

## 마이크로 펄스 플라즈마 질화법에 의한 선박엔진용 부품의 표면경화에 관한 연구\*

이재식 · 유용주  
금속공학과

### <요 약>

본 연구는 마이크로 펄스 플라즈마 질화처리한 FCD60, S53C, SCM440강재를 고주파 유도경화 열처리한 동일 강재와의 비교분석을 통해 강 표면에 생성된 경화층의 두께와 경도 및 조직을 조사하고 마모시험을 행하였다.

Hv550의 유효경도를 갖는 경화깊이는 마이크로 펄스 플라즈마 질화의 경우 FCD60, S53C, SCM440에서 각각  $30\mu\text{m}$ ,  $25\mu\text{m}$ ,  $25\mu\text{m}$ 이었고, 고주파 유도경화 열처리는 각각 1.4mm이었다.

경화층의 XRD분석결과 마이크로 펄스 플라즈마 질화의 경우 FCD60과 S53C는 주로  $\gamma'$ -Fe<sub>4</sub>N, SCM440은  $\gamma'$ -Fe<sub>4</sub>N과  $\epsilon$ -Fe<sub>3</sub>N의 혼합상이 생성되었으며, 고주파 유도경화 열처리된 경화층은  $\alpha$ -Fe로 모재와 같았다.

또한, 마모시험결과 상온에서는 고주파 유도경화 열처리에 의해 생성된 경화층이 내마모성이 좋으나, 고온(150°C)과 윤활상태에서는 마이크로 펄스 플라즈마 질화처리하에 의하여 생성된 질화층의 내마모성이 우수하였다.

---

## A Study on the Case hardening of Marine Engine parts by Micro-Pulse Plasma Nitriding

Lee, Jae-Sig · You, Yong-Zoo  
Dept. of Metallurgical Engineering

### <Abstract>

---

\* 본 연구는 현대중공업(주)의 산학공동연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

The case hardening of FCD60, S53C and SCM440 by micro-pulse plasma nitriding and high frequency induction heat treatment was investigated.

The effective case depth (of which hardness is over Hv550) of FCD60, S53C and SCM440 nitrided by micro-pulse plasma method was 30, 25 and 25 $\mu$ m, respectively.

XRD analysis of nitrided layer, showed that mixture of  $\gamma'$ -Fe<sub>4</sub>N and  $\epsilon$ -Fe<sub>3</sub>N phases formed on SCM440,  $\gamma'$ -Fe<sub>4</sub>N single phase formed on S53C and FCD60.

In case of high frequency induction heat treatment, hardened layer was  $\alpha$ -Fe single phase.

The hardened layer formed by high frequency induction heat treatment was more resistant to wear than nitrided layer at room temperature, however nitrided layer by micro-pulse plasma nitriding was more resistant to wear than induction hardened layer at high temperature and lubricated condition.

## 1. 서 론

Plasma nitriding은 전원공급형태로 볼 때 DC, pulse, micro-pulse로 나뉘어진다. Pulse Plasma Nitriding(이하 PPN)은 기존의 DC플라즈마 질화에 비해 아크방전이 없으며, 형상에 따른 이온밀집 현상이 심하지않고 또한 Hollow Cathode Discharge(HCD)효과가 적어 hole부분에서도 균일한 질화층을 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다.

그리고 Micro-Pulse Plasma Nitriding(이하 MPPN)은 PPN에 비해 아크방전이 일어나지 않으며 보다 균일한 질화처리가 가능하고 균일한 온도제어가 가능하므로 가공물의 형상이나 크기에 관계없이 다중적재 처리가 가능하다.

MPPN이 PPN에 비해 균일한 질화처리가 가능한 이유는 pulse전원의 glow off time에 부(negative)의 전압을 인가하여 전하의 중화속도가 더욱 빠르게 하기 때문이다. 일반 pulse방식은 glow off time에 전하의 중화현상이 자연중화 현상으로 제거 되지만, Micro pulse는 축적된 전하를 부전압에 의하여 강제적으로 중화시키므로 pulse방식보다 더욱 뛰어난 효과를 볼 수 있다.<sup>1)</sup>

플라즈마 질화처리과정에서 온도는 질화층 형성에 결정적인 역할을 하며, 또 확산과정에서 확산계수는 온도에 매우 민감하게 작용한다. 빠르고 효과적인 확산을 이루기 위해서는 높은 온도가 매우 유리하지만 온도가 재료의 어닐링온도 이상으로 올라가게 되면 조직의 변화가 초래될 수 있으므로, 질화처리공정에서의 정확한 온도조절이 요구된다.

선박용 중형 및 대형엔진은 국내 조선업계의 지속적인 기술개발과 경험축적으로 인하여 일부분을 제외한 거의 모든 부품들을 국산화 하였고 현 단계에서도 각 부품들의 품질향상과 국산화를 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 내연기관의 일부 부품의 소재 열처리 기술은 아직도 외국에 의존하고 있는 실정이다. 특히 선박엔진은 엔진의 효율을 증대시키기 위한 엔진설계에 비례하여 부품에는 가혹한 열적, 기계적 부하에 견디는 내충격성, 내열성 및 내마모성이 요구되고 있다.

내연기관에서는 각 부품들의 마모가 발생하며, 이 마모들은 Adhesive wear, Abrasive wear, Corrosive wear, Fatigue wear등으로 분류<sup>2-3)</sup>할 수 있으며 이런 마모현상이 내연기

관의 수명에 커다란 영향을 미치고 있음에도 불구하고 국내외를 막론하고 마모실험에 대한 체계적인 연구는 거의 없는 실정이다.

이러한 마모가 발생하는 부품들의 내마모성을 향상시키기 위하여 표면경화 열처리를 행하고 있으며 그 방법으로는 침탄처리, 고주파 유도경화 열처리, 레이저 열처리, 플라즈마(이온)질화처리 등의 여러 가지 열처리법<sup>4-9)</sup>들이 있다.

선박엔진의 핵심부품중의 하나인 피스톤은 현재 FCD60을 소재로 사용하고 있으며, Piston ring groove part만을 고주파 유도경화 열처리하여 사용하고 있다. 그러나 Piston ring groove part와 Piston ring 사이에 선박엔진 연료인 중유의 불완전연소에 의하여 발생된 탄소의 누적으로 인하여 Abrasive wear가 발생<sup>10)</sup>하고 있다. 이러한 Piston ring groove part에 발생하는 Abrasive wear의 개선책으로서 고주파 유도경화 열처리와 laser 표면경화 열처리<sup>8)</sup>가 행해지고 있으나 국내에서는 기술해설등만이 있을 뿐이다.

Cam part는 SCM440강과 S53C강을 사용하여 가공·제작되고 있으며 부품의 특성상 고속회전에 의한 편마모와 피로현상<sup>3,11)</sup>을 받게 된다. 즉 캠은 Rolling wear를 받게 되며, 이때에는 슬립현상도 수반하게 되어 완전한 rolling에 비하여 피로수명과 피로한도가 현저히 저하하게 된다. 이러한 현상에 의한 마모는 캠의 수명을 단축시키고 엔진의 내구성을 떨어뜨리는 결과를 가져온다.

따라서 캠의 수명을 향상시키고 엔진의 내구성을 증대시키기 위해서는 마모와 피로에 견딜 수 있는 캠의 표면경화가 필요하다. 따라서 가공된 캠의 표면에 적절한 피로강도와 내마모성을 주기 위해 현재 침탄 열처리<sup>4)</sup>가 행해지고 있다. 그러나 침탄열처리 기술의 한계와 미숙으로 인한 경화깊이의 불균형, 장시간 처리에 따른 경제성 저하, 처리후 가공의 필요성등 많은 문제점들이 야기되고 있다. 수년전부터 외국에서는 경화깊이의 균일성, 작업효율성 증대, 경제성 향상등을 도모하기 위한 여러가지 열처리에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

따라서 본 연구에서는 현재 선박엔진의 피스톤 재료와 캠재료인 FCD60, S53C 및 SCM440을 이미 기술한 마이크로 펄스 플라즈마 질화 및 고주파 유도경화 열처리를 행하여 각 열처리 공정에 따른 미세조직과 경도의 변화 및 경화층 깊이등을 측정하고, 또 상온과 고온(150°C)에서 윤활과 무윤활로 구분하여 마모실험을 행하여 마모손실을 상호 비교 분석함으로써 경화공정에 따른 내마모성을 평가하여 선박엔진 부품의 표면경화 열처리 기술에 필요한 자료를 제공하고자 하는 데 그 목적이 있다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 시편

#### 2.1.1. 열처리 시편

본 실험에 사용된 시편은 현재 중·대형 선박엔진에 사용되고있는 FCD60, S53C 및 SCM440이며 마모상대재료는 SNCM21강으로서 분광분석기(TJA, Atom comp-181)로 분석한 각 시편의 화학조성을 Table 1에 나타내었다.

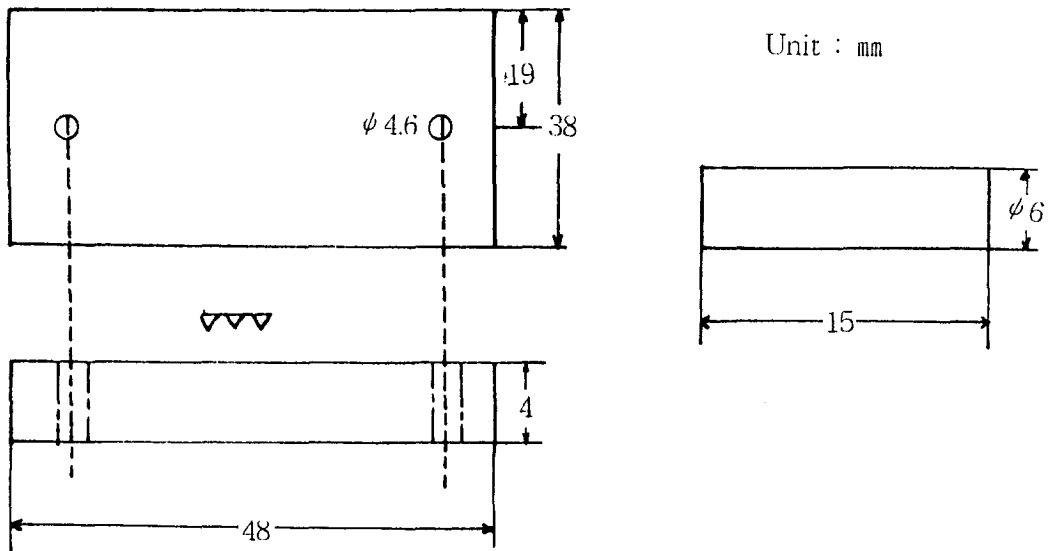
Table 1. Chemical composition of specimens.

(wt.%)

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Al	etc.
FCD 60	3.58	2.05	-	0.04	0.03	0.40	-	-	-	0.02	Mg : 0.03
S53C	0.53	0.25	0.76	0.01	-	0.05	0.02	0.05	0.01	-	-
SCM440	0.39	0.28	0.68	0.01	0.01	0.12	0.06	0.96	0.16	0.02	-
SNCM21	0.21	0.28	0.85	0.01	0.01	0.09	0.57	0.57	0.18	0.02	Co : 0.02

## 2.1.2. 마모시험편

FCD60, S53C 및 SCM440 시편은 TE77 마모시험기(Plint & Partners Ltd., 500N, 50Hz, 1000°C)에 적합한 형태와 크기로 Fig.1과 같이 가공하여 사용하였으며 상대마모재로는 침탄처리한 SNCM 21재료를 사용하였다.



FCD60, S53C, SCM440

SNCM21

Fig. 1. Shape and dimension of wear specimen.

그리고, 시편의 표면조도는 실제 선박엔진에서 요구되는 3-S(▽▽▽)를 갖도록 연마하였다.

## 2.2. 예비열처리

시편제작후 수직형 진공관상로(φ35×900mm, 5kw)에서 3종류의 시편을 모두 840℃에서 10분간 유지 후 수냉한 다음 600℃에서 60분간 유지 후 공냉하여 조직을 균질화 하였다.

## 2.3. 표면경화 열처리 시험

### 2.3.1. 마이크로 펄스 플라즈마 질화

마이크로 펄스 플라즈마 질화에서는 시험편의 크기, 형상, 표면거칠기등에 아무런 상관 없이 시험을 행할 수 있기때문에 마모시험편 규격에 맞도록 시편을 제작한 다음 시간, 펄스 싸이클 및 온도를 변수로하여 Table 2와 같은 조건에서 시행하였으며, 실험장치의 개략도는 Fig. 2와 같다.

Table 2. Micro-pulse plasma nitriding conditions.

Working Conditions		Kinds of Treatment		Sputtering	Nitriding
		Ar	H <sub>2</sub>		
Gas (l/hr)		Ar		0.35	-
		H <sub>2</sub>		20	7 - 10
		N <sub>2</sub>		-	28 - 40
Pressure (mbar)				0.65	1.71 - 2.20
Voltage (V)		Ramp start		600	-
		Ramp end		810	530 - 560
Current (A)				6.4	19.2
Pulse Time, Pause(μs)				170 - 200	109 - 173
				90	91 - 194
Holding Time (hr)				40 - 50 min.	5 - 12
Temperature (°C)				550	570

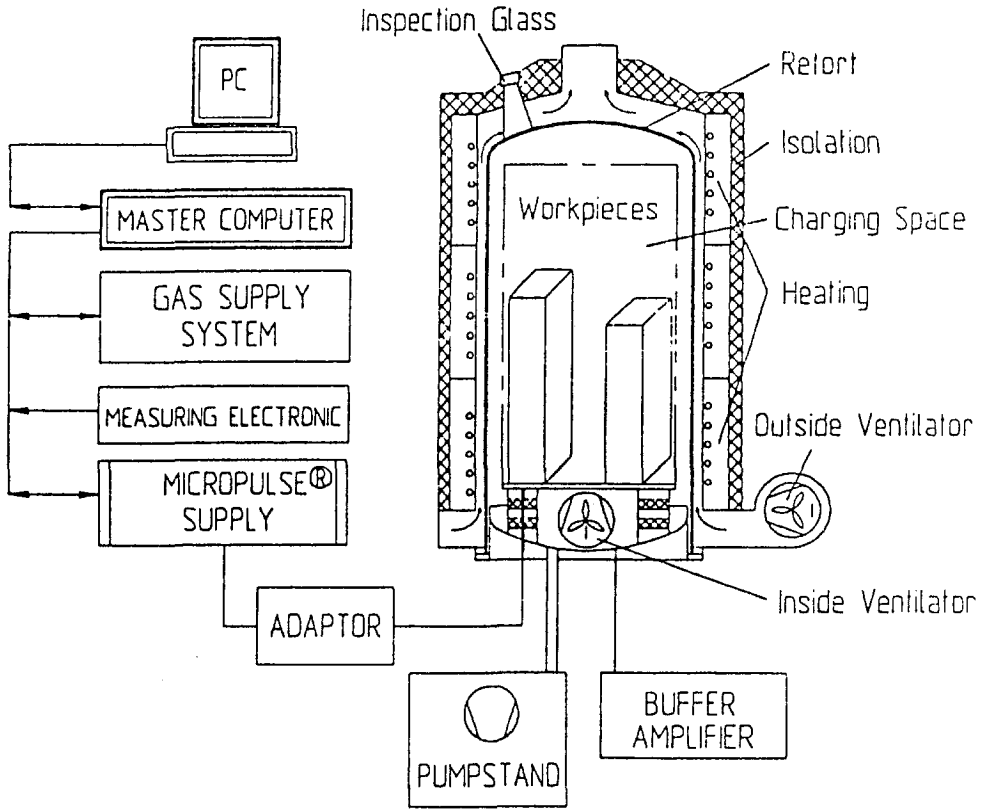


Fig. 2. Schematic diagram of micro-pulse plasma nitriding apparatus.

### 2.3.2. 고주파 유도경화 열처리

고주파 유도경화 열처리 시험은 고주파시험의 특성상 bending현상과 표면균열 현상을 방지하기 위해 TE77 마모시험기 시험편의 규격보다 10배 더 두꺼운 시험편을 제작하였다. 마모시험기에 고정시키기 위한 양쪽 hole부분에는 지름이 똑같은 구리 환봉을 삽입하여 양쪽면을 Table 3과 같은 조건으로 고주파 처리한 다음 양면을 5mm의 두께로 절단하여 사용하였으며, 실험장치의 개략도는 Fig. 3과 같다.

Table 3. High frequency induction heat treatment conditions.

Input power source		3 $\phi$ , 440V, 60Hz, 350kVA
Output power	(kW)	200
Frequency	(kHz)	25
Anode voltage	(kV)	7 - 8.5
Plate current	(A)	9 - 11
Grid current	(A)	2 - 2.2
Filament current	(V)	15
Transfortation rate	(mm/sec)	3.87 - 5.26
Cooling (Quench)		Water spraying
Tempering		160°C, 90min., Air-cooling

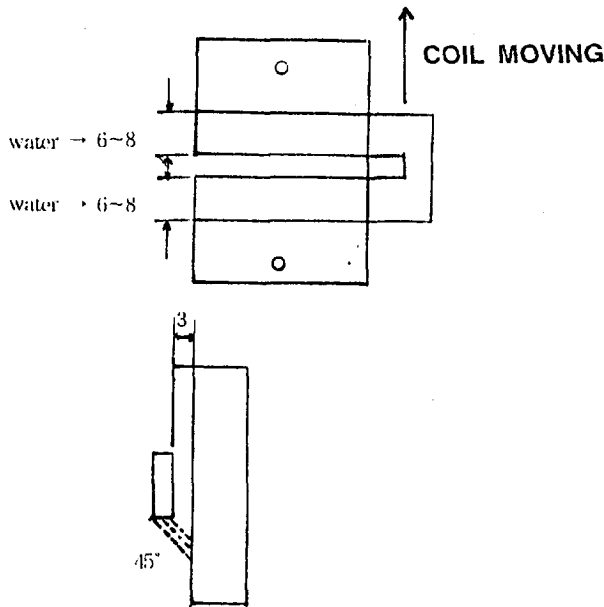
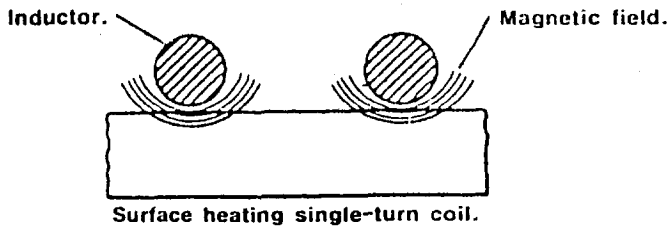


Fig. 3. Schematic diagram of high frequency induction heat treatment apparatus.

## 2.4. 조직검사

각 시편은 사포(#1200)로 연마한 후  $0.3\mu\text{m}$ ,  $0.1\mu\text{m}$ 의  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 분말을 이용하여 연마기에서 연마 후 부식시킨 다음 광학 현미경(Carizeiss, EL-EINSATZ)으로 경화층을 관찰하였으며, 주사전자 현미경(JEOL, JSM820)으로 경화층을 정밀 관찰하고 그 성분을 분석하였다.

## 2.5. 경도시험

표면으로부터 깊이에 따른 경도의 변화는 마이크로 비커스 경도시험기(Mitutoyo, MVK-H1)를 이용하여 측정하였으며, 이때 가해진 하중/시간은 100gf/15sec이었다.

## 2.6. 마모시험

Fig. 1과 같이 마모시험기에 적합한 형태와 크기로 가공되어 각종 열처리가 행해진 FCD60, S53C, SCM440시편을 산화방지 및 불순물 제거를 위해 알콜로 세척한 다음 아세톤 용액내에서 2차 초음파 세척하여 건조시킨 후 소수점 3자리까지 무게를 측정하였다.

그리고, 상대마모재로서 사용한 환봉상태의 침탄처리한 SNCM21의 경도, 무게와 반지름을 측정하였다. 마모시험은 TE77 마모시험기를 사용하여 Table 4에서 보는 바와 같이 상온과 고온( $150^\circ\text{C}$ )에서 윤활과 무윤활로 행하였다.

Table 4. Wear test condition.

Materials	Codition of wear test							Remarks
	Tester	Load (N)	Speed (m/sec)	Stroke (mm)	Time (hrs)	Temp ( $^\circ\text{C}$ )	lubric -ation	
FCD60	TE77	47	0.24	12.33	2	150	O	※ M.P.P.N H. I. T
SCM440							X	
S53C	TE77	40	0.24	12.33	2	R.T	X	M.P.P.N H. I. T
SCM440							X	

※ M.P.P.N : Micro-pulse plasma nitriding

H. I. T : High frequency induction heat treatment

## 2.7. X-선 회절시험

각 시편을 경화층의 깊이에 따라 존재하는 성분을 분석하기 위하여 X-선 회절분석



(Rigaku, D/Max-1A)을 행하였으며, 그 측정조건은 아래와 같다.

Target/Filter	Cu-K $\alpha$ /Ni
Voltage/Current	40Kv/20mA
Scan speed	5°/min.
Step size	0.020
Scan range	25° ~ 115°

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1. 마이크로 펄스 플라즈마 질화

FCD60, S53C 및 SCM440을 마이크로 펄스 플라즈마 질화처리하여 경화깊이에 따른 경도의 변화를 Fig. 4에 나타내었다.

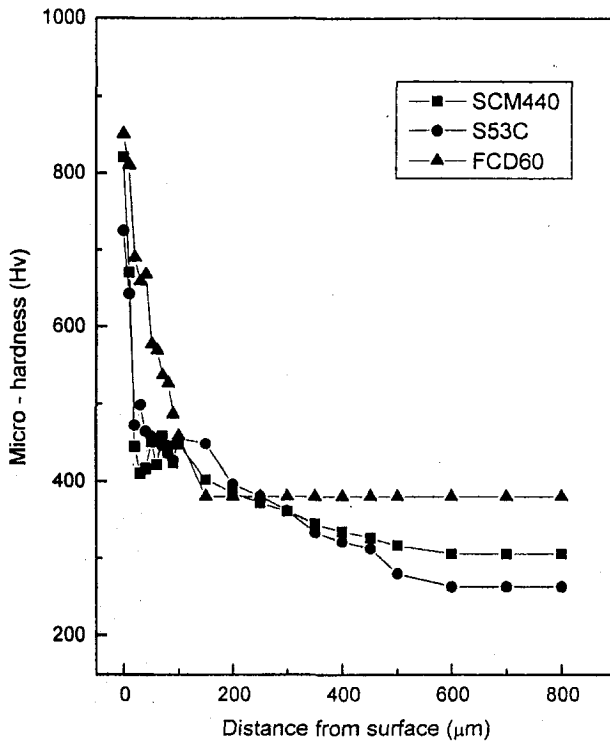


Fig. 4. Micro vickers hardness distribution from surface of specimens after micro-pulse plasma nitriding.

그림에서 보는 바와 같이 구상흑연 주철계인 FCD60과 합금강재인 SCM440은 그 표면 경도치가 Hv800이상이고 유효경화 깊이는 각각  $75\mu\text{m}$ 와  $50\mu\text{m}$ 임을 알 수 있다. 그러나 탄소강인 S53C는 그 표면경도치가 Hv600으로서 비교적 낮은값을 나타내며, 또한 유효경화깊이도 약  $25\mu\text{m}$ 로서 경화깊이가 깊지 않음을 알 수 있다.

마이크로 펄스 플라즈마 질화처리한 FCD60, S53C 및 SCM440의 단면조직사진을 Photo. 1에 나타내었다.

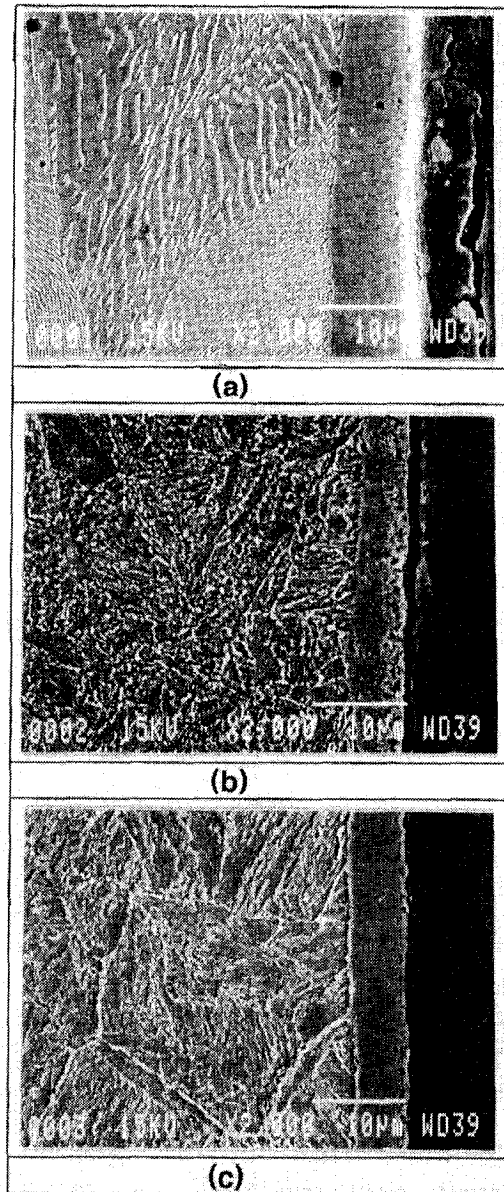


Photo. 1. Microstructure of the micro-pulse plasma nitrided.  
 (a) FCD60, (b) S53C and (c) SCM440.

사진에서 보는 바와 같이 모든 재료에서 표면에 화합물층이 치밀하게 생성되어 있음을 알 수 있다. 또한, 생성된 화합물층의 두께가 FCD60은 약  $10\mu\text{m}$ 이고, S53C와 SCM440의 경우는 약  $5\mu\text{m}$ 로서 모든 재료에서 매우 얇은 화합물층이 형성됨을 알 수 있다.

마이크로 펄스 플라즈마 질화처리된 FCD60, S53C, SCM440의 XRD분석 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 생성된 화합물은 SCM440의 경우는  $\gamma'$ -Fe<sub>4</sub>N,  $\epsilon$ -Fe<sub>2-3</sub>N 및  $\alpha$ -Fe로 구성되어 있고, S53C와 FCD60은 주로  $\gamma'$ -Fe<sub>4</sub>N으로 구성되어 있음을 알 수 있다.

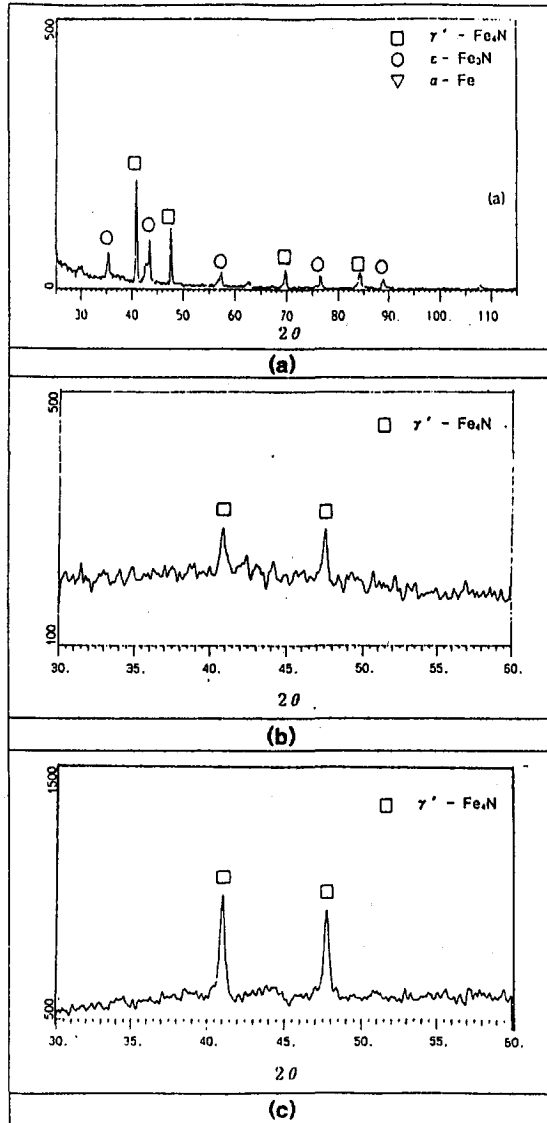


Fig. 5. XRD patterns of the specimen after micro-pulse plasma nitriding.  
 (a) SCM440. (b) S53C. (c) FCD60.

### 3.2. 고주파 유도경화 열처리

FCD60, S53C, SCM440을 고주파 유도경화 열처리하였을 경우 경화깊이에 따른 경도치를 Fig. 6에 나타내었다.

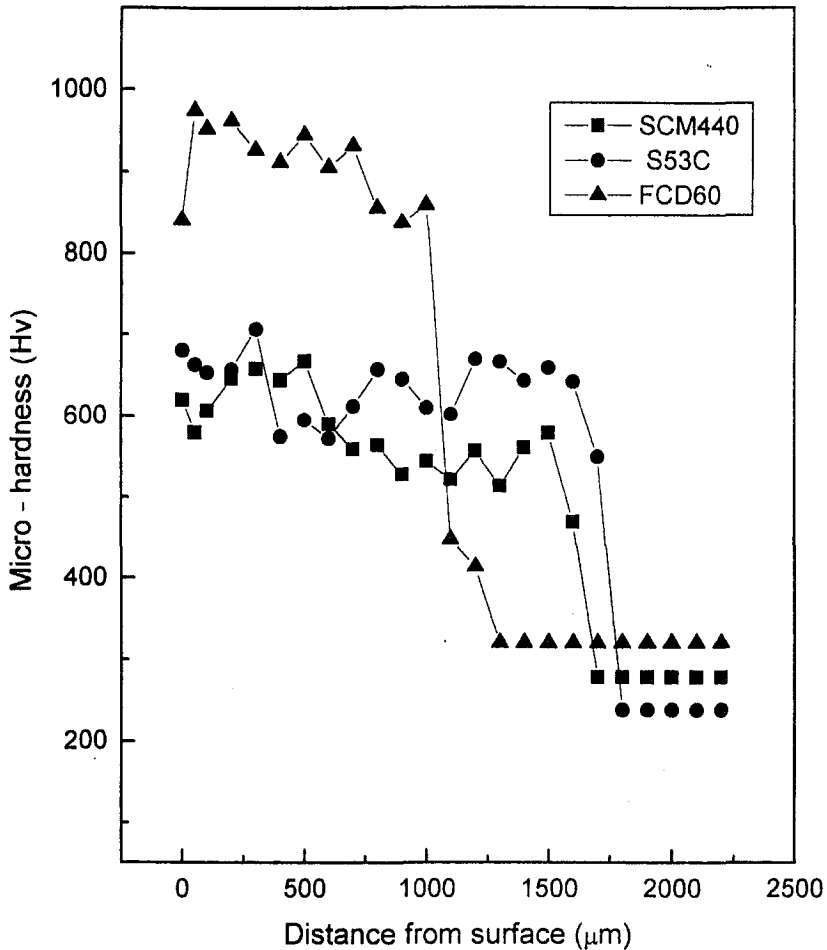


Fig. 6. Micro vickers hardness distribution from surface of specimens after high frequency induction heat treatment.

그림에서 보는 바와 같이 고주파 유도경화처리된 FCD60, S53C, SCM440의 표면 경도는 각각 Hv830, Hv680, Hv620으로써 표면경도 Hv650이어야 된다는 중·대형 선박엔진의 제작사양의 요구조건에 만족하고 있음을 알 수 있다.

또한, Hv550이상의 경도를 나타내는 유효경화 깊이도 세가지 재료가 전부 1.4mm이상으로서 엔진제작사양에 적합함을 알 수 있다.

고주파 유도경화 열처리한 재료들의 단면조직을 Photo. 2에 나타내었다.

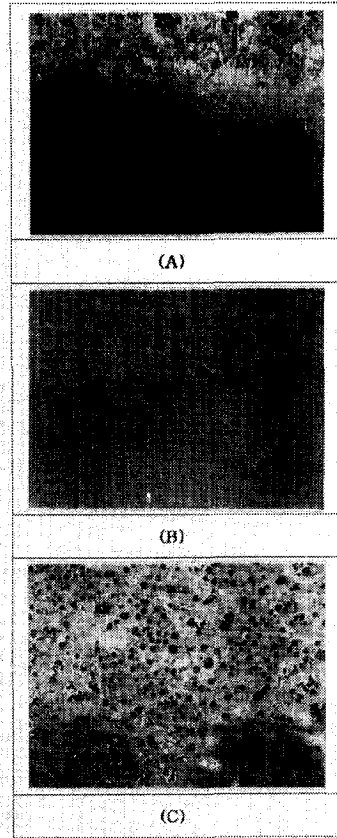


Photo. 2. Microstructure of the high frequency induction heat treated.

(a) SCM440, (b) S53C and (c) FCD60.

사진에서 보는 바와 같이 두껍고 치밀한 경화층이 생성되어 있음을 알 수 있다. 고주파 유도경화 열처리된 재료들의 XRD분석 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 이 그림에서 보는 바와 같이 생성된 경화층은 모재와 같은  $\alpha$ -Fe로 구성되어 있음을 알 수 있다. 이것은 고주파 열처리에 의해서는 새로운 상의 생성이나 어떤 화학적 변화가 일어나지 않음을 알 수 있다. 그러나 전체적으로 고주파 열처리시 변형과 균열발생등으로 인한 시편제작의 난이도 등을 고려해 볼 때 기존의 선박엔진에서 사용되고 있는 부품들의 고주파 처리시의 문제점이나 고주파코일 설계등도 한 번 연구해 보아야 할 것으로 사료된다.

또한, M.P.P.N처리한 시편과 H.I.T처리한 시편의 표면으로부터의 경도값을 시편별로 상호비교한 값을 Fig. 8~10에 나타내었다.

그림에서 보는바와 같이 H.I.T처리된 각 시험편이 M.P.P.N에 비하여 매우 깊은 경화층을 가짐을 알 수 있다.

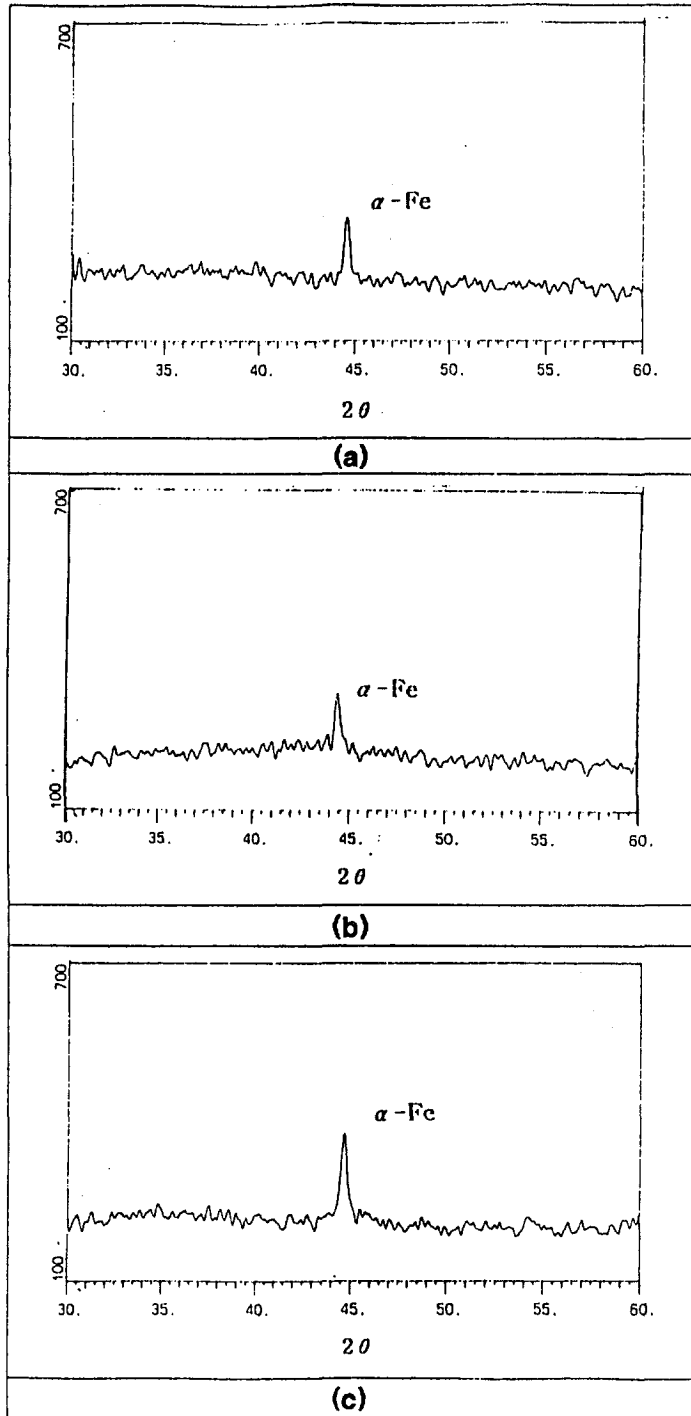


Fig. 7. XRD patterns of the specimen after high frequency induction heat treatment.  
(a) SCM440. (b) S53C. (c) FCD60.

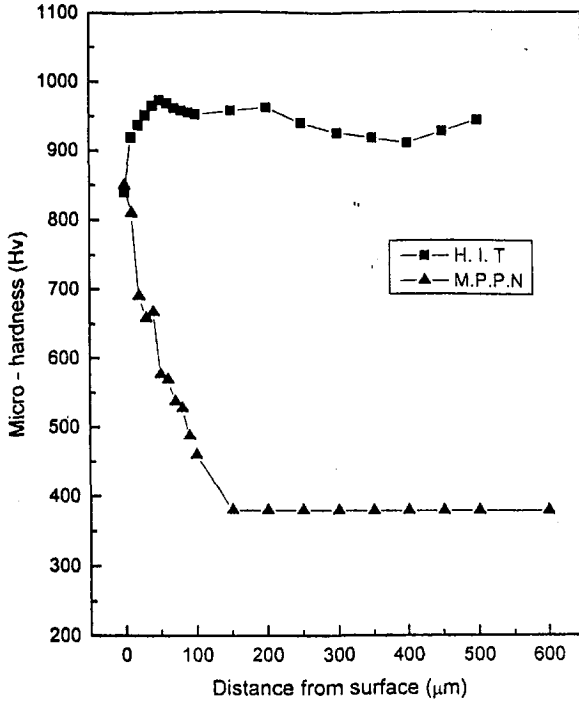


Fig. 8. Micro vickers distribution from surface of FCD60.

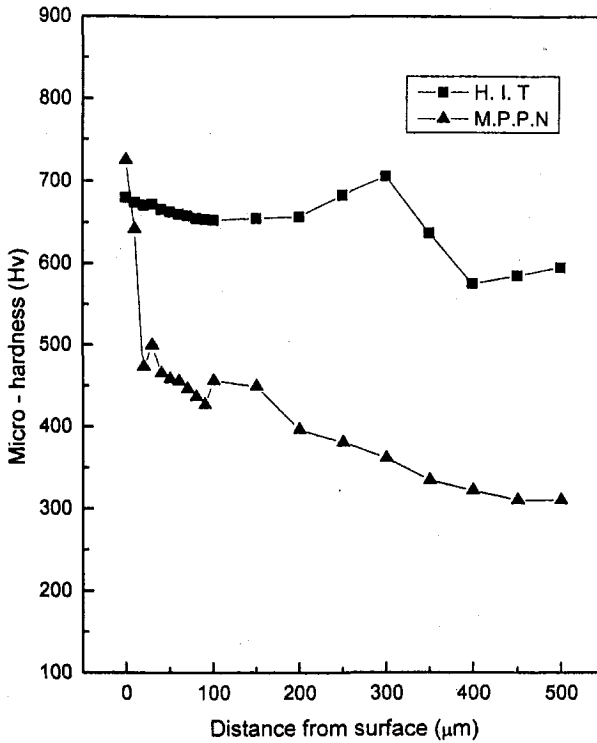


Fig. 9. Micro vickers hardness distribution from surface of S53C.

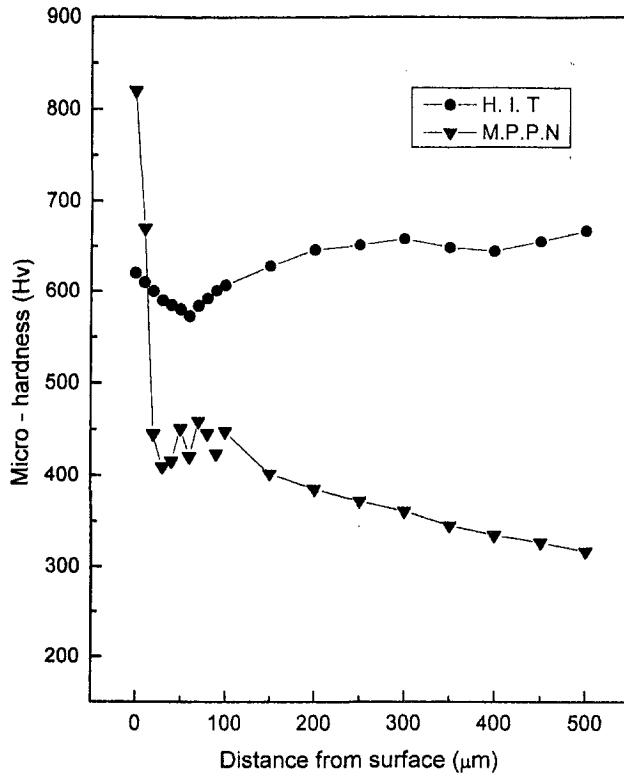


Fig. 10. Micro vickers hardness distribution surface of SCM440.

### 3.3. 마모시험

고주파 유도경화 열처리와 마이크로 펄스 플라즈마 질화처리된 FCD60, S53C, SCM440 을 여러 조건에서 마모시험하였을 경우 그 마멸량을 Table 5에 나타내었다.

Table 5. Weight loss after the wear test.

(unit : g)

			H.I.T	M.P.P.N
150°C	SCM440	unlubri.	0.037	0.046
		lubri.	0.016	0.004
	FCD60	unlubri.	0.012	0.013
		lubri.	0.000	0.001
Room temp	SCM440	unlubri.	0.008	0.029
	S53C	unlubri.	0.018	0.044



표에서 보는 바와같이 열처리된 S53C와 SCM440을 40N의 하중을 가하면서 상온에서 건식의 무윤활로 마모시험하였을 경우 S53C와 SCM440의 경우 고주파 유도경화 열처리가 질화처리보다 마멸량이 적음을 알 수 있다.

그러나 표에서 보는 바와 같이 열처리된 FCD60, SCM440을 150℃의 고온에서 47N의 하중으로 윤활과 무윤활 마모시험하였을 경우 SCM440은 무윤활인 경우는 고주파 유도경화 열처리가 질화처리한 경우보다 마멸량이 적으나 윤활인 경우는 오히려 질화처리가 고주파 유도경화 열처리보다 마멸량이 적음을 알 수 있다. 따라서 윤활엔진의 경우는 질화처리가 고주파 유도경화 열처리보다 유리할 것으로 사료된다.

그러나 FCD60의 경우는 열처리 방법에 관계없이 비슷한 마멸량을 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 마멸량의 경향을 검토하기 위하여 상대마모재인 bar형태의 SNCM21의 마모된 폭의 길이를 측정하여 Table 6에 나타내었다.

Table 6. Wear width of carburized SNCM21.

(unit : mm)

			H.I.T	M.P.P.N
150℃	SCM440	unlubri.	0.972	1.874
		lubri.	0.262	0.774
	FCD60	unlubri.	1.601	1.627
		lubri.	0.482	0.512
Room temp	SCM440	unlubri.	1.806	1.649
	S53C	unlubri.	1.434	1.266

Table 5와 6을 비교해 볼 때 상온에서 건식으로 마모시험하였을 경우는 마모시편의 마멸량이 적으면 상대마모재의 마모폭은 넓은 것을 알 수 있다. 그러나 150℃에서 마모시험할 경우는 상기와는 반대되는 경향을 갖음을 알 수 있으며, 이것은 질화처리에 따라 생성된 화합물층이 열안정성에 영향을 받는 것은 내마모성 개선의 중요한 하나의 원인이 되는 것으로 사료된다.<sup>12-14)</sup>

이상의 시험결과들을 종합하여 검토할 때 윤활유가 존재하며 높은 온도에서 작동되는 선박엔진의 경우 지금까지 주로 시행되어 왔던 고주파 유도경화 열처리보다는 마이크로 펄스 플라즈마 질화처리에 의해서 생성되는 질화층(화합물층 + 확산층)이 내마모성, 내열성, 내충격성 등에 유리 할 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

FCD60, S53C, SCM440을 고주파 유도경화 열처리, 마이크로 펄스 플라즈마 질화처리

및 마모시험을 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Hv 550의 경도를 갖는 경화깊이는 마이크로 펄스 플라즈마 질화처리의 경우는 FCD60, S53C 및 SCM440에서 각각  $30\mu\text{m}$ ,  $25\mu\text{m}$  및  $25\mu\text{m}$ 이었으며, 고주파 유도경화 열처리의 경우는 세 재료 모두  $1.4\text{mm}$  정도이었다.
2. 마이크로 펄스 플라즈마 질화처리의 경우 FCD60과 S53C는 주로  $\gamma' - \text{Fe}_4\text{N}$ 이었고, SCM440은  $\gamma' - \text{Fe}_4\text{N} + \epsilon - \text{Fe}_3\text{N}$ 이 생성되었으며, 고주파 유도경화 열처리된 경화층은  $\alpha - \text{Fe}$ 로 모재와 같았다.
3. 내마모시험 결과 상온에서는 고주파 유도경화 열처리에 의해 생성된 경화층이 내마모성이 좋으나, 고온( $150^\circ\text{C}$ ) 및 윤활의 경우는 마이크로 펄스 플라즈마 질화처리하여 생성된 질화층의 내마모성이 더 우수하였다.

상기 결과로 미루어 볼 때 고온 윤활상태에서 작동되는 선박엔진의 경우 최근까지 행하여져온 고주파 유도경화 열처리 방법보다 내마모성, 내열성, 내충격성 등에 유리한 질화층(화합물층 + 확산층)을 형성하는 질화처리 방법이 더 유리할 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

- 1) 裴圭鎭 : PLASMA/ION窒化 熱處理法 (1996), 단군
- 2) 日本潤滑學會編 : 潤滑 ハソドブツワ, 養賢堂
- 3) 曹田節宗 : 潤滑, Vol. 5, No. 3 (1960). 109
- 4) 박근웅, 노용식, 한유희, 이상윤 : 열처리 공학회지, Vol. 5, No. 2 (1992) 122
- 5) 김인수 : 울산대학교 대학원 석사학위논문, (1995)
- 6) 木村利光, 竝木邦夫 : 電氣製鋼, Vol. 63, No. 1 (1992). 4
- 7) 中村雅知, 電氣製鋼, Vol. 60, No. 4 (1989). 382
- 8) ASM : Metals Handbook, 9th ed. Vol. 4 (1981). 451
- 9) 小林眞造, 曹我部孟, 土肥孝弥 : The Sci. & Eng. Review of Doshisha Uni. Vol. 30, No. 4 (1990). 29
- 10) R. Krivoy, J.K. Colvil, and D.H. Parsons : J. Materials for energy systems, Vol. 8, NO. 2 (1986) 168
- 11) Wear. Vol. 134 (1989) 29
- 12) 竹内榮一 : トライボロジスト, Vol. 34, No. 5 (1989). 332
- 13) Y.S. Wu, B.T. Ma, & JW.He(Ho), B.Z.Luo : Wear, Vol. 129 (1989). 13
- 14) 光武 章二, 森下克介 : 潤滑, Vol. 27, No. 5 (1982). 292