

## Hi - CON/H2 BAF와 HN<sub>x</sub> BAF의 燒鈍사이클 制御溫度에 관한 研究

김 문 경\*

A Study on Annealing Cycle Control Temperature of Hi - CON/2 BAF and HN<sub>x</sub> BAF

M. K. Kim

**Key words** : Annealing cycle control temperature(소둔사이클 제어온도), Thermocouple (열전대), Gas flow rate (공급유량), Hot spot(고온점), Cold spot(저온점), Atmospheric gas(분위기가스)

### Abstract

A cold spot temperature control system for the BAF(batch annealing furnace) has been established in order to reduce energy consumption to improve productivity and stabilize the properties of products. Therefore we confirmed a relation between annealing cycle time and atmospheric gas, changing annealing cycle time according to BAF temperature with time during heating and actual temperature measurements cold spot during soaking

The results of the temperature variation effect on the batch annealing are as follows.

- 1) Cooling rate is increasing gradually with increasing atmospheric gas flow, but heating rate is hardly increasing without atmospheric gas component.  
Heating time is reduced to one half with increasing atmospheric gas flow rate and changing of atmospheric gas component from HN<sub>x</sub> to A<sub>x</sub> gas .and annealing cycle time is reduce to 2.7 times.
- 2) With enlarging the difference between furnace temperature and soaking temperature at the HN<sub>x</sub> BAF, heating time becomes short, but cooling time is indifferent.
- 3) If temperature difference of 300℃ in the temperature change of cold spot according to the annealing cycle control temperature, Hi - CON/H2 BAF is interchanging at each other at 26hours, but HN<sub>x</sub> BAF at 50 hours.
- 4) Soaking time at batch annealing cycle determination is made a decision by the input coil width, and soaking time for quality homogenization of 1219 mm width coil must be 2.5 hours longer then that of 914mm width coil for the same coil weight at Hi - CON/H2 BAF.

\* 부산대학교 생산기계공학과

But, it is necessary to make 2 hours longer at HN<sub>x</sub> BAF.

기호설명

- Q : 코일에 전달되는 열량
- $\rho$  : 가스 밀도
- C<sub>p</sub> : 가스 비열
- $\mu$  : 가스 동점성 계수
- D<sub>c</sub> : 가스의 유동직경
- Pr : Prandtle수
- $\eta$  : Diffuser의 압력효율
- A1 : Diffuser의 입구면적
- A2 : Diffuser의 출구면적
- V1 : Diffuser의 입구속도
- h : 대류 열전달계수
- A : 코일 전열면적
- T<sub>s</sub> : 코일 외권부 온도
- T<sub>g</sub> : 가스 온도
- V : 가스 속도
- k : 가스 전도성
- Re : Reynolds 수
- P1 : Diffuser의 입구 압력
- P2 : Diffuser의 출구 면적

1. 서 론

냉간압연 제품은 가공성을 부여하기 위하여 소둔처리를 통하여 재결정이 일어나게 한다. 냉연강판을 열처리하는 소둔설비는 연속소둔(Continuous Annealing Line)방법과 BAF (Batch Annealing Furnace)에 의한 방법으로 분류되며 최근에 신설되는 소둔설비는 비철, 특수강 등 다품종 소량 생산분야를 제외하고는 대부분이 연속소둔설비로 가는 경향이 있지만, 현재까지는 범용성과 경제성 그리고 조업성 등을 고려한 BAF가 주종을 이루고 있다.

냉간압연 제품은 소둔시에 소요되는 에너지가 전체공정중에 소모되는 에너지의 약 50%정도를 차지하므로 연료, 전력 및 분위기 가스 등 원단위 (Unit Consumption)절감이 매우 중요하다.<sup>1~4</sup>

따라서 이분야는 많은 연구를 통하여 Convectior Plate형태를 바꾸거나 Recuperator등을 설치하여 에너지의 절감이 이루어져 왔다. 물론 소둔 에너지 절감을 위해서는 가열과 냉간시간 단축이 가장 큰 과제라고 생각되지만 여러가지 제약조건 때문에 현실적으로 불가능하다. 따라서 열효율 향상과 가열 시간 단축으로 기계적 성질을 균질화 하여 품질을 향상 시키고 소둔시간의 최적화로 에너지 절감을 이룩하기 위하여 연구를 하고 있으나 효과가 미흡하여 최근에는 전열성과 환원성이 우수한 수소 분위기 가스를 사용하는 방안이 실용화 되었고, 또한 장입유량(Flow Rate)을 증가시켜 생산성과 품질을 동시에 향상시키고 있다.<sup>5~7</sup>

각종 연구자료에 의하면 소둔 분위기가스는 열전도성이 좋고 환원성이 우수한 수소의 함량에 따라 생산성 향상 및 판면 청정도의 개선 효과가 크다는 연구 결과는 많으나,<sup>7~9</sup> 실제 BAF에서 분위기 가스 성분과 유량변화가 가열시간에 미치는 영향과 로(Furnace)온도와 사이클 제어온도의 차이가 소둔 처리시간에 미치는 영향 등에 관한 연구 결과가 거의 없다.

따라서 본 연구에서는 HN<sub>x</sub> BAF에서 분위기 가스 유량변화, 로의 최대온도 변화가 가열 및 냉각 시간에 미치는 영향을 조사하고, 일반적으로 관리하는 열전대(Thermocouple)와 최저온점(Cold Spot)의 관계와 코일의 폭에 따른 보정(Soaking) 시간 등을 조사하고, 고효율 소둔로(Hi - CON/H2 BAF)와 전체 소둔 사이클 등을 비교하여 생산성과 제품의 품질을 향상시키는데 가장 큰 영향을 미치는 소둔 사이클 정립에 활용이 가능하도록 실제 생산중인 BAF에서 실험을 통하여 고찰하고자 한다.

2. 이론적 배경

다품종 소량생산에 적합한 BAF소둔시 열전달의 경로는 로의 Burner로부터 Inner cover를 통하여 코일에 전달되며, 열전달의 형태는 대류, 전도,

및 복사에 의하여 이루어 지지만 전체 전열량의 70~80% 정도는 대류에 의하여 전달된다. 대류에 영향을 미치는 가장 큰 요인은 분위기가스의 성분이며 분위기가스의 유량도 매우 중요하다. 따라서 최근에는 소둔시간의 단축을 위하여 분위기 가스를 수소가 4~6%인 HN<sub>x</sub>에서 75%, 100%인 A<sub>x</sub> 가스를 사용하여 장입유량을 낮게하고 강제 냉각방법을 사용하는 설비가 주종을 이루는 추세이다.

대류에 의한 열전달은 Base fan에 의하여 강제로 유동되는 분위기가스에 의하여 이루어지며, Fig.1은 Inner cover로 부터 코일에 열이 전달되는 과정을 나타낸 것이다. Fig.2는 수소의 함량이 5%에서 100%으로 증가될 경우 코일의 축방향과 반경방향의 열전달비를 나타낸것이며, Table 1에서는 수소와 질소의 열전달계수를 비교하였다.<sup>10)</sup> 그리고 코일의 판표면 조도와 전해청정(電解淸精) 후 권취시 장력 및 로의 특성에 따라서도 다소 차이는 있으나 일반적으로 사용되는 대류에 의한 열

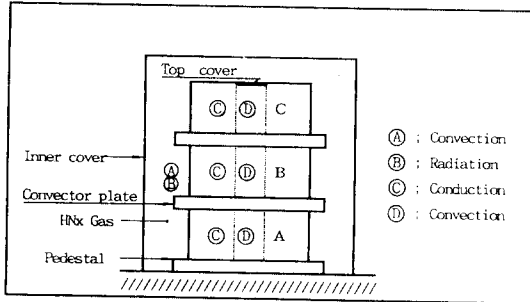


Fig. 1 Schematic diagram for mechanism of heat transfer

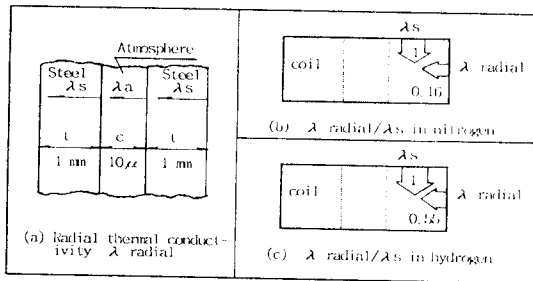


Fig. 2 Calculation of radial thermal conductivity for steel coil in hydrogen and nitrogen atmosphere.(λ radial)

전달 식은 다음과 같다.<sup>6,9)</sup>

$$h \cdot D/k = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.33} \quad (1)$$

$$Re = \frac{V \cdot D \cdot \rho}{\mu}, Pr = \frac{Cp \cdot \mu}{k}$$

$$Q = h \cdot A(Tg - Ts) \quad (2)$$

$$\eta = \frac{P_1 \cdot P_2}{0.5 \cdot \rho \{1 - (A_1/A_2)^2\}} \quad (3)$$

Table 1 Physical properties of hydrogen and nitrogen

Item	H <sub>2</sub> (A)	N <sub>2</sub> (B)	A/B
Thermal conductivity (W/m.k)	0.168	0.024	7
Viscosity (Pa/s)	8.41 × 10 <sup>-6</sup>	16.6 × 10 <sup>-6</sup>	1/2
Diffusion coefficient (cm <sup>2</sup> /s)(H <sub>2</sub> CO <sub>2</sub> )	0.629	0.160	4
Density (kg · s <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	0.00904	0.0126	1/14
Explosion limits (%)	4.75		

상기 (1)식에서 보면 열전달계수(h)는 Reynolds 수와 Prandtle 수에 관계되고 Reynolds 수는 가스속도와 유동직경에 비례함을 알 수 있다. 따라서 코일에 전달되는 전체 전열량은 가스속도를 조절하는 Base fan의 Impeller 직경과 동력에도 큰 영향을 받는다. Diffuser의 압력효율은 식(3)에서 얻을수 있고 들어가는 가스의 속도에 따라서 결정된다.

### 3. 실험장치 및 방법

#### 1) 실험재료

본 실험에 사용한 재료는 냉간압연가공에 많이 사용되는 SAE1008(SPH-1)이며 그 화학적 성분은 Table 2와 같고, 기계적 성질은 Table 3에 나타낸 바와 같다.

그리고 실험재료는 냉간압연과 전해탈지를 한 코일이며 두께는 1.0mm이고 폭은 914mm(소폭), 1219mm(대폭)인 두 종류의 코일을 사용하였다.

**Table 2 Chemical composition of specimen**

Material	C	Si	Mn	P	S
SAE 1008	0.05	0.009	0.25	0.010	0.010

(wt. %)

**Table 3 Mechanical properties of specimen**

Material	Tensile strength (kgf/mm <sup>2</sup> )	Yield strength (kgf/mm <sup>2</sup> )	Hardness (HRs)	Elongation (%)
SAE 1008	72.00	65.80	85.90	4.20

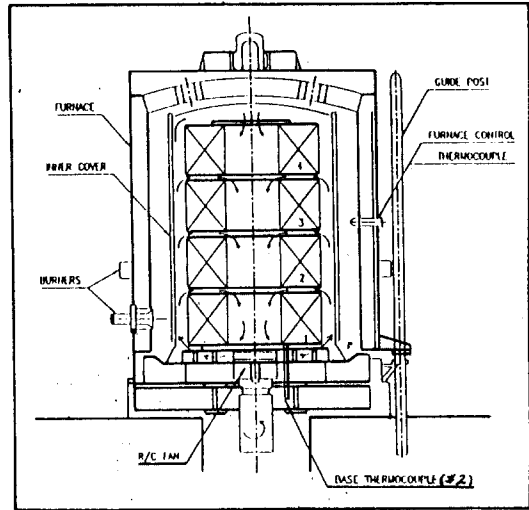
2) 실험장치

BAF 소둔은 코일 사이에 Convecter Plate를 사용하여 열전달이 용이하게 하고 있으며, Base하부의 Fan으로부터 Diffuser를 통하여 공급되는 분위기 가스가 Inner Cover 와 코일 사이를 통하여 상승하다가 Fig.3에서와 같이 Convecter Plate를 통하여 부분적으로 코일의 내경부로 흐르게 되고 나머지는 Inner cover 상부로부터 코일 내경부를 통하여 Base 의 배출구로 빠져 나가게 된다. 이와같은 분위기 가스의 유동방법은 분위기 가스의 종류에 관계없이 동일하나 장입되는 유량은 다르다.

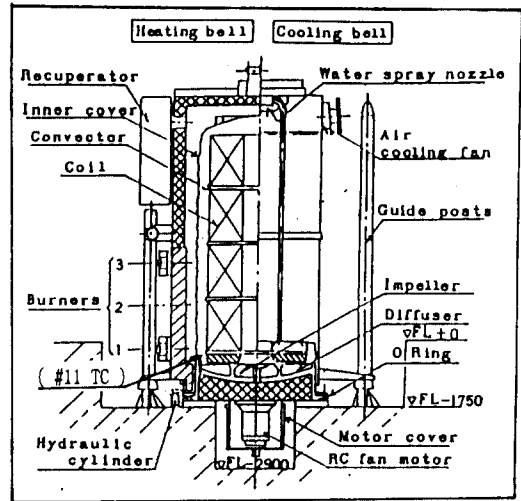
일반적으로 BAF의 경우 코일을 3~4단으로 장입하여 소둔을 하므로 각단별로 코일의 온도가 다르다. 따라서 코일의 부위별 온도를 일정하게 제어하기가 불가능하므로 최저온점(Cold Spot)을 실험을 통하여 찾아내고 그 온도를 기준으로 열처리 사이클을 정한다.

온도 제어용 열전대(#2)는 HN<sub>x</sub>가스를 사용하는 로에서는 설치가 용이한 Base에 설치하여 코일 온도를 제어하지만, Fig.4와 같이 Ax가스를 사용하는 경우에는 Inner cover와 코일사이로 설치된 열전대로 분위기 가스의 온도를 제어하고 있으며, 측정된 온도를 이용하여 저온점의 온도를 제어한다. 이것은 코일의 중권부에 열전대를 설치 할 수가 없으므로 열처리 사이클은 분위기 가스 온도 측정용인 열전대(#11)를 기준으로 한다. 로 자체의 온도는 로에 설치된 열전대에 의하여 제어한다.

HN<sub>x</sub>가스를 사용하는 경우는 유량이 10m<sup>3</sup>/h 이 내 이므로 대류에 의한 열전달이 미흡하여 사이클 당 소요시간이 길지만, Ax가스를 사용하는 경우



**Fig. 3 Schematic of HN<sub>x</sub> batch annealing furnace**



**Fig. 4 Schematic of Hi-CON/H2 batch annealing furnace**

분위기 가스 열전달율이 좋은 수소의 함량과 장입 유량이 많아 열처리 시간이 짧다.

본 실험에 사용된 Ax 분위기 가스는 암모니아 분해장치를 사용하여 제조하였으며 성분은 75% 수소와 25% 질소로 구성되어 있다.

### 4. 실험 방법

BAF소둔은 분위기가스의 성분 및 장입유량에 따라 가열 및 냉각시간도 변하게 되므로 HN<sub>x</sub> BAF 에서는 Table 4에서와 같이 공급유량을 변화시켜 가열시간을 확인하고 Fig.5에서와 같이 HN<sub>x</sub>가스와 Ax가스를 분위기가스로 사용했을때 가열 및 냉각시간을 비교하여 저온점과 열전대의 상호관계를 확인하였다. 그리고 코일의 폭변화에 따른 보정시간의 차이를 확인하여 요구되는 강판의 기계적 성질에 알맞은 온도로 열처리하여 제조비용을 절감코져 하였다.

열전대의 설치위치는 Fig.6과 같으며 코일의 저온점과 소둔 사이클온도의 온도 변화를 조사하였다. 가열시는 저온점이 가장 중요하고 냉각시는 고온점이 강판에 여러가지 영향을 미치므로 이 두점의 온도가 변화하는 과정을 조사하였다.

냉각시 수냉을 할 경우 코일 외권부의 급격한 수축으로 중권부와 외권부 사이에 압력이 작용하여 압력을 많이 받는 부분에 용착(Styicking)현상

Table 4 Gas flow rate batch annealing cycle.

Zone (℃)	Total gas flow rate (m <sup>3</sup> /h)		
	Case 1	Case 2	Case 3
A' (Purging)	8	90	9
A(0~400)	3	90	9
B(400~600)	3	40	40
C(600~Soaking)	3	20	20
D(Cooling)	5	10	20

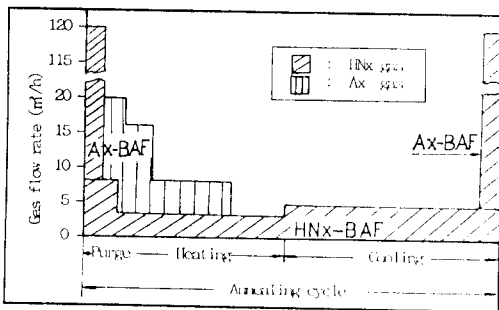


Fig. 5 Schematic diagram for flow rate of atmospheric gas in the Ax - BAF and HN<sub>x</sub> BAF

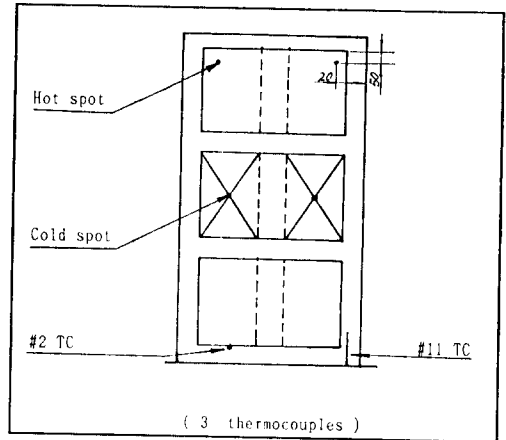


Fig. 6 The thermocouple location diagram of each coil.

이 발생하므로 급냉시와 서냉시의 저온점이 변하는 상태를 확인하고 전체 소둔 사이클에 미치는 영향을 조사하여 제품의 불량을 방지하고 생산성 향상 방안을 조사하였다.

### 5. 실험결과 및 고찰

#### 1) 분위기가스의 성분 및 공급유량에 따른 전열변화

HN<sub>x</sub> BAF에서 분위기가스의 유량을 변화시켜 가열시간을 실험해 본 결과 Fig.7에서 보는 바와 같이 분위기 가스의 유량증가에 따라 가열시간이 다소 단축됨을 알 수 있다.

(1), (2) 식에서 열전달 계수는 단면적이 일정할 경우 공급유량에 비례함을 알 수 있듯이 분위기 가스의 공급유량이 많은 Case 2,3의 경우 30시간 후에 700℃에 도달 하였으나 유량이 적은 Case 1의 경우는 34시간정도 소요되었다.

냉각시도 가열시와 마찬가지로 분위기가스의 공급유량에 따른 냉각시간변화를 그래프로 나타내 보면, Fig.8과 같이 다소 변화가 있음을 알 수 있었다.

HN<sub>x</sub>와 Ax 분위기가스를 사용하는 경우, 소둔시간을 조사해본 결과 Fig.9에서 보는 바와 같이 HN<sub>x</sub>가스의 경우는 가열시 저온점이 680℃까지 도달 하는데 48시간 소요 되었고 80℃까지 냉각할 경우, 약 135시간 정도가 소요되었다. 그러나

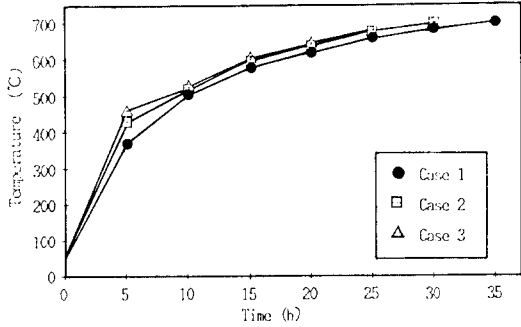


Fig. 7 Relation between heating time and temperature according to HN<sub>x</sub> gas flow rate in the HN<sub>x</sub> -BAF.

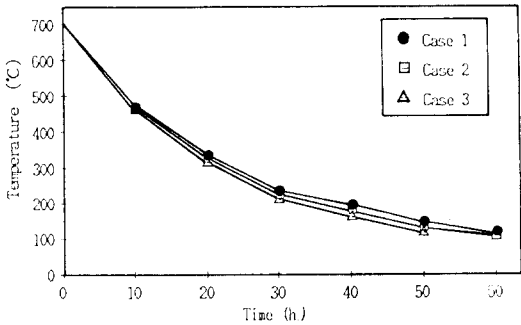


Fig. 8 Relation between cooling time and temperature according to HN<sub>x</sub> gas flow rate in the HN<sub>x</sub> -BAF.

Ax가스를 사용할 경우는 Fig.10에서와 같이 가열, 보정 및 냉각시간을 포함한 전체 소둔시간이 단축됨을 볼 수 있다.

식 (1), (2)에서 전열량은 열전달계수에 비례하며 열전달계수 및 단면적이 일정할 경우는 공급유량에 비례함을 알 수 있고, Ax가스의 경우는 Table 1에서 보는바와 같이 열전달 계수가 HN<sub>x</sub>가스에 비하여 7배정도 높고 장입유량도 많아서 가열시간이 단축되며 냉각시는 Inner cover의 수냉에 의하여 급속히 냉각됨을 알 수 있다. 식 (3)에서와 같이 Ax 가스를 사용하는 고효율 소둔로는 A와 P가 크고 ρ가 작기 때문에 Diffuser의 효율이 커서 가열시간을 단축 시키게 된다.<sup>8)</sup>

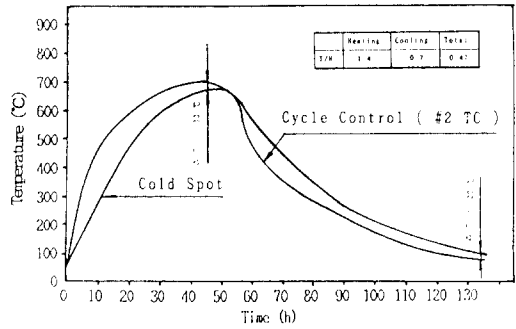


Fig. 9 Relation between annealing cycle time and temperature in the HN<sub>x</sub> -BAF.

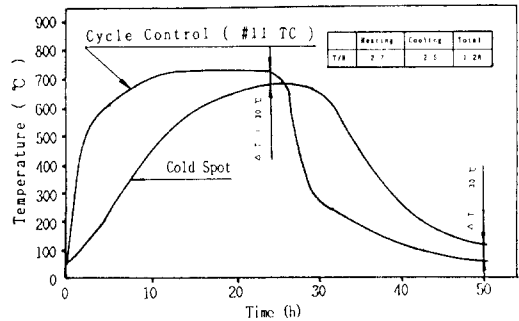


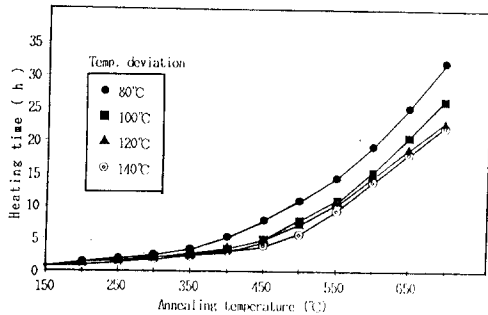
Fig. 10 Relation between annealing cycle time and temperature in the Hi - CON/H2 BAF.

## 2) 로(BAF) 온도에 따른 소둔처리시간 변화

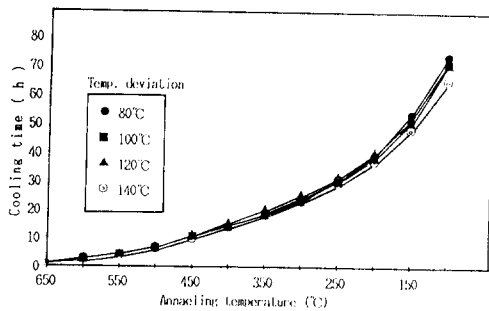
소둔처리시 로의 회고온도를 사전에 정해두고 가열을 하며 일반적으로 HN<sub>x</sub>분위기 가스를 사용하는 로에서는 코일온도를 측정하는 열전대와 로 온도를 측정하는 열전대의 온도차를 80℃로 고정하는 경우가 많으나, 본실험에서는 이 온도차를 네 가지로 구분하여 온도차에 따른 가열 및 냉각시간을 조사해 보았다. 그 결과 가열시는 Fig.11에 나타난 바와 같이 700℃까지 도달하는데 소요되는 시간이 온도차가 가장 작은 경우에는 32시간 소요되었고 온도차가 가장 큰 경우는 23시간 소요되어 9시간정도 차이가 있음을 알 수 있다. 그러나 가열 시간이 많이 소요된 온도차가 작은 경우는 온도상승 구배가 거의 일정하게 나타나지만 온도차가 큰 경우는 가열 초기에 급속하게 온도가 상승되다가

450℃부근에서 그 속도가 다소 둔화되었다가 다시 급상승함을 알 수 있다. 이는 가열초기에는 코일의 외권부만 급속하게 가열되다가 3시간 정도가 지나면 중권부와 내, 외권부의 온도차가 크게 되어 내부로 전달되는 열량이 많아짐을 알 수 있다.

80℃까지 냉각할때 전열량의 변화는 Fig.12에 나타난 바와 같으며 냉각시는 가열시와는 달리 200℃에 도달할때까지 거의 일정하게 온도가 떨어지다가 그 이후에 약간의 차가 발생하는데 이는 로의 온도와는 무관하며 코일의 권취장력이나 판면의 조도차에 의한 편차로 판단 된다. 따라서 가열시는 온도차가 매우 중요하지만 냉각시는 무관하다고 볼 수 있다.



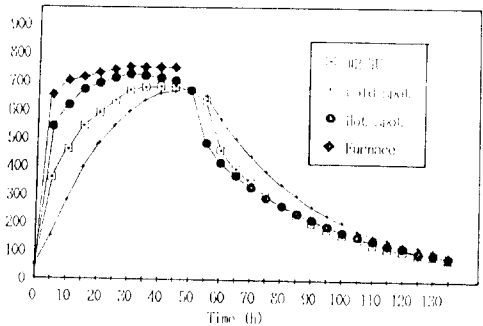
**Fig. 11** Relation between annealing temperature and heating time according to temperature deviation of BAF temperature and heating cycle control temperature.



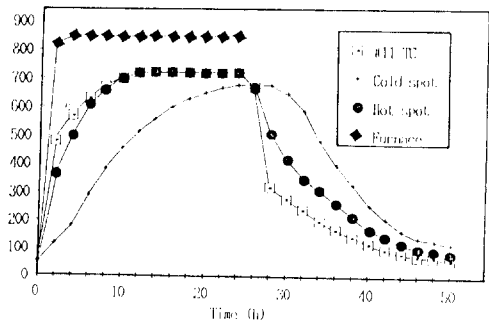
**Fig. 12** Relation between annealing temperature and cooling time according to temperature deviation of BAF temperature and heating cycle control temperature

3) 소둔 사이클 제어온도와 저온점의 변화

Fig.13은 저온점이 중권부라고 가정하고 열전대를 중권부에 설치하였으며 고온점은 HN<sub>x</sub>분위기 가스를 사용하여 코일의 저온점과 고온점의 변화를 나타낸 것이며 사이클 전체를 제어하는 온도와의 관계도 나타내었다. 가열시는 코일을 B단 중권부인 저온점의 승온속도가 가장 느리고 고온점인 C단 외권부가 가장 빠르며 사이클 제어온도인 #2열전대(TC) 고온점과 저온점의 중간에 위치해 있다. 가열시작 50시간정도에서 세점의 온도가 서로 교차하게됨을 알 수 있다. 그러나, 냉각시는 반대로 고온점은 급속하게 냉각되고 Base에 설치된 #2열전대는 4시간정도 서냉을 하다가 급속하게 온도가 떨어지며, 가열시 저온점이었던 부분은 가열이 끝난 후에도 1.5시간정도는 온도가 계속 상승하다가 그 이후부터 서서히 냉각된다. 따라서 가열시 저온점과 고온점은 냉각시는 그 반대가 된



**Fig. 13** Relation between annealing cycle control temperature and cold spot temperature in the HN<sub>x</sub> BAF.



**Fig. 14** Relation between annealing cycle control temperature and cold spot temperature in the Hi-CON/H<sub>2</sub> BAF.

다.<sup>11-13)</sup>

분위기가스가 Ax가스인 고효율 소둔로에서는 사이클 제어온도를 Fig.14에서 보는 바와 같이 분위기가스온도 측정용인 #11열전대로 제어하기 때문에 가열시는 코일의 고온점과 사이클제어온도와 거의 유사하나, 저온점은 가열 4시간이후부터

급속하게 온도가 상승됨을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 코일의 중권부와 내, 외권부의 온도편차가 커짐에 의한 전열량의 증가와 Ax가스는 반경방향의 열전달량이 HN<sub>x</sub>가스보다 많기 때문에 급속하게 온도가 상승하게 된다. 냉각시는 분위기가스 온도 측정용이며 사이클 제어온도인 #11열전대의 온도가 급격하게 떨어지고 가열시 저온점은 2시간 정도 온도가 상승되다가 서서히 냉각되며 C단의 고온점은 그 중간에 위치하게 됨을 알 수 있다.

가열 종료 후에도 코일 중권부의 온도가 상승하는 것은 내, 외권부의 온도보다 낮기 때문에 전열이 계속되다가 중권부의 온도가 내, 외권부의 온도보다 높게 되면 냉각이 시작되며 이때까지 2~3시간 정도가 소요된다.

고효율 소둔로에서의 소둔시는 냉각 과정이 생산성에 큰 영향을 미치므로 냉각시간을 단축시키기 위하여 Inner cover외부를 수냉시키는 방법<sup>3)</sup> 적용하였다. 이것은 (2)식에서 보는 바와 코일과 분위기가스의 온도차를 크게 하면 전열량이 증가하여 냉각시간이 단축되기 때문이다.

#### 4) 코일폭 변화에 따른 보정시간의 변화

냉간 압연 제품의 폭은 다양하게 생산되지만 914mm와 1219mm가 대표적이므로 본 실험에서는 두가지 종류만 실험하였다. Fig.15는 HN<sub>x</sub>분위기가스를 사용하여 #2열전대가 지정한 값에 도착한 후 부터 균열과정인 보정시간중에 적입코일중 가장 온도가 낮은 저온점의 온도변화를 나타냈다. 가열이 완료된 후 코일중권부의 온도가 내,외권부의 온도에 근접할 때까지 균열을 시켜 코일전체가 재결정이 일어나게 한다. HN<sub>x</sub> BAF의 보정과정에서 소폭의 경우 6시간까지는 급속하게 온도가 상승되고 그 이후 부터는 서서히 상승되어 8시간만에 보정이 완료되지만, 대폭은 10시간이 소요되어 2시간이 더 필요하다. 이는 축방향의 대류에 의한

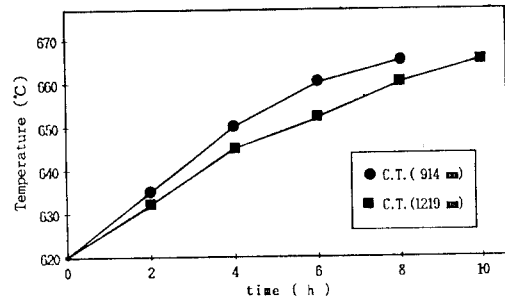


Fig. 15 Variation of cold spot temperature with time during soaking in the HN<sub>x</sub> BAF.

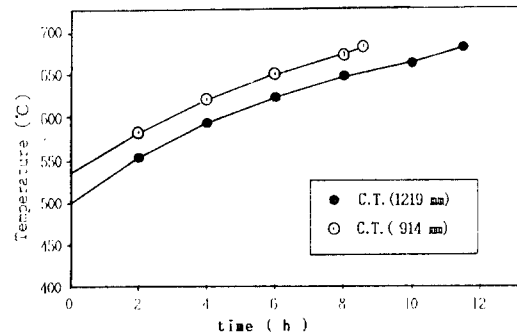


Fig. 17 Variation of cold spot temperature with time during soaking in Hi - CON/H2 BAF

열전달이 반경방향보다 영향이 큼을 나타내는 것이다.

Fig.16은 고효율 소둔로에서의 보정시간중 저온점의 온도변화를 나타낸 것이며 폭 구분없이 거의 일정하게 온도가 상승됨을 알 수 있다. 고효율 소둔로에서는 저온점의 승온구배가 폭 구분없이 거의 동일하게 유지되는 것은 코일의 반경방향과 축방향에 대한 열전달비가 HN<sub>x</sub>가스 보다 큼을 알 수 있다. 소폭의 경우 약 9시간 정도면 보정이 완료되지만, 대폭은 11.5시간 정도 소요되어 2.5시간이 더 소요되었다. 이는 축방향 대류에 의한 열전달이 반경방향보다 영향이 큼을 나타내는 것이므로 BAF에서의 보정시간은 제품의 균질화를 위해 제품의 두께 보다는 폭에 따라 결정해야 한다.<sup>14)</sup>

## 6. 결 론

강판의 소둔열처리시 분위기가스의 성분과 유량변화가 가열 및 냉각시간에 미치는 영향과 로 온



도의 변화에 따른 소둔시간 변화를 확인하고, 기계적성질의 균일성을 결정하는데 가장 중요한 코일의 저온점과 소둔사이클 제어온도의 관계와 폭 변화에 따른 보정시간의 변화를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 분위기가스의 장입유량이 증가함에 따라 냉각속도는 다소 빠르게 되지만, 승온 속도는 분위기가스의 성분변화 없이는 거의 효과가 없다.

분위기가스가 다른 고효율 소둔로는 **HNx BAF** 보다 가열속도는 약 2배정도 빠르고 전체 소둔사이클은 2.7배정도 단축된다.

2) **HNx BAF**에서 로 온도와 보종온도의 차를 크게 할수록 가열시간은 다소 단축 되지만 냉각시간은 무관하다.

3) 소둔사이클 제어온도에 따른 저온점의 온도 변화는 온도편차를 30℃로 할 경우 고효율 소둔로는 26시간만에 서로 교차하지만, **HNx BAF**에서는 50시간 만에 교차한다.

4) 소둔사이클 결정시 보정시간은 적입코일의 폭에 따라 결정되며 제품 균질화를 위하여 대폭(1219mm)의 보정시간을 소폭(914mm)에 비해 고효율 소둔로의 경우는 약 2.5시간정도 더 길게 해야 하지만, **HNx BAF**에서는 2시간정도 길게 하면 된다.

### 參考文獻

- 1) 梅本純生, 上野雄昭 : Batch式 燒鈍爐の加熱完了豫測 System, 川岐製鐵技報, Vol. 4, No. 4, pp. 84 - 86, 1982
- 2.) Mizikar, E. A., Veitch, R. A., and Bresky, N.P.; Improved Quality and Productivity from Batch Annealing, American Iron and Steel Institute Regional Technical Meeting, Nov. 9, pp. 125 - 127, 1972
- 3) Rovito, A. J.; Computer - Based Models for Predicting End of Anneal, Time at LTV, AISE Year Book, pp 245 - 250, 1989
- 4) Harvar, G.F.; Mathematical Simulation of Tight Coil Annealing, Metallurgical Forum 9, Mathematical Models, The Journal of the Australian Institute of Metals, Vol. 22, No. 1, March, pp. 81 - 85, 1997
- 5) Rao.T.R.S, Barch.G.J, Miller.J.R : Computer Model Prediction of Heating, Soaking and Cooling Times in Batch Coil Annealing, Iron and Steel Engineer, Semp., pp.22 - 31, 1983
- 6) Perrin, A. R., Guthrie, R., and Stonehill, B.;The Process Technology of Batch Annealing, Iron and Steel Maker, Oct., p. 28, 1988
- 7) 西野 夫, 芝下壽夫, 宮岐英明, 齊藤康行 : 100% 水素爐の設備と操業事項, 住友 金屬, vol. 44, pp. 51 - 52, 1992
- 8) Heribert L. : The HICON/H2 bell Annealer of 1989, Iron and Steel Engineer, March, p.43, 1990
- 9) Heribert L. : Annealing Cold Rolled Strip in Hi - Con./H2 Bell Annealer, Iron and Steel Engineer, 4, p. 46, 1988
- 10) Tajima S., Shirouzu M.;The Characteristecs of Bell Annealers Processing, The First International Conf., May. 20 - 22, pp. 4 - 5, 1992.
- 11.) Zecca. A, and Schunk. J. H : A Dynamic Control Model of Box Annealing, AISE Year Book, pp 195 - 199, 1977
- 12) Lewis, R.M.;Tight Coil Annealing process Modeling and Developpment, BHP Technical Bulletin, Vol. 25, No. 2, Nov., 1981
- 13) Sterling, D.A.;Distributed Control of Batch Annealing Using Coil Interior Temperature Prediction, Third Conference on Control Engineering, Sydney, Australia, 1986
- 14) Rovito.A.j, Voss.G.F, William, M. A. : Batch Anneal Coil Cold Spot Temperature Prediction Using on - Line Modeling at LTV, Iron and Steel Engineer, vol 9, pp. 31 - 35, 1991