

진공상태에서의 전열현상에 대한 실험적 연구

양제복*, 김원배*, 동상근†

Experimental Study of Heat Transfer in Vacuum Furnace.

Jebok-Yang , Wonbae-Kim , Sangkeun-Dong

ABSTRACT

Low pressure or vacuum carburizing(LPC) has undergone major further developments since 1980 and now it has achieved industrial maturity. The advantage of low pressure vacuum carburizing over gas carburizing is not only the creation of surface entirely free of oxide and environmentally friendly but also a reduction in batch times, lower gas and energy consumption and the prevention of soot. In this study the experiment was carried out to investigate the effects of vacuum atmosphere in the heating furnace. Heat transfer rate and uniformity of temperatures of test samples in the pressure range of a few 0.1torr was examined on a test charge of 100kg. It is found that the fuel saving rate due to decreasing heating time reach to 20% in the vacuum heating mode as compared with atmospheric heating mode. Also the uniformity of temperatures in the samples was improved significantly in the vacuum heating mode. Also the effects of the RC fan for stirring atmosphere inside furnace was examined. Results shows RC fan appears to provide a reasonable tool for improving uniformity of temperature in the atmospheric heating mode.

Key words : Vacuum Furnace, Low Pressure Carburizing(LPC), Heat Transfer

1. 서론

금속을 적당한 온도 및 분위기 하에서 가열, 냉각 작업을 통하여 재료의 특성을 향상시키는 작업을 총칭하여 열처리라 하는데 그 종류에는 여러 가지가 있다. 또한 그 방법에 있어서도 대기압하의 상압에서 행하는 방법과 진공상태에서 행하는 진공열처리 등이 있는데 진공열처리는 1949년 미국에서 처음으로 공업적으로 응용되기 시작하였는데 항공, 우주산업과 전산기 산업처럼 열처리 후 표면상태가 아주 양호함이 요구되는 부품에 적합하여 급속하게 발전되었다. 지금은 이와같은 특수한 분야만이 아니라 모든 분야에 널

리 이용되는 기술이 되었으며, 일본이나 우리나라에서도 이 열처리만 전문으로 하는 업체가 늘고 있다. 그 중에서도 진공침탄 열처리는 강을 적당한 온도로 가열한 후 로 속에 침탄가스를 투입하여 강의 표면을 경화시키는 작업을 말하는데 현재까지는 상압하에서만 모든작업이 이루어져 왔으나 최근에는 진공침탄에 대한 기술이 개발되면서 이에 대한 관심이 고조되고 있다. 금속을 대기 중에서 가열하면, 공기중의 산소, 수증기 등에 의해 표면이 산화작용을 하여 산화물을 만든다. 각종 분위기 가스나 불활성가스 분위기에서 가열하면 좋겠지만, 이 때도 사용한 가스의 조성이나 순도가 문제가 된다. 가스의 순도에서 1 ppm의 불순물가스가 잔존해 있는 상태를 진공압력으로는 10^{-3} Torr에 상당한다. 따라서 현재의 진공기술을 이용한다면 10^{-3} Torr의 진공을 만드는 것은 비교적 쉽고 또한 적은 비용으로 얻을

* 한국에너지기술연구원

† 연락처 : yjb@kier.re.kr

수 있다. 보통 진공열처리에서는 산화되기 쉬운 금속에도 광휘열처리를 할 수 있고, 감압 하에서 가열함으로써 금속표면의 스케일도 자동으로 제거되고, 거기에 탈가스 작용이 일어나는 효과도 있다. 따라서 이러한 진공열처리의 우수성에 따라 고부가가치의 고급 기계부품의 열처리에서부터 그 보급속도는 급속히 확대되고 있어 진공 침탄 열처리로 설계를 위하여 진공로에서의 전열현상에 대해 실험적으로 알아보았다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치의 설계

진공 상태에서 강재를 침탄 열처리하는 진공 침탄로를 설계하기 위한 설계자료 도출용 시뮬레이터를 Fig. 2-1과 같이 설계 제작하였다. 시뮬레이터의 구성은 크게 시뮬레이터 본체, 진공 펌프 Unit, 로체 냉각 장치, 가열장치, 진공도제

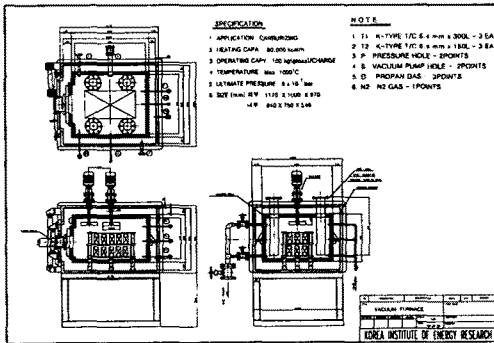


Fig. 2-1 simulator 본체

어 및 Pulsating 침탄가스 제어시스템으로 구성되어 있다.

먼저 시뮬레이터의 주요 제원 및 사양을 살펴보면 다음과 같다.

저압 침탄 시뮬레이터의 주요 제원 및 사양

- 처리용량 : 100 kg/batch(gross)
- 재질 : SCM(외부), 스테인레스(내부)
- 크기(Size) : 외부 : 1170 x 1000 x 870 mm
내부 : 840 x 750 x 540 mm
- 최고온도 : 1,000 °C
- 가열방식 : Single End Type Radiant Tube Burner 4 Ea
- 연소용량 : Max. 20,000 x 4 = 80,000 kcal/h
- 진공펌프 용량 : 4,500 L/min
최대 운전가능 진공도 : 0.05 Torr
- 로체 냉각방식 : Water Jacket 강제 수냉식
- 순환팬 용량 : 최대회전수 1,200 RPM
- 내부 단열재 : Graphite Felt(두께 50 mm)

- 주요온도측정지점 :

- 가. 로체내부 6개소(단열재로부터 50mm 안쪽)
- 나. 로체와 단열재 중간 상,중,하 3개소
- 다. RT버너 표면온도 1개소
- 라. 피가열물 표면온도 2 개소

- 기타 측정구 및 가스투입구 :

- 가. 침탄가스 투입구 3개소
- 나. 질소가스 투입구 1개소
- 다. 진공펌프 흡입구 2개소
- 라. 진공계이지 설치구 2개소

2.2 실험장치의 설계제작

실험로의 본체는 진공상태를 유지하여야 되고 또한 사용온도가 최고 1,000°C 이르는 점을 감안하여 2중 철재구조로 제작하였다. 안쪽은 각종 작업조건에 따른 산화를 방지하고 내압 내식성을 감안해 두께 10mm의 스테인레스 재질을 사용하였고 외부는 작업성 및 외부 기기와의 부착 용이성 및 Water Jacket 판막의 부착을 위해 두께 6mm의 철판을 사용하여 제작하였다.

실험로의 Door는 본체내부에 단열재로 이루어진 작은 사각형 상자를 넣어야되고 또 보수작업 등의 편의를 위해 사각형의 한면 전체를 힌지로 고정하여 열고 닫을 수 있게 설계하였으며 그리고 본체와의 기밀유지를 위하여 O ring 이 둘러갈 수 있게 홈을 가공하고 O-ring 으로 압착 밀봉시키도록 하였다. Door몸체는 역시 본체와 마찬가지로 2중 구조로 제작하여 Water Cooling 할

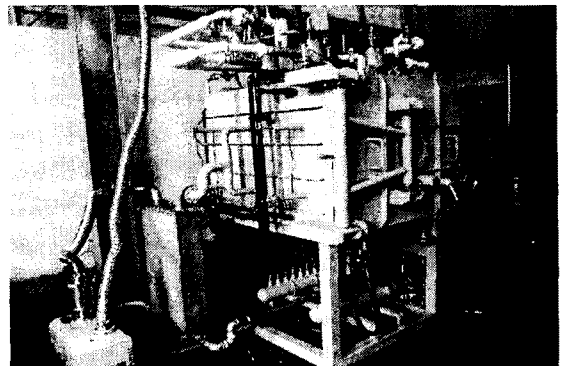


Fig. 2-2 simulator 외부모양 전경

수 있도록 설계하였다.

이렇게 제작한 본체 외부는 진공에 따른 철판의 변형을 막기 위해 외부 및 내부에 두께 10mm의 Flat bar를 일정간격으로 용접하였다.

본체 내부에는 단열을 위해 단열성이 우수하고 진공로에 많이 쓰이는 Graphite Felt를 장착하기

위하여 별도로 두께 3mm의 스텐레스판을 이용하여 Casing을 만들고 이 Casing에 Graphite Felt를 몰리브덴 와이어를 이용하여 떨어지지 않도록 고정시킨 후 본체 안에 넣고 볼트로 고정시켰다. 본체를 가열하기 위한 장치로는 최대 연소 용량이 20,000 kcal/h 인 Single End Type Radiant Tube 버너를 4대 자체 설계 제작하여 시뮬레이터의 상부에서 수직으로 4군데 설치하였다. 그리고 장착된 RT 버너는 자동연소제어 시스템에 의해 연소 제어 될 수 있도록 연소 제어 시스템을 구성하였다.

이렇게 Fig. 2-2와 같이 제작된 시뮬레이터 본체는 높이 700mm의 사각 철재 Beam 으로 만들어진 지지대위에 얹어지고 각 단면별로 각각 냉각수를 순환시켜 본체를 냉각할 수 있도록 하였다.

2.3 실험장치의 구성

설계자료 도출을 위한 시뮬레이터인 만큼 실제 로체와는 달리 실험장치를 Fig. 2-3 과 같이 구성하였다. 우선 진공펌프와 연결되는 진공 흡입구를 시뮬레이터의 한면 중앙에 상 하 두군데 설치하고 외부에서 하나로 조인시킨후 진공펌프에 연결시켰다.

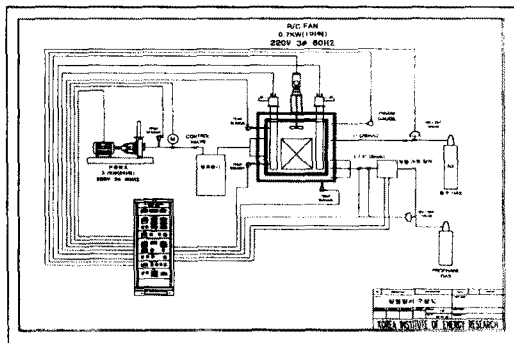


Fig. 2-3 simulator 로체 실험장치 구성

로체 설계에서 가장 중요한 로내 온도분포도를 알아보기 위한 온도 측정 홀은 단열재 내부에 각면과 상하에 모두 6군데 설치하였고 단열재의 단열성능과 로체에 전달되는 전열의 정도를 알아보기 위한 단열재 밖과 본체 벽면 사이에도 상,중,하 모두 3군데 설치하였다.

진공펌프 운전의 기준이 되는 피라니 진공계이지를 본체 한군데에 설치하였고 별도로 또 한군데에는 아날로그 진공계이지를 설치하여 항상 육안으로 확인할 수 있도록 하였다.

침탄을 위한 프로판 가스 투입구는 MFC에서 측정되어 나온 프로판 가스가 한군데에 집중적으로 들어가지 않고 토체 상 중 하 세군데로 나뉘어 들어 갈 수 있도록 3군데에 설치하였다.

또한 진공 후 질소 치환 할 때 사용되는 질소 투입구를 로체 한면에 1군데 설치하였다.

이러한 모든 센서 투입구 및 가스 투입구에는 Water Cooling 할 수 있도록 2중으로 만들어 냉각수로 냉각하고 튜브를 충분히 길게 제작하여 밖으로 100 mm 정도가 돌출 되어 고온의 로내 온도에 의해 기밀 유지한 부위에 문제가 일어나지 않도록 설계 하였다. 또한 시편의 시간에 따른 온도변화를 알아보기 위하여 상,하 2개의 시

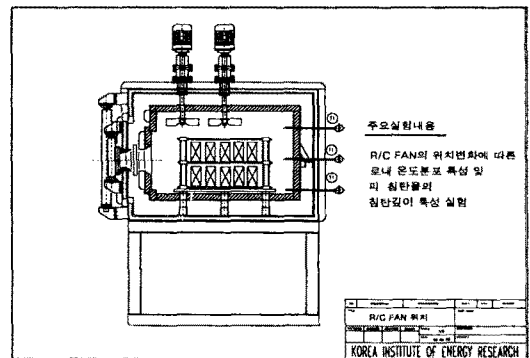


Fig. 2-5 simulator 로체내 Fan 장착위치

편중앙부에 열전대를 설치하였으며 시편의 장착된 모습을 Fig. 2-4 에 나타내었다. 시편의 무게는 80kg, 그리고 Tray 무게 20kg 모두 합쳐서 100kg이다.

진공로에서는 가열시 확산을 돕고 로내온도를 균일하게 하기 위해 R/C Fan을 사용한다. 보통은 로의 중앙에 Fan을 설치하는데 설계한 시뮬레이터에서는 시뮬레이터의 중간에 설치된 R/C Fan을 로체 중간이 아닌 측면으로 이동 했을때에는 어떠한 변화가 일어나는지도 알아보기 위해 R/C Fan을 측면으로 200mm 만큼 이동시킬 수 있도록 Fig.2-5와 같이 설계하였다. 또 장착된 R/C

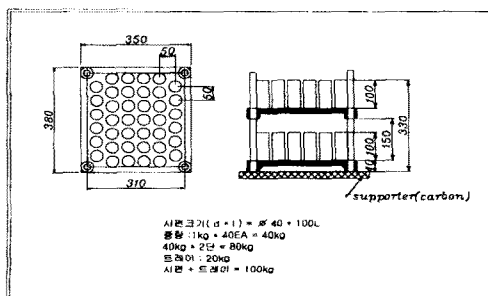


Fig. 2-4 simulator 내 시편 장착모습

Fan은 인버터를 통해 회전수를 임의 조절하여 각각의 회전수에 대해서도 어떠한 변화가 있는지 알아 볼 수 있도록 하였다. R/C Fan의 Fan의 재질은 로내온도가 고온인 관계로 Graphite 재질로 된 Fan을 사용하였고 모터와 Fan을 연결하는 축은 진공을 유지하면서 회전 할 수 있어야 하므로 수냉식 Hollow Shaft Feed through를 사용하여 기밀을 유지하였다.

3. 성능실험 및 결과분석

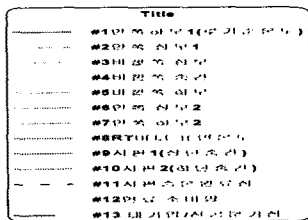
Simulator내에서의 전열현상을 알아보기 위한 실험은 Table. 2-3 과 같이 6가지 경우에 대하여 수행하였다. 로내 기준온도는 1번 로내 안쪽하부 중간의 T/C 온도가 960℃일 때로 설정하였고 투입 연료량은 초기에는 5.2 m³/h(도시가스 Hu=10,000 kcal/h)이고 그 후 설정된 시편온도가 960℃ 유지되도록 하였으며 공기비는 1.2를 유지하였다. 온도 측정은 그림 설명에 있듯이 13군데였고 동시에 연료소비량을 측정하여 그림에 나타내었다.

Table. 3-1 실험조건표

R/C Fan	로내분위기	로내분위기	로내분위기
가동여부	대기압	진공	대기압후진공
가동안함	CASE 1	CASE 2	CASE 3
가동함	CASE 4	CASE 5	CASE 6

CASE 1 & 4 :

초기에 로내의 공기를 빼내고 질소로 치환 한 후 대기압 하에서 승온하였고 Fig.3-1과 Fig.3-2에 보여주듯이 로내 설정온도 도달시간은 약 120분 정도의 시간이 걸렸으며 하부시편의 온도가 960℃에 도달하는데 필요한 시간은 약 125분이였다. 이에 투입된 열량은 일정하게 5.2 m³/h 이였고 그 후 승온이 완료되고 온도 유지에 필요한 열량은 약 3.8 m³/h 이였다. 팬 가동후의 승온곡선은



팬이 없는 경우와 비교하여 승온시간이나 연료 소비량에서는 별 차이를 보이지 않았으나 장입물의 위치에 따른 온도차는 80 - 90℃에 비하여 30 - 40℃로 현격히 낮은 차이를 보였다. 이것은 로내 가스의 유동으로 인하여 전열효과가 증대한 것으로 사료된다.

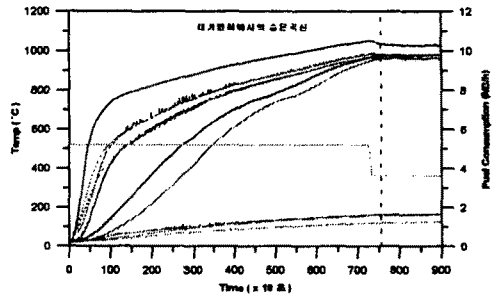


Fig. 3-1 대기압하에서 승온곡선 (CASE 1)

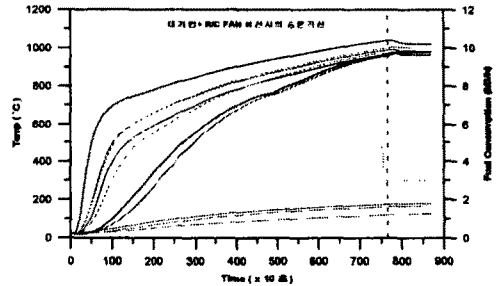


Fig. 3-2 대기압하 (Fan 가동)에서 승온곡선 (CASE 4)

CASE 2 & 5 :

초기 0.1 Torr의 진공하에서 승온을 시작하여 로내 설정온도 도달시간은 약 85분정도가 걸렸으며 Fig. 3-3 에서 보듯이 하부 시편온도가 960℃에 이른 시간은 약 100분 정도였다.

이에 투입된 열량은 똑같이 5.2 m³/h 이였고 그 후 온도 유지에 필요한 열량은 약 3.2 m³/h 이였다. 대기압하에서의 승온 과정에서 에너지 소모량을 비교하여 보면 약 30%정도의 에너지 절약을 기대할 수 있으며 그 후의 침탄공정을 위한 보온유지에 필요한 열량도 약 16%정도 절약됨을 알 수가 있었다. Fan을 가동하면 Fig. 2-4 에서 보듯이 앞의 경우와 같은 현상이 나타났으며 특히 승온시간이 단축된 것은 대류효과가 조금이나

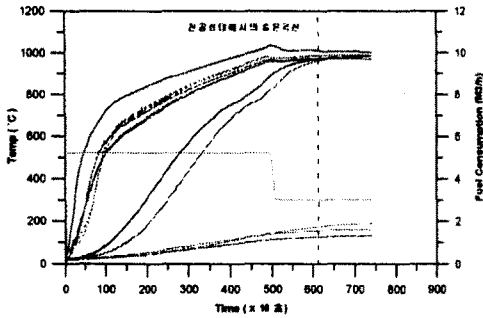


Fig. 3-3 진공하에서 승온곡선(CASE 2)

마 기여한 것으로 생각된다.

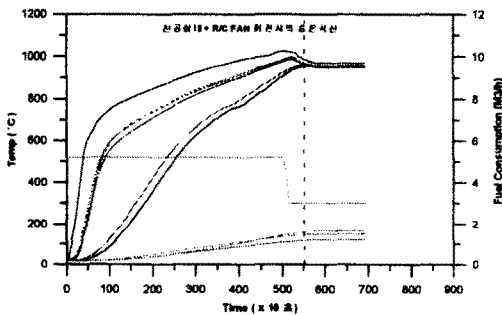


Fig. 3-4 진공하에서(Fan 가동) 승온곡선 (CASE 5)

CASE 3 :

로내기온도 750℃, 상부시편온도 650℃(시편의 변태점온도)에 도달한 시간은 Fig. 3-5 에서 보듯이 대략 65분 정도 걸렸으며, 이 시점에서 진공펌프를 작동하여 진공을 걸기 시작하였고 진공도는 약 5분후 0.5 torr 에 이르렀고, 10분후에는 0.2 Torr 그리고 15분후에는 0.15 Torr 에 이르렀다. 로내기온도에 도달시간은 약 95분 정도가 걸렸으며, 하부의 시편온도가 960℃에 이른 시점은 약 115분 정도이었다.

결론적으로는 진공하에서는 질소가스 등의 매체를 가열 할 필요가 없어 보다 빨리 복사전열이 일어나 승온이 빨리되고 로내의 각부위별 온도편차도 적게되며 따라서 에너지소비도 적게 된다는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 진공침탄로의 본체 설계자료를 도출하기 위하여 Simulator를 설계, 제작하였고 그리고 실험적으로 로내의 전열현상을 알아보았는

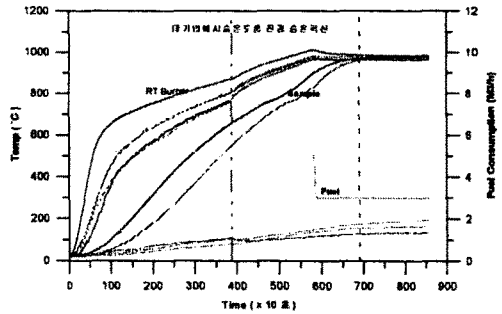


Fig. 3-5 대기압 + 진공하에서 승온곡선 (CASE 3)

데 그 결과를 요약 정리하면 다음과 같다.

1. 실험적 결과 진공하에서는 로내가스를 가열할 필요가 없어 대기압하에서 보다는 전열이 촉진되어 빨리 승온되었고 따라서 에너지 소비도 약 20%이상 감소되는 것을 알 수가 있었다.
2. 대기압하에서는 로체 내부의 R/C Fan을 가동시킬때가 Fan을 가동시키지 않을때보다 피가열물의 상하 온도편차가 적게 나타났다.
3. 진공상태에서 R/C Fan을 가동시킬때가 그렇지 않을때에 비해 약간의 승온시간이 단축되었고 피가열물의 상,하 온도편차도 역시 적게 나타났다.
4. 대기압상태에서 가열도중 중간에 진공Pump를 가동시켰을 경우 로 내부가 진공이 되면서 로내 온도편차가 급격히 줄어드는 것을 확연하게 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 배석희 외 4명, "진공공학", 2000.6, 한국경제신문
2. 下里吉計, "次世代型 眞空浸炭爐", 工業加熱, Vol.39, No.1, pp. 21-28
3. 門野 徹, "眞空浸炭について", 工業加熱, Vol.39, No.1, pp. 29-34
4. 橋本宗弘, "高壓가스冷却眞空浸炭", 工業加熱, Vol.36, No.2, pp. 23-34
5. 久保田 健, "高性能 眞空炭爐 ACT-VAC의開發", 工業加熱, Vol.34, No.6, pp.48-61
6. 創橋和宏, "新しい浸炭雰囲気制御方法", 工業加熱, Vol.38, No.5, pp.24-29
7. B. Edenhofer, " An Overview of advances in Atmosphere and Vacuum heat treatment" Heat Treatment of Metals, Vol.26 No.1, pp 1-5
8. 内藤武志, "浸炭焼入れの實際", 日刊工業新聞社, 1987