

배치식 저압침탄 고압가스냉각 시스템 개발

장병록, 한형기, 김원배*, 동상근*, 김한석**, 조한창***

Development of Low Pressure Carburizing and High Pressure Gas Quenching System

Byoung-Lok Jang, Hyoung-Ki Han, Won-Bae Kim*, Sang-Keun Dong*,
Han-Suck Kim**, Han-Chang Cho***

ABSTRACT

The development of eco-friendly low pressure carburizing system with high pressure gas quenching (LPC_GQ, 500kg/charge) led to new stage in the fundamental case-hardening treatments. This is due to its ability to provide tighter tolerances on the carburizing process with notable reductions in distortion of the carburized and hardened workpiece. This system is characteristics by high uniformity and reproducibility of heat treatment results, absence of an intergranular oxidation layer, carburizing of complex shapes, reduced cycle time, low operating costs, simplified production, eliminate post washing, and reduced grinding costs.

Key Words : low pressure carburizing, gas quenching, case hardening

1. 서론

자동차 산업의 지속적인 성장에 힘입어 부품들에 대한 품질향상과 생산성향상에 큰 관심이 집중되고 있다. 특히 주요한 열처리중 하나인 침탄은 자동차의 성능과 품질에 직접적인 영향을 주는 공정으로 최고의 기술이 직접된 것이다. 한편 표면이상층의 존재, 침탄효과의 제한 등과 더불어 침탄공정에서 배출되는 공해물질은 생산량에 비례해서 증가하게 되고 그에 따른 환경부하 저감노력이 시대적 요청으로 이들 모두가 침탄이 안고 있는 큰 문제라고 할 수 있다. 그러나 지난 20여년동안 획기적인 기술의 발전이 없어 이러

한 기술적 또는 환경적 요구를 해결할 신기술이 필요하게 되었다.

본고에서는 고성능 가스침탄로 국산화 개발의 설계, 제작, 설치, 시운전 과정을 설명하고 시료의 평가 결과를 정리하여 보고하고자 한다. 하나의 시스템에 저압과 고압이 공존하여 시스템 설계에 어려움이 많았으며 특히 각종 플랜지 및 연결부의 기밀기술, 침탄공정제어 기술, 안전을 위한 inter-lock 기술, 냉각기술 등 핵심기술에 대한 정립과 적용에 실패와 개선을 거듭하였다. 뿐만 아니라 가열관련 가열시스템, 단열시스템, 제어 시스템의 조화에도 많은 시행착오가 발생하여 해결에 많은 시간이 소요되었다.

개발된 배치식 저압침탄 및 고압가스냉각시스템 [그림1]의 시운전과정에서 얻은 기어류의 특성을 평가한 결과 표면에서 기존 상압침탄에서 발생하는 표면이상층은 전혀 관찰되지 않았으며 유효침탄 깊이도 안정적으로 얻어졌다. 양산적용의 관련인 열변형시험에서도 우수한 평가를 받았다.

주식회사 에스에이씨

* 한국에너지연구원

** 한국기계연구원

*** 포항산업과학연구원

† 연락처자, research@sacfurnace.com

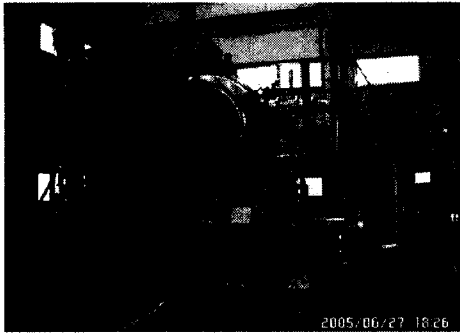


Fig. 1 Batch system of Low Pressure Carburizing and High Pressure Gas Quenching.

배치식 저압침탄 및 고압가스냉각시스템의 국산화는 향후 국내의 침탄기술과 시장에 변화를 주도하고 자동차 산업 발전에도 크게 이바지하게 될 것이다.

2. 시작품의 구성

시작품은 저압침탄(Low Pressure Carburizing Furnace)와 고압가스 퀘칭장치(High Pressure Gas Quenching System) 그리고 중간실(Intermediate Chamber)으로 구성되어 있으며 그밖에 Utility 설비로 전기제어판넬, 질소탱크 및 기화설비, LPG설비, 냉각수탱크 등을 갖추고 있다.

저압침탄로는 로체가 내화물이 없는 수냉 이중구조로 이뤄져 있고, 특히 연속식을 고려하여 Module식을 기본개념으로 하여 이송방법으로는 기어에 의한 롤러구동방식을 채택하였다. 또한 열원 공급방식으로는 최근에 유럽이나 구미에서 적용하고 있는 전기방식을 탈피하여 가스연소식 방식을 선정하였으며 이에 에너지절약을 도모하고자 폐열회수식방식, 즉 Recuperative 와 Regenerative Burner를 Radiant tube인 간접가열법을 이용하였다.

퀘칭방식은 오일 또는 염욕 퀘칭방식을 탈피하여 질소를 매체로 하는 고압가스 냉각방식을 채택하였다. 이로서 열처리후의 후처리에 많은 환경 배출물 감소와 작업환경의 개선 그리고 제품의 질적 향상을 꾀할 수가 있었다. 또한 기존 침탄설비와는 달리 장입물이 침탄과정을 거친 후 퀘칭장치로의 진입할 때 대기장소로 저압침탄로와 고압가스퀘칭 장치의 사이에는 공간이 필요하여 중간실을 설계하였다.

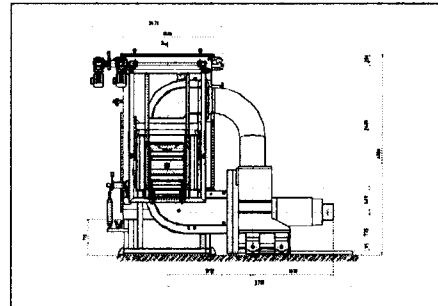
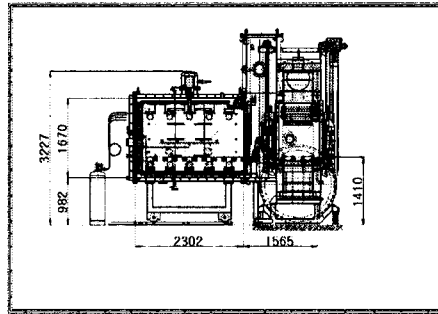
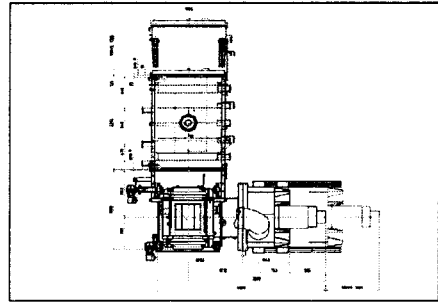


Fig. 2 Drawings of LPC_GQ (top, front, and side view)

이 3 가지 설비를 자동이나 수동 제어할 수 있는 제어설비가 주요한 장비중의 하나로 판넬 형식으로 설치되어 있으며 여기는 여러 가지 pattern를 monitoring 할 수 있는 프로그램으로 구성되어, MP370, Protherm 500, PLC 그리고 Local panel 등으로 이뤄져 있다.

그밖에 퀘칭장치에 사용되는 질소를 보관할 수 있는 질소탱크 및 기화설비가 필수적으로 필요하며 연속식인 경우에는 이 사용한 질소의 회수, 이용을 위하여 재생설비가 추가적으로 필요하게 되나, 본 연구과제는 배치식이므로 그 사용량이 간헐적으로 일어나기 때문에 경제적으로 부담이 되는 재생설비없이 사용된 질소는 대기 중으로 방출시킨다. 기존설비에서 필요한 침탄가스 제조를 위한 Gas generator는 불필요하고 다만 침탄가스로 LPG를 직접사용하게

된다. 저압침탄로의 원활한 운전을 위하여 냉각수를 사용하며 이에 냉각수설비가 필요하여 냉각수 탱크 및 펌프가 필요하게 된다. 그밖에 진공펌프, 연소기용 송풍기 그리고 고압가스 냉각팬 등이 주요 설비로 구성되어 있다.

2.1 저압침탄로 및 중간실

저압침탄로 및 중간실에 대한 핵심설계의 내역을 표 1에 나타내었다.

로체의 구조는 내부의 유효공간을 충분히 활용 할 수 있게 하기 위해 사각구조로 설계하였는데 사각구조의 최대 약점인 고진공압력에 의해 변형이 생기는 것을 방지하고 외부를 냉각하기 위해 2중 철판구조로 설계하였다. 주요 구성품으로는 이송용 롤러, 침탄가스 배관, 연소기기, R/C Fan 그리고 켄칭실로 연결되는 중간실에 존재하는 bridge roller등이 있다.

Table 1 Basic engineering points

로체별 부위	주요 설계 항목
로체 구조	○진공기밀유지 ○2중 Jacket 구조
로체 내부	○내부 재질 ○Graphite Felt의 시공
Roller 및 구동장치	○구동 Roller ○Roller 구동 시스템
Bridge Roller	○가열실에서 냉각실로의 연결용 중간 Roller
침탄가스 주입	○직접 분사 주입
확산 fan	○침탄가스의 확산용 R/C fan

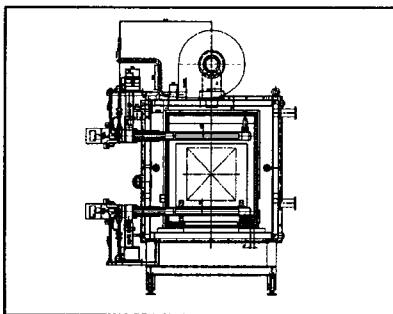
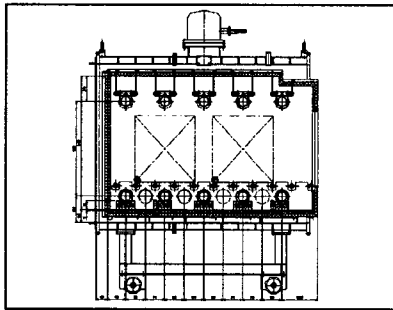


Fig. 3 Structure of carburizing chamber

2.2 제어시스템

전체 시스템을 자동이나 수동 제어할 수 있는 제어설비가 하나의 판넬형식으로 설치되어 있으며 여기는 여러 가지 pattern를 monitoring 할 수 있는 프로그램으로 구성되어, MP370, Protherm 500, PLC 그리고 Local panel 등으로 이뤄져 있다 (그림4).

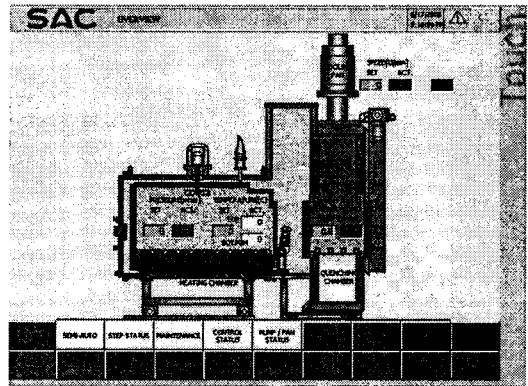


Fig. 4 A screen of control panel

2.3 고압가스냉각

고압가스 켄칭장치는 기존의 오일켄칭 및 염욕켄칭 방식에서 탈피한 신개념의 기술로서 무엇보다도 칫재 기어의 변형율을 크게 저하시킬 수 있고 둘째로는 오일사용에 따른 작업환경의 열악함을 크게 개선할 수있고 특히, 폐오일의 재생이나 후처리가 불필요하게 되어 환경친화적 기술이라 볼 수 있다. 또한 침탄후 켄칭과정을 거친 후 연삭이나 후처리공정이 기존시스템에서는 필요하나 고압가스에서는 전혀 불필요하게 되어 작업공정이 단순화되고 이로써 설비비 또한 저감시킬 수 있는 이점이 있다.

고압가스 켄칭장치는 크게 켄칭 팬과 가스/물용 열교환기 그리고 켄칭실(quenching chamber)로 구성되어 있다.

켄칭실은 한 개의 Tray를 처리하기 때문에 하나의 Tray가 장입될 수 있는 공간이 필요하고 장입물 상부에는 가스/물용 열교환기가 설치되어있다. 열교환기는 gas/water fin type heat exchanger로서 기존의 상용 열교환기를

적용하였다. 그리고 이 켈칭실은 내부에 약 20bar이상의 질소가스 압력이 작용하는 곳이어서 고압장치로 분류되며 이 고압가스의 기밀을 위한 기밀유지방법 및 장/출입문에 특별한 기술이 필요하다.

3. 시스템 제어

그림 5는 저압침탄 고압냉각 시스템의 공정도를 전기/계측/제어기/PLC/PC로 구현한 전체 제어 시스템 구성을 보여준다.

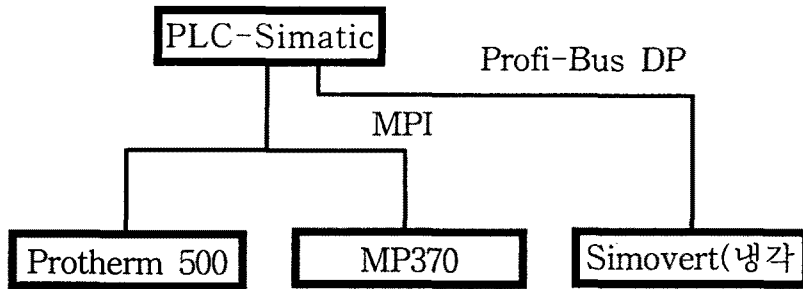


Fig. 5 Outline of control system

3.1 연소제어

침탄 온도제어를 위해 상, 하 각 zone에서 각 zone 별로 5대의 버너를 동시에 제어를 하는데 on/off 제어 출력신호 이용하여 버너 가동 및 가동시간을 조작하였다. Protherm 500에서 나오는 PID 제어 출력신호를 PLC에서 받아서 버너 및 연소시간(착화시간)을 PLC에서 연산하여 디지털신호를 출력하여 버너에 개별적으로 제어신호를 주어 점화, 중지, 대기 시간후, 점화 동작이 버너에 전달되도록 하였다.

3.2 냉각제어

PLC 와 Profibus-DP 통신을 하면서 inverter 제어를 수행한다. 가동 ready 신호는 PLC로부터 받고 PLC쪽으로도 start, acknowledgement, release 신호를 준다.

3.3 도어제어

door는 HC에서의 isolation door, GQ에서의 inside door, outside door 가 있다. isolation door는 정, 역 회로를 조정하여 열고 닫는 속도를 위치에 따라 가변하고 GQ inside 및

outside door는 4위치(limit S/W 이용) 즉 open, trap, break, close 위치에서 속도가변 및 시간 지연 등의 안전장치를 두고 있다. 이는 고압으로 인한 사고 방지 및 가동시간 단축의 의미가 있다.

3.4 구동제어

roller 역시 3개의 chamber 각각에서 구동되는 3개로 구성되어 있다. 모두 inverter 제어로 속도를 같이 놓고 tray의 이송을 수행한다.

3.5 프로그램 제어장치

직접적인 공정제어 기기인 Protherm 500은 로내 온도, 침탄시 진공압력, MFC 유량값을 센서로부터 신호를 받고, 온도 제어 출력, 침탄압력 제어를 위한 on/off 신호 출력, MFC의 설정치 출력을 수행하여 LPC 시스템이 실질적인 제어를 담당하게 하였다. 또한 공정 순서 및 시간을 program 하여 전에 공정이 순서대로 수행되게 하고 PLC와 Auto 전체를 공유할 수 있고, 개별적으로 수행하기도 할 수 있다.

3.6 PLC

전반적인 자동/수동 제어를 총괄하는 곳은 PLC이며 MP370 및 Protherm 500과 MPI bus 통신하면서 자동 운전을 총괄한다. 또한 PLC는 냉각팬(Simovert)과도 Profi-Bus DP 통신으로 inverter 제어를 수행한다.

3.7 침탄제어

침탄시 배기 벨브에서 small size butterfly valve만 열고 Protherm, PLC로부터의 on/off 제어를 통해 배기 개도를 조절하면서 침탄 압력을 제어하게 된다. 침탄 가스 유량은 MFC를 이용하여 설정치는 Protherm 500에서 주어진다.

4. 시제품 평가

시작품인 저압침탄로와 고압가스냉각장치의 전체 시스템을 조립, 설치한 후 장입물을 175-630kg, 침탄시간을 3-5.5 hrs, 냉각공정을 10-17bar와 같은 조건으로 성능시험을 수행하였다. 성능시험 하기 전에 시운전 및 운전매뉴얼에 따라 Cold Charge 및 Hot Charge를 행하여 마지막 점검을 하였다.

시운전에 기어의 현재 규격과 현 수준을 표2에 나타내었다.

Table 2 specification of test sample

재 질	SCM722H2	
	규격	현수준
침탄 깊이	0.4~0.7mm	0.65~0.7mm
표면 경도	Hv650 ↓	Hv750~800
표면 이상층	20 μ m이내	5~10 μ m

4.1 에너지원단위

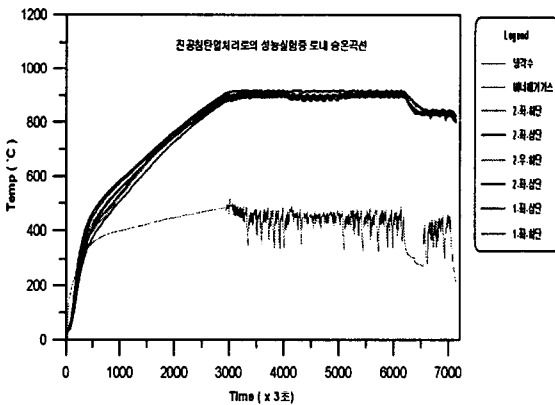


Fig. 6 heating pattern of this system

침탄공정에서의 Heating Pattern을 그림6에 나

Table 3 Heat balance

입 열 량 항목		[10 ⁴ kcal/ton] (%)	출 열 량 항목		[10 ⁴ kcal/ton] (%)
1	LPG 현열	72.0(89.1)	1	장입물 현열	15.4(19.1)
2	예열공기 현열	8.8(10.9)	2	배가스 손실	14.8(18.4)
			3	냉각수 손실	34.8(43.1)
			4	방열손실	5.0(6.0)
			5	기타손실(로체,롤러 트레이 등 축열)	10.8(13.4)
계		80.8(100.0)	계		80.8(100.0)

타내고 있다. 그림에서 보듯이 로내 온도가 약 950 °C에 도달하는데 가열시간이 약 150분, 그 후 holding(대기) 50분, 침탄은 침탄가스 3분 주입(1,200 l/h * 6회 및 750 l/h 2회 총 8회) 2분 대기하는데 약 45분 그리고 마지막으로 확산에 약 50분 이렇게 하여 총 약 5시간에서 6시간이 소요되었다. 배가스 온도는 recuperative radiant tube burner 출구에서 측정된 자료로 그림6에 나타났듯이 초기에는 약간 낮았으나 점화 후 약 10분 후에는 약 350°C에 도달하였으며 정상상태로 공정이 운전될 때에는 약 450 °C이었고 침탄가스를 주입하면 로내온도도 약 10°C저하되었다. 그 밖에 열정산을 위하여 측정된 자료는 로체 주위의 이중 자켓으로 순환되는 냉각수 온도가 초기 26°C에서 38-39 °C로 비교적 크게 상승함을 알 수가 있는데, 이는 로체 내부에 있는 Graphite Felt의 재료나 시공에 있어 개선할 필요가 있다고 사료된다. 또한 이 로체에는 내화물대신에 철강으로 제작된 수냉자켓으로 이뤄져 있고 롤러나 기타 재료에도 내화물보다는 적지만 축열량이 존재한다. 그리고 기타 손실로는 로체 상하부 그리고 벽면에서의 방열손실이 있다. 이것을 열정산표로서 나타내면 표3과 같다.

표3에서 보면 가장 큰 손실은 냉각수손실로 약 43%를 차지하고 있어 이것은 로체내 Graphite Felt단열재로 이뤄진 내부로체에서의 열차단이 잘 이뤄지지 않아 따라서 추후 이에 대한 Graphite Felt 단열재의 교체가 필요할 것으로 사료된다. 그 밖의 손실은 기존의 내화물 구조의 로체에서의 손실과 큰 차이를 보이지 않아 이런 수냉식 이중구조의 로체는 여러 가지 면에서 매우 우수하다고 볼 수 있다.

에너지원단위에 대한 결과를 표3를 토대로 그림7에 나타내었다. 총 8번의 시험에서 얻은 유효 가능한 6번의 결과를 분석한 결과 장입물의 중량이 적을수록 에너지원단위가 상당히 높은 것을 알 수가 있고 이는 설계용량에 적정하게 장입하여야 최적의 결과를 얻을 수 있다는 것을 반증하는 것이다. 이 사업의 목표치로 설정한 500kg batch에 70만 kcal/ton,batch의

에너지원단위에는 거의 도달하였다고 볼 수 있다. 앞으로 이 설비를 이용하여 연속식 저압침탄로의 설계 자료를 도출하기 위한 지속적인 시험을 수행하여야 할 것이다. 이와 더불어 이 설비는 국내 처음으로 개발하여 설계, 제작한 시작품이어서 상품화를 위한 수정, 보완 작업에 많은 노력과 시간을 투자해야 할 것이다.

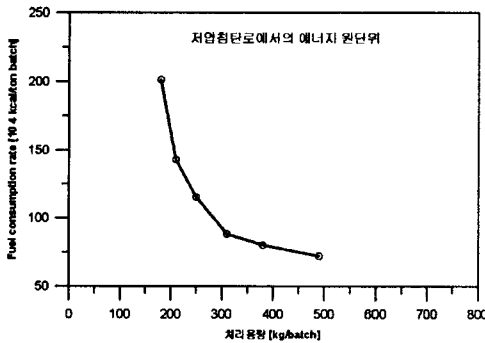


Fig. 7 Fuel consumption of LPC_GQ.

4.2 탄소농도 분포(Carbon Profile)

그림8에는 여러 가지 변수 중에서 pulse에 의한 장입한 기어의 위치 및 깊이에 따라 측정된 탄소량의 분포를 나타내고 있다. pulse 수가 클수록 표면 탄소량은 약간 증대된 모습이나 확산된 양은 약간 적게 나타났으며 균일한 분포를 보이고 있다. 전체적인 침탄 양은 큰 차이를 보이고 있지 않다.

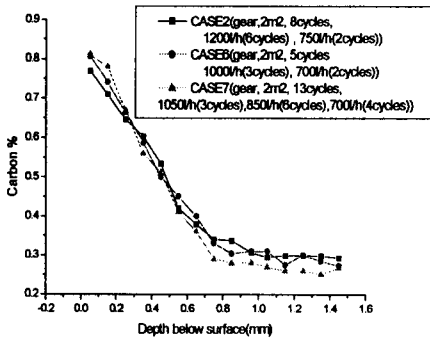


Fig. 8 Carbon Profile

4.3 경도분포

경도형성은 고압가스 냉각과정에서 이루어졌으며 그 중에서 발체한 2 가지 경우에 대한 내용을 범례에서 보듯이 4군데에서 분석한 결과

를 [그림9]에 나타내었다.

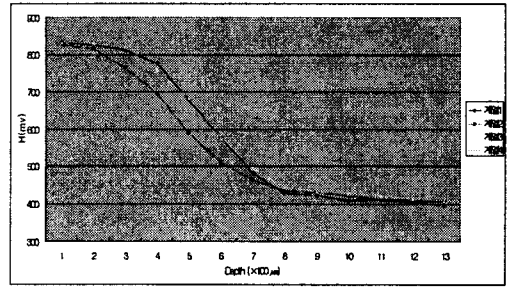


Fig. 9 Hardness profiles of carburized and hardened sample.

그림에서 보듯이 기어의 산과 골 부분의 경도는 최고 Hv 850, 최저 370이고 또한 기어 위치에 따라 적게는 2-3, 많게는 약 50정도 차이를 보이고 있으나 아주 고른 경도의 분포를 나타내고 있어 시작품으로서의 고압가스 냉각설비는 매우 훌륭한 성능을 보여주고 있어 국내 최초의 설비로서 성공한 작품이라 볼 수 있다.

4.4 조직검사

침탄 처리한 기어내부의 조직을 현미경으로 검사한 결과를 그림10에 나타내었다. 그림에서 보듯이 기어의 산부분이나 골부분에서의 조직상 큰 차이를 보이지 않았고 매우 균일하게 나타내고 있어 앞서 기술한 탄소농도 및 경도 분포 결과와 잘 일치하는 것이다. 또한 침탄에서 가장 중요한 표면이상층이 전혀 관찰할 수 없었다.

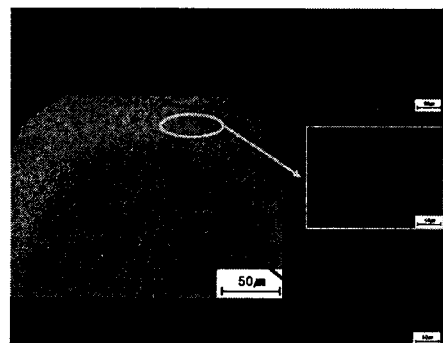


Fig.10 OM of carburizing sample

5. 결 론

- 1) 국내 최초로 저압 침탄로의 설계, 제작하고 침탄 성능시험을 성공적으로 수행하였고 특히, 진공 기밀시험에서 목표치인 0.05 Torr보다 훨씬 더 낮은 0.02 Torr까지 매우 양호한 진공상태를 얻을 수 있었음.
- 2) 장입물의 평가에서 Carbon Profile은 기어의 위치에 관계없이 아주 훌륭한 균일성 Uniformity)을 나타내었고, 경도분포는 고압가스 켄칭의 효과로 오일켄칭에 버금가는 최고 850Hv, 위치간의 차이는 약 50 Hv이하로 아주 우수한 결과를 나타내었다.
- 3) 조직검사를 통하여 매우 양호하다는 결과를 얻어 그 성능을 재삼 입증하였다.
- 4) 저압 침탄로 및 고압 가스 켄칭설비를 조합한 시작품은 batch type으로는 국내 최초로 개발한 제품으로 그 성능 또한 아주 우수하다고 입증되었으며 그리고 앞으로 연속식에도 적용이 가능하다

후 기

본 연구는 2001년 산업자원부 에너지자원기술개발사업 지원을 통해 수행되었으며 이에 감사의 뜻을 전합니다.

참고문헌

- [1] Ralph Poor and Stephen Verhoff, 2002, "New Technology is The Next Step in Vacuum Carburizing," *Industrial Heating*, October, pp. 41-48.
- [2] John Gupta and Gordon Willett, 2003, "Flexible Vacuum Carburizing Systems," *Industrial Heating*, September, pp. 87-90.
- [3] Gary G. Tibbetts, 1980, "Diffusivity of Carbon in Iron at High Temperature," *J. Appl. Phys.*, vol. 52(9), pp. 4813-4816.
- [4] B. Liscic, T. Lubben, and F. Hoffmann, and P. Mayr, 1998, "Controllable Heat Extraction During Gas Quenching," *Proc. 11th Congress of the International Federation for Heat Treatment and Surface Engineering*, Vol.1, pp. 191-200.