

# BAF에서 분위기 가스와 대류판 형태가 열전달 특성에 미치는 영향

윤순현,\* 김문경,\*\* 김대성\*\*\*

## Effects of the Convector Plate Shape and the Atmospheric Gas on Characteristics of Heat Transfer in a Batch Annealing Furnace

Soon Hyun Yoon,\* Moon Kyung Kim,\*\* Dae Seong Kim\*\*\*

### ABSTRACT

In a BAF(Batch Annealing Furnace), various studies have been pursued in order to reduce energy consumption rate to improve productivity and to stabilize the properties of products. The purpose of this study was to investigate the effects of both the atmospheric gas and convector plate shapes on the augmentation of heat transfer.

The use of hydrogen instead of nitrogen as an atmospheric gas, combined with high convection in the BAF, has shown that considerable increases in furnace out put and significantly improved material quality are attainable. Because convector plate shapes make the atmospheric gas easily flow into coils, the entire annealing cycle times are reduced. Owing to the low density, high diffusivity and reducing character of hydrogen, a better heat transfer rates resulting in uniform material temperature distribution and improved coil surface quality can be achieved. Also, it was found that the closed convector plate took more time for the annealing cycle time than the other plate type(open-type) by about ten hours.

**Key Words:** Annealing cycle time (풀림 사이클 시간), Cold spot temperature (최저온점 온도), Convector plate (대류판), Reduce character (환원성), Inner cover(내부덮개)

### 1. 서론

최근에는 열처리 기술의 급진적인 향상이 이루어져 다양한 방법이 소개되고 있지만, 냉간 압연 가공을 한 강판의 내부응력을 제거하고 수요자가 요구하는 적절한 기계적 성질을 부여하기 위한 풀림처리는 신속하고 대량생산

에 적합한 연속풀림(CAL: Continuous Annealing Line)과 다품종 소량생산에 많이 사용되는 BAF(Batch Annealing Furnace)에 의한 Batch 풀림방법으로 분류된다. 최근 대형 제철소나 압연공장에서는 연속 풀림 장치를 설치하고 있으나 비철·특수강 등 다품종 소량생산을 위하여 BAF를 보유하고 있으며, 일반적으로 범용성

\* 부산대학교 기계설계공학과, 기계기술연구소

\*\* 부산대학교 대학원 기계설계공학과

\*\*\* 부산대학교 기계기술연구소

과 경제성 그리고 조업성 등을 고려한 BAF가 주종을 이루고 있다.<sup>(1),(2)</sup>

냉간 압연 제품은 풀림시에 소요되는 에너지가 전체 공정에서 소모되는 에너지의 약 50%를 차지하므로 연료·전력과 분위기 가스 등을 절감하여 원단위(Unit Consumption)를 감소시키거나 폐열회수장치인 Recuperator 등을 설치하여 에너지를 절감시켜 왔다.<sup>(3)</sup> 그러나 최근에는 환경보호 정책이 최우선적으로 대두되어 가열 연료로 사용되던 중유가 청정연료인 LNG나 경유로 전환되어 제조비가 증가되고 있어 에너지 절감이 가장 큰 과제로 부상되고 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위한 방안으로는 가열과 냉각시간의 단축을 들 수 있지만 여러 가지 제약조건 때문에 현실적으로 불가능하므로 열효율을 향상시켜 가열시간 단축을 통한 에너지절감을 이룩하기 위하여 많은 연구가 진행되어 왔다.<sup>(4)</sup> 그 결과 전열성과 환원성이 우수한 수소 분위기 가스가 생산성에 미치는 영향에 관한 연구가 최근 독일과 오스트리아를 중심으로 활발하게 진행되고 있다. 그러나, 수소 함량을 증가시키기 위하여 신규 제작되는 장치는 가격이 고가이고 기존에 사용중인 장치를 폐기해야 하는 문제점이 있어 기존의 HNx BAF의 풀림 처리 시간을 줄이기 위한 연구는 일본에서 가장 활발하게 진행되고 있다. 그러나, 대류판(Convector Plate)의 형태가 분위기 가스의 대류에 미치는 영향에 따른 가열시간과 냉각시간의 변화에 대한 연구결과는 거의 없다.

따라서 본 연구에서는 풀림처리시 BAF에서 H<sub>2</sub>, Ar 그리고 HNx 분위기 가스를 사용한 결과를 열전대와 최저온점(Cold spot)의 온도관계를 비교하고, HNx BAF에서 열 대류판의 형태에 따른 가열과 냉각시간을 구분하여 비교하고 전체 처리 시간과도 대비하였으며, 시간의 경과에 따른 온도변화도 비교하였다. 그리고 열 대류판의 형태에 따른 풀림 처리 시간의 변화에 따라 냉연강판의 기계적 성질에 미치는 영향도 비교하였다. 그리고 전체 풀림 사이클을 비교하여 생산성과 제품의 품질을 향상시키는 데 가장 큰 영향을 미치는 풀림 사이클 정립에 활용이 가능하도록 실제 생산중인 BAF에서 실험을 통하여 연구하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 1) 실험재료

본 실험의 재료로 사용된 SAE 1008은 탄소 함유량이

0.08%인 연강 이지만, 최근 청정강 제조기술의 발달로 탄소 함유량이 0.04~0.06%인 강이 주종을 차지하고 있으므로 평균값인 0.05%의 연속주조에 의한 열연강판을 선정하였으며 그 화학성분은 Table 1과 같다.

Table 1 Chemical compositions of specimen (wt.%)

Material	C	Si	Mn	Al	Cu
SAE 1008	0.05	0.009	0.25	0.010	0.010

Table 2 Mechanical properties of specimen.

Material	Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	Yield strength (N/mm <sup>2</sup> )	Hardness (H <sub>RC</sub> )	Elongation (%)
SAE 1008	710.00	640.80	85.90	4.20

기계적 성질은 Table 2에서 보는바와 같이 냉간압연 가공시에 가공경화가 발생되어 연신율이 4.2%로서 거의 연신이 되지 않고 강판의 경도가 높다. 그리고 Table 3은 풀림처리시 사용되는 분위기 가스의 성질을 나타낸 것으로 수소가 철소의 열전도 계수와 확산계수가 7배나 우수함을 알 수 있다. 실험재료는 냉간 압연 가공후 전해탈지를 한 코일로서 두께는 1.0 mm이며 폭은 1,219 mm 인 코일을 사용하였다.

Table 3 Physical properties of hydrogen and nitrogen(at 250K).

Items	H <sub>2</sub> (a)	N <sub>2</sub> (b)	a/b
Thermal conductivity (W/m·K)	0.157	0.0222	7
Viscosity (N·s/m <sup>2</sup> )	7.89 X 10 <sup>-6</sup>	15.49 X 10 <sup>-6</sup>	1/2
Diffusion coefficient (m <sup>2</sup> /s)	81.4 x 10 <sup>-6</sup>	11.48 x 10 <sup>-6</sup>	7
Density (kg/m <sup>3</sup> )	0.097	1.348	1/14

### 2) 실험장치

냉간 압연제품의 BAF 풀림의 전열과정은 Fig. 1과 Fig. 2에서 보는바와 같이 화염이 직접 코일에 닿지 않고 내부덮개(Inner cover)를 통하여 분위기 가스로 열이 전달되어, 냉연강판인 코일은 분위기 가스에 의하여 가열이 되므로 대류에 의하여 대부분 전열이 이루어지며 복사에 의한 전열량은 아주 적다. 그러나 대류에 의하여 코일에 전달된 열량은 전도에 의하여 전열이 이루어 지지만, 대류가 더 큰 변수를 가지고 있으므로 열전달은 분위기 가스의 성분에 따라 크게 변하게 된다. 복사에 의한 전열량이 작은 것은 내부덮개 안의 분위기 가스를 Base하부에 설치된 순환Fan이 강제적으로 순환시키기 때문에 대류에 의하여 약 70~80%정도의 열량이 전달되고 복사에

의하여 20~30%의 열이 전달되는 것으로 나타나 있다.<sup>(5)</sup> BAF에서는 열전달이 분위기 가스의 강제 유동에 의한 대류에 의하여 이루어지므로 식(1)에서 보느냐와 같이 Reynolds수와 Prandtl수의 영향을 받는다. 이때 전달된 전열량은 식(2)에서와 같이 온도 편차와 전열면적, 그리고 열전달 계수에 비례한다.

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

$$Q = h \cdot A(T_g - T_s) \quad (2)$$

여기서,

$$Re = \frac{V \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{k}$$

Q: 코일에 전달되는 열량, h: 대류 열전도 계수, ρ: 가스 밀도, A: 코일 전열면적, C<sub>p</sub>: 가스 비열, T<sub>g</sub>: 코일 외권부 온도, μ: 가스 동점성 계수, T<sub>g</sub>: 가스 온도, D: 가스의 유동 직경, V: 가스 속도, Pr: Prandtl수, k: 가스의 열전도도, Re; Reynolds 수를 나타낸다.

BAF 풀림에서 분위기 가스는 수소의 함량에 의하여 HNx, Ax, 그리고 H<sub>2</sub> 분위기 가스로 분류되며, 일반적으로 Ax가스와 H<sub>2</sub>가스를 사용하는 풀림장치는 Fig. 1과 같고, HNx가스를 사용하는 BAF는 Fig. 2와 같다. 풀림 장치의 구성은 가열장치인 로(Furnace)와 화염과 산소가 강판에 직접 닿지 못하게 차단시켜 강판의 산화를 방지하기 위한 내부덮개가 있으며, 이와 같은 장치의 받침대 역할과 분위기 가스의 흐름을 원활하게 해주기 위한 Base와 Fan이 있다.

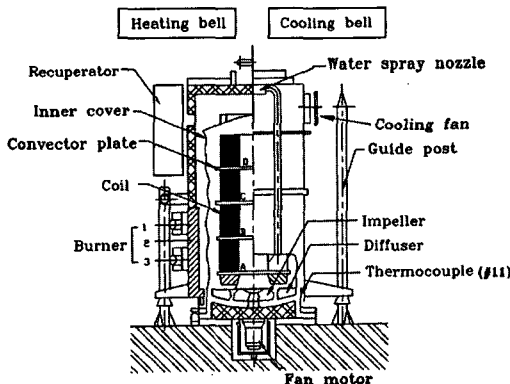


Fig. 1 Schematic diagram of the H<sub>2</sub> Batch annealer

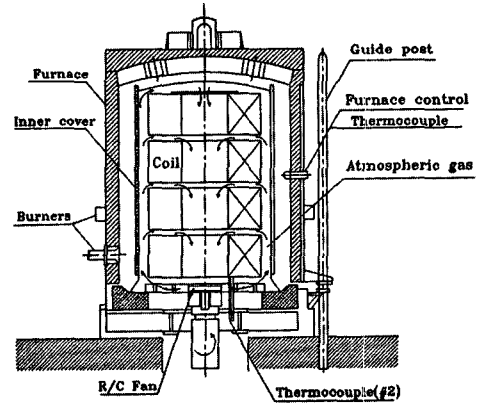


Fig. 2 Schematic diagram of the HNx batch annealer

일반적으로 BAF의 경우 코일을 3·4단으로 적재하여 풀림 처리를 하기 때문에 코일의 부위별 온도의 편차가 많으므로 이를 감소시키고 열전달이 빨리 이루어 질 수 있도록 코일과 코일 사이에 대류판을 삽입한다. 대류판의 종류는 Fig. 3에서 보느냐와 같이 3가지가 있으며 HNx BAF에서 주로 사용되는 열 대류판의 형태는 밀폐형(Close type), 반밀폐형(Semi-open type)과 개방형(Open type)의 3가지가 있고, Ax와 H<sub>2</sub> BAF에는 주로 개방형(Open type)이 사용된다.

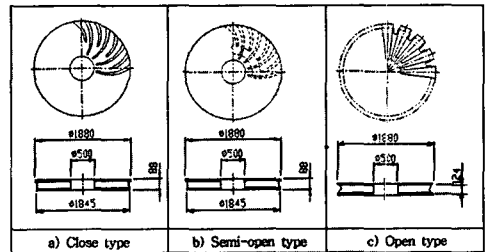


Fig. 3 Schematic diagram of the convecter plate shape

### 3) 실험 방법

Fig. 4는 사이클 온도제어와 온도변화를 조사하기위한 열전대의 설치위치를 나타낸 것으로 HNx BAF에서는 #2 열전대를 사용하고, Ax와 H<sub>2</sub> BAF에서는 내부덮개와 코일사이에 설치된 #11 열전대로 분위기 가스의 온도를 제어하였다. 코일의 중권부에는 열전대를 설치할 수가 없으므로 열처리 사이클은 분위기 가스온도 측정용 열전대를 기준으로 하고 로 자체의 온도는 로에 설치된 열전대에 의하여 제어 하였다.

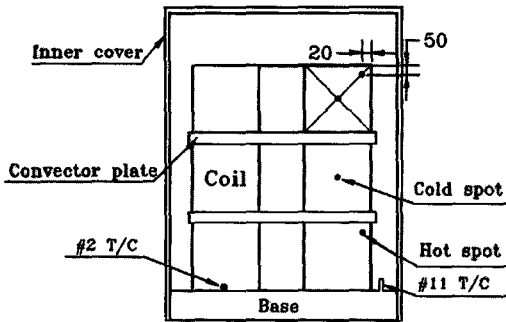


Fig. 4 Thermocouple location of each coil

본 실험에서는 강관의 풀림처리에서 분위기 가스의 변화에 따른 가열 및 냉각시간을 비교하고 BAF 열처리에서 가장 중요한 저온점의 변화에 대한 상호관계를 사이클 별로 3회씩 반복하여 조사하였다. 그리고 대류관의 형태에 따른 가열과 냉각시간의 변화를 조사하고, 동일한 풀림 장치에서 풀림 사이클 제어온도와 로 온도의 차이( $\Delta T$ )를 80℃부터 140℃까지 20℃간격으로 변화시켜 가열과 냉각시의 온도변화와 제품의 생산성 증가에 대해서도 조사하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 1) 분위기 가스의 성분 및 공급유량에 따른 전열변화

분위기 가스에 따른 풀림 시간을 조사해 본 결과 Fig. 5에서 보는바와 같이  $HN_x$  가스의 경우는 가열시 저온점이 680℃까지 도달하는데 48시간이 소요되었고, 전체 풀림 사이클 시간은 냉각종료온도를 80℃로 할 경우 약 135시간 정도가 소요되었다. 그러나 열전달계수가 높은 Ax 가스(수

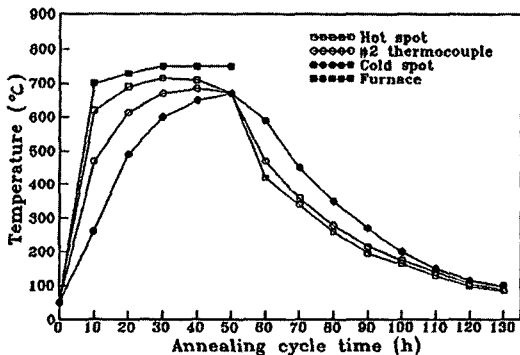


Fig. 5 Relation between annealing cycle time and temperature in the  $HN_x$  BAF.

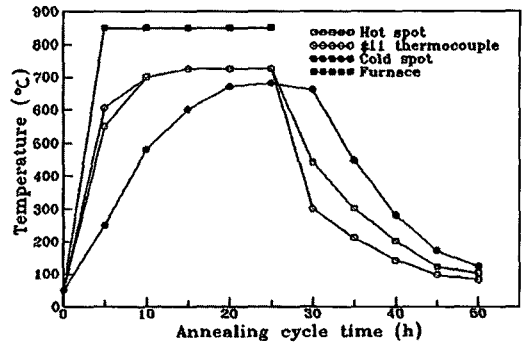


Fig. 6 Relation between annealing cycle time and temperature in the  $Ax$  BAF.

소 75%)를 사용할 경우는 Fig. 6에서와 같이 가열·보정 및 냉각시간을 포함한 전체 풀림 시간은 50시간이 소요되어  $HN_x$  BAF와 비교하면 Ax BAF가 2.7배정도 풀림 시간이 단축됨을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 수소가스가 질소 가스에 비하여 열전도 계수가 높기 때문에  $H_2$  BAF는  $HN_x$  BAF에 비해 가열시간이 감소되고, 자연냉각에 가까운 공냉방식인  $HN_x$  BAF보다 내부덮개의 상부에 분사된 냉각수의 증발에 의한 냉각방식인 Ax와  $H_2$  BAF가 3배 이상 빠르게 냉각되기 때문이다.<sup>(5), (6), (7)</sup>

그러나 수소 100% 분위기 가스로 풀림 하였을 경우는 전체 풀림 시간이 Fig. 7에서 보는 바와 같이 39시간 정도가 소요되어 Ax BAF보다 11시간이 감소 되었다. 이와 같은 결과는 Ax 가스 보다 전열효과가 크기 때문에 가열시간은 19시간정도 소요되었고 냉각시간은 20시간정도 소요되었다. 따라서  $HN_x$  분위기 가스를 사용하는 BAF 보다는 3.5배정도 풀림처리시간이 빠르고 Ax 가스를 사용할 때 보다는 28% 정도 풀림시간 단축이 가능하였다고 생각된다.

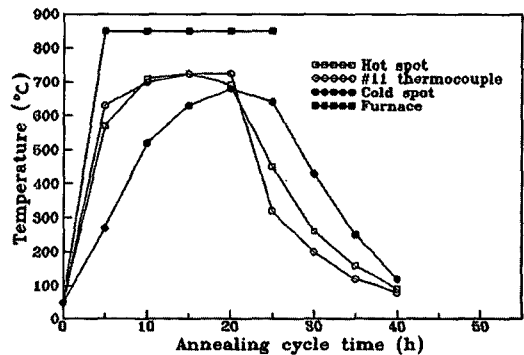


Fig. 7 Relation between annealing cycle time and temperature in the  $H_2$  BAF

가열시 코일의 열전달 형태는 축방향의 전도와 강판 사이의 대류에 의하여 전열을 하게 되므로 질소가스인 경우에는 코일의 축방향에 대하여 약 16%만이 폭방향으로 전열 되지만<sup>(6)</sup> 수소가스의 경우에는 55%정도가 되므로 코일의 축방향과 폭방향으로 동시에 전열이 이루어짐을 알 수 있다.<sup>(8),(9)</sup> 전열량은 식(2)에서와 같이 분위기 가스의 열전도 계수와 단면적에 비례하므로, H<sub>2</sub> 가스의 경우는 Table.3에서 보는 바와 같이 열전도 계수가 HN<sub>x</sub>가스에 비하여 높고 장입유량도 많아서 가열시간이 단축되며, 냉각시에는 내부덮개에 분사된 냉각수의 Boiling에 의한 급랭이 이루어져 냉각시간이 단축됨을 알 수 있다.

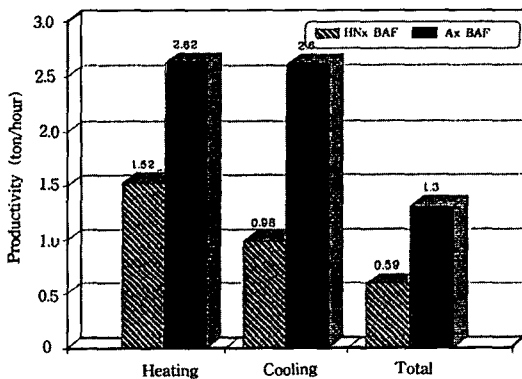


Fig. 8 Comparison of the Ax BAF with HN<sub>x</sub> BAF on the productivity of commercial quality(thickness:1.0mm, width:1219mm).

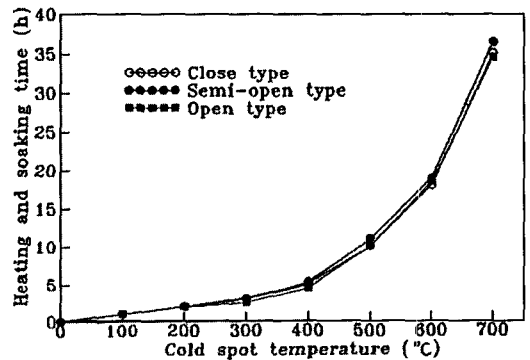
일반적으로 냉간압연 강판의 풀림처리에 가장 많이 사용되는 재료(CQ: commercial quality)의 생산성을 비교해 보면 Fig. 8에 나타난 바와 같이 HN<sub>x</sub> BAF보다 Ax BAF의 생산성은 가열에서는 1.7배, 냉각시는 2.7배 정도 생산성이 높게 나타나 전체적으로 보면 약 2.2배 생산성이 향상된 것을 알 수 있다. 그리고 프레스 가공에서 가장 중요한 강판의 기계적 성질은 Table 4에 나타났다. 여기서 Ax와 HN<sub>x</sub> BAF를 비교해보면 경도와 인장강도 n값은 Ax BAF가 높고 r 값과 연신율은 HN<sub>x</sub> BAF가 더 높은 것으로 나타났다. 수소 분위기 가스를 사용하는 BAF의 대표적인 Ax BAF에서 풀림처리한 강판의 경도가 더 높은 것은 급랭에 의한 것으로 생각되며 HN<sub>x</sub> BAF에서 처리한 강판의 연신율과 r값이 크게 나타나는 것은 냉각시간이 길어 충분한 결정성장이 이루어 졌기 때문인 것으로 판단된다.

Table 4 Comparison of Mechanical properties of steel strip in a BAF (n=40).

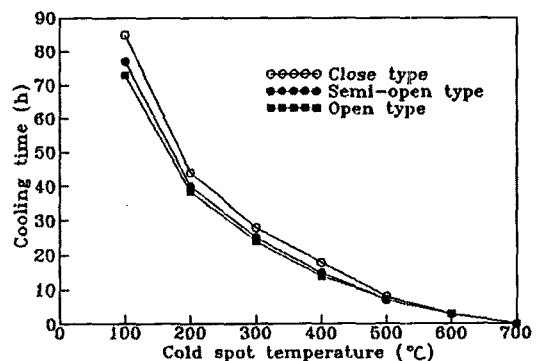
Items	H <sub>88</sub>	Tensile strength (kg/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)	r-value	n-value
Ax BAF	45.8	30.9	43.5	1.72	0.23
HN <sub>x</sub> BAF	40.3	30.5	44.8	1.75	0.21

2) 열 대류판의 형태에 따른 온도변화

HN<sub>x</sub> BAF에서 사용되는 열 대류판은 밀폐형, 반밀폐형과 개방형의 3가지가 있으며 밀폐형은 박판용으로 주로 사용되며 반밀폐형과 개방형은 중 후판 풀림처리에 많이 사용된다.



a) Heating and soaking



b) Cooling

Fig. 9 Relationship between cold spot temperature and annealing time according to convector plate shape in the HN<sub>x</sub> BAF

Fig. 9에서 보는바와 같이 밀폐형의 경우는 가열시 32시간 정도 소요되었으며 냉각시는 85시간이 소요되어 전체적으로 보면 풀림 사이클 시간이 117시간이었다. 이때 제어온도와 로 온도의 편차는 HN<sub>x</sub> BAF에서 가장 많이

사용되고 있는 80℃를 적용하였다. 밀폐형과 동일한 조건에서 반밀폐형과 개방형 대류판을 사용하여 풀림 처리를 하였을 경우, 반밀폐형의 경우는 가열시간은 31시간, 냉각시간은 78시간이 소요되어 전체 풀림 사이클 시간은 109시간이 소요되어 밀폐형과 비교하면 가열시에는 큰 효과가 없었지만 냉각시에는 8%정도 냉각시간의 단축효과가 있는 것으로 판단되며 전체 사이클로 보면 8시간 (7%)이 감소된 것으로 나타났다. 그리고 적재된 코일과 열 대류판과의 접촉면적이 55%정도인 개방형의 경우, 가열 31시간, 냉각에 72시간이 소요되어 전체 풀림 사이클 시간은 103시간이 소요되었다. 따라서 밀폐형과 개방형을 비교해 보면 가열시간의 차이는 별로 없지만 반밀폐형과 마찬가지로 냉각시간에서 약 13시간 정도 차이가 발생되어 전체적으로 보면 14시간의 풀림 사이클 단축이 가능한 것으로 판단된다. 이와 같이 열 대류판의 형태에 따른 풀림시간은 가열에서는 일정하게 공급되는 열량을 보다 효율적이고 신속하게 Burner로 부터 코일에 전달하기 때문에 큰 차이가 없으나, 냉각시에는 열 대류판을 거치는 것보다 분위기 가스가 직접 코일과 접촉하여 코일의 열이 내부로 밖으로 열전달 되는 경우의 냉각속도가 빠르기 때문에 개방형 대류판의 냉각속도가 가장 빠른 것으로 생각된다. 균일한 기계적 성질을 얻기 위하여 시간당 공급되는 열량을 일정하게 해야 하므로 동일한 장치와 조건하에서는 가열시간의 단축이 많이 이루어지지 않는 것으로 나타났다. 이는 공급열량의 증가나 분위기 가스의 성분과 공급유량의 변화 없이 열 대류판의 형태 변경만으로는 가열시간의 감소효과가 크지 않다고 판단된다. 반면 냉각시간의 경우는 코일열량이 분위기 가스에 의하여 밖으로 전달되기 때문에 열전달과정이 단순한 개방형이 식 (2)에서 보는바와 같이 분위기 가스와 코일의 접촉면적이 크기 때문에 밀폐형 보다 다소 빠르게 냉각되는 것으로 생각된다.

3) 온도편차의 변화가 풀림 사이클에 미치는 영향

냉연제품을 생산하는 BAF에서는 로 온도와 사이클 제어온도의 편차를 80~100℃로 관리하는 경우가 많은데 이는 코일의 내권부와 외권부의 온도편차를 최소한으로 하여 고온에서 광판의 열팽창에 의한 스티킹현상을 방지하기 위한 것이다.

그러나 최근 Ax 가스를 사용하는 로에서는 온도편차 값을 크게 하여 가열시간을 단축시키고 있으므로, HNx BAF에서 밀폐형 열 대류판을 사용하여 온도편차를 변화

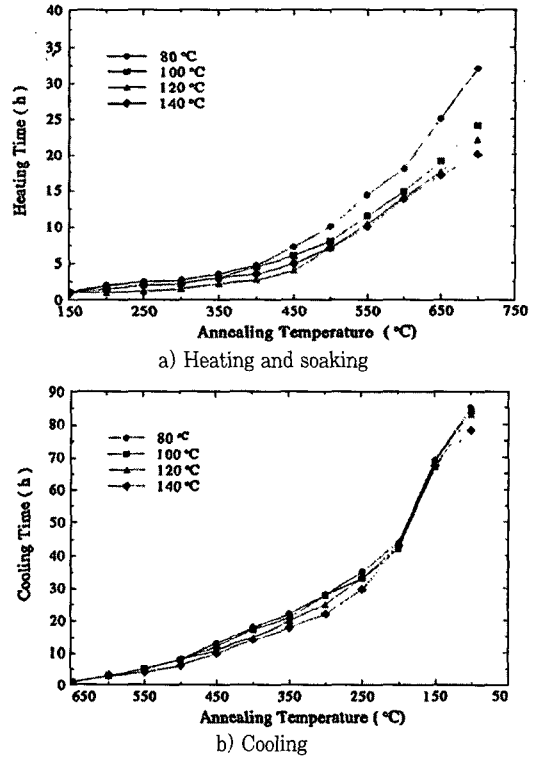
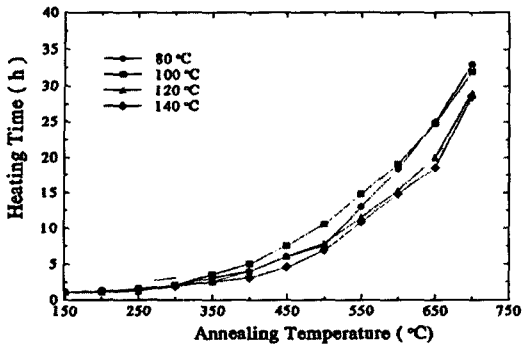


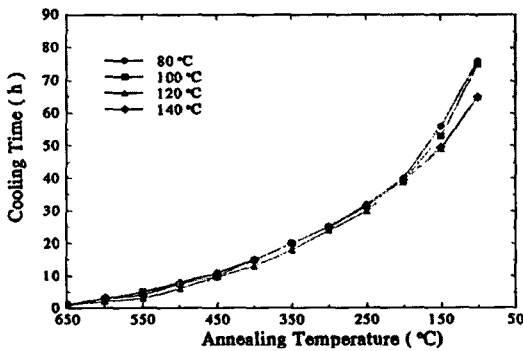
Fig.10 Relationship between cold spot temperature and time according to temperature deviation in the close type convector plate

시켜본 결과 Fig. 10에 나타난 바와 같이 온도 편차가 클수록 가열시간이 짧아짐을 볼 수 있으나 냉각시간은 거의 변화가 없다. 이와 같은 현상이 발생하는 것은 가열시에는 코일 중권부의 온도와는 관계없이 Burner의 연소가 단속적으로 이루어지지 않고 완전연소 되는 시간이 길기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 냉각시간은 가열시에 적용된 온도편차와 큰 관계가 없으므로 냉각시간에는 별다른 영향을 미치지 않는다고 생각된다. 가열에서 온도편차가 80℃일 경우는 가열시간이 32시간이 소요되었지만 140℃에서는 20시간이 소요되어 가열시간이 12시간 감소되었고 냉각시간도 4시간정도 감소되어 전체 풀림 사이클 시간으로 보면 16시간이 감소되었다.

Fig. 11에서와 같이 반밀폐형도 동일한 방법으로 비교해 보면 가열시간이 24시간으로 7시간 단축되었고 냉각시간은 4시간정도 단축되어 풀림 처리 시간이 11시간 감소된 것으로 나타났다. 이때 온도편차별로 소요시간을 비교해보면 100℃와 120℃에서 가장 차이가 많음을 볼 수 있으므로 온도편차를 변경할 때 120℃로 설정하여 효과

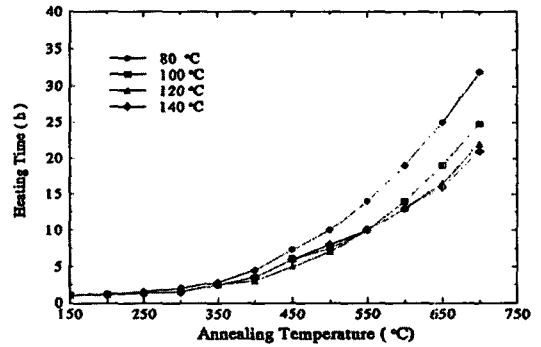


a) Heating and soaking

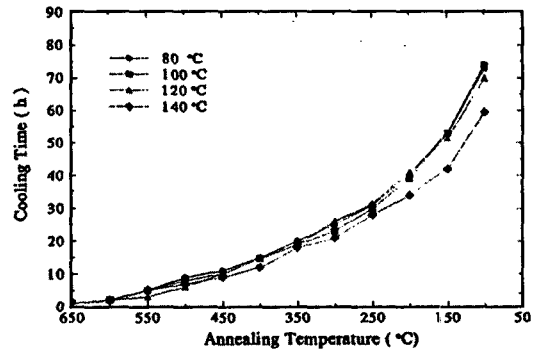


b) Cooling

Fig.11 Relationship between cold spot temperature and time according to temperature deviation in the semi-open type convector plate



a) Heating and soaking



b) Cooling

Fig.12 Relationship between cold spot temperature and time according to temperature deviation in the open type convector plate

를 크게 하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

개방형의 경우도 Fig. 12에서 보는바와 같이 큰 차이는 없지만 온도편차가 가장 큰 140°C에서는 80°C일 때 보다 가열시에는 9시간 정도 단축되었고 냉각에서는 10시간정도 감소되어 전체적으로는 18시간이 감소되어 식(2)에서 보는바와 같이 온도 편차가 클수록 전열량이 크게 됨을 알 수 있다. 열 대류판별로 비교해 보면 밀폐형과 반 밀폐형은 풀림처리시간이 각각 16시간과 11시간 단축되었지만, 개방형은 18시간 단축되어 가장 효과가 큼을 알 수 있다. 이때 분위기 가스의 공급유량과 압력을 일정하게 유지하는 것이 어려우므로 별도 공급장치의 설치가 필요하며 열전대의 정확한 보정도 매우 중요하다. 그리고 Burner의 상태에 따라 가열곡선이 다르게 나타나므로 반드시 동일 로에서 실험을 해야 한다.

#### 4. 결론

분위기 가스의 성분에 따른 코일의 부위별 온도분포와 코일에 대한 열전달을 빠르고 균일하게 하기 위하여 사용되는 열 대류판의 형태가 가열 및 냉각시간에 미치는 시간을 조사하고, 로 온도와 풀림 사이클 제어온도의 편차가 사이클에 미치는 영향에 대한 효과를 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 가열시간은 Ax BAF가 24시간, HN<sub>x</sub> BAF가 48시간 소요되어 Ax BAF가 2배 빠르고 전체 풀림 사이클에서는 2.7배정도 단축이 가능하고, 기계적 성질은 사이클이 짧을수록 경도가 높고 연신율이 작다

2) 수소 100%인 H<sub>2</sub> 분위기 가스로 풀림 하였을 경우는 HN<sub>x</sub> 분위기 가스를 사용하는 BAF 보다는 3.5배 정도 풀림처리가 빠르고 Ax 가스를 사용할 때보다는 28% 정도 풀림시간 단축이 가능하다.

3) 수소함량이 100%인 H<sub>2</sub> BAF와 75%인 A<sub>x</sub> 가스를 사용하는 H<sub>2</sub> BAF는 장치와 플립방법이 동일하므로 가열과 냉각시간의 차이가 4~5시간 정도이며, 이와 같은 현상은 분위기 가스의 성분에 따른 전열효과에 의한 것이다.

4) 실제 열 대류판의 형태에 의한 플립 처리시간의 차는 반밀폐형과 개방형은 거의 유사하나 밀폐형은 약 10 시간정도 많이 소요된다.

5) 로와 사이클 제어용 온도의 편차가 클수록 플립처리 시간이 단축되므로, 플립 처리시간의 단축을 위해서는 대류판의 형태 변화보다는 온도편차를 크게 하는 것이 더 효과적이다.

#### 참 고 문 헌

1. 梅本純生, 上野宏昭 : Batch 式 燒鈍爐의 加熱完了豫測 System, 川崎製鐵技報, 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 Institut 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. Harver, 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, pp81-85, 1987.
5. Rao. T. R. S, Barth. G. J, Miller. J. R : Computer Model Prediction of Heatin 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., p28, 1988.
7. 西野隆夫, 芝下壽夫, 宮崎英明, 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. 宮田 濟, 小島宏 : Tight coil 燒鈍の傳熱解析とその應用, 製鐵研究, 第293號, p.81, 1978.
9. Tajima S., Shirouzu M.: The Characteristics of Bell Annealers Processing, The International Conf., May. 20-22, pp.4- 5, 1992.
10. Zecca. A, and Schunk. J. H : A Dynamic Control Model of Box Annealing, AIS Year Book, pp 195-199, 1977.
11. Lewis, R .M.: Tight Coil Annealing Process Modeling and Development, BHP Technical Bulletin, Vol. 25, No. 2, Nov., 1981.
12. Sterling, D. A.: Distributed Control of Batch Annealing Using Coil Interior Temperature Prediction, Third Conference on Control Engineering, Sydney, Australia, 1986.
13. Mizikar. E. A: An Improved Method for Calculating Soak Times in Batch Annealing, Iron and Steel Engineer, May, pp.330-343, 1972.
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.
15. Heribert L.: The HICON/H2 bell Annealer of 1989, Iron and Steel Engineer, March, p.43, 1990.
16. Heribert L.: Annealing Cold Rolled Strip in Hi-Con./H2 Bell Annealer, Iron and Steel Engineer, vol 4, p.46, 1988.