

# 철강산업에서의 전력전자 기술응용-유도가열장비

심은용, 유효열, 강재봉  
(주)다원시스

## Power Electronics Application in the Steel Industries -Induction Heating Equipment-

Shim Eunyong, Yoo Hyoyol, Kang Jaebong,  
Dawonsys Co. LTD.

### ABSTRACT

We have been trying to do our every efforts in various division in order to get more highly competition of products in steel industry , Especially, for the industry of cold mill, We are making high degree durability & elegant of steel plate from high quality plating & coating. Recently, Induction heating equipments are used to be choose in order to heat the steel plate in processing of drying and of curing after plating and coating are done. This paper will describe the theory of induction heating, consideration matters to decide power supply, structure of heating coil & manufacturing, operating methods etc, also it will present installation reference.

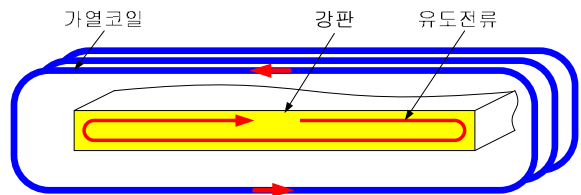
### 1. 서론

철강산업은 크게 제강분야와 압연분야로 나눌 수 있으며 두 분야 모두 철을 가열하고 냉각하는 공정이 필요하며 이는 철의 특성을 결정 짓는 매우 중요한 요소 중의 하나이다. 따라서 철강라인에는 금속을 가열하기 위한 설비가 필연적으로 요구되며 종래에 사용하던 방식은 화석연료를 사용하여 Burner에 의한 직접가열 또는 Radiant Tube에 의한 간접가열방식의 연소형 furnace 또는 전기를 사용하더라도 전열선을 사용한 가열 방식을 사용하여왔다. 이는 연소 시 발생하는 Waste Gas(CO, NOx, Sox, etc)로 인한 환경공해를 유발시킬 뿐만 아니라 열효율이 낮으며 Furnace가 차지하는 면적이 커서 많은 설비투자비가 요구되고, Line 휴지 및 재 가동에 많은 Energy와 다량의 Dummy Coil 이 소요되는 등으로 인해 근래에는 Compact하고 Control이 용이하며 열효율이 우수한 전기유도가열로(Induction type furnace)가 개발되어 CGL(Continuous Galvanizing Line)의 Galvannealing furnace, ETL(Electrolytic Tinning Line)의 Reflow, EGL(Electro Galvanizing Line), CCL(Color Coating Line)의 Oven 등에 채택되어 널리 사용되고 있다. 본 논문에서는 유도가열로의 원리를 비롯하여 다른 방식과 비교했을 때의 장단점, 철강라인에 적용 시 중요하게 고려해야 하는 사항 등에 대해 소개하고 실 적용 사례 등을 통해 철강산업에 응용되고 있는 전력전자 기술에 대해 알아보하고자 한다.

### 2. 본론

#### 2.1 유도가열원리

19세기 후반에 주장 된 기술이지만 상용화 된 것은 전력용 반도체 소자와 제어기술등 전력전자 기술이 일반화 된 1970년 이후라 보면 된다. 가열코일에 교류전류를 흘리면 자장(Magnetic Field)이 형성되고 이 자장은 코일 내부에 집중되는데 만약 코일 내부에 강판과 같은 도체가 놓이게 되면 강판내부에 코일전류와는 반대방향으로 와전류(Eddy Current)가 유기되고 이 전류는 코일전류에 의해 형성된 자장과 반대방향의 자장을 형성하여 자장이 강판 중심부로 침투되는 것을 방지해 준다. 따라서 와전류는 강판 표면으로 흐르게 되고 중심으로 갈수록 줄어 든다. 이것을 보통 표피효과(Skin Effect)라 부른다. 강판은 저항 성분을 갖고 있고 여기에 전류가 흐름으로 해서 주울열( $I^2R$ )이 발생한다. 그림1는 가열원리를 도식적으로 보여주고 있다.



[그림1] 유도가열 원리

유도가열시스템을 구성하기 위해서는 두가지 중요 요소가 필요한데 첫 번째는 전원장치이며 두 번째는 유도가열코일이다.

#### 2.2 전원장치 선정기준

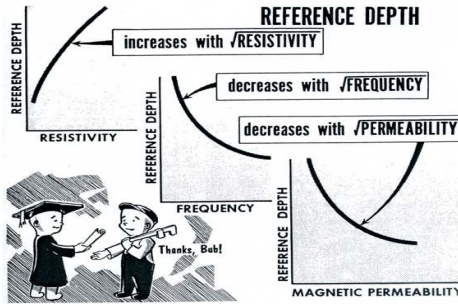
전원장치를 결정할 때 고려해야할 두가지 주요사항이 있다. 하나는 주파수 이고 또 하나는 용량(kW) 이다. 이를 결정하는 요소로는 다음과 같은 것들이 있다.

- 처리량
- 강판의 초기 온도
- 강판의 최종 온도
- 강판의 라인 속도
- 강판의 폭(최소~ 최대)
- 강판의 두께(최소~최대)

우선, 주파수는 침투깊이(Reference Depth)가 강판두께의 1/3 이하가 되도록 선정하여야 가장 효율적인 가열이 이루어 진다. 침투깊이에 영향을 미치는 요소로는 다음과 같은 것들이 있다.

- 강판의 저항(Resistance)
- 강판의 투자율(Permeability)
- 주파수(Frequency)

여기서 저항은 온도에 따른 변수이며 투자율은 전력밀도의 함수임을 고려해야 한다. 침투깊이와 각 요소와는 그림2와 같은 관계가 있다.



[그림2] 침투깊이와 각 변수와의 관계

그 다음, 용량의 선정은 다음 식으로 설명될 수 있다. 즉 시간당 가열증량과 비열, 온도의 곱으로 구해진 순가열전력에 장비의 효율을 고려하여 구한다.

$$P = K / e \text{ [kW]}$$

$$K = \text{시간당 가열증량}(\text{W}/1000 * T/1000 * v * 60 * 7860) * \text{sg}[\text{kWh}] * \Delta T \text{ [kWh]}$$

- P: 전원장치 용량 [kW]
- K: 순가열전력 [kW]
- W: Strip Width [mm]
- T: Strip Thickness [mm]
- $\Delta T$  : 온도상승분 [°C] (=출구온도-입구온도)
- v : Strip Speed [mpm]
- sg (strip 비열) :  $0.129\text{kcal}/(\text{kg}(\text{°C})) = 0.129 * 0.001163 \text{ [kWh]} = 1.5e-4 \text{ [kWh]}$
- strip 비중 :  $7860\text{kg}/\text{m}^3$
- e : Heating efficiency(0.80~0.95)

일반적으로 강판 두께가 0.4mm 이상이면 6kHz, 0.15mm 이하면 30kHz~50kHz의 주파수를 선정하고 200Hz~6kHz는 SCR을 사용하며 1kHz~50kHz는 IGBT를 사용하고 15kHz~500kHz는 FET를 사용하여 구성한다. 그림3은 전원장치 외관을 보여준다.

### 2.3 유도가열코일

두 가지 형태의 코일로 나눌 수 있는데 하나는 흔히 사용하는 솔레노이드 형태 코일로 강판을 완전히 감싸는 구조이며 다른 하나는 팬케익 형태의 코일로 강판의 양면 위에 위치한다. 각각의 장단점이 있으며 팬케익 형태의 코일은 매우 얇은 두께의 강판 또는 알루미늄이나 동판처럼 자성이 없는 판재를 가열할 때와 같이 특수한 경우에 사용되며 일반적인 강판의 경우에는 대부분 솔레노이드 형태의 코일이 사용된다. 그림4는 솔레노이드 형태의 유도가열코일을 보여준다.



[그림3] 2000kW 8kHz 전원장치 외관



[그림4] 솔레노이드 형태의 유도가열코일

코일은 원형 혹은 사각의 동파이프를 사용하여 수냉구조로 제작하며 지지목을 사용하여 코일 각 턴간에 일정한 간격과 형상을 유지하도록 견고한 구조로 제작한다. 강판과 가열코일 사이에 절연물로 격리시키고 강판이 통과하는 공간을 확보하며 실링처리를 통해 강판가열시 발생하는 흡이 가열코일로 유입되지 않도록 한다. 절연물은 스트립의 상승온도를 고려하여 파이프 글라스 또는 캐스타블을 사용하여 내화 및 전기적 절연을 시행한다. 가열코일을 고정하기 위한 프레임과 자장이 외부로 세어나가지 않도록 자기차폐를 위해 알루미늄 판으로 케이싱을 하여 마무리 한다. 그림5는 유도가열 코일의 외관을 보여준다.

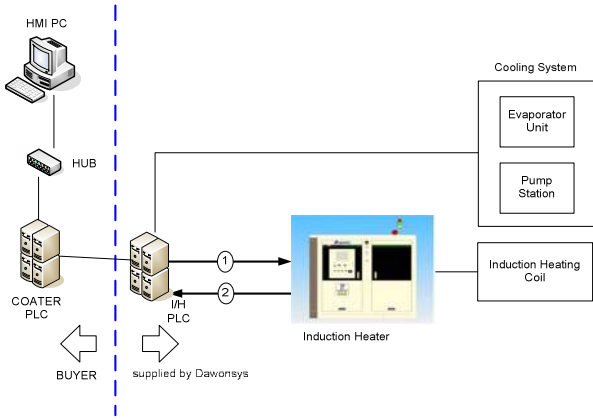
가열코일에 있어 가열특성에 영향을 미치는 중요한 요소 중의 하나로는 개구부의 높이이다. 철강라인을 구성하다보면 강판을 풀어주고 감아주는 많은 롤이 존재하고 롤과 롤사이에 처짐이 발생하며 개구부의 높이가 클수록 처짐에 대해 유리하나 가열효율 측면에서는 불리하기 때문에 철강라인의 카티너리 제어와 가열효율을 고려하여 적절한 높이로 결정한다.

### 2.4 운전방안

일반적으로 철강라인의 유도가열장비는 전체 철강라인과 연계하여 운전되어야 하며 특히, 비상시 서로 연동이 되어 운전이 이루어져야 고장의 파급이 최소화 될 수 있다. 아래 그림6은 유도가열장비와 상위제어기와의 일반적인 인터페이스를 보여준다.

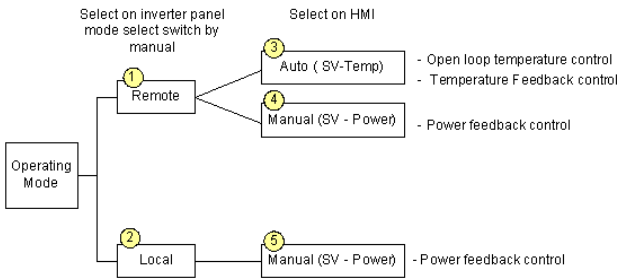


[그림5] 유도가열코일 외관



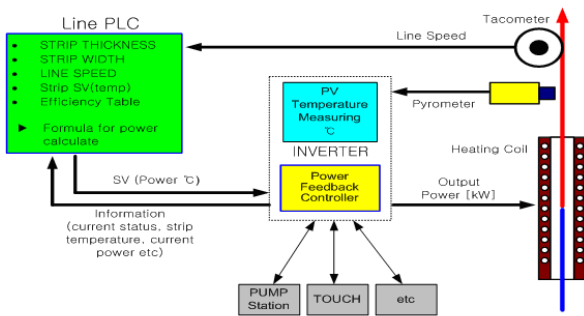
[그림6] 상위제어기와 인터페이스

유도가열장비의 운전 모드는 일반적으로 다음 그림7과 같다.



[그림7] 유도가열장비의 운전모드

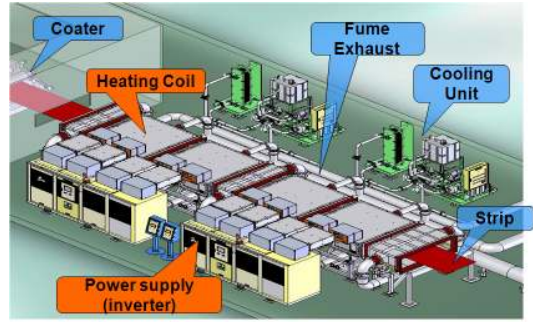
이중 정상운전조건하에서 가장 많이 사용하는 것이 리모터 운전의 Auto 운전 중 Open Loop Temperature Control 모드 운전이다. 이론적으로 가장 좋은 방법은 Temperature Feedback Control 이지만 실제로는 정확한 온도 측정이 어려워 이에 따른 오차가 너무 커서 사용하지 않고 수식에 의해 전력 지령치를 계산하여 제어하는 Open Loop Temperature Control 방법을 사용하고 있다. 그림8은 제어블록도를 보여주고 있다.



[그림8] 제어블록도

## 2.5 적용예

아래 배치도는 EGL라인의 내지문 코팅 후 건조를 위한 인덕션 오븐의 Layout을 보여주고 있다.



[그림9] 유도가열장비 적용 Layout

2000kW 2set로 구성되어 있고 전원장치, 유도가열코일 뿐만 아니라 부대설비로서 냉각시스템과 흡을 제거하기위한 설비, Hot Air를 공급하기 위한 설비등으로 구성되어 있다.



[그림10] 유도가열장치 적용 사진

## 3. 결론

기존 가열방식에 비해 여러 가지 장점을 가진 유도가열장치는 철강산업에서 응용범위를 더욱 넓혀 갈 것으로 예상된다. 특히, 온도를 측정하는 센서의 성능이 개선되고 비자성 금속가열 코일에 대한 연구, 큐리온도 이상으로 가열할 수 있는 코일 구조연구, 내화 및 절연물의 발달등이 뒷받침 된다면 그 활용 범위는 더욱더 넓어 질 것으로 보인다.

## 참고 문헌

- [1] 이만식, 용융아연도금라인(HGL)의 Induction Type Furnace 적용.
- [2] Chester A. Tudbury, "Basics of Induction Heating", vol.1, 1960.
- [3] M.G. Lozinskii, "Industrial Application of Induction Heating", Pergamon Press, 1969.
- [4] Dr. Walter Trakowski et al., "The application of high frequency technology for the inductive heating of steel strip in galvannealing", Galvatech'95 PP181~188.