

# 용융상태 알루미늄 소재의 유동제어 및 재활용 기술

최우식\*(부산대 대학원 정밀기계공학과), 강충길(부산대 기계공학부)

English Title of The Paper (Times New Roman 12pt)

K. D. Hong(Dep. Mech. & preci. Eng., PNU), K. D. Kim(Mech. Eng. Dept., PNU)

## ABSTRACT

The fluid flow and thermal analysis were carried out by using the finite element program, Ansys. In analysis process, a electromagnetic analysis was accomplished. In afterwards, Fluid and thermal analysis was done. Fluid flow and heat could be produced by electromagnetic pump. In other words, A magnetic field which electromagnetic pump generates influences Liquid Material(Al alloy). This paper calculates the fluid flow and temperature distribution according to time. Using material is Al alloy(A356).

**Key Words** : Al Scarp(재활용 알루미늄 조각), electromagnetic pump(전자장 펌프), current(전류), phase(위상), fluid velocity(유속), temperature(온도)

## 기호설명

- i = current (A)
- ia, ib = Input current of coil (A)
- w = frequency of input current (Hz)
- t = time (sec)
- n = the number of coil turns
- A = cross section of coil (m<sup>2</sup>)
- $\pi$  = 3.141596
- p = Input degree (°)

## 1. 서론

전자장 펌프를 이용한 알루미늄 스크래프의 재생 방법은 직접화염으로 용해 하지 않고 Al용탕 내에서 용해되기 때문에 산화율 감소와 함께 용해온도를 낮추어 별도의 장비구입이 필요 없어 에너지 절감효과에 크게 기여한다. 알루미늄 스크래프 용해 장치는 Fig.1에서 보여주는 바와 같다. 펌프 제어 장치에서는 전자장펌프를 작동시키기 위한 전류가 제어 되고, Charge Well 부분은 고체상태의 알루미늄 스크래프가 투입 되며, 전자장펌프부분에서는 자기력이 발생하여 유동과 온도<sup>1</sup>에 영향을 미칠 것이다.

현재, 전자장펌프를 이용한 재활용장치에 관한

국내 연구는 거의 진행 되지 않았기 때문에 전자장 펌프에 대한 Data Base가 전후무후 한 상태이다. 또한, 전자장 펌프내의 열 유동현상을 실험적인 방법으로는 내부의 거동을 잘 알 수가 없으므로 해석을 통하여 Data Base확보를 할 필요성이 있다.

본 논문에서는 알루미늄용액 순환장치의 동력인 전자장 펌프 내에서 입력 전류의 위상차가 유동과 온도에 어떤 영향을 미치는 가를 해석 하였다.

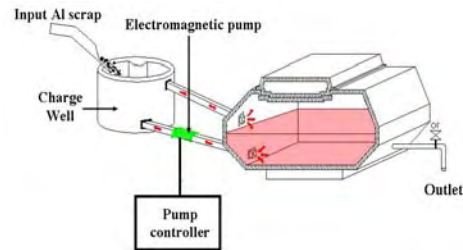


Fig. 1 The diagram of recycling equipment system with electromagnetic pump

자기장, 열, 유동해석을 위하여 상용 유한 요소 해석 프로그램인 Ansys를 이용하여 계산하였다. 해

석 결과는 추후에 최적의 자기력의 도출, 코일 냉각형태 및 냉각수 온도 결정에 활용 될 것이다.

## 2. 전자장 펌프의 해석 모델

### 2.1 전자장 해석을 위한 모델과 경계 조건

Fig.2는 Fig.1에 보여지는 위치에 있는 전자장 펌프의 3차원 모델이다.

Fig.3은 Fig.2의 2차원단면이고 각 부분의 명칭과 치수를 나타내고 있다. Fig.3 (a)는 전자석부분으로 코일(코일 단면적  $A=6.5e-4m^2$ ) 2개 코어 1개로 구성 되어 있다.

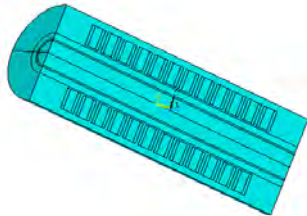


Fig. 2 Three dimensional model of electromagnetic pump(1/2 model)

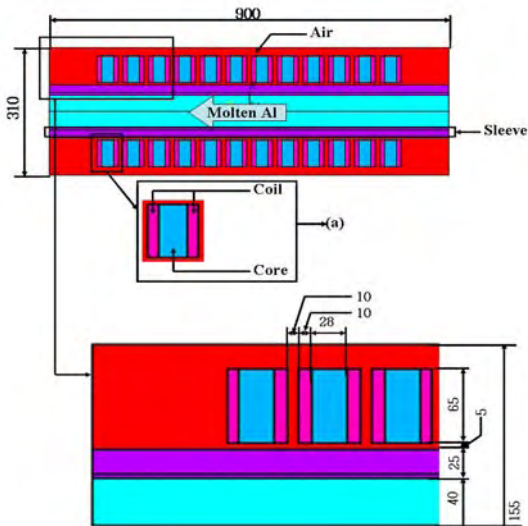


Fig. 3 Two dimensional model of electromagnetic pump(unit : mm)

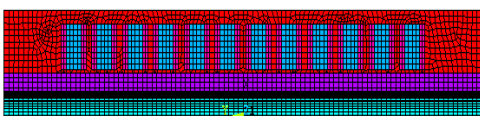


Fig. 4 Mesh model for magnetic field

Fig.4는 전자장 해석에 사용 될 부분을 Ansys프로그래밍으로 메쉬 모델을 한 것이다.

전자장 해석에서 경계조건은 소재, 코일, 슬리브의 구조적 특징을 이용하여 2차원 축대칭으로 하였다. 코일 부분에 입력되는 조건들은 출구 부분(Fig. 6 B)의 속도가 대략 4m/s이상 되도록 전류는 210A 코일 감은 수 2000회, 주파수 60Hz하였다.

Fig.5는 각각의 전자석을 (숫자)로 나타낸 것이다. (숫자)는 Table 1의 D(숫자)의 (숫자)부분을 표시 한다.

Table 1 Phase value of the current (unit: °)

	P(120°)
D(1)	0
D(2)	120
D(3)	240
D(4)	0
D(5)	120
D(6)	240
D(7)	0
D(8)	120
D(9)	240
D(10)	0
D(11)	120
D(12)	240

Table1은 전자장 해석을 위한 초기 조건으로 Fig.5의 각 전자석에 입력되는 위상각<sup>2</sup>을 나타내었다. P(120°)는 Fig.5의 전자석이 3개씩 4조((1)~(3), (4)~(6), (7)~(8), (9)~(12))를 이루어 한조가 되어 각각 360°를 형성하여 위상차가  $4 \times 360^\circ / 12 = 120^\circ$ 된다.

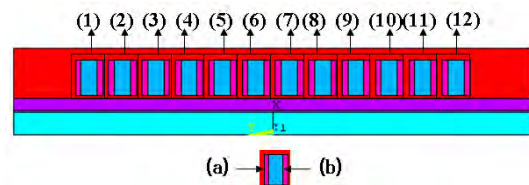


Fig. 5 2D Model of EMP(1/2)

입력식은 Fig.5의 각 전자석 부분의 (a)부분  $i_a = i \sin(\omega t + \pi D(\ ) / 180) n / 6.5e-4$  (b)는  $i_b = -i_a$ 이다. D( )는 Table 1의 D(숫자)의 위상각을 나타낸다.

### 2.2 열 유동 해석을 위한 모델과 경계 조건

Fig.6은 고온의 액체 알루미늄의 유동 해석을 위하여 B부분을 다시 디자인 하여 메쉬 모델을 한

것이다.

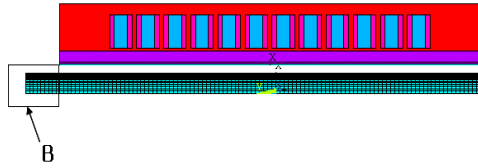


Fig. 6 Mesh model for fluid flow

Table 2 The Property of Molten Al(A356)

Temperature ( T, °C )	709
Density ( ρ, Kg/m <sup>3</sup> )	2360
Thermal Conductivity ( K, W/mK )	69
Specific Heat ( Cp, J /gK )	1149
Viscosity ( μ )	4.5e-6
Relative Permeability ( μ <sub>R</sub> )	84
Resistivity ( R, Ω )	21e-9

Table 3 Relative permeability in electromagnetic analysis

Sleeve	1
Coil	1
Core	1
Air	1

열, 유동 해석을 위한 조건으로 첫째, 경계조건으로는 2차원 축대칭, 슬리브에 의해 주위로 열전달이 없으므로 단열조건으로 하였다. 둘째, 전자장에 의해 발생된 유동의 흐름<sup>3</sup>은 복잡하고 불안정하며 외부 벽 쪽에 흐름이 치중 되어 있다. 따라서 유동의 흐름은 난류로 하였다. 셋째, 열 해석에서의 초기 온도는 709°C로 하였고 총 계산 시간은 30sec로 하였다.

Table 2, Table 3은 해석에 사용한 재료의 물성치로서 온도에 따라 변화가 없는 것으로 하였다.

### 3. 해석 결과

#### 3.1 해석

Ansys Multiphysics를 이용 하여 자기장 해석을 한 후 계산한 값들을 Ansys 명령어인 Ldread를 사용하여 열 유동해석을 하였다.

##### 3.1.1 P(120°)의 해석 결과

전자장 해석에 입력 전류 210A, 주파수 60Hz 코일 감은 수 2000회로 하였다. 입력 위상각은 Table 1

에 나타나 있다. 열 유동 해석에서는 초기 온도 709°C, 초기 속도 0m/s로 하였다.

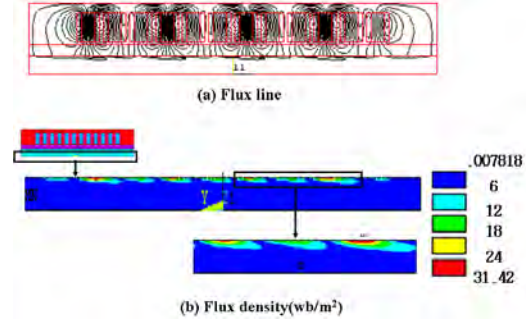


Fig. 7 Flux line and flux density

Fig.7은 P(120°)조건인 자속선과 자속 밀도를 나타내고 있다. 자속선과 자속밀도가 슬리브(Sleeve)와 근접한 부근에 집중되고 최대값은 31.42wb/m<sup>2</sup> 이다. 자속밀도가 슬리브(Sleeve)부근에 집중되는 이유는 액체 알루미늄의 상대 투자율은 87 이고 슬리브의 상대 투자율은 1이다. 즉, 물성치의 급격한 변화가 자기장의 투과에 영향을 주었다고 사료된다.

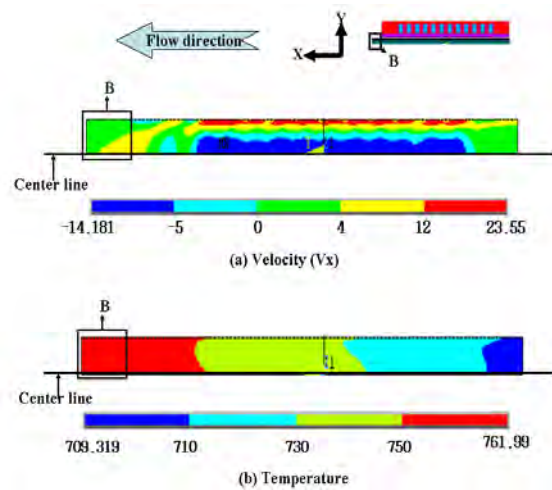
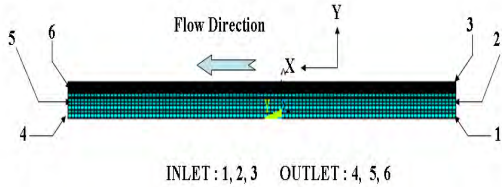


Fig. 8 Velocity of x direction and Temperature(t=30sec)

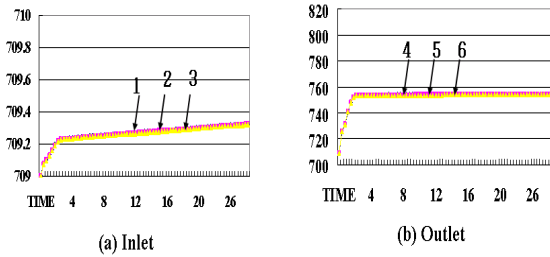
Fig. 8은 30sec일때 속도(Vx) 와 온도를 나타낸 그림이다. (a)는 속도 Vx방향의 속도를 나타내며, 최고 속도는 자속밀도가 집중되는 부근으로 최대속도는 23.55m/s이다. - 값은 역류가 발생함을 나타내고 역류의 최대값은 -14.81m/s이다. 역류의 발생이유는 전류의 입력 위상차에 따른 자기장 방향의 변화 때문이라고 사료된다. (b)는 온도 분포를 나타낸 것으로 입구부(709°C)에서 출구부(755°C)로 갈수록 온도

가 증가하는 이유는 슬리브 근처의 자기장 밀집부분에서의 열 발생에 의한 온도 상승과 유동의 흐름방향 때문이다.

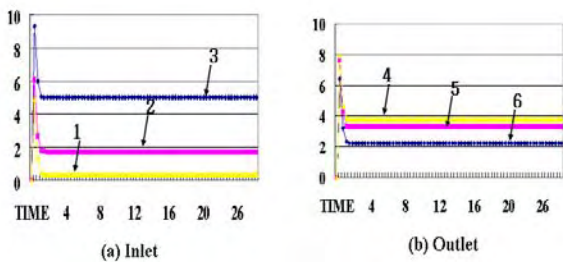


**Fig. 9** The selected node to compare inlet nodes' temperature and velocity and outlet nodes' temperature and velocity

Fig. 9는 시간에 따른 온도와 속도의 변화를 알아보기 위해 입구부 3개 지점 출구부 3개 지점을 선정하였다.



**Fig. 10** Change of temperature according to time (unit : °C)



**Fig. 11** Change of x direction velocity according to time (unit : velocity(m/s), time(sec))

Fig. 10은 Fig. 9의 6개의 지점들을 시간에 따른 온도 변화 그래프로 나타낸 것이다. 입구부의 온도는 위치에 따라 온도차이가 거의 나지 않으며 초기 온도(709°C)로부터 시간에 따라 거의 변화가 없었다. 출구부에서는 위치에 따라서 온도변화가 거의 없고 초기 온도(709°C)로부터 약 46°C 정도 상승 하였다.

Fig. 11은 Fig. 9의 6개의 지점들을 시간에 따른 속도( $V_x$ ) 변화 그래프로 나타낸 것이다. 입구부에서 1, 2, 3지점들의 속도는 각각 0.2m/s, 1.8m/s, 5m/s이고 출구부에서는 4, 5, 6지점의 속도는 각각 3.9m/s, 3 m/s, 2.2m/s 이다.

#### 4. 결론

Ansys Multiphysics를 이용 한 전자장, 열, 유동 해석을 통하여 알루미늄 재생 장치개발을 위한 조건 도출을 위하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 입력 전류의 위상각의 변화는 자기장을 발생 시키고 자기장은 유동의 속도와 온도에 영향을 미친다.
- (2)속도는 자기장이 집중 되는 곳에 최고 속도가 발생하며 자기장의 방향 변화는 역류의 원인이 된다.
- (3)온도는 유동의 흐름, 자기장의 집중(열 발생)에 영향을 받는다.

#### 후 기

이 연구는 산업 자원부의 지역산업기술개발에 목적을 두고 동서기전(주)으로부터 위탁을 받아서 수행되고 있습니다.

#### 참고문헌

1. Font: KARL, H. S., MATHIAS, D. and KLAUS, S., "Rotational Electromagnetic Stirring in Continuous Casting of Round Strands," METALLURGICAL TRANSACTIONS B, Vol. 17B, pp. 119-521, 1986.
2. 박송배, 신회로이론, 문운당, pp93-99, 1998.
3. Moros, A. and Hunt, J., C., R., "Recirculating flows in the cross-section of a channel induction furnace," Int. J. Heat Mass Transfer, Vol.31, No.7, pp.1500-1501, 1998.
4. 부산대학교 물리학 교재 편찬 위원회, 일반물리학, 반도출판사, pp.730-732, 199.
5. JEAN-LUC, M., FRANCIS, D., RENE, R., and CHARLES, V., "Steady Flow of Liquid Aluminum in a Rectangular-Vertical Ingot Mold, Thermally of Electromagnetically Activated," METALLURGICAL TRANSACTIONS B, Vol. 15B, pp471-472, 1984.

