

용융아연도금라인(HGL)의 Induction Type Furnace 적용

이 만식
냉연엔지니어링팀, 압연사업본부
포스코개발주식회사

Application of the induction type furnace for HGL

Man-Sik, Lee
Cold Rolling Mill Eng'g Team, Rolling Mill Division
POSCO Engineering & Construction Co., Ltd.

Abstract

This article describes the basic engineering concepts to be considered in the application of an induction heating furnace in the hot-dip galvanizing line. Experience in the Dongkuk project in Pohang, has shown that this arrangement has many advantages over the conventional method of using a combustion-gas heated furnace. Investment and operating costs are lower, the line length is much shorter, line operation is more convenient, air pollution is reduced, and the coated strip is of top-quality. As these benefits become well known, it is anticipated that the concept of induction heating will be more widely used in both new and revamped process lines. Induction heating is suitable for the production of Commercial Quality hot galvanized coils. More research is required to extend the present concept to the production of higher forming grades such as Drawing, Deep Drawing and Extra Deep Drawing Quality steels. A combination of induction heating and combustion-gas heating may lead to the way to the processing of these qualities of strip.

Key words : Induction type furnace, HGL(Hot-dip galvanizing line)

1. 서론

냉연 및 열연의 용융아연도금라인에서 Zinc Pot 전단에 설치되어 Strip을 Pre-heating & Annealing 하는 Furnace는 화석연료(LNG or Kerosene 등)를 사용하여 Burner에 의한 직접가열(Direct fired) 또는 Radiant tube에 의한 간접가열방식의 연소형 무산화로(Combustion type Non-oxidizing furnace)가 주로 사용되고 있으나, 연소시 발생되는 Waste gas(CO, NOx, SOx, etc.)로 인해 환경공해를 유발시킬 뿐만 아니라 열효율이 낮으며 Furnace가 차지하는 면적이 커서 많은 설비투자비가 요구되고, Line 휴지 및 재가동에 많은 Energy와 다량의 Dummy Coil이 소요되는 등으로 인해 최근에는 Compact하고 Control이 용이하며 열효율이 우수한 전기유도가열로(Induction type furnace)가 개발되어 CGL(Continuous Galvanizing Line)의 Galvannealing furnace, ETL(Electrolytic Tinning Line)의 Reflow, CCL(Color Coating Line)의 Oven 등에 채택되어 상용화 단계에 있다. 그러나 용융아연도금라인용 Furnace에 Induction type furnace의 적용사례는 세계적으로 Pre-heating용으로 채택되고 있는 초기 실용화 단계로서 당사에서 Turn-Key Base로 수주하여 자력 Engineering에 의해 수행한 동국산업(주) 포항공장의 HGL(Hot-dip Galvanizing Line)에 국내 최초로 적용하여 성공적으로 가동중인 Strip heating용 Induction type furnace에 대한 Engineering concept과 적용결과를 소개하고자 한다.

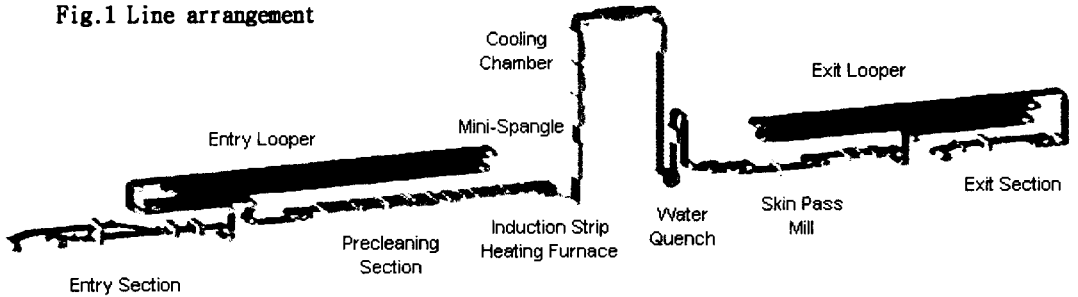
2. HGL로의 일반적 소개

2.1 전체사항

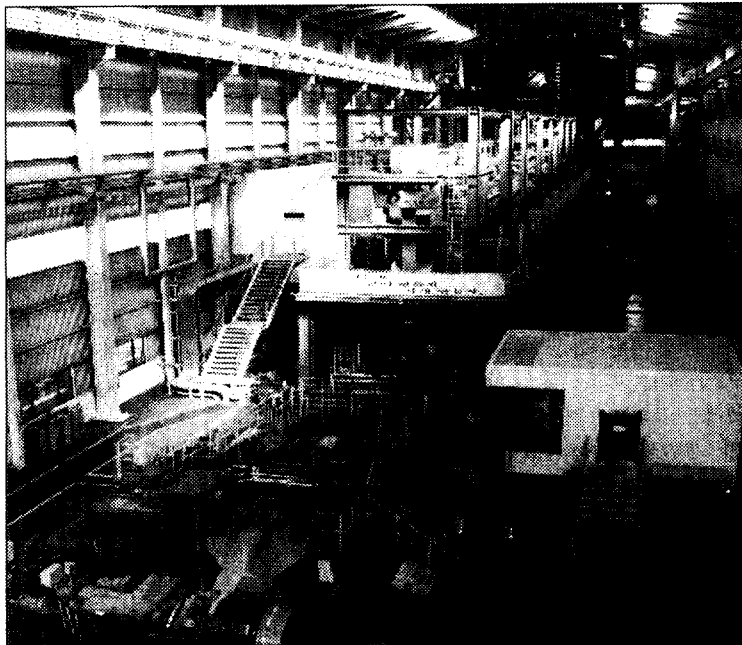
일반적으로 연소형 Furnace를 적용한 용융아연도금라인은 평균 200~250m의 부지를 소요로 한다. HGL은 P/O Coil(Pickled and Oiled hot coil)을 소재로 도로용 Guard rail, Deck-plate, 방음벽, 파형강관등 각종 Pipe, Steel house frame등의 건축자재에 사용되는 CQ Grade의 아연도금강판을 생산하는 Line으로서, 공장부지 조건상 전체길이의 제한(150m 이내)으로 인해 Line 길이에 가장 큰 영향을 주는 Furnace 길이의 최소화과 투자비의 절감을 위한 다각적인 검토를 실시, 수평형 전기유도가열로를 채택하여 Total line 길이를 145m로 단축시켰으며, HGL 설비의 주요사항은 다음과 같다.(Fig.1 Line arrangement 및 General view 참조)

- Thickness : 1.4 ~ 4.5 mm
- Width : 300 ~ 950 mm
- Coil Weight : Max. 25,000 kgs
- Production Capacity : 150,000 Tons/Year
- Coating Weight : 60 ~ 600 g/m²(Both Side)

Fig.1 Line arrangement



General view of HGL

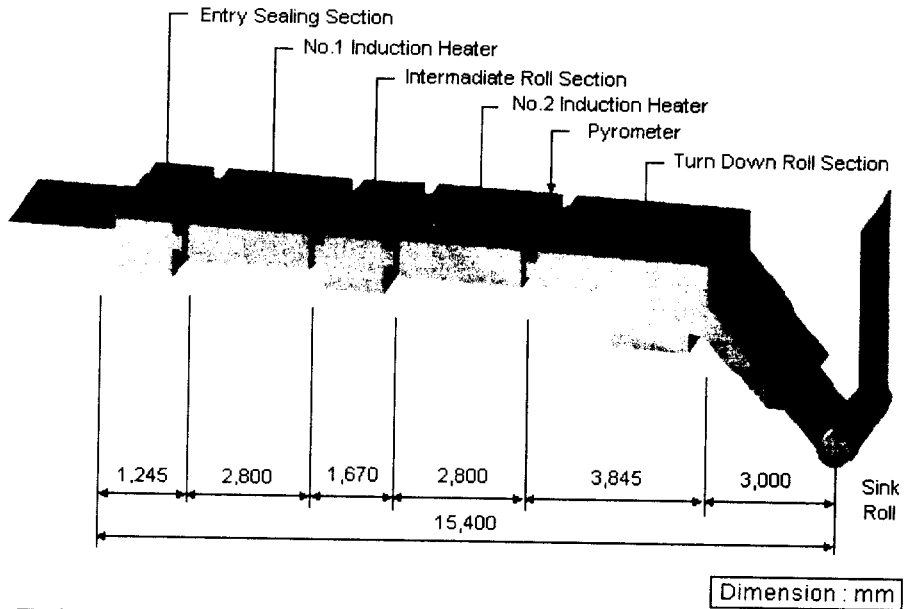


2.2 로의 구성

양호한 도금피막을 얻기 위하여 Furnace의 Heating temperature는 Max.500℃(Normal460±10℃), Heating시 Furnace 내부에서 Strip 표면의 환원반응과 균일온도 확보를 위해 Atmosphere gas를 460℃로 예열된 HNx(H₂ content Max.20%)로 공급하고 Intermediate roll section과 Turn down section에 Atmosphere gas의 온도 유지를 위해 Electrical tube heater를 각각 장착하였으며, Furnace의 주요설비구성은 다음과 같다.(Fig.2 참조)

- Entry sealing section
- No.1,2 Induction heater
- No.1,2 Inverter panel & transformer
- Water cooling system for induction heater
- Intermediate roll section with electrical tube heater
- Turn down section with electrical tube heater
- Shout with damper
- HNx gas mixing & heating station
- Gas analyzer

Fig.2 Schematic of induction type furnace



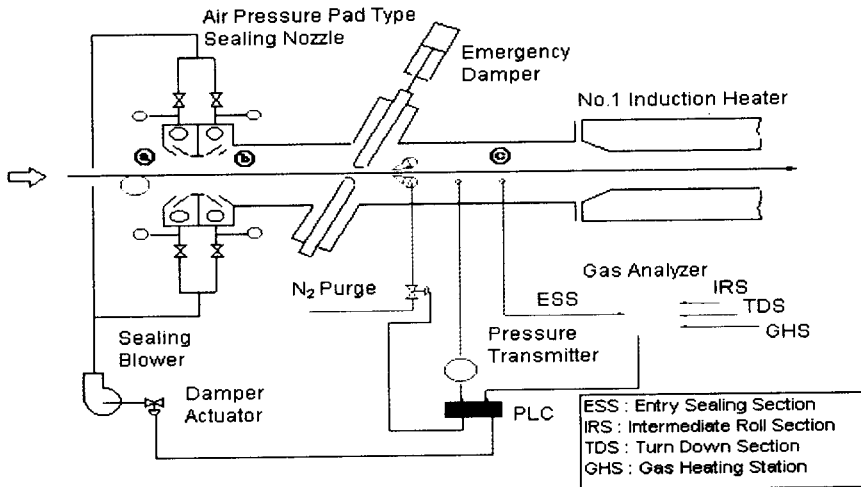
3. 로의 특징

3.1 Entry sealing section

1) Engineering concept

- CGL Horizontal type furnace의 Atmosphere gas sealing에 많이 적용되는 Gate open, Roll gap open type등에 비해 Atmosphere gas(HNx) consumption 최소화와 Strip 진행시 Furnace 내부로 Oxygen(O₂) 침입 방지 및 Strip 표면손상 방지를 위해 Air pressure pad type의 Sealing system을 적용하였다.(Fig.3 참조)

Fig.3 Control system for the entry sealing section of the furnace



2) Application Result

- Sealing blower는 로압 측정 Pressure transmitter의 Feed back control system에 의해 조정되며, Air pressure pad부 전후면(Point ㉠,㉡) Nozzle의 압력을 차압 Setting하여 로내압력 +2.0~5.0mmAq가 확보되었고, Point ㉢에서의 O₂ 침입량은 Strip조건(Edge & center wave)에 따라 순간 최대 5%(평균 0.2~0.5%)까지 검출되었으나 이로 인한 조업문제는 발생하지 않았다.

- Atmosphere gas(HN_x) consumption이 유사 Combustion type furnace의 실적 대비 1/3 수준으로 Running cost 측면에서 우수하였다.

Table 1 Atmosphere gas sealing type 비교표

구 분	Gate open type	Roll gap open type	Air pressure pad type
Atmosphere gas consumption	★	★★	★★★
Strip 표면손상 및 사행	★★★	★	★★★
로내 O ₂ 침입	★	★★	★★★
설비비	★★★	★★	★★

3.2 Induction heater

1) Engineering concept

- Induction heater의 채택시 고려하여야 할 점은 적정 주파수의 선정과 Induction heater의 Power를 산정하는 것이다.

가) 주파수의 선정

Induction heater의 특성상 발생하는 Skin Effect^{주1)} 및 Edge Effect^{주2)}와 관련하여 주파수의 선정은 Strip의 Heat uniformity에 큰 영향을 주는 인자이고, 주파수에 의해 결정되는 Penetration depth는 Strip thickness와 관련하여 Heating condition은 물론 Power efficiency에도 작용한다.

주1) Skin Effect

Power의 85% 이상이 Surface Layer에 집중되어 Strip의 표면과 심부의 온도차가 발생되는데, 이를 Penetration depth라고도 하며 아래 식에 의해 계산된다.

$$d = [\rho / (\pi \cdot \mu \cdot \mu_v \cdot f)]^{1/2} \dots\dots(1)$$

Where, ρ : Electrical resistivity of metal
 μ : Reative permeability of metal
 μ_v : Magnetic permeability of vacuum
 f : Frequency of alternating current
 d : Depth of penetration

주2) Edge Effect

Electromagnetic field distortion으로 인한 Strip edge와 center부에서의 온도차 발생

나) Heating capacity

$$Q = \rho \cdot m \cdot \Delta t \cdot \eta \dots\dots(2)$$

Where, ρ : Specific heat
 m : Mass for heating
 Δt : Temperature difference
 η : Efficiency
 Q : Heating capacity

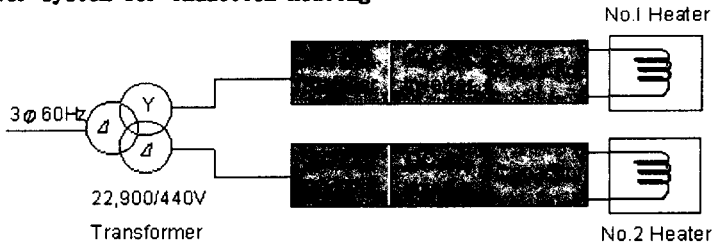
- Heating power control은 Pyrometer feed back signal에 의한 Inverter control system 적용하였으며,

- Inverter panel에서 발생하는 고조파(The higher frequency current harmonics)는 유도장해, 각종 기기류의 열화 및 타 계통까지의 영향이 크므로 이를 최소화하고 효율(Power factor)향상을 위하여

가) 12-Pulses 방식의 Inverter panel로 구성

나) 3권선 Transformer(2차측 Y- Δ type) 적용, 독립회로로 구성하여 Filtering이 가능한 System으로 구성하였다.(Fig.4 참조)

Fig.4 Power system for induction heating



2) Application Result

- Induction strip heater의 주파수를 6 kHz로 선정하였으며, Skin effect 및 Edge effect에 의해 Strip edge부가 Center보다 5 ~ 10℃^{주)3} 상승되는 것으로 측정되었으나 아연도금후의 Cooling curve 형성 측면에서 유리하게 작용하여 일정한 Size의 Spangle이 형성되었고, 도금판택도와 도금부착성(Adherence)^{주)4}이 우수하였다.

주)3 : No.2 Induction heater 후단부에서는 Strip edge부의 온도가 약30~40℃ 상승되는 것으로 측정되었으나, Turn down section, Snout, Zinc pot 및 Air knife를 통과하면서 Strip 내부 열전달에 의해 도금 직후의 Strip은 Edge부가 Center보다 5~10℃높은 것으로 측정되었다.

주)4 : 도금된 제품의 부착성Test 결과 Furnace 전면에 위치한 도금전처리 설비(Degreasing & Pickling equipment)는 Furnace의 조업조건(특히 Atmosphere gas의 H₂ content & Strip temperature)과 밀접한 연관 관계가 있는 것이 확인되어 조업Data에 의한 표준화 조업실시

- Induction heater의 주파수 관련 Penetration depth의 영향은 기본사양 1.4 ~ 4.5t를 초과 1.0t까지 Heating 가능하였으나, 1.0t 이하의 Gauge에서는 Eddy current 상쇄 작용으로 인해 도금조건 온도까지 Heating되지 않았다.

- Induction strip heater의 Capacity는 효율(η)을 85%로 고려하여 1,750kW×2Sets로 적용(No.1 ; 35℃ → 275℃ Δt: 240℃, No.2 ; 275℃ → 500℃ Δt: 225℃)하였으나, 실효율은 73 ~ 93%(Average 83%)로 확인되었으며

- Induction heating 특성중 하나인 급속가열로 인한 Strip의 Heat buckle을 우려하였으나, Furnace구간 Unit tension 1.0 kg/mm² 이하에서는 발생하지 않았다.

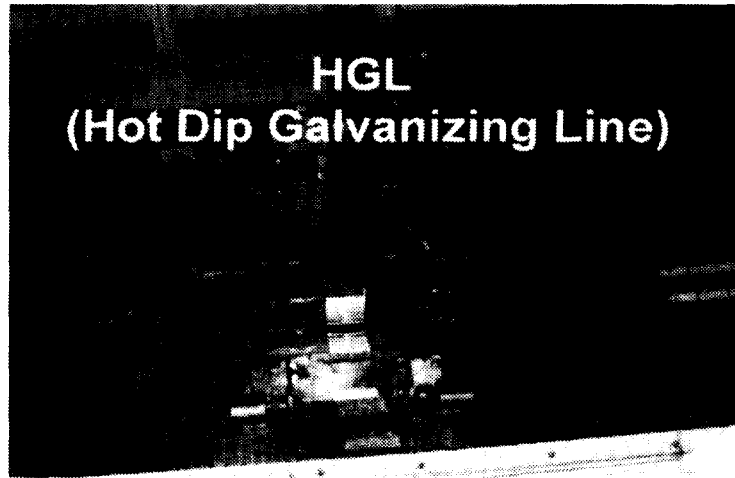
- Induction strip heater에서 발생하는 유도전류의 영향을 최소화하기 위하여 Strip heater 전후면 Furnace casing의 모든 자재는 Stainless steel을 사용하였고, Strip과 접촉되는 Hearth roll 및 Turn down roll등의 Bearing casing 부분에 내고온 절연재(Glass fiber)로 Furnace casing과 절연처리하여 유도전류의 영향은 발생하지 않았다.

- 1주일간의 계획휴지 기간중 Furnace 내부에 장입된 Strip을 절단하지 않고 Free tension 상태에서 Furnace 전후면 Gate를 Close하여 별도의 Atmosphere gas 및 Power를 공급하지 않고 Furnace를 서냉한 후, Line 재가동에 필요한 조업조건(Atmosphere gas의 Dew point등) 확보를 위한 Furnace의 Heat Up 시간은 약 12시간 소요되었으며 20~30분간 Dummy coil을 통관한 후 제품 생산 가능하였다.(Dummy Coil사용량 : 1.2t×360w×20 m/min 기준시 1.4~2.0 ton) 이와 같은 결과는 기존방식의 연소형 Furnace에 비해 생산량에 따른 계획휴지 및 재가동을 쉽게

할 수 있고, 소량의 Dummy coil로 정상제품의 생산할 수 있어 주문생산체제 하에서의 생산계획의 유연성(Flexibility) 확보에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

- * 연소형 Furnace가 채택된 Line에서는 대수리(Maintenance)등 정기적인 계획휴지 이외 Line speed down에 의한 감산은 가능하나 Shut down후 재가동시 정상제품 생산을 위해 많은 시간과 다량의 Dummy coil이 소요되는 등으로 인해 잦은 Line stop을 하기가 곤란하다.

View of coating section



3.3 Atmosphere Gas Control

1) Engineering Concept

- Hearth roll 및 Turn down roll section에는 Strip 온도보상 및 Atmosphere gas의 온도 유지를 위해 Thyristor controlled electric heating system을 적용하고,
- Atmosphere gas는 Gas mixing station의 Thyristor controlled electric heating system에 의해 450~460℃로 예열된 Hot gas로 공급하였으며,
- 로내에서 발생하는 O₂ 를 제거하기 위해 Glow heater 사용하였다.

2) Application Result

- Analysis data of atmosphere gas in furnace

구 분	Entry sealing section	Intermediate roll section	Turn down section	Gas mixing station
O ₂ Content	0.2 ~ 0.5 % (순간최대 5 %)	-	-	-
Temperature	200 ~ 250℃	300 ~ 350℃	450 ~ 460℃	450 ~ 460℃
Dew point	-5 ~ -9℃	-16 ~ -25℃	-28 ~ -32℃	-33 ~ -37℃

- Atmosphere gas를 N₂ 100%로 Test하였으나 도금박리가 발생하였고, H₂ Gas는 H₂ content 15~18 % 에서 도금품질이 안정되었다.

4. 결론

Induction type furnace는 열연아연도금강판(Hot GI) 생산 Line에 적용시 설비 투자비, Line 길이의 Compact화, 제품품질(Commercial Quality), 조업 원단위 및 조업의 편리성 등의 측면에서 우수한 것이 확인되어 향후의 신설Line에 많은 채택·적용이 예상되나,

Full hard coil을 원재료로 Curie point(Carbon content에 따라 변하며 일반적으로 720℃)이상 가열하여 열처리를 하여야 하는 DQ(Drawing Quality), DDQ(Deep Drawing Quality), EDDQ(Extra Deep Drawing Quality)등 다양한 강종을 생산하기 위한 Induction type과 Combustion type의 복합 적용 Furnace에 대해 계속적인 연구가 요구된다.

참고문헌

1. Dr. Walter Trakowski et al., "The application of high frequency technology for the inductive heating of steel strip in galvannealing", Galvatech'95, pp181-188
2. Dr. Valery I. Rudnev et al., "Longitudinal flux induction heating of slabs, bars and strips is no longer black magic: I, II"
3. Nicholas V. Ross "Induction heating of strip for galvanneal", Iron and Steel Engineer, Jan.1988,
4. Oleg S. Fishman " AC line distortion from static power converters used in induction melting" Nov.1992