 값보다 작았다. 실험값이 해석치보다 작은 원인은, 해석의 경우 배관이 항상 가득 차서 흐른다고 가정하였으나 실제 실험에서는 용융로에 있는 금속이 토출함에 따라 줄어들어서 발생 추력이 작아지는 데 기인하는 것과 유동관 내부 벽면에서의 마찰 및 유동관의 불균일한 온도 차에 따른 점성의 증가 등에 따른 것으로 사료된다. 따라서 해석 값과 실험 결과를 정확히 비교하기 위해서는 유체의 토출 실험 중에 유동 관이 만수가 되도록 유지하여야 하며, 유동관 내부 온도를 일정하게 유지시키는 기술을 보완할 필요가 있다. 또한 궁극적으로는 토출 실험 시 유체가 감소하는 실험 조건에 맞는 해석적 방법의 보완이 필요하다고 생각된다.

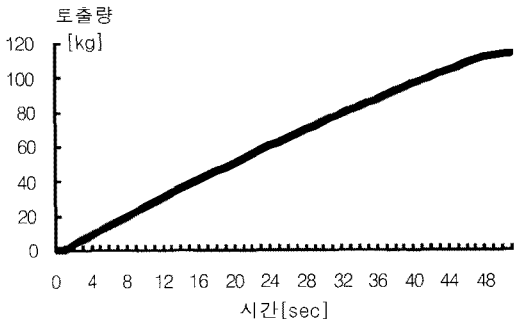


그림 12 입력전압 160[V]에서 시간에 따른 토출량 변화
Fig. 12 Discharge vs. time at input voltage 160[V]

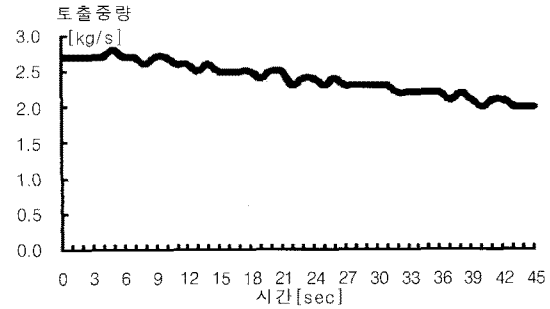


그림 13 입력전압 160[V]에서 토출중량 변화
Fig. 13 Flow rate vs. time at input voltage 160[V]

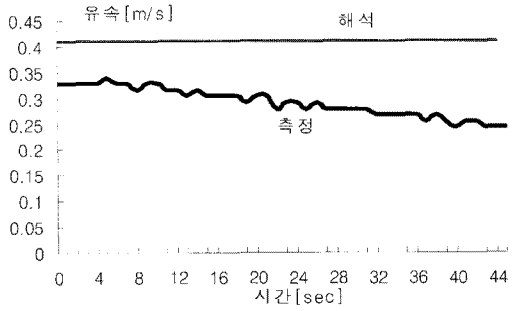


그림 14 입력전압 160[V]에서 시간에 대한 유속 결과
Fig. 14 Velocity vs. time at input voltage 160[V]

5. 결 론

본 논문은 TLIM 전자 펌프를 이용하여 도전성 용융 금속의 유동특성을 해석하기 위해 전자계 방정식과 유체방정식을 결합하여 해석 프로그램을 만들고 해석한 결과를 실험에 의해서 증명한 것이다. 유량을 40[l/min]를 이송하기 위한 TLIM 전자 펌프는 장하분배법과 유전알고리즘을 이용하여 설계하였다. 유체 특성을 해석하기 위해 Lorentz force와 유동방정식인 Navier-Stokes 방정식 및 연속방정식을 결합하여 전자력에 의한 유체의 유동 특성을 해석하였다. 제안한 방법을 검증하기 위하여 상용프로그램인 FLUENT를 이용하여 해석한 결과와 비교하여 만족할 만한 결과를 얻었다. 또한 실험 장치를 제작하여 실험에 의해 비교 분석하였다. 실험 결과 TLIM의 입력전압 160[V]에서 초기 만수 조건에서의 속도는 0.34[m/s], 평균 속도는 0.29[m/s]로 해석값 0.41[m/s]보다 낮게 나타났다. 실험값이 해석 값보다 작은 원인은, 해석의 경우 배관이 항상 가득 차서 흐른다고 가정하였으나 실제 실험에서는 용융로에 있는 금속이 토출에 따라 줄어들어서 발생 추력이 작아지는 데 기인하는 것과 유동 관 내부 벽면에서의 마찰 및 유동관의 불균일한 온도차에 따른 점성의 증가 등에 따른 것으로 사료된다. 따라서 정확한 실험을 위해서는 유체의 토출 실험에 따라 유체가 감소되는 양을 보충해주는 장치와 유동 관 내부 온도를 일정하게 유지시키는 기술을 보완할 필요가 있다고 생각한다. 향후 유동관의 조건과 토출 실험 시 유체가 감소되는 실험조건을 고려하여 보다 정확한 해석적 방법이 요구된다. 본 논문은 전자계와 유체를 결합하여 유체 특성을 해석하는데 기초 자료로 활용할 수 있으리라 사료된다.

참 고 문 헌

[1] 장석명, 우종섭, 김형규, "원자로 냉각제 이송을 위한 평편형 리니어 유도펌프의 설계", 대한전기학회 추계학술대회논문집, pp.10-12, 1998.

[2] E. R. Laithwaite, S. A. Nasar, "Linear-Motion Electrical Machines", Proc. IEEE, vol.58, no.4, pp.531-540, 1970.

[3] Brauer Hartmut, Halbedel Bernd, Karcher Christian, Kolesnikov Yuri, Luedtke Ulrich, Resagk Christian, Thess Andre, "Magnetic control of fluid flows- hot topics in magneto-fluid-dynamics", ICS Newsletter pp.3-12, 2008.

[4] Sukarsan, Makbul Anwari, and Nobuhiro Harada, "Performance Study of a Diagonal MHD Accelerator for Space Propulsion", IEEE, International Conference on Power and Energy, pp.1435-1440, 2008.

[5] GM Nijm, S Swiryn, AC Larson, AV Sahakian, "A 3D Model of Magnetohydrodynamic Voltages: Comparison with Voltages Observed on the Surface ECG during Cardiac MRI", Computers in Cardiology, pp.45-48, 2007.

[6] Azadeh Shahidian and Majid Ghassemi, "Effect of Magnetic Flux Density and Other Properties on Temperature and Velocity Distribution in Magnetohydrodynamic(MHD) Pump", IEEE, Tran. Magn., vol.45, no.1, pp.298-301, 2009.

[7] 김창업, 전문호, 권정태, 임효재, "TLIM 전자펌프를 이용한 전도성 용융금속의 유동특성 해석", 한국조명 전기설비학회, vol.22, no.12, pp.130-141, 2008.

[8] S.A.NASAR Linear motion electromagnetic systems, John wiley & Sons, 1985.

[9] Suhas V. Patankar, Numerical Heat Transfer And Fluid Flow, pp.126-133, 1980.

(부호 설명)

W_s : 슬롯폭
W_t : 치폭
h_i : 적층폭
t_s : 슬롯피치
d_c : 계철의 높이
r_1 : 1차측 권선 저항
x_1 : 1차측 누설리액턴스
x_m : 자화리턴스
r_2 : 2차측 유체(우드메탈) 저항
ρ_c : 코일 도체의 비저항
A_c : 코일 도체의 단면적
l_c : 상당 코일 길이
q : 상당 극당 슬롯수
m : 상 수
D_0 : 일차측 내경
N : 상당 코일 턴수
p : 자극 쌍 수
τ : 자극 피치
μ_0 : 공기의 투자율
ω : 각 주파수
k_w : 권선 계수
g : 유효 공극
D : 유체의 평균직경
ρ_r' : 유체의 표면 비저항
σ : 유체의 전기 전도도
d : 유체의 두께
$\overrightarrow{f_L}$: Lorentz force
$\vec{J}$: 전류밀도
$\vec{B}$: 자속밀도
$\vec{V}$: 2차측 유동 속도
μ_t : 점성계수
ρ : 2차측 용융금속의 밀도

저 자 소 개

전 문 호 (全 汶 鎬)

1976년생. 2002년 2월 호서대학교 전기공학과 졸업. 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동대학원 전기공학과 박사과정.

Tel : 041-540-5224
Fax : 041-540-5693
E-mail : munho76@daum.net

이 석 원 (李 錫 元)

1957년 6월 15일생. 1979년 서울대학교 전기공학과 졸업(학사). 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1990년~현재 호서대학교 시스템제어공학과 교수.

Tel : 041-540-5672
Fax : 041-540-5693
E-mail : swlee@hoseo.edu

김 창 업 (金 昌 業)

1960년생. 1983년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1990년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 한양대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1983년~1997년 (주) 효성중공업 기술연구소 책임연구원, 2000년~2001년 영국 Southampton 대학 방문연구(과학재단 Post-Doc). 1997년~현재 호서대학교 전기공학과 교수. 현재 대한전기학회 편집위원

Tel : 041-540-5657
Fax : 041-540-5693
E-mail : cekim@hoseo.edu