

## Batch type 가스침탄 열처리로 국산화개발

김원배<sup>†</sup> · 동상근 · 장병록\* · 한형기\* · 김한석\*\* · 조한창\*\*\*

한국에너지기술연구원

<sup>\*</sup>(주)에스에이씨

<sup>\*\*</sup>한국기계연구원

<sup>\*\*\*</sup>포항산업과학연구원

## Development of High Performance Low Pressure Carburizing System

Won-Bae Kim<sup>†</sup>, Sang-Keun Dong, Byoung-Lok Jang\*, Hyoung-Ki Han\*,  
Han-Suck Kim\*\*, Han-Chang Cho\*\*\*

KIER, 71-2 Jangdong, Yusungku, Daejeon, Korea

\*R&D center for Energy, SAC, Cheonan 303-807, Korea

\*\*KIMM, 172 Jangdong, Yusung, Daejeon, Korea

\*\*\*RIST, 32 Hyojadongsan Namku, Pohang, Korea

**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.

(Received September 1, 2006; accepted September 26, 2006)

**Key words:** Surface hardening, Low pressure carburizing, Carbon depth profile, Hardness profile

### 1. 서 론

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 20여년 동안 획기적인 기술의 발전이 없어 이러한 기술적 또는 환경적 요구를 해결할 신 기술이 필요하게 되었다.

본 논문에서 침탄과 관련하여 기술한 신공정과 기존공정과의 비교를 Table 1에 나타내었다.

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, 침탄 공정제어 기술, 안전을 위한 Inter-lock 기술, 냉각 기술 등 핵심기술에 대한 정립과 적용에 실패와 개선을 거듭하였다. 뿐만 아니라 가열관련 가열시스템, 단열시스템, 제어시스템의 조화에도 많은 시행착오가 발생하여 해결에 많은 시간이 소요되었다[1].

개발된 배치식 저압침탄 및 고압가스냉각시스템 Fig. 1의 시운전과정에서 얻은 기어류의 특성을 평가한 결과 표면에서 기존 상압침탄에서 발생하는 표면이상층은 전혀 관찰되지 않았으며 유효침탄 깊이도 안정적으로 얻어졌다. 양산적용의 관건인 열변형시험에서도 우수한 평가를 받았다.

<sup>†</sup>E-mail : wbkim@kier.re.kr

Table 1. Comparison of new process and old process

	New process (LPC & HPGQ)	Old process (Atmospheric carburizing)
Structure	Pressure vessel(insulating + metal )	Fire bricks
Carburizing gas	Pure gas(C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> , CH <sub>4</sub> etc)	RX (CO20%, H <sub>2</sub> 40%, N <sub>2</sub> 40%)
Gas Generator	No necessary	Necessary
cooling	High pressure gas (N <sub>2</sub> , He)	Oil quenching
To be treated	Gears with complicated type	Gears
Control	Carbon mass flowrate(Mc)	CO contents (C%)
Merits	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Short time of process</li> <li>- Wider flexibility for heat-up &amp; down</li> <li>- Cut down of post process</li> <li>- Energy saving(gas electricity)</li> <li>- Homogeneous carburizing</li> <li>- Eco friendly facility</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Low cost for investment</li> </ul>
Demerits	<ul style="list-style-type: none"> <li>- High cost for investment</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Long time for heat-up</li> <li>- Environmentally problem</li> <li>- Non homogeneous carburizing</li> </ul>



Fig. 1. Batch system of low pressure carburizing and high pressure gas quenching.

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

## 2. 침탄로의 구성

저압침탄 및 고압가스냉각시스템은 저압침탄로(Low Pressure Carburizing Furnace)와 고압가스 냉각시스템(High Pressure Gas Quenching System) 그

리고 중간실(Intermediate Chamber)과 전기제어판넬로 구성되어 있으며 그밖에 Utility 설비로 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 Recuperative와 Regenerative Burner를 Radiant tube인 간접가열법을 이용하였다.

냉각방식은 기존의 염욕 또는 오일 냉각방식을 탈피하여 질소를 매체로 하는 고압가스 냉각방식을 채택하였다. 이로써 열처리후의 후처리에 많은 환경 배출물 감소와 작업환경의 개선 그리고 제품의 질적 향상을 얻을 수 있었다.

설비를 자동이나 수동 제어할 수 있는 제어설비가 주요한 장비중의 하나로 판넬형식으로 설치되어 있으며 여기는 여러 가지 pattern를 monitoring 할 수 있는 프로그램으로 구성되어, MP370, Protherm

500, PLC 그리고 Local panel 등으로 이뤄져 있다.

그밖에 냉각시스템에 사용되는 질소를 보관할 수 있는 질소탱크 및 기화설비가 필수적으로 필요하며 연속적인 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, 연소기 용 송풍기 그리고 고압가스 냉각 팬 등이 주요 설

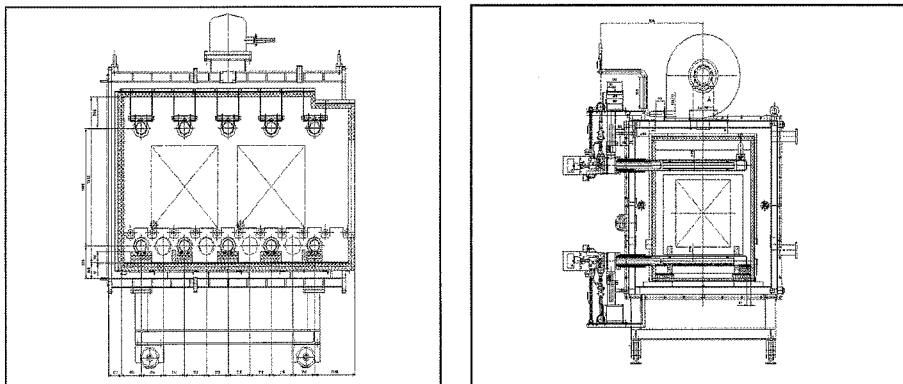
비로 구성되어 있다.

### 2.1 저압침탄로 및 중간챔버

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 철재구조로 설계하였다. 안쪽과 바깥쪽 모두 channel을 일정 간격으로 용접하여 격막을 만들었다. 주요 구성품으로는 이송용 롤러, 침탄가스 배관, 연소기기, R/C Fan 그리고 냉각챔버로 연결되는 중간챔버에 존재하는 bridge roller등이 있다. Table 2에는 로체에 대한 상세한 설계 내용을 기술하였으며, Fig. 2에는 로체의 단면도를 나타내었다.

**Table 2.** The design concept for carburizing furnace.

Items	Main concept	Detailed contents
Structure	• No leakage	• O-ring groove machined without horizontal wrinkles • NBR used as door sealing material
	• Double jacket	• Water cooled double jacket • Separator for strength and homogeneous cooling
Inside structure	• Materials	• Graphite felt used and designed to easy disassemble and assemble for the maintenance.
	• Manufacture	• Cross over type manufacture to have heatloss. • Fixture as special bolts
Bridge roller	• Traversing roller	• Separate driving mechanism with independent motor • Carbon steel used as materials
Carburizing gas	• Direct injection	• Install symmetrically
Recirculation fan	• More active diffusion	• Graphite used as material • Keeping speed in 1,000 RPM



**Fig. 2.** Section view of carburizing chamber.

### 2.2. 고압가스 냉각시스템

고압가스 냉각시스템은 기존의 오일냉각 방식에서 탈피한 신개념의 기술로서 무엇보다도 첫째 기어의 변형율을 크게 저감시킬 수 있고 균일변형을 유도할 있으며 둘째로는 염욕 또는 오일사용에 따른 작업환경을 개선할 수 있으며 특히, 폐염욕 또는 폐오일의 재생이나 후처리가 불필요하게 되어 환경친화적 기술이라 볼 수 있다. 또한 침탄후 급냉과정을 거친 후 연삭이나 후처리공정이 기존시스템에서는 필요하나 고압가스에서는 전혀 불필요하게 되어 작업공정이 단순화되고 이로써 설비비 또한 저감시킬 수 있는 이점이 있다[4].

냉각시스템의 설계제원은 20 bar의 내압에 견딜 수 있게 구성되어야 한다. 냉각시스템은 30 bar의 내압에 견디기 위해서 원형부와 평판의 두를 달리하여(SS400, yield stress =  $2.5 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ ) 제작하기로 하였지만 안전성에 대한 확인을 미리 computer tool을 이용하여 예상해 볼 필요가 있다.

냉각시스템 내부를 20 bar의 가스로 충전하는 경우 ANSYS로 계산된 냉각시스템 각 위치의 응력을 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3의 결과로부터 응력은 SS400의 항복응력  $2.5 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ 에 비하여 낮게 예상되며 가장 높은 부위는 순환팬의 box와 시각

배관부의 접합부가 가장 높지만 최고 응력은  $0.65 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ 로 항복 응력에 비하여 1/3 정도이며 비교적 안전한 설계가 이루어졌음을 확인할 수 있다. 이러한 강도 설계를 근거로 하여 침탄 시스템에 연동되는 냉각챔버를 제작하였다.

고압가스 냉각시스템은 크게 냉각 팬과 가스/물용 열교환기 그리고 냉각챔버(Quenching Chamber)로 구성되어 있으며 Fig. 4에 나타내었다.

냉각챔버는 한 개의 tray를 처리하기 때문에 하나의 tray가 장입될 수 있는 공간이 필요하고 장입물 상부에는 가스/물용 열교환기가 설치되어있다. 열교

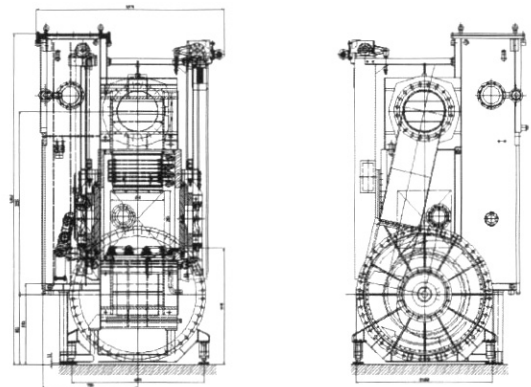


Fig. 4. High pressure gas quenching system.

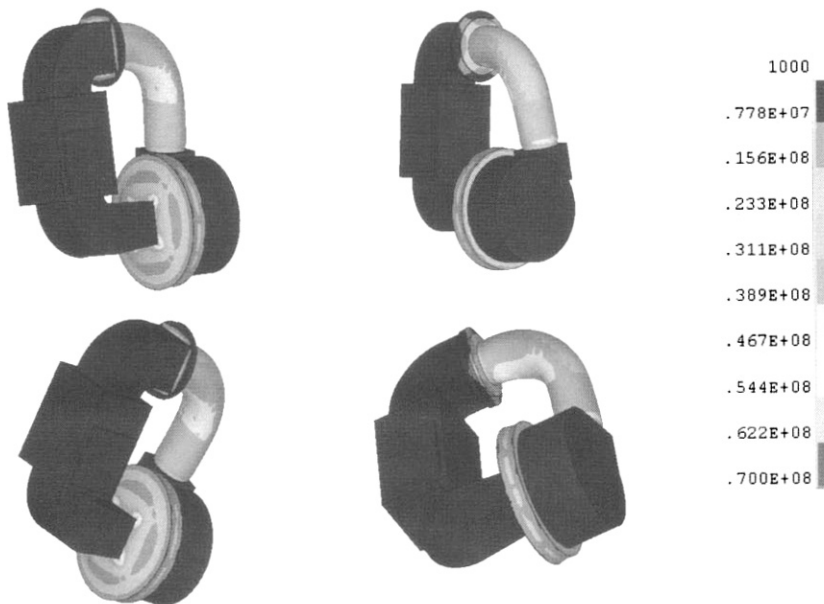


Fig. 3. Stress distribution of gas quenching system (N/m<sup>2</sup>).

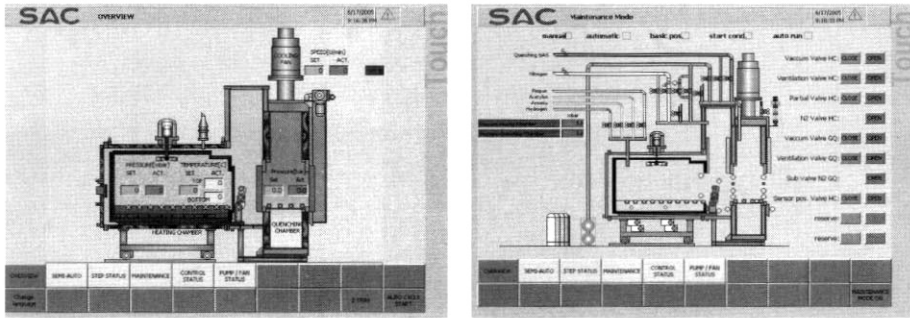


Fig. 5. Monitoring screens of control system.

환기는 gas/water fin type heat exchanger로서 기존의 상용 열교환기를 적용하였다. 그리고 이 냉각채버는 내부에 약 20 bar 이상의 질소가스 압력이 작용하는 곳 이어서 고압장치로 분류되며 이 고압가스의 기밀을 위한 기밀유지방범 및 장/출입문에 특수한 방법을 설계에 반영하였다.

2.3. 제어 시스템

전체 시스템을 자동이나 수동 제어할 수 있는 제어설비가 Fig. 5와 같이 주요한 장비중의 하나로 판넬형식으로 설치되어 있으며 여기는 여러 가지 pattern를 monitoring 할 수 있는 프로그램으로 구성되어, MP370, Protherm 500, PLC 그리고 Local panel 등으로 이뤄져 있다.

3. 성능시험 및 평가

시작품의 성능시험을 하기 위한 각종 이용설비, 즉 기화기를 포함한 질소탱크(용량; 7 Nm<sup>3</sup>, 설계압력 18 kg/m<sup>2</sup>, 내압시험압력 30 kg/m<sup>2</sup>), LPG 펌베, 냉각수탱크(용량 : 10톤) 등을 포함한 시작품을 제작 설치하였다.

3.1 성능시험 조건

시작품인 저압침탄로와 고압가스냉각장치의 전체 시스템을 조립, 설치한 후 장입물을 175-630 kg, 침탄 시간을 3-5.5 hrs, 냉각공정을 10-17 bar와 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 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Specification of transmission gears to be carburized

Material	SCM722H2	
	Requirements	Present level
Carburizing depth	0.4~0.7 mm	0.65~0.7 mm
Hardness	Hv650 ↓	Hv750~800
Inter-granular	under 20 μm	5~10 μm

3.2 성능시험

본 시작품의 성능시험의 종류는 크게 다음과 같다.

- 에너지 원단위
- 탄소농도 분포(Carbon-Profile)
- 경도 분포(Hardness-profile)
- 치변형을
- 조직사진

가. 에너지원단위

침탄공정에서의 Heating Pattern을 Fig. 6에 나타내고 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 Fig. 6에 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°C 저하되었다. 그 밖에 열정산을 위하여 측정된 자료는 로체 주위의 이중자켓으로 순환되는 냉각수 온도가 초기 26°C에서 38-39°C로 비

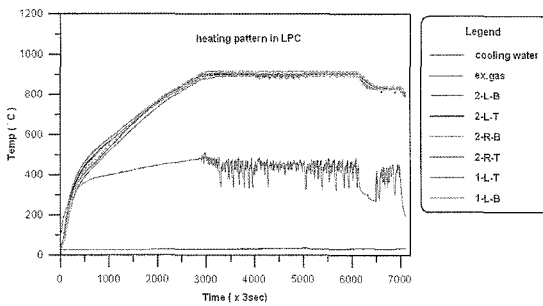


Fig. 6. Heating pattern of this system.

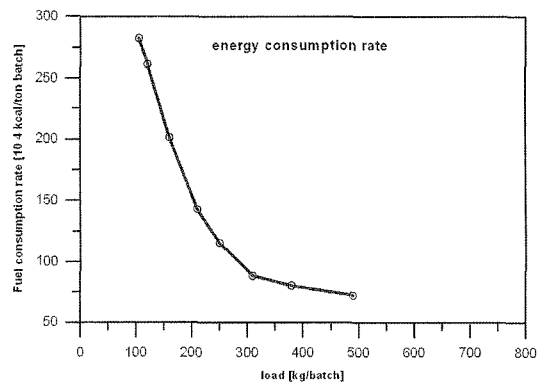


Fig. 7. Fuel consumption of LPC\_GQ.

교적 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 몰러나 기타 재료에도 내화물보다는 적지만 축열량이 존재한다. 그리고 기타 손실로는 로체 상하부 그리고 벽면에서의 방열손실이 있다. 이것을 열정산표로서 나타내면 Table 4과 같다.

Table 4에서 보면 가장 큰 손실은 냉각수손실로 약 43%를 차지하고 있어 이것은 로체내 Graphite Felt 단열재로 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 Table 4를 토대로 Fig. 7에 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 500 kg batch에 70만 kcal/ton, batch의 에너지원단위에는 거의 도달하였다고 볼 수가 있다. 앞으로 이 설비를 이용하여 연속식 저압침탄로의 설계 자료를 도출하기 위한 계속적인 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.

나. 탄소농도 분포(Carbon Profile)

Fig. 8에는 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 량은 약간 적게 나타났으며 균일한 분포를 보이고 있다. 전체적인 침탄량은 큰 차이를 보이고 있지 않다[2].

다. 경도 분포(Hardness Profile)

경도형성은 고압가스 냉각과정에서 이루어졌으며

Table 4. Heat Balance

	Input	[10 <sup>4</sup> kcal/ton] (%)		Output	[10 <sup>4</sup> kcal/ton] (%)
1	LPG	72.0(89.1)	1	Workpiece	15.4(19.1)
2	Preheat air	8.8(10.9)	2	Exhaust gas loss	14.8(18.4)
			3	Cooling water loss	34.8(43.1)
			4	Radiative heat loss	5.0(6.0)
			5	Others(roller, tray etc)	10.8(13.4)
sum		80.8(100.0)	sum		80.8(100.0)

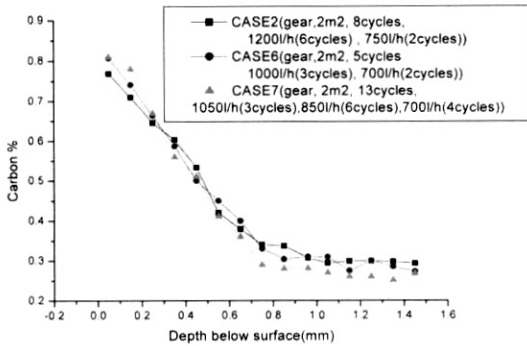


Fig. 8. Carbon profile.

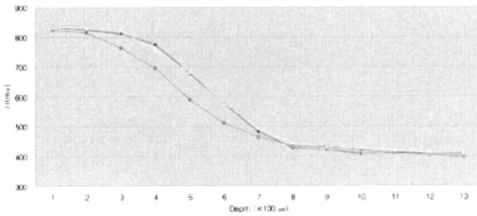


Fig. 9. Hardness profiles of carburized and hardened sample.

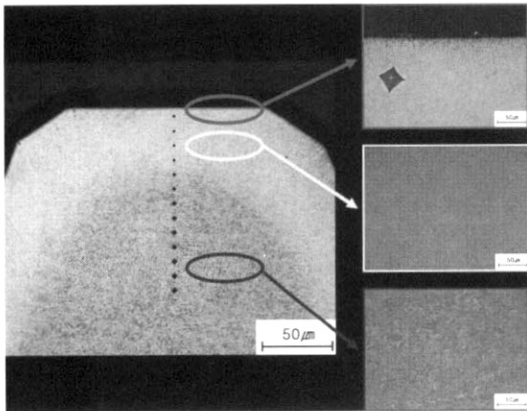


Fig. 10. Microscopic structure.

그 중에서 발췌한 2가지 경우에 대한 내용을 범례에서 보듯이 4군데에서 분석한 결과를 Fig. 9에 나타내었다.

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 시제품으로서의 고압가스 냉각설비는 매우 훌륭한 성능을 보여주고 있어 국내 최초의 설비로서 성공한 작

품이라 볼 수 있다[3].

라. 치변형용

침탄 및 고압가스 냉각 후 기어의 변형을 알아보기 위하여 각 위치에서 가공되지 않은 기어를 비교하여 측정하였다. 각 샘플은 트레이 특정 위치의 9개 샘플을 선택하였으며 모두 치의 처리 전후의 변형량을 측정하였다. 이 부분은 업체의 know-how에 관한 것으로 data를 나타내지 않았으나 측정 결과는 바로 양산에 적용할 수 있는 유효한 결과를 얻었다.

마. 조직검사

침탄 처리한 기어내부의 조직을 현미경으로 검사한 결과를 Fig. 10에 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.

4. 결 론

벳치식 저압침탄 및 고압가스냉각시스템의 개발을 추진하여 유효한 결과를 얻었으며 에너지 절약 효과는 물론 자동차품질 향상 효과도 확인할 수 있었으며 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 저압하에서의 가열시 전열현상을 상압 때와 비교하기 위하여 실험적으로 그리고 이론적인 수치해석으로 수행해 본 결과 저압시의 가열효과가 약 20% 정도 가열시간이 단축되어 에너지 소비 면에서 절약됨을 알 수 있었다.
2. 저압침탄 고압가스냉각시스템의 시작품을 설계, 제작하였다. 저압침탄은 최저 0.01 mbar 그리고 고압가스냉각은 최고 20 bar를 구현하였다.
3. 처리소재의 Carbon Profile은 균일성을 나타내었고, 경도분포는 염욕 또는 오일냉각보다 우수한 결과를 나타내었다. 침탄에서 가장 중요한 표면이상층이 전혀 관찰할 수 없었다. 치변형시험에서는 바로 양산에 적용할 수 있는 유효한 결과 확보하였다.
4. 개발된 시스템의 공정 특성을 확인 할 수 있었다.

**참고문헌**

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